

宽频带圆极化天线的优化设计

王安娜¹ 章文勋²

(东南大学毫米波国家重点实验室, 南京 210096)

摘要:本文在圆形宽缝天线的基础上,通过加载径向金属条带的新结构,显著展宽了法向圆极化轴比的频带。借助仿真软件的参数扫描优选其结构初始值,用带约束条件的改进型多目标优化遗传算法结合仿真软件对天线结构进行优化设计,获得 13.9 % 的 1 dB 轴比和-10 dB 回波损失的公共频带。

关键词: 宽缝天线, 圆极化天线, 宽频带天线, 天线优化, 多目标遗传算法

Optimized Design of Wideband Circularly Polarized Antenna

Wang An Na Zhang Wen Xun

(State Key Laboratory of Millimeter Waves, Southeast University, Nanjing , 210096)

Abstract: In this paper, the design of circular wide-slot antenna with radially loaded metal strips is presented for dramatically broadening the bandwidth of axial ratio (AR) along normal vector. The antenna structure is optimized by running a constrained multi-objective algorithm combined with simulation software, after determination of the initial parametric values by means of sweep simulation. An overlapped bandwidth of 13.9 % for 1 dB AR and -10 dB return loss is achieved by simulation.

Keywords: Wide slot antenna; Circularly polarized antenna; Broadband antenna; Antenna Optimization; *Multi-objective genetic algorithm*

1 引言

印刷结构的圆极化天线由于其低剖面、易加工、可共形、馈电简单、重量轻的特点,受到人们的关注。然而早期的印刷圆极化天线的频带很窄,且多采用单向辐射的贴片类天线。近年来,为适应移动通信手机对天线双向(全向)辐射的需要,已发展了多种技术以改善圆极化轴比和阻抗匹配的公共频带。例如能达到法向圆极化轴比 3 dB 和回波损失-10 dB 指标的天线有: CPW 馈电的方形宽缝单元(18 %)^[1] 微带馈电的环形缝单元(10.5 %)^[2], CPW 馈电的不等长十字条带加载的方形宽缝单元(12.4%)^[3]; CPW 馈电的环加载圆形宽缝单元(16.6 %)^[4]; 微带馈电的方形宽缝单元(22.2 %)^[5]; 微带 L 形馈电的圆形宽缝单元 (38 %)^[6]。其中,仅[1]在高性能圆极化轴比 1 dB 的指标下达到 13 % 的较宽频带;除[6]之外的天线总是阻抗匹配的频带宽于并包含了圆极化轴比的频带。

本文旨在采用微带线馈电的宽缝天线获取更宽的高性能法向圆极化轴比频带。虽然 CPW 馈电的印刷天线通常要比微带馈电的拥有更宽的频带,但是微带馈电不在辐射平面内而拥有较多的调节自由度、且容易设计馈电网络。为了实现圆极化,在宽缝内特定位置加载特定长度的条带,经优化设计达到了法向圆极化轴比 1 dB 的 18.5 %频带,且反而宽于阻抗匹配的频带,其公共频带为 13.9%。

2 天线的结构与原理

天线结构(图 1) 印刷在介电常数 $\epsilon_r = 2.2$, 厚度 1 mm 的基片上表面,由 $L \times L$ 方形接地板上半径为 r 的圆形宽缝、及伸出其边缘的三个条带组成,条带取向分别平行于 y 轴、与 x 轴呈 $\pm 45^\circ$ 角,长度分别为 l_1, l_2, l_3 ,宽度都取 w 。印刷在基片下表面的 50Ω 微带线宽度为 w_0 ,沿 x 向伸入圆缝的长度为 l_0 。

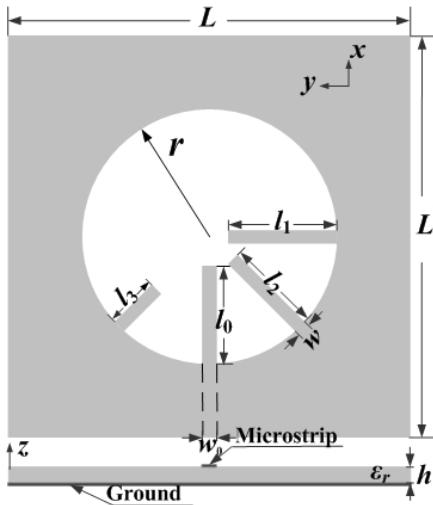


图 1 微带馈电并加载不等长条带的宽缝圆极化天线结构

沿 x 轴伸入宽缝的馈线与沿 y 向的条带 1 可构成法向圆极化波。适当调整 l_0 、 l_1 和 r ，利用仿真软件 Ansoft HFSS 10.0 进行分析和优选，所得 3 dB 轴比的频带仅为 8.1%，而 1 dB 轴比的频带很窄(图 2 的 $\times \times \times$ 曲线)。若添加 $\pm 45^\circ$ 的条带 2 和 3，对 l_0 、 l_1 、 l_2 、 l_3 和 r 再次优选，所得 3 dB 轴比的频带扩大至 36.7%、1 dB 轴比频带达 10.2% (图 2 的实线)，其原因似为两对正交条带所形成圆极化频点的参差组合。

然而，馈电微带对条带 1 所产生的耦合，势将受条带 2 的插入而削弱，由图 3 仿真的电流($f=2.5$ GHz 时)时序分布图可见：条带 1 上的电流在任何时刻都很小。由此试图省略条带以简化结构，但轴比频响却骤然恶化(图 2 的 $\circ \circ \circ$ 曲线)，因而不能省略。

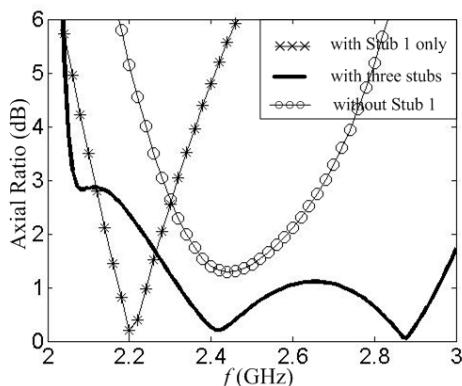


图 2 法向圆极化轴比的频响曲线比较

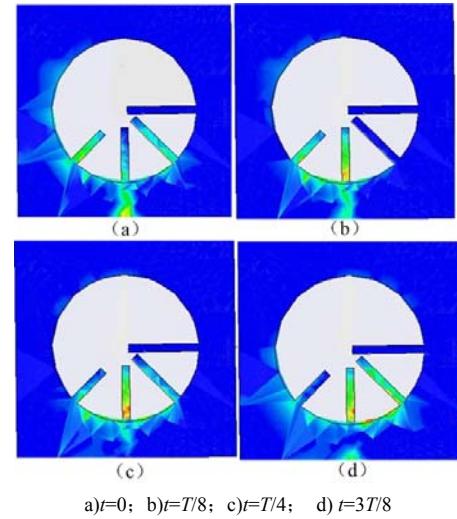


图 3 天线在不同时刻的电流分布 ($f = 2.5$ GHz)

3 天线的优化及讨论

以上仿真分析所优选天线#1 的结构参数及其主要性能列于表 1。其回波损失和圆极化轴比的仿真频响示于图 4，可见其 3 dB 轴比频带达 36.7%、而 1 dB 轴比频带仅 10.2%，且包含在 -10dB 回波损失的阻抗频带中，因此公共频带为 10.2%。为此在上述结构参数初始值的基础上，利用带约束条件的改进型多目标优化遗传算法(Non-dominated Sorting Genetic Algorithm, 简称 NSGA II)^[7]，联合 HFSS 10.0 仿真，对整体结构进行优化，其结果并列于表 1 之#2。

NSGA-II 与两种基于 Pareto 前端的常用的多目标优化算法——增强性 Pareto 优化算法 (Strength Pareto Evolution Algorithm, 简称 SPEA)^[8]、存档性 Pareto 优化算法 (Pareto Archived Evolution Strategy, 简称 PAES)^[9]相比，能够更接近真实的 Pareto 前端，并且产生的 Pareto 解分布均匀，即更好地维持了 Pareto 前端的多样性。与 NSGA-I 相比，因采用拥挤比较算子而避免设置小生境参数^[7]。整个优化过程仍运行 HFSS 的仿真步骤；每次迭代过程中，HFSS 通过其 VBScript 获得的 MATLAB 优化解进行逐个仿真，并把计算所得的目标传递给 MATLAB，由此产生下一步优化解，

表 1 经参数扫描优选的天线#1 和经 NSGA II 优化的天线#2 结构之性能比较

天线	L (mm)	l_0 (mm)	l_1 (mm)	l_2 (mm)	l_3 (mm)	r (mm)	$w_1=w_L=w$ (mm)	BW (%)	Gain (dBi)
#1	84.0	21.8	24.1	22.7	14.3	27.8	3.0	10.2	4.38
#2	84.0	21.4	27.1	23.4	16.1	28.2	3.0	13.9	4.42

表 2 NSGAIII参数设置

锦标赛选择率 p_s 子群规模 n	交叉率 p_c	变异率 p_m	群体规模 N	参数个数 N_{var}	目标个数 N_{obj}
$p_s=0.9, n=2$	$p_c=0.8$	$p_m=0.1$	$N=25$	$N_{var}=5$	$N_{obj}=2$

如此循环，止于达到预设的最大迭代数。

设定优化目标：1) 1 dB 轴比和-10 dB 回波损失的公共频带 BW ；2) 公共频带内的最大增益 G_{peak} 。优化的结构参数： l_0 、 l_1 、 l_2 、 l_3 和 r ，由于条带 1 和 2 不能相碰，设两者至少留有 0.2 mm 的间距，则有约束条件： $\frac{\sqrt{2}}{2}r + \frac{\sqrt{2}}{2}l_2 - \frac{\sqrt{2}}{4}w_1 - 0.2 \geq \frac{1}{2}w_1$ 优化参数的设置列于表 2。

图 5 显示了每一迭代的最优解（由○表示）逼近 Pareto 最优解的过程，形象地显示历次趋优解所逐渐逼近、越益增多的过程。可见在公共频带内峰值增益的变化范围不大；而阻抗和轴比的公共频带变化较为剧烈。但增益和频带构成的 Pareto 最优解二者确互相矛盾。取最大 BW 所对应的天线结构参数及其性能列为表 1 的#2。其轴比和回波损失的仿真值示于图 6，其公共频带达到 13.9%。图 7 是优化设计的天线#2 在中心频率处的方向性图。

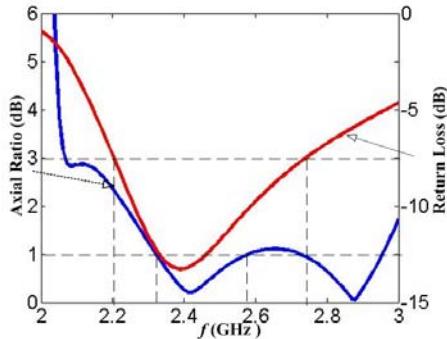


图 4 天线#1 的轴比和回波损失频响曲线

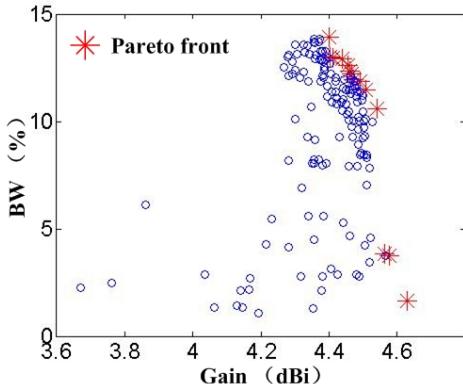


图 5 历次优化所得 Pareto 解的分布图

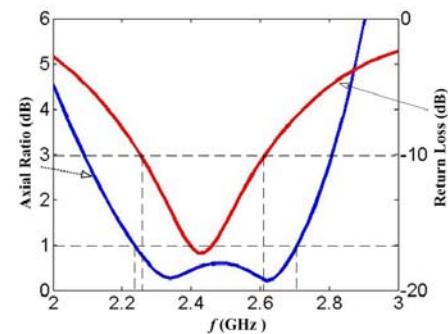
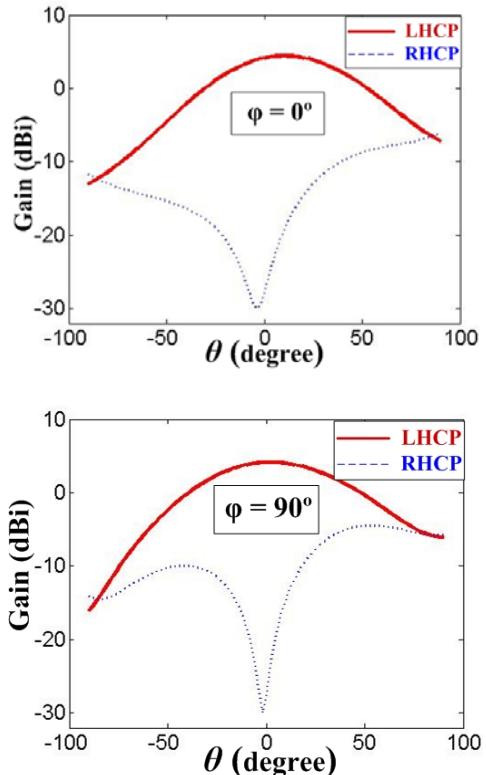


图 6 天线#2 的轴比和回波损失频响曲线

图 7 天线#2 的方向性图 ($f_0=2.5$ GHz)

4 结论

本文发展了一种新型的圆极化天线，在微带馈电的圆形宽缝天线内加载了三根不同长度的径向金属条带，得以显著地展宽该天线的法向圆极化轴比频带。文章先借助软件仿真优选结构参数，用作优化过程的初始值，再用 NSGA II 进行结构参数的优化，使 1dB 轴比和-10dB 回波损失的公共频带为 13.9%。

参 考 文 献

- [1] J.Y. Sze, K.L. Wong, and C.C. Huang, “Coplanar waveguide-fed square slot antenna for broadband circularly polarized radiation”, *IEEE Trans Antennas Propag*, Vol. 51, no.8, pp.2141 – 2144, 2003.
- [2] J.Y. Sze, Chung-I. G. Hsu, M.H. Ho, Y.H. Ou, & M.T. Wu, “Design of circularly polarized annular-ring slot antennas fed by a double-bent microstripline”, *IEEE Trans Antennas Propag* Vol. 55, no. 6, pp. 3134-3139, 2007
- [3] C.C. Chou, K.H. Lin & H.L. Su, “Broadband circularly polarised cross patch-loaded square slot antenna”, *Electron. Lett.*, Vol. 43, no.9, pp. 485-486, 2007
- [4] R. P. Xu, X. D. Huang, and C. H. Cheng, Broadband circularly polarized wide-slot antenna, *Microwave Opt Technol Lett*, Vol. 49, no.5, pp.1005-1007, 2007
- [5] C. Deng, Q.X. Ke, R.J. Lin, and Y.T. King, “A circular cpw-fed slot antenna resonated by the circular loop for broadband circularly polarized radiation”, *Microwave Opt. Technol. Lett*, Vol. 50, no.5, pp. 1423-1426, 2008.
- [6] L.Y. Tseng & T.Y. Han, “Microstrip-fed circular slot antenna for circular polarization”, *Microwave Opt. Technol. Lett.*, Vol. 50, no. 4, pp. 1056-1058, 2008.
- [7] K. Deb, A. Pratap, S. Agarwal, and T. Meyarivan, “A Fast and Elitist Multiobjective Genetic Algorithm: NSGA-II”, *IEEE TRANS. EVOLUTIONARY COMPUTATION*, Vol. 6, no. 2, pp. 182-197, 2002.
- [8] E. Zitzler, L. Thiele, “Evolutionary algorithms for multiobjective optimization: Methods & applications”, *Doctoral dissertation ETH 13398*, ETH, Zurich, Switzerland, 1999
- [9] J.D.Knowles, D.W. Corne, “The Pareto archived evolution strategy: A new baseline algorithm for Pareto multiobjective optimization”, *Congress on Evolutionary Computation*, Piscataway, NJ, 1999

作者简介：

王安娜，女，博士生，主要研究领域为天线优化的理论及应用；

章文勋，男，教授、博士生导师，主要研究领域为工程电磁理论与微波技术，天线理论与技术等。

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>