

文章编号: 2095-4980(2018)02-0298-05

一种具有谐波抑制功能的圆极化天线设计

李 路, 刘一麟, 李 君, 黄卡玛, 杨 阳*

(四川大学 电子信息工程学院, 四川 成都 610021)

摘 要: 微波能量传输以及无线通信系统中的天线设计, 追求剖面低、质量轻, 易与平面电路集成。基于此, 设计了一种具有谐波抑制功能的单馈背腔圆极化环缝天线。该天线工作在5.8 GHz, 采用导波结构基片集成波导(SIW)抑制表面波, 提高了天线增益。SIW通过2排金属孔阵列集成在介质板上, 在介质板上蚀刻短路圆环缝隙, 辐射电磁波。采用50 Ω 微带线到SIW过渡的背馈方式, 并在馈线上引入并联枝节, 有效抑制了高次谐波, 且实现了基于基片集成波导天线的谐波抑制。通过加工测试, 天线的轴比为0.67 dB, 增益为6.9 dBi, 阻抗匹配良好, 前后比为22 dB, 仿真结果与实测结果吻合良好。

关键词: 基片集成波导; 圆极化; 谐波抑制; 低剖面; 高增益

中图分类号: TN821⁺.1

文献标志码: A

doi: 10.11805/TKYDA201802.0298

Harmonic suppression circularly polarized antenna based on SIW

LI Lu, LIU Yilin, LI Jun, HUANG Kama, YANG Yang*

(School of Electronic and Information Engineering, Sichuan University, Chengdu Sichuan 610021, China)

Abstract: In microwave energy transmission and wireless communications system, the antenna needs to be low-profiled, and easy to be integrated with planar circuits. A novel single fed cavity backed circularly polarized ring slot antenna with harmonic suppression function is proposed. The antenna operates at 5.8 GHz and adopts a novel guided wave structure, Substrate Integrated Waveguide(SIW), to suppress surface waves and increase antenna gain. The substrate integrated waveguide is integrated on the substrate through two rows of metal via, and the short circuit annular gap is etched on the substrate to radiate electromagnetic waves. Antenna fed by 50 Ω microstrip line to SIW transition is adopted, and a parallel branch in the feeding line is introduced to realize suppressing harmonics based on the substrate integrated waveguide structure. Through fabricating and testing, the axial ratio of the antenna is 0.67 dB, the gain is 6.9 dBi, the impedance matching is good, and the front to back ratio is 22 dB. The simulated results are in good agreement with the measured results.

Keywords: Substrate Integrated Waveguide; circular polarization; harmonic suppression; low profile; high gain

在无线通信系统中, 发射与接收之间普遍存在法拉第效应造成的极化失配、多径效应产生的干扰等问题, 造成能量损失。圆极化天线能够解决这些问题, 被广泛用于卫星通信、雷达等空间应用领域^[1]。另外, 用于无线能量传输中的接收天线, 915 MHz 和 2.45 GHz 频段被广泛研究报道, 但该频段的物理尺寸较大, 不易大规模应用。因此, 与上述频段相比, 5.8 GHz 频段不仅物理尺寸小, 成本低, 而且对于空间领域应用有更好的穿透性, 更能适应复杂的空间环境。

当前, 微带天线的圆极化波实现有2种方式: 单馈法和多馈法。其中, 单馈法是对辐射单元加载几何微扰结构产生2个极化方向正交、幅度相等、相位相差90°的线极化波。多馈法通过设计馈电网络在多个不同的馈电点处对同一个辐射单元进行馈电, 以激励产生一对极化正交的简并模, 形成圆极化波^[2-3]。基片集成波导(SIW)技术

收稿日期: 2017-09-04; 修回日期: 2017-10-14

基金项目: 装备预研教育部联合基金(青年人才)资助项目(6141A02033506)

*通信作者: 杨 阳 email:yyang@scu.edu.cn

被吴柯教授首次提出^[4]。SIW 结构具有低轮廓、低成本、质量轻、易与平面电路无缝集成等优点，近年来基于 SIW 结构的天线被广泛研究报道^[5-6]。文献[7]研究了 SIW 结构与传统波导的等效关系；文献[8]研究了基于由微带线过渡到 SIW 结构的馈电方式与同轴馈电方式的 SIW 圆极化天线，由微带线过渡到 SIW 结构的馈电方式可更好地与平面电路集成。文献[9]提出了一种基于微带线背馈的环缝圆极化天线，天线双向辐射能量，增益最高为 5.6 dBi。文献[10]中，设计了一种工作在 X 波段基于 SIW 的缝隙圆极化天线，该天线的增益为 5.3 dBi。文献[11]中提出了一款 10 GHz 的基于 SIW 的圆极化天线阵列，天线介质板厚度为 1.63 mm，介电常数为 4.4，天线单元增益为 4.0 dBi，4 个单元阵列实现了 6.8 dBi 的增益。文献[12]提出了一种基于 SRR 环紧凑型的 SIW 天线，天线工作在 10 GHz，尺寸为 14 mm×14 mm，增益为 5.2 dBi。同时，具有谐波抑制功能的天线，可以省去平面电路集成系统中庞大的滤波器设计，减小整个系统尺寸。谐波抑制天线就是抑制天线中心工作频率的高次谐波，可通过缺陷地结构(Defected Ground Structure, DGS)、加载逆开环谐振器、T 型馈电以及调节馈线枝节等方式实现^[13-15]。

本文设计了一种工作在 5.8 GHz 的具有谐波抑制功能的 SIW 环缝圆极化天线。该天线尺寸小，厚度薄，便于加工，易与平面电路集成。设计的天线本身带有谐波抑制功能，节省了无源有源微波电路中滤波器的设计；天线采用微扰结构产生 2 个互相正交的简并模，辐射圆极化波。天线使用 HFSS 电磁仿真软件进行仿真设计，通过加工测试表明，测试与仿真结果吻合良好。

1 天线设计

天线采用介电常数为 2.65 的聚四氟乙烯介质板，损耗角正切为 0.001，厚度为 0.8 mm，导带铜的厚度为 0.035 mm，天线结构如图 1 所示。天线结构紧凑，厚度薄，正面为短路环缝隙，背面为天线的馈线以及背腔。天线通过 SIW 结构实现单向辐射，具有较高的前后比。其中，天线短路环缝长度约为 1/2 工作波长，根据基片集成波导与传统波导的宽度的等效关系，初步计算得到过孔阵列的宽度及短路圆环半径的长度，通过优化分析，可以使天线谐振在想要的工作频段。基于紧凑型的圆极化天线设计，本文采用单馈法实现圆极化。在天线短路环内侧贴片上加载矩形缝隙以及半圆形贴片，产生 2 个正交的简并模，使天线辐射圆极化波。此外，天线采用微带传输线-基片集成波导过渡的方式，对天线进行馈电，馈线宽度为 2.2 mm，在馈线上并联开路枝节，调节枝节的长度、宽度以及距离天线金属过孔阵列的位置，实现对天线高次谐波的抑制。天线参数如表 1 所示。天线的宽度 L_1 为 42 mm，长度 L_2 为 41 mm。经过优化，天线的外环半径 r_1 为 14.1 mm，内环半径 r_2 为 9.05 mm，矩形缝隙的宽度 k 为 1.1 mm。调节外环和内环的大小，以及金属通孔阵列的宽度 a_1 ，可以改变天线的工作频率点，同时调节 k 与 r_4 ，可以改善圆极化的性能。此外，金属过孔阵列在天线中充当电壁的作用，为防止能量从过孔缝隙中泄露，提高天线的增益，要求金属通孔之间的距离 p 与通孔的直径 d 满足 $p/d<2.5$ 。经过优化，可得到 p 为 1.2 mm， d 为 0.6 mm。

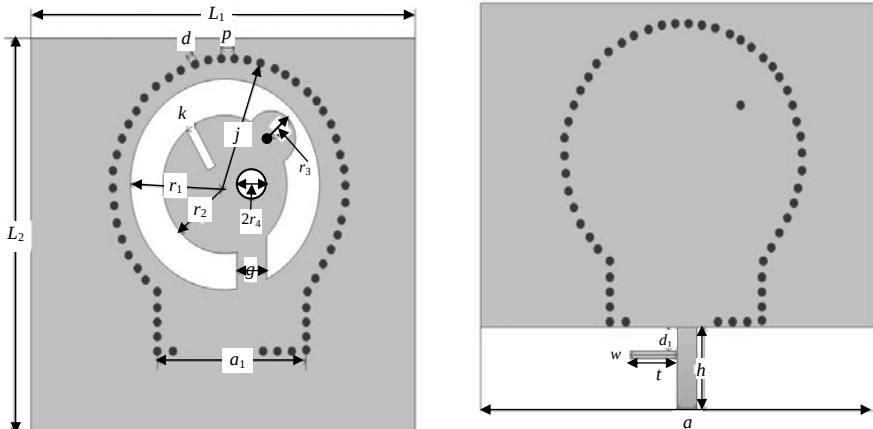


Fig.1 Antenna structure diagram
图 1 天线结构图

表 1 天线参数(单位: mm)
Table1 Optimized parameters of the proposed antenna(unit:mm)

L_1	L_2	r_1	r_2	a_1	p	h	d_1	r_3	r_4	k	g	t	a	w	d
42	41	14.1	9.05	13	1.2	5.2	2.2	4	3.7	1.1	3.05	4	2.2	0.8	0.6

2 结果分析

借助有限元方法的电磁仿真软件 Ansoft HFSS 15.0, 对天线进行仿真优化, 加工测试。天线实物图如图 2 所示。天线的回波损耗使用 Agilent 公司的矢量网络分析仪 E8363B 进行测试, 仿真和实测反射系数如图 3 所示。天线在中心频率 5.8 GHz 反射系数低于 -10 dB 的带宽为 60 MHz(5.77~5.83 GHz)。实测天线反射系数低于 -10 dB 的带宽是 100 MHz(5.75~5.85 GHz), 测试结果优于仿真结果。这种偏差是由仪器加工误差、SMA 接头的焊接误差导致。测试与仿真存在频偏现象, 是因为板材的介电常数的误差导致。另外, 天线在 11.6 GHz 处, 仿真的反射系数为 -0.867 dB, 测试的反射系数为 -0.58 dB, 实现了高次谐波抑制。

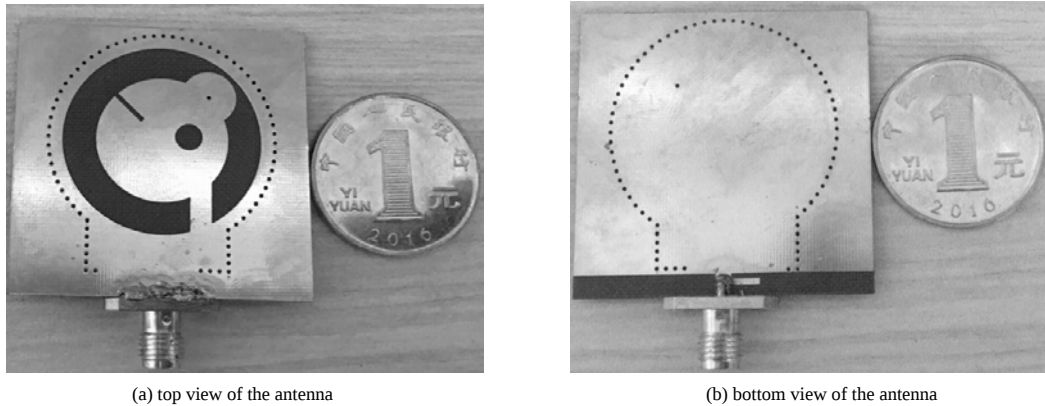


Fig.2 Photograph of the proposed antenna
图 2 天线实物加工图

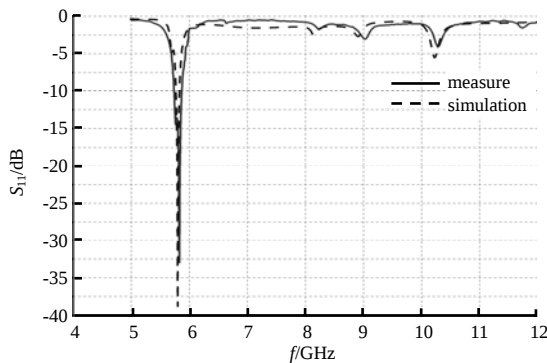


Fig.3 Reflection loss versus frequency
图 3 反射损耗随频率变化曲线

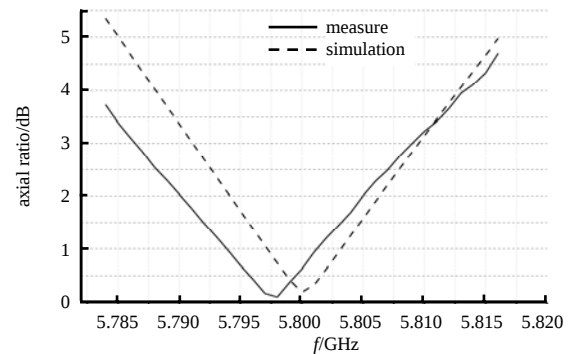


Fig.4 Ratio of axial versus frequency
图 4 轴比随频率变化的曲线图

天线轴比代表圆极化的纯度, 轴比值越低, 圆极化性能越好。本文中轴比测量使用线极化的标准喇叭作为发射天线, 利用椭圆偏振微波的分解理论, 通过 3 个或更多不同的角度测试, 得到如图 4 所示的天线仿真与测试的轴比与频率的关系图。由图 4 可知, 天线在中心频率 5.8 GHz 时, 轴比为 0.19 dB, 测试的轴比为 0.67 dB。测试与仿真结果差别甚微, 说明天线圆极化性能良好。天线在偏离 5.8 GHz 时圆极化性能变差, 这主要归因于天线背腔结构高 Q 值的特点, 所以轴比是限制本文提出的圆极化天线工作带宽的最主要因素^[3]。

图 5 与图 6 为天线在中心频率 5.8 GHz 处 x - z 平面($\phi=0$)与 y - z 平面($\phi=90$)的仿真和测试方向图。方向图测试同样基于椭圆偏振微波分解理论, 借助于线极化的标准喇叭天线测量得到。天线主瓣在 $+z$ 方向, 后瓣辐射很小, 前后比为 22 dB, 在端射方向测试增益为 6.9 dBi, 测试与仿真在主瓣方向测试吻合, 由于连接天线的同轴线以及测试转台对天线后瓣测试的影响, 后瓣的测试与仿真存在偏差。

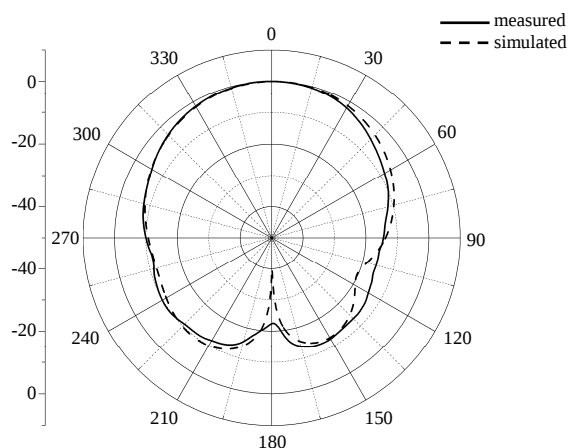


Fig.5 x-z plane radiation pattern
图 5 x-z 辐射方向图

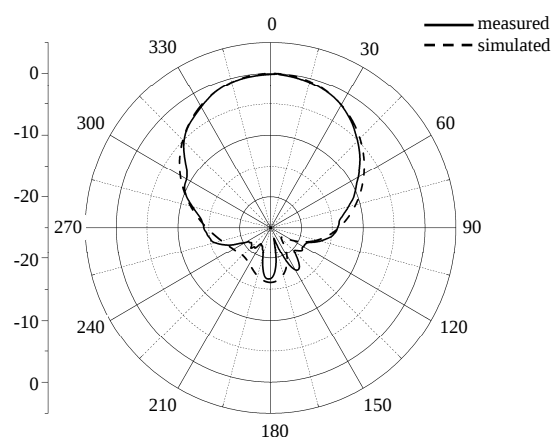


Fig.6 y-z plane radiation pattern
图 6 y-z 辐射方向图

3 结论

本文提出了一种新颖的抑制谐波的 SIW 圆极化天线, 比传统缝隙天线的增益高。天线采用微带线到基片集成波导过渡的方式, 易与平面电路集成, 在馈线上并联短路枝节高次谐波, 通过加载几何微扰结构形成 2 个极化正交的线极化波。在 5.8 GHz, 天线实现了 6.9 dBi 的增益, 轴比为 0.67 dB, 前后比达到 22 dB, 且成功抑制了高次谐波。此款天线结构紧凑, 体积小。测试结果表明, 其能够有效地辐射圆极化波, 可用于微波能量传输系统以及卫星高速数据通信系统中, 解决极化失配带来的能量损失问题。

参考文献:

- [1] FAN F, WANG W, YAN Z H, et al. Circularly polarized SIW antenna array based on sequential rotation feeding[J]. Progress in Electromagnetics Research C, 2014(47):47-53.
- [2] LACIK J, MIKULASEK T. Circular ring-slot antenna fed by SIW for WBAN applications[C]// 2013 7th European Conference on Antennas and Propagation(EuCAP). Gothenburg, Sweden: IEEE, 2013:213-216.
- [3] 吴健, 沈文辉, 杨康, 等. 新型 X 波段圆极化介质谐振器天线[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2017, 15(1):84-86. (WU Jian, SHEN Wenhui, YANG Kang, et al. Novel X-band circularly polarized dielectric resonator antenna[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2017, 15(1):84-86.)
- [4] XU F, WU K. Guided-wave and leakage characteristics of substrate integrated waveguide[J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2005, 53(1):66-73.
- [5] ZHANG G, XU Z Q. Development of circularly polarized antennas based on dual-mode hexagonal SIW cavity[C]// 2014 15th International Conference on Electronic Packaging Technology(ICEPT). Chengdu, Sichuan, China: IEEE, 2014:1283-1286.
- [6] ELBOUSHI A, HARAZ O M, SEBAK A. Circularly-polarized SIW slot antenna for MMW applications[C]// 2013 IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium(APSURSI). Orland, FL, USA: IEEE, 2013:648-649.
- [7] LUO G Q, ZHANG X H, DONG L X, et al. A gain enhanced cavity backed slot antenna using high order cavity resonance[J]. Journal of Electromagnetic Waves and Applications, 2011, 25(8/9):1273-1279.
- [8] BOZZI M, PASIAN M, PERREGRINI L, et al. On the losses in substrate integrated waveguides[C]// 2007 European Microwave Conference. [S.l.]: IEEE, 2007:384-387.
- [9] KIM D Y, LEE J W, LEE T K, et al. Design of SIW cavity-backed circular-polarized antennas using two different feeding transitions[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2011, 59(4):1398-1403.
- [10] CHEN W S, HUANG C C, WONG K L. Microstrip-line-fed printed shorted ring-slot antennas for circular polarization[J]. Microwave and Optical Technology Letters, 2001, 31(2):137-140.
- [11] ZHOU C, FU J, GUO Y, et al. Substrate integrated waveguide circularly polarized antenna[C]// 2013 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation Society. Orland, FL, USA: IEEE, 2013:654-655.
- [12] GAO F, ZHANG F, LU L, et al. Wide band circularly polarized SIW antenna[J]. Microwave and Optical Technology Letters, 2014, 56(11):2539-2542.

(下转第 306 页)