

文章编号 1004-6410 (2007) 04-0057-03

PBG 结构方形切角微带天线的设计

曾文波^a, 赵嘉^b

(广西工学院 a. 电子信息与控制工程系, b. 计算机工程系, 广西 柳州 545006)

摘要:介绍了一种在传统方形切角微带元上加 PBG 结构的微带天线。在辐射元的四周刻蚀了等间距的方型贴片, 并在中心过孔与地板短路, 形成高阻抗表面(HIGP)。仿真和实测结果表明, 通过在方形切角微带元四周加高阻抗表面(HIGP)结构, 能使天线在不改变圆极化特性的基础上, 有效地改善天线的前后比, 提高天线的增益并有效减少天线的尺寸。

关键词:PBG 结构; 微带天线; 方向图; 增益

中图分类号: TN820.11 文献标识码: B

0 前言

微带天线具有体积小、重量轻、剖面薄、易于制造、成本低等特点, 得到了广泛应用。但其致命的弱点是频带窄, 且在地面尺寸和辐射单元尺寸接近的情况下, 存在较大的背向辐射, 其主要原因是表面波的存在, 这一特点使得微带天线的小型化受到了较大的限制^[1]。为克服这一弱点, 近年来在微带天线中引入 PBG 结构越来越引起人们的关注。所谓 PBG 结构, 是一种人为的周期结构, 其方法是在一种介质中周期地加入另一种介质来获得。PBG 结构具有很好的带阻特性, 能在一定频率范围内抑制电磁波在其中的传播。将 PBG 结构应用于平面微带天线上, 可有效地抑制表面波, 降低副瓣及后瓣, 提高天线增益和阻抗特性。在微带天线阵中引入了 PBG 结构还可以减小互耦。目前, 国内外文献中提出了四类实现 PBG 结构的方法^[2]: (1) 基片钻孔型; (2) 地面刻蚀型; (3) 高阻抗表面型(HIGP); (4) 共面光子带隙(uc-PBG 结构)。在微带天线中增加 PBG 结构来改善天线的性能甚至是获得锥形方向图, 国内外已有很多研究并取得了相当多的成果^[3]。

本文介绍了一种在方型切角辐射元四周加金属贴片的 HIGP 结构, 并制作了实际的天线进行测试比较。仿真和实测表明, 在约 12.3 GHz 中心频率上, 加 PBG 结构的方型切角微带天线与普通方型切角微带天线相比, 增益提高了约 1.5 dB, 而两个天线的圆极化特性特别是极轴比带宽并无明显改变。

1 PBG 结构微带天线的设计

1.1 方型切角圆极化天线的设计

首先设计了一个常规的方型切角微带天线(见图 1), 采用同轴底馈的方式给辐射元馈电, 选用的材料为 $\epsilon_r = 2.2$, 基片厚度 $h = 1.575$ mm 的 duroid 基片, 内导体直径为 1.3 mm, 在给定上述条件的前提下, 设计的内容主要是确定辐射贴片的边长 a 、切角长度 b 和馈电点的位置。为简化设计, 将馈电点选择在辐射元垂直方向中心线上, 这样, 馈电点的设计就只需确定参数 c 即可。

对于参数 a 、 b 、 c 的选择, 已有许多公式可参考, 本设计通过 Ansoft Ensemble 软件反复仿真得到, 方法是首先用方型贴片天线边长 a 的估算公式^[4]: $a = \frac{C}{2f_0} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}}$, (式中 C 为光速), 在中心频率 f_0 为 12 GHz 时, 初步确定边长 a 的范围, 然后经 Ansoft Ensemble 软件反复仿真来确定三个参数 a 、 b 、 c 。一组较好的数

收稿日期: 2007-10-15

基金项目: 广西工学院自然科学基金项目(061407)。

作者简介: 曾文波(1964-), 男, 广东茂名人, 广西工学院电子信息与控制工程系副教授。

据为: $a = 7.6 \text{ mm}$, $b = 2.2 \text{ mm}$, $c = 2.6 \text{ mm}$. 进一步的仿真结果表明, 将馈电点选在辐射元水平方向中心线对应的位置上, 天线只改变了圆极化的方向, 而其它参数并不改变^[5]。

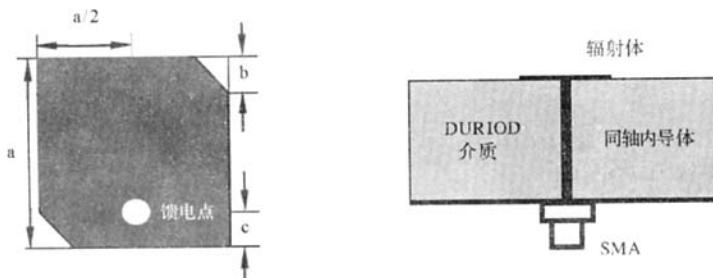


图 1 方型切角微带元及其同轴底馈结构

1.2 PBG 结构天线的设计

在成功设计上述普通方型切角同轴底馈圆极化微带天线的基础上, 设计了一个带 PBG 结构的天线, 做法是在上述方型切角辐射元的四周, 刻蚀一些周期性的方形贴片, 并在贴片中心过孔与地板短路, 以形成高阻抗表面(HIGP), 达到抑制表面波、改善天线性能的目的。由于 HIGP 结构的阻带中心频率是结构周期性的函数, 从简化设计的角度考虑, 选择的 HIGP 贴片是正方形的, 且在辐射元四周均匀分布, 天线地板尺寸为 $35 \text{ mm} \times 30 \text{ mm}$. 以天线的阻抗带宽和方向图特性为目标, 通过 HFSS 仿真, 得出一组较好的天线及 PBG 结构尺寸数据(见表 1)。

其中: a 、 b 、 c 是方型切角辐射元的尺寸; h 是基片的厚度; A 为 PBG 方型贴片的边长; g 为贴片间的间隙; d 是下地过孔直径。考虑到仿真的难度和天线

的小型化要求, 仿真是在辐射元周围加两圈 PBG 结构进行的。进一步的仿真结果表明, 改变 HIGP 贴片的高度, 天线的方向图、谐振频率和回波损耗均有改变。例如, 当 HIGP 贴片不是刻蚀在基片表面而是置于高于基片表面一定高度时, 天线的回波损耗将更小而方向图将更加尖锐。此外, 仿真结果还表明, 对于方型切角微带辐射元, 在实现相同增益的情况下, 带 HIGP 结构的辐射元, 其截面尺寸比普通的方型切角微带辐射元小 20% 左右, HIGP 结构对微带天线的小型化作用明显。

1.3 等效电路

HIGP 结构改善天线性能的原理在于^[6]: 在谐振频率上, 表面阻抗呈高阻状态, 阻止了表面电流, 从而抑制了表面波的传播。从电路分析的角度看, 金属 PBG 贴片间产生了等效电容 C , 而金属过孔的周围产生了电感, 故 HIGP 结构可等效为一个 LC 串并联的等效带阻滤波器(见图 2)。

$$C = \frac{A\epsilon_0(1 + \epsilon_r)}{\pi}$$

$$L = \mu h$$

其中: C 为等效电容; L 为等效电感; A 为 PBG 贴片的边长; h 为 PBG 贴片的对地高度。显然, 改变金属贴片尺寸、间距和高度, 都可以改变带阻滤波器的阻带范围。

2 仿真与实验结果

用 HFSS 和 Ansoft Ensemble 软件对上述结构的微带天线进行了多次仿真, 结果表明, 无 PBG 结构时,

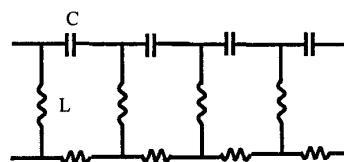


图 2 PBG 结构等效电路

VSWR 小于 2 的带宽约为 5%, 谐振点在 12.5 GHz 处, 此时右旋极化增益为 6.3 dB, 而左旋极化增益为 -14.2 dB, 故该天线元辐射的是右旋圆极化波, 且极轴比最小值 $AR = 1.64$ dB. 在 12.25 GHz~11.75 GHz 范围内, 极轴比 $AR < 3$ dB, 极轴比小于 3 dB 的相对带宽为 4.2%. 加 PBG 结构后, VSWR 小于 2 的带宽略下降, 而谐振频率基本没变, 且在谐振点增益达 8 dB, 同时天线的右旋极化特性和极轴比带宽基本没变。此外, 加 PBG 结构的天线比不加 PBG 结构的天线, E 面和 H 面方向图都要尖锐, 特别是 E 面方向图, 在最大辐射方向上, 场强值比为 100/78, (约 1.2 dB), 而背向辐射明显减弱, 体现了 PBG 结构对表面波的抑制作用, PBG 结构使原来通过表面波绕射到背向的辐射功率加强到了正向。

根据上述仿真设计结果, 实际制作了不带 PBG 结构和带 PBG 结构的方形切角微带天线, 腐蚀后的基片采用 2 mm 的铝板加固。采用 HP8720D 网络分析仪测试其 S 参数。测试结果表明, 带 PBG 结构的天线比不带 PBG 结构的天线 VSWR 小于 3 dB 的带宽略窄, 在(12.2~12.6)GHz 内, $VSWR < 2$, 实测的谐振频率为 12.3 GHz, (仿真值为 12.5 GHz), 在谐振频率上, 带 PBG 结构的天线增益达 7.3 dB, 比不带 PBG 结构的天线高约 1.5 dB, 与仿真结果相近。由于测试条件的限制, 未能对天线的方向图和极化特性进行测试。天线各参数仿真及测试结果如图 3 所示。

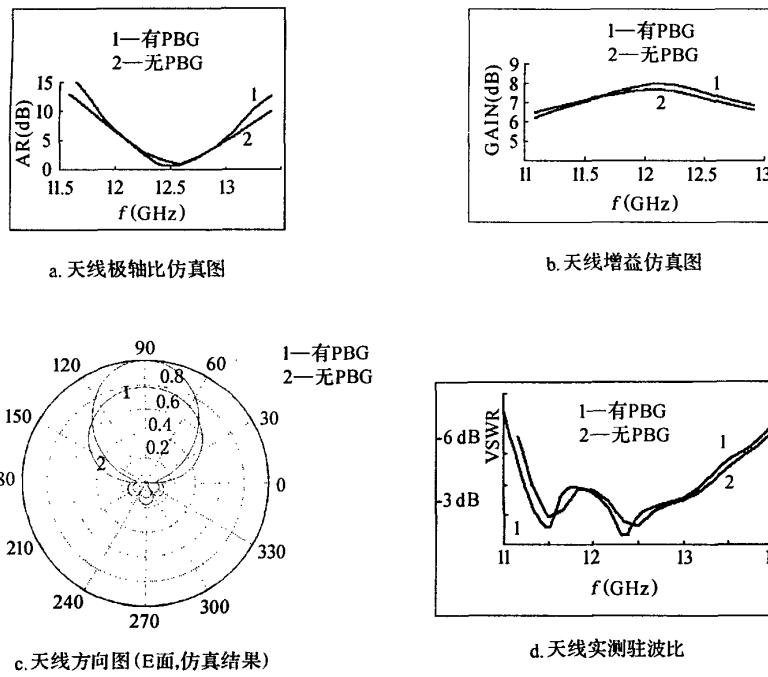


图 3 天线仿真及测试参数

3 结束语

通过抑制表面波, PBG 结构能使贴片微带天线的正前方辐射增加(1~2)dB, 将 PBG 结构应用在各种类型的微带辐射元中, 可以获得宽带、低背瓣辐射、更高增益的微带天线, 并使天线得到小型化。现将 PBG 结构引入到传统的方型切角微带天线中, 分析并设计、制作、测试了带 PBG 结构天线和无 PBG 结构天线的参数, 仿真和实测结果表明, 在 12.3 GHz 中心频率上, 所设计的 PBG 结构天线比不带 PBG 结构的天线增益要高 1.5 dB, 而阻抗带宽和极轴比小于 3 dB 的相对带宽基本保持不变, 设计达到了预期要求。

本文的创新点在于: 提出了一种简单的 PBG 结构微带天线, 通过在传统方型切角微带辐射元的四周刻

(下转第 67 页)

ical interface for simulation screen. The paper presents the composition, operating principle and design principle and method of key components, also introduces a development idea of generating operation ticket and a implementation process for the five kinds of guard against misoperation. The system proved to be simple in configure and easy in operation. It can be applied in single substation and also in centralized-control substation. And its application in the 500kV Yulin substation was verified to be effective.

Key words: microcomputer guard against misoperation; spatial procedure; negative electricity examination; closed-end equipment

(责任编辑 李 捷)

~~~~~

(上接第 59 页)

蚀方型中间过下地孔贴片的方法,在不影响天线阻抗带宽和圆极化特性的前提下,有效地减少了方型切角微带辐射元的背向辐射,提高了天线的增益。

## 参 考 文 献:

- [1] 钟顺时. 微带天线理论与应用[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1992. 48~15.
- [2] 高向军, 朱莉, 赵海洲. 一种宽带微带贴片天线的新设计[J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2007, 8(4): 39~41.
- [3] 郑秋容, 袁乃昌, 付云起. 紧凑型电磁带隙结构在短路微带天线中的应用[J]. 电子与信息学报, 2007, 29(7): 1500~1502.
- [4] 扬绍华, 张福顺, 焦永昌. EBG 结构的小型圆极化微带天线[J]. 电子学报, 2004, 32(11): 1930~1932.
- [5] 曾文波. 方形切角圆极化微带天线的设计[J]. 广西工学院学报, 2004, 15(3): 13~16.
- [6] LIANG Xian-ling, ZHONG Shun-shi, WANG Wei. Wideband dual-polarized slot-coupled microstrip array for synthetic aperture radar application[J]. JOURNAL OF SHANGHAI UNIVERSITY(ENGLISH EDITION), 2007, 11(3): 283~285.

## Design of PBG in the square patch with truncated corners microstrip antenna

ZENG Wen-bo<sup>a</sup>, ZHAO Jia<sup>b</sup>

(a. Electronics Information & Controlling Department, b. Computer Engineering Department,  
Guangxi University of technology, Liuzhou 545006, China)

**Abstract:** A new PBG structure for the square patch with truncated corners microstrip antenna is presented. The probe-fed patch is surrounded by some etched square patches which are shorted to the ground. Simulation and experimental results show that this HIGP structure can improve the front to back ratio and the gain, meanwhile the circularly polarization performance is maintained.

**Key words:** PBG structure; microstrip antenna; directional diagram; antenna gain

(责任编辑 李 捷)

## 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](http://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](http://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](http://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>