

doi: 10.3969/j. issn. 1007-2861. 2010. 02. 001

缺口圆环激励的圆极化陶瓷介质谐振器天线

李丽娟¹, 钟顺时¹, 许赛卿^{1,2}, 陈敏华¹

(1. 上海大学 通信与信息工程学院, 上海 200072; 2. 浙江正原电气股份有限公司, 浙江 嘉兴 314003)

摘要: 提出一种用陶瓷介质谐振器实现圆极化工作的方法, 并进行分析和讨论。利用缺口圆环口径耦合引入的微扰来实现圆极化, 有效地克服了普通圆极化设计的馈电网络复杂等缺点。通过缺口大小的改变, 得出了反射损耗和轴比的变化规律, 并通过在谐振器上加 2 个对称的小贴片来改进天线的性能。此天线工作在 5.20 GHz, 可应用于通信公共频段, 并且采用了高介电常数的介质谐振器, 使天线达到小型化。

关键词: 介质谐振器天线; 陶瓷; 圆极化; 缺口圆环

中图分类号: TN 82

文献标志码: A

文章编号: 1007-2861(2010)02-0111-04

Circularly-Polarized Ceramics Dielectric Resonator Antenna Excited by Gapped Annular Slot

LI Li-xian¹, ZHONG Shun-shi¹, XU Sai-qing^{1,2}, CHEN Min-hua¹

(1. School of Communication and Information Engineering, Shanghai University, Shanghai 200072, China;
2. Zhejiang Zhengyuan Electric Co., Ltd., Jiaxing 314003, Zhejiang, China)

Abstract: An approach for circular polarization (CP) operation of ceramics dielectric resonator antenna is proposed with analysis and discussion. The antenna uses a gapped annular slot to realize CP radiation, which reduces complexity of feed network in ordinary CP designs. By changing the gap size, a variation of S_{11} and the axial ratio are studied. Moreover, by adding two small symmetric patches to the resonator, performance of the antenna is further improved. This antenna operates at 5.20 GHz in the public communication band. High dielectric resonator (DR) is used to make the antenna small.

Key words: dielectric resonator antenna; ceramics; circularly polarization; gap annular slot

随着无线通信的发展, 出现了适合现代无线通信发展的两种小型天线——微带贴片天线和介质谐振器天线^[1-5]。介质谐振器天线因其特有的优势, 如体积小、重量轻、成本低、辐射效率高、损耗小、馈电容易等, 引起了人们的广泛关注。早期对介质谐振器天线的研究, 主要是用来产生线极化, 直到最近, 人们才开始转变到圆极化介质谐振器天线的研究上。

至今已有众多激励圆极化的方法, 如正交馈电方式^[6-7]、特殊介质谐振器结构^[8]、采用寄生贴片^[9-10]以及采用微扰馈电方式^[11]等。本研究提出一种高介电常数陶瓷圆柱形介质谐振器天线, 利用缺口圆环口径耦合的方法来实现圆极化。并且, 通过在介质谐振器上加 2 片对称的小贴片, 使带宽和圆极化性能都有所提高。

收稿日期: 2009-01-06

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863 计划)资助项目(2007AA12Z125); 上海大学创新基金资助项目(SHUCX092130)

通信作者: 钟顺时(1939 ~), 男, 教授, 博士生导师, 研究方向为现代天线理论与技术等。E-mail: shshzhong@163.com

1 理论分析

利用磁壁模型理论,可以得到圆柱形介质谐振器的谐振频率。在分析中,可以将介质谐振器的表面等效为理想的磁导体。对于这样一个腔体,沿着Z轴传播的TE波和TM波方程可以写为^[2]

$$\psi_{TE_{npn}} = J_n \left(\frac{X_{np}}{a} \rho \right) \begin{cases} \sin(n\varphi) \\ \cos(n\varphi) \end{cases} \sin \left[\frac{(2m+1)}{2d} \right], \quad (1)$$

$$\psi_{TM_{npn}} = J_n \left(\frac{X_{np}}{a} \rho \right) \begin{cases} \sin(n\varphi) \\ \cos(n\varphi) \end{cases} \cos \left[\frac{(2m+1)}{2d} \right], \quad (2)$$

式中, J_n 为一阶贝塞尔函数, $J_n(X_{np}) = 0$, $J'_n(X'_{np}) = 0$, $n = 1, 2, \dots$, $p = 0, 1, 2, \dots$, $m = 1, 2, \dots$

mnp 模的谐振频率为

$$f_{mnp} = \frac{1}{\pi D \sqrt{\mu \epsilon}} \sqrt{\left[\frac{X_{np}^2}{X'^2_{np}} \right] + \left[\frac{\pi D}{4h} (2m+1) \right]^2}. \quad (3)$$

在实际应用中,通常采用谐振器的基模,因其具有最低的谐振频率。我们可以得到基模 TM₁₁₀ 模的谐振频率为

$$f_{110} = \frac{1}{2\pi a \sqrt{\mu \epsilon}} \sqrt{X'^2_{11} + \left(\frac{\pi a}{2h} \right)^2}, \quad (4)$$

式中, $X'_{11} = 1.841$, a 为圆柱形介质谐振器的半径, h 为介质谐振器的高度。由式(4)可知, 圆柱形介质谐振器天线的工作频率由介质谐振器的介电常数、半径和高度决定。

为实现圆极化,就要激励起幅度相等、相位相差 90° 的两个正交模式。本研究采用微扰的方法,对圆环口径进行裁剪,通过调整缺口的大小,产生两个正交的模式,从而实现圆极化。

2 性能分析

选取陶瓷材料(相对介电常数 $\epsilon_r = 38.5$), 半径为 4.50 mm, 高度为 3.65 mm 的介质谐振器。由理论分析可知, 该介质谐振器基模的谐振频率在 5.20 GHz 左右。天线的结构如图 1 所示,采用微带线馈电,通过缺口圆环口径耦合的方式来实现圆极化。介质谐振器置于基板的正中心,基板的相对介电常数 $\epsilon_r = 10.2$, 尺寸为 40.0 mm × 40.0 mm × 0.8 mm。基板的上侧覆有金属接地板,其中开有一缺口圆环形的缝隙,圆环的外半径 $r = 4.20$ mm, 宽度 $w = 0.92$ mm, 圆环缺口距中心位置 $s_1 = 3.10$ mm。基板的下侧覆有开路的金属微带线,其特性阻抗为 50 Ω。通过调整开路段的长度 L_s ,可以使微带线和介质

谐振器达到良好的阻抗匹配。

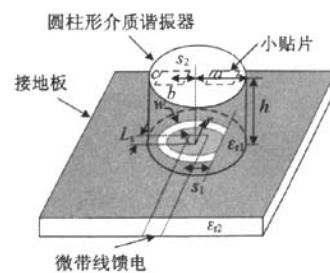


图 1 圆极化介质谐振器天线结构图

Fig. 1 Configuration of circularly polarized dielectric resonator antenna

下面利用仿真软件 Ansoft HFSS10 对天线的结构进行分析。反射损耗曲线如图 2 所示,端口反射损耗不大于 -10 dB 的频率范围为 5.10 ~ 5.28 GHz,其相对带宽为 3.5%。此外,采用此软件对某圆柱形陶瓷介质谐振器天线进行了仿真,并与其实测结果进行了比较,如图 3 所示^[3]。由图可见,二者吻合较好,证实了用此计算软件分析这类天线的有效性。

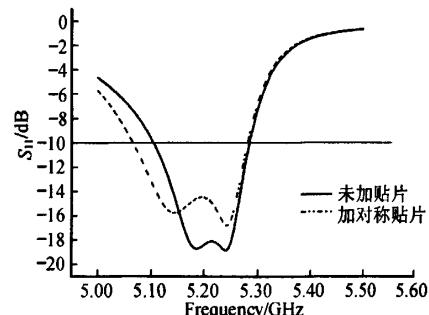


图 2 圆极化介质谐振器天线反射损失曲线

Fig. 2 Return loss of circularly polarized dielectric resonator antenna

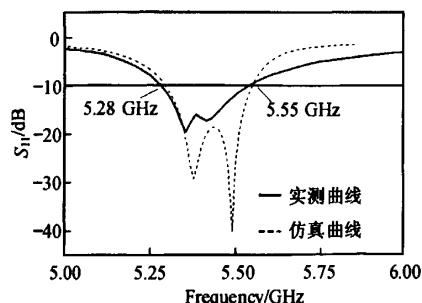


图 3 反射损耗的仿真与实测曲线

Fig. 3 Simulated and measured return loss

天线的轴比曲线如图4所示,轴比带宽为40 MHz,最低点的轴比为1.11 dB。在天线的工作频带范围内实现了圆极化,但由于单馈点实现圆极化的固有缺点,使得到的轴比带宽比较窄。

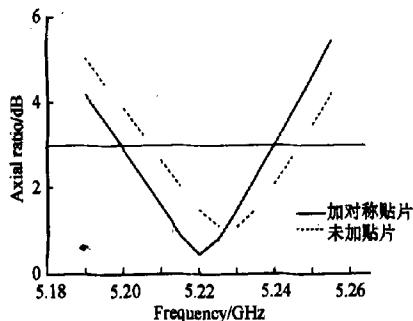


图4 圆极化介质谐振器天线的轴比曲线

Fig. 4 Axial ratio of circularly polarized dielectric resonator antenna

图5给出了天线的反射损耗曲线和轴比曲线随缺口与中心间位置 s_1 的变化趋势。由图5(a)可知, s_1 值增大,中心频率偏移不大,但带宽变窄;而由图5(b)可知, s_1 值越大,轴比最低点值越小,并且轴比最低值所对应的频率会越高。由此可见,缺口的大小对天线的性能有很大的影响。

为了进一步改进介质谐振器的工作带宽和圆极化效果,在保证此前介质谐振器参数不变的情况下,在介质谐振器顶端加2片对称的金属贴片,如图1中虚线所示。经过参数的优化与分析,得到贴片的一组最佳参数:长 $b=1.20$ mm,宽 $a=0.88$ mm,偏离中心的位置 $s_2=3.90$ mm。图2给出了增加贴片后的 S_{11} 曲线,其反射损耗的相对带宽为4.3%,频率覆盖范围为5.06~5.28 GHz。与未贴片时相比,带宽增加了40 MHz,基本满足了5.20 GHz公共频段通信的需求。图4给出了增加贴片后的轴比曲线,由图可见,增加贴片后,天线的轴比最小值可以达到0.40 dB,但天线的轴比带宽基本没有变化。

圆极化介质谐振器天线的方向图如图6所示。由图可见,该天线在两个主平面内具有较宽的波束,而且具有很好的对称性。图7给出了圆极化介质谐振器天线的增益图。由图可见,该天线在工作频带内增益均能保持在6 dBi以上,最高可以达到7 dBi。

3 结束语

本研究通过在馈电圆环的口径上引入微扰,

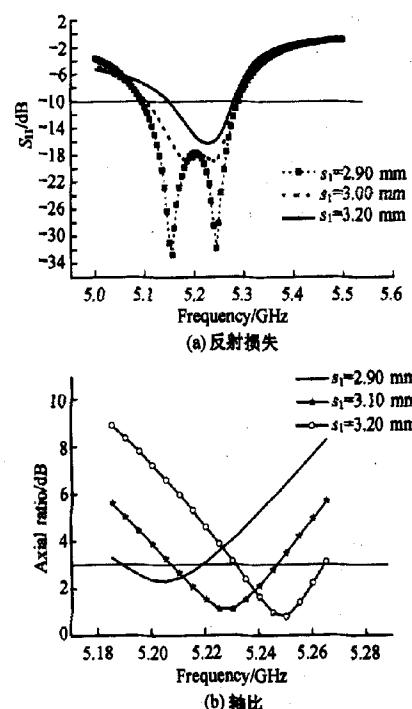


图5 反射损耗和轴比随 s_1 的变化曲线

Fig. 5 Return loss and axial ratio against frequency for different s_1

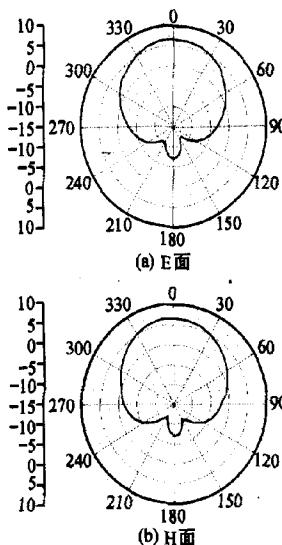


图6 圆极化介质谐振器天线的方向图

Fig. 6 Radiation patterns of circularly polarized dielectric resonator antenna

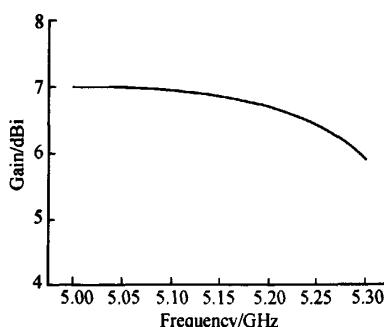


图7 圆极化介质谐振器天线的增益

Fig. 7 Gain of circularly polarized dielectric resonator antenna

产生两个正交的模式,从而实现圆极化。为进一步改进性能,提出在介质谐振器上加2个对称的小贴片,最后使天线的反射损耗带宽得到展宽,并且使轴比的最小值达到0.40 dB,更好地实现了圆极化。该天线采用高介电常数的介质谐振器,从而减小了天线的尺寸,并且天线工作于5.20 GHz频段,可应用于无线通信公共频段。

参考文献:

- [1] LONG S A, MCALLISTER W M, SHEN L C. The resonant cylindrical cavity antenna [J]. IEEE Trans Antennas Propagat, 1983, 31(3):406-412.
- [2] LUK K M, LEUNG K W. Dielectric resonator antenna [M]. Taunton: Research Studies Press Ltd, 2002:4-8.
- [3] 张丽娜, 钟顺时, 许赛卿, 等. 宽带圆柱形陶瓷介质谐振器天线[J]. 上海大学学报: 自然科学版, 2008, 14(3):221-224.
- [4] ZHANG L N, ZHONG S S, XU S Q. Broadband U-shaped dielectric resonator antenna with elliptical patch feed [J]. Electronics Letters, 2008, 44(16):947-949.
- [5] LEUNG K W. Circularly polarized dielectric resonator antenna excited by a shorted annular slot with a backing cavity [J]. IEEE Trans Antennas Propagat, 2004, 52(6):2765-2769.
- [6] HUANG C Y, WU J Y, WONG K L. Cross-slot-coupled microstrip antenna and dielectric resonator antenna for circular polarization [J]. IEEE Trans Antennas Propagat, 1999, 47(4):605-609.
- [7] ALMPANIS G, FUMEAX C, VAHLDIECK R. Offset cross-slot-coupled dielectric resonator antenna for circular polarization [J]. IEEE Microwave and Wireless Components Lett, 2006, 16(8):461-463.
- [8] FARAHAT N, YU W, MITTRA R, et al. Cross-shaped dielectric resonator antenna analysis using conformal finite difference time domain method [J]. Electronics Lett, 2001, 37(18):1105-1106.
- [9] LEUNG K W, WONG W C, NG H K. Circularly polarized slot-coupled dielectric resonator antenna with a parasitic patch [J]. IEEE Antenna and Wireless Propagation Letters, 2002, 1:57-59.
- [10] KUMAR A V P, HAMSAKUTTY V, YOHANNAN J, et al. A strip loaded dielectric resonator antenna for circular polarization [J]. Microwave Opt Technol Lett, 2006, 48(7):1354-1356.
- [11] LEUNG K W. Circularly polarized dielectric resonator antenna excited by a shorted annular slot with a backing cavity [J]. IEEE Trans Antennas Propagat, 2004, 52(10):2765-2769.

(编辑:赵宇)

如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训(www.edatop.com)专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



关于易迪拓培训:

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养；后于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com)，现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地，成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 ADS、HFSS 等专业软件使用培训课程，广受客户好评；并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书，帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年，10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养，更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果，又能免除您舟车劳顿的辛苦，学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲，结合实际工程案例，直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>