

Design of Wideband Harmonic Rejection Antenna

Yufeng Yin, Min Wang, Nuo Xu, Wen Wu

JGMT Ministerial Key Laboratory, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing Jiangsu
Email: wangmin@mail.njust.edu.cn

Received: May 4th, 2017; accepted: May 22nd, 2017; published: May 25th, 2017

Abstract

A broadband filtering antenna is proposed for the rectifying antenna of microwave energy harvesting systems in this paper. The antenna is composed of a C-CMRC filter and a multi-layer U-slot microstrip antenna. The bandwidth is broadened by adding air layer and loading U-slot on the patch. Then, the 2nd and 3rd harmonic are suppressed by loading low-pass filter on the feed-line. The measured results show that an impedance bandwidth from 2.2 GHz to 2.6 GHz, *i.e.*, 16% is obtained. The measured and simulated results show that the return loss is less than 1dB at the 2nd and the 3rd harmonic frequencies.

Keywords

Broadband Harmonic Rejection, Filtering Antenna, Microstrip Antenna

宽带谐波抑制天线设计

殷玉凤, 汪敏, 徐诺, 吴文

南京理工大学JGMT国防重点学科实验室, 江苏 南京
Email: wangmin@mail.njust.edu.cn

收稿日期: 2017年5月4日; 录用日期: 2017年5月22日; 发布日期: 2017年5月25日

摘要

本文针对微波能量采集整流天线的应用, 设计了一款宽带滤波天线。该天线由C-CMRC低通滤波器和多层结构的U型缝微带天线组成。首先通过加空气层和在贴片上加载U形缝隙展宽了天线的带宽, 然后在馈线上加载低通滤波器对二次和三次谐波进行抑制。天线的实测工作频率范围为2.2 GHz~2.6 GHz, 相对带宽约为16%。实测和仿真结果表明天线在二次和三次谐波频率处的回波损耗均小于1 dB。

关键词

宽带谐波抑制, 滤波天线, 微带天线

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

微波能量采集技术是以空间为媒介收集周围环境中的电磁波, 相比于风能、太阳能等, 具有随距离变化时接收功率可控, 供能持续, 受环境影响较弱等优点, 因此受到越来越多的关注。由于天线较宽的带宽能够提高可接收的微波能量的频率范围, 对二次以上谐波良好的抑制能力可以保证整流的效率, 因此宽带的谐波抑制是能量采集技术和整流天线的发展方向之一。

一个完整的整流天线包括接收天线和整流电路两个部分。其中整流二极管是整流电路的关键元件, 起到将高频能量转换为直流的作用。由于二极管是非线性元件, 整流时会产生二次、三次谐波, 这些谐波有可能会从天线中再次辐射出去而造成能量的损失, 因此需要对高次谐波进行抑制。

通常实现谐波抑制的方法有两种: 一种是采用改变天线结构来实现谐波抑制的方法[1], 在矩形贴片上加载 U 形缝隙从而改变电流路径, 使得天线高次模的谐振频率从高次谐波频率上移开, 实现谐波的抑制。但是该类天线带宽一般较窄。也可以通过在天线馈线上加载低通滤波器, 利用低通滤波器的滤波特性来抑制高次谐波。这种方法对天线的辐射特性影响不大, 易于实现宽带。比如文献[2]采用传统的阶跃阻抗低通滤波器, 文献[3]采用五阶切比雪夫低通滤波器设计, 对高次谐波具有良好的抑制能力。但是文献[2][3]只是针对单一频率进行设计, 因此无法应用于宽带谐波抑制天线中。目前具有谐波抑制能力的天线工作带宽均较窄, 关于宽带谐波抑制天线的文章比较少见。

本文采用 U 形缝隙微带天线结合馈线上加载的 C-CMRC 低通滤波器, 设计了一种工作频率在 2.2 GHz~2.6 GHz 的宽带谐波抑制天线。微带天线采用加载 U 形缝隙和加入空气层的多层结构来展宽阻抗带宽, 天线-10 dB 阻抗带宽约为 18%。通过在馈线上加入 C-CMRC 和开路短截线电路, 引入多个传输零点, 实现了对二次谐波和三次谐波的宽带抑制, 仿真得到的通带带宽约为 18%, 对原天线的性能影响很小。这种微带天线的结构紧凑、加工简单, 工作频段覆盖了包括无线网络信号在内的 ISM 频段、手机 4 G 通信频段等, 可接收的频率范围较大。

2. 天线设计

2.1. 天线结构

本文设计的滤波天线结构如图 1 所示, 由辐射贴片、三层介质、接地板和低通滤波器组成。介质采用多层结构, 顶层介质板采用介电常数为 4.4 的 FR4 材料, 厚度为 1.5 mm, 第二层为空气介质, 高度为 10 mm。底层为 Rogers RO4003, 介电常数为 3.55, 厚度 0.508 mm, 其上部是接地板, 下部是低通滤波器, 滤波器与天线共用一块接地板, 馈线通过铜丝对贴片馈电。

2.2. U 形缝隙贴片设计

为了能够展宽天线的带宽, 考虑在辐射贴片上加载 U 形缝隙, 使得贴片形成多调谐回路来实现宽带[4],

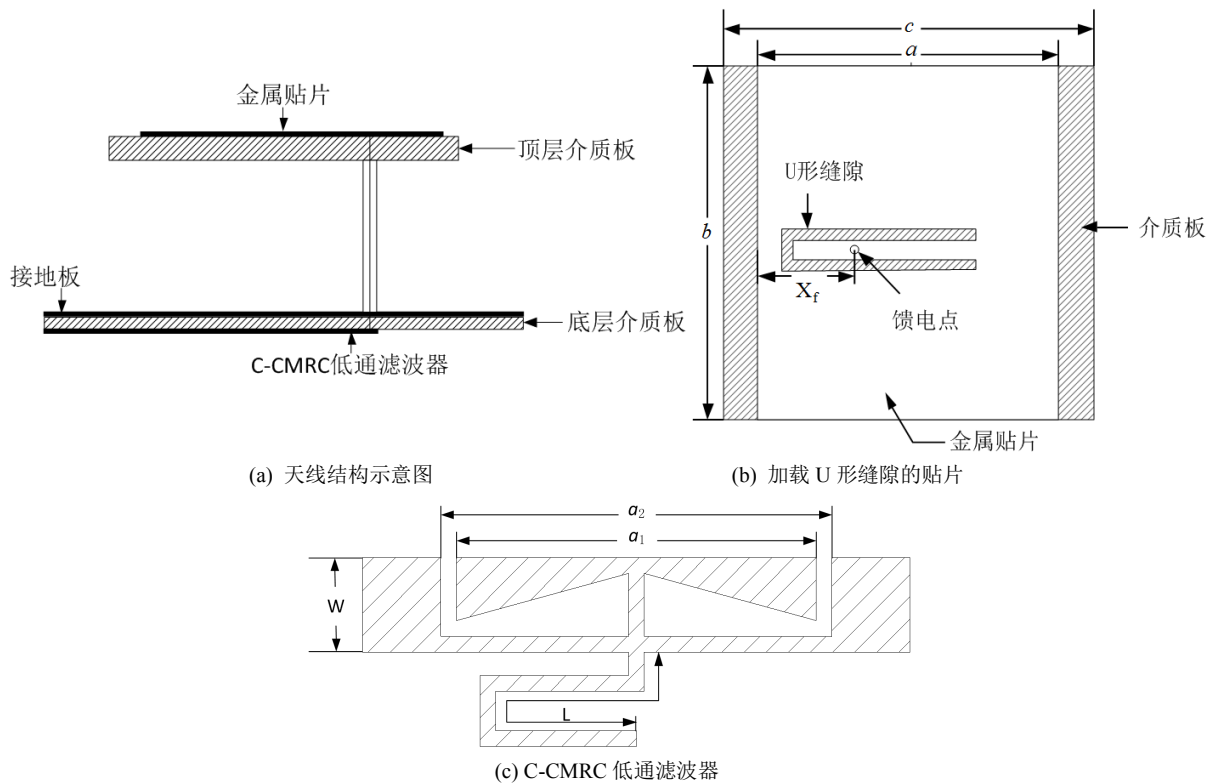


Figure 1. The configuration of antenna

图 1. 天线结构

如图 1(b) 所示。介质采用介电常数为 1 的空气和介电常数为 4.4 的 FR4 板材，通过同轴探针对贴片馈电。加厚空气层的厚度能够降低等效电路的 Q 值从而提高天线的带宽。另外当基片厚度超过 0.03λ 时馈电探针会引入较大的感抗，而 U 形缝隙呈现的容抗也可以起到抵消该感抗的作用。由于基片厚度和 λ 之比过大也会引起表面波的激励，因此空气层的厚度必须取一个适当的值。

2.3. C-CMRC 低通滤波器设计

随着微波电路朝着小型化的趋势发展，人们致力于寻找各种方法来改进电路结构以满足需要。薛泉教授提出在微带线上蚀刻特定的图案形成 CMRC，从而使微带线表现出慢波特性和抑制不想要的频率以及减小电路尺寸[5]。这里采用非对称结构的 CMRC [6]，为了提高阻带的带宽，考虑再加载一段开路短截线，这段长度为 L 的短截线可以看作是在某一频率上的 $\lambda/4$ 并联 LC 谐振器，从而引入了一个额外的传输零点，如图 1(c) 所示。通带频率主要由滤波器的长度 a_1 决定，利用 HFSS 仿真优化得到设计好的滤波器，其 S 参数见图 2 所示，滤波器有三个传输零点 f_{z1} , f_{z2} , f_{z3} 。其中第三传输零点 f_{z3} 是由开路短截线引入的。第一传输零点 f_{z1} 在二次谐波频率范围内，第二和第三传输零点在三次谐波频率范围内，在期望的阻带频率范围(4.6 GHz~5.2 GHz, 6.9 GHz~7.8 GHz)内的衰减均大于 14 dB。

金属贴片的尺寸为 $a \times b$ ，底层介质板的尺寸为 $b \times c$ ，馈电点与贴片边缘的距离为 X_f 。优化设计好的天线，得到最终天线和滤波器的尺寸见表 1 所示，仿真得到的天线阻抗曲线图和方向图如图 3 和图 4 所示。仿真得到的天线 -10 dB 阻抗带宽范围为 2.23 GHz~2.67 GHz，相对带宽约为 18%。二次和三次谐波频率处的回波损耗均小于 0.1 dB。图 3 中灰色部分是二次和三次谐波频带，图中同时给出了未加滤波结构的天线的阻抗特性曲线作为对比，可以看到，在高次谐波频带内，本文设计的天线的反射明显强于未

加滤波结构的天线，表明其对高次谐波的抑制能力较强。同时可以看到设计好的滤波天线在 3.75 GHz 和 6.19 GHz 处出现了谐振点，这是因为滤波器与天线连接过程中并非是简单的 S 参数相乘，设计时将工作频率的端口阻抗设为 50 Ω，但是在离开中心频率的其他点不匹配，因此有些频点上经过滤波器的阻抗变换后可能会接近 50 Ω 从而出现谐振。

3. 加工与测试

在仿真设计的基础上对天线进行了加工。天线的整体加工实物图如图 5 所示。实测的阻抗特性曲线见图 3 所示，其 -10 dB 阻抗带宽范围为 2.2 GHz~2.6 GHz，相对带宽约为 16%，在设计二次和三次谐波频率(4.6 GHz~5.2 GHz, 6.9 GHz~7.8 GHz)范围内的回波损耗值均小于 1 dB。可以看到实测值和仿真值吻合较好，相比于仿真结果，实物的损耗较大，测得的损耗比仿真值稍大。

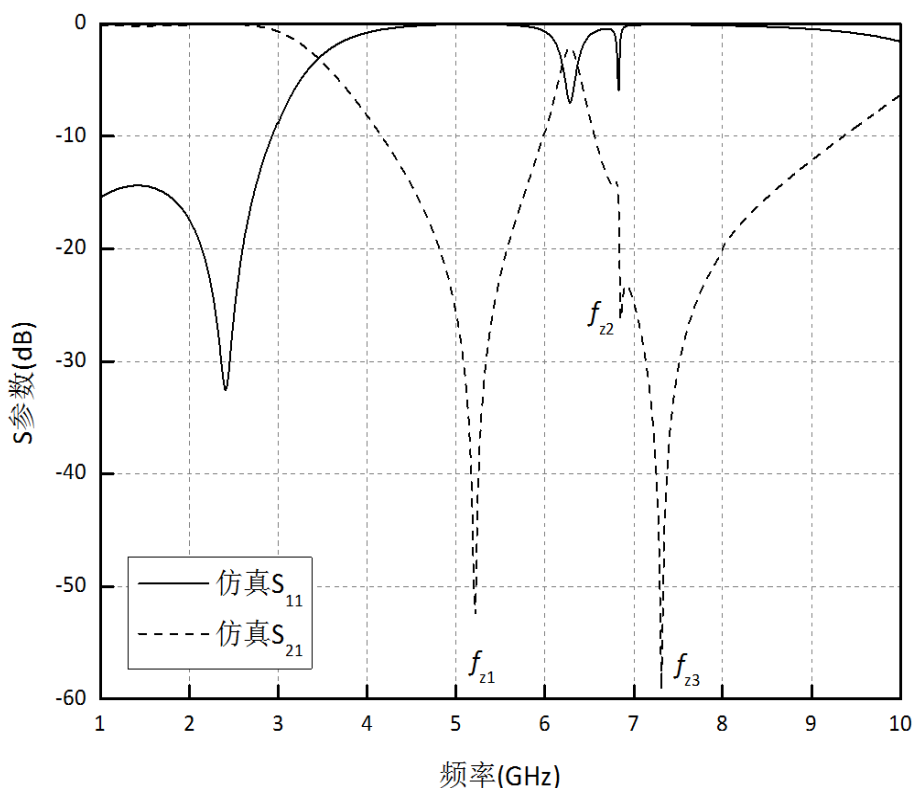


Figure 2. Curve: S parameters of filter
图 2. 滤波器 S 参数曲线

Table 1. Parameters of the antenna
表 1. 天线参数

参数	数值(mm)	参数	数值(mm)
a_1	11.4	a	40
a_2	11.8	b	48
W	1.2	c	50
L	7.5	X_f	13

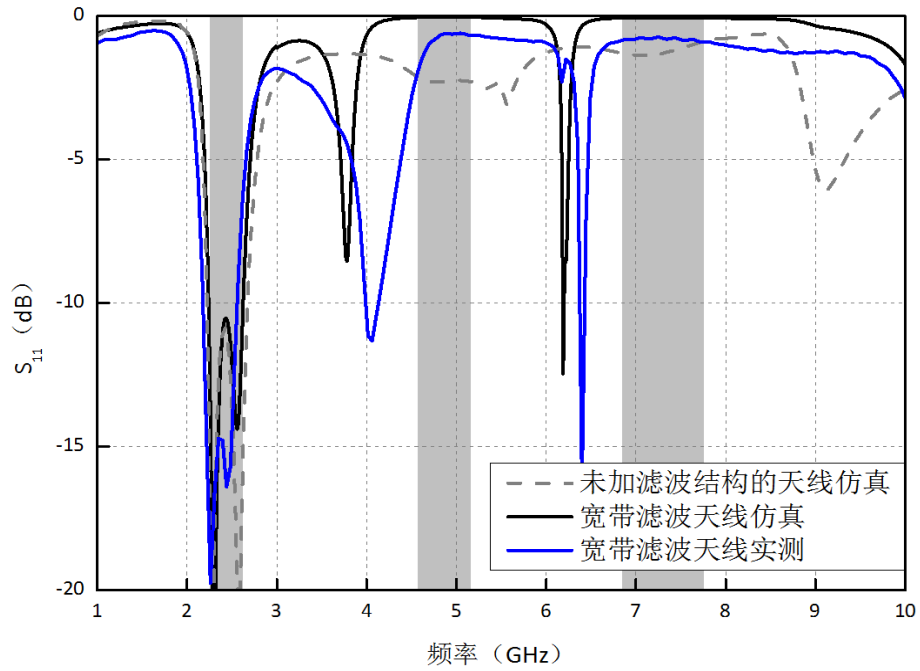


Figure 3. Curve: impedance of the antenna
图 3. 天线阻抗特性曲线

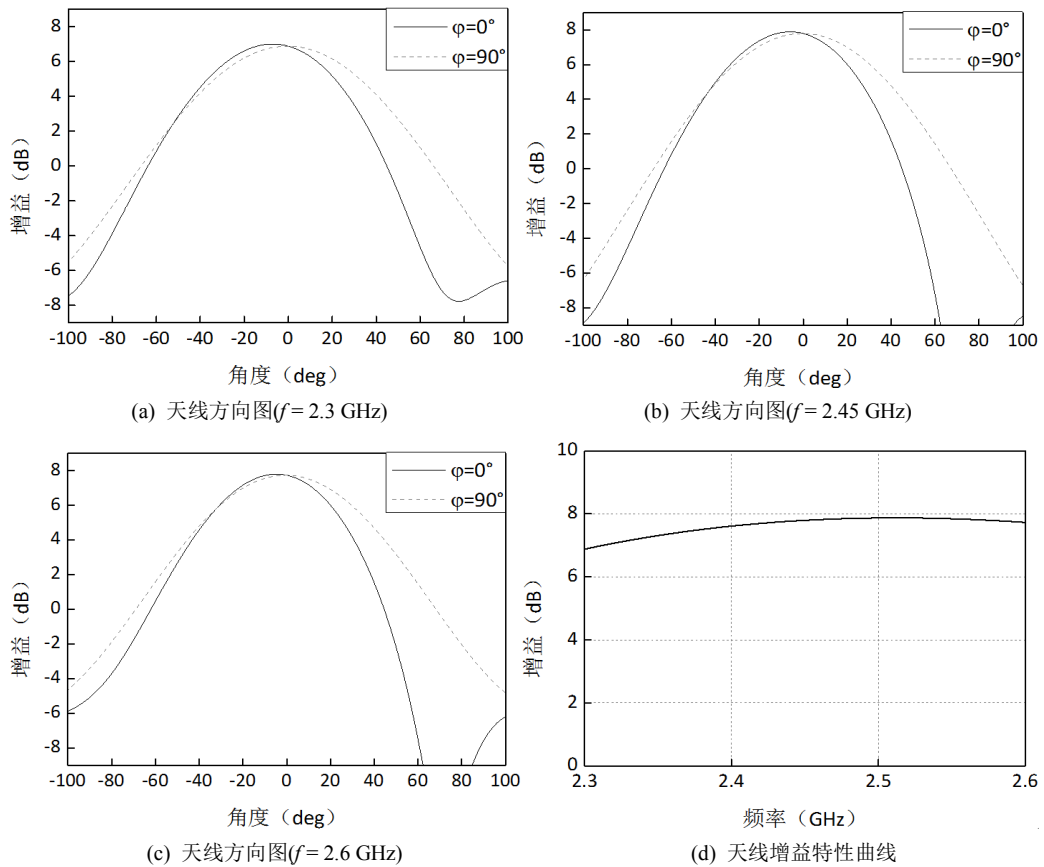


Figure 4. Radiation patterns of antenna
图 4. 天线方向图

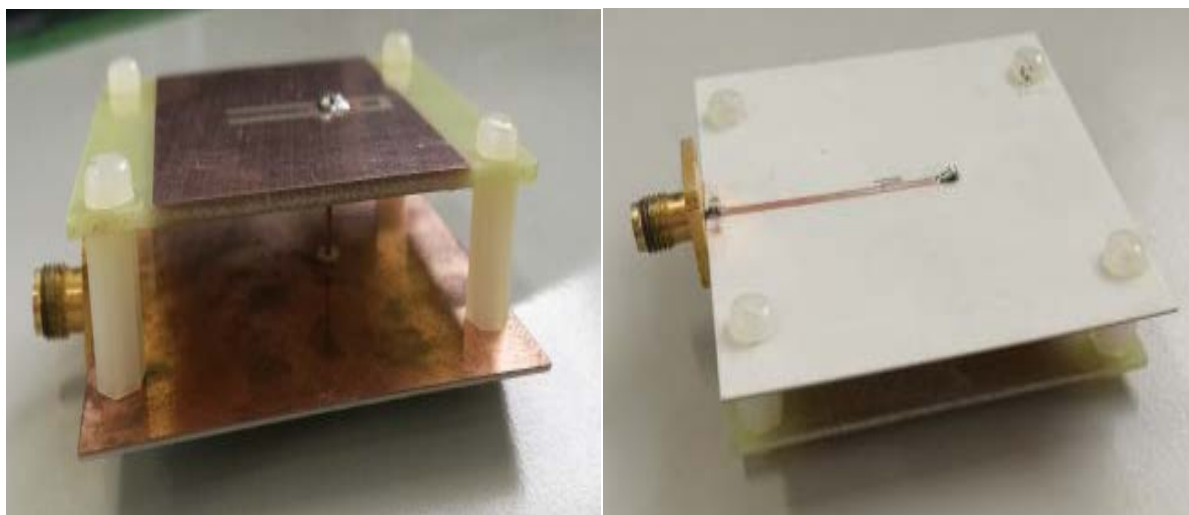


Figure 5. Photo of the fabricated antenna
图 5. 加工天线照片

4. 结论

本文设计的宽带谐波抑制天线，能够应用于宽带能量采集系统。通过采用空气介质和在贴片上加载 U 形缝隙实现天线带宽扩展，在天线馈线上加载 C-CMRC 低通滤波器实现谐波抑制。对研制的天线测试，得到回波损耗大于 10 dB 的带宽为 16%；对应二次、三次谐波频率范围内的回波损耗均小于 1 dB。

基金项目

国家自然科学基金青年基金项目：61401208。

参考文献 (References)

- [1] Dehbashi, R., Atlasbaf, Z. and Forooghi, K. (2006) New Compact Size Microstrip Antennas With Harmonic Rejection. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, **5**, 395-398. <https://doi.org/10.1109/LAWP.2006.881918>
- [2] 邓红雷, 孔力. 微带整流天线的设计与试验[J]. 电波科学学报, 2008, 23(2): 315-320.
- [3] 杨雪霞, 薛玉杰. X 波段圆极化整流天线的设计与实验[J]. 上海大学学报(自然科学版), 2007, 13(4): 377-382.
- [4] Huynh, T. and Lee, K.F. (1995) Single-Layer Single-Patch Wideband Microstrip Antenna. *Electronics Letters*, **31**, 1310-1312. <https://doi.org/10.1049/el:19950950>
- [5] Quan, X., Kam, M.S. and Chi, H.C. (2000) Novel 1-D Microstrip PBG Cells. *IEEE Microwave and Guided Wave Letters*, **10**, 403-405. <https://doi.org/10.1109/75.877226>
- [6] 崔兰. 基于 CMRC 的微波滤波器和谐波混频器研究[D]: [硕士学位论文]. 南京理工大学, 2009.

期刊投稿者将享受如下服务：

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：ja@hanspub.org