

# EBG 结构在阿基米德天线中的应用

姜 南, 杨莘元, 吴 凯

(哈尔滨工程大学信息与通信工程学院, 哈尔滨 150001)

**摘要:** 提出了一种基于 EBG 结构的天线系统截面优化方案, 采用 EBG 结构代替以往常用的  $\lambda/4$  反射腔结构, 可以使天线系统截面高度大大缩减。并对背面加载 EBG 结构的阿基米德螺旋天线辐射特性进行了仿真分析, 仿真结果表明 EBG 结构可以代替反射腔结构使天线具有单向辐射特性。

**关键词:** EBG 结构; 阿基米德螺旋天线; 单向辐射特性

## Application of EBG structure in Archimedean antenna

JIANG Nan, YANG Shen-yuan, WU Kai

(School of Information & Communication Engineering, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China)

**Abstract:** This paper introduced an optimized method of low-profile antenna based on electromagnetic band-gap structure. Utilization of an EBG structure greatly reduces the height of low-profile antenna, including the thickness of the EBG structure, instead of the traditional  $\lambda/4$  cavity backing implementation of spiral antennas. Then Archimedean spiral antenna with EBG structure is simulated by Ansoft HFSS. According to the simulation results, the antenna with EBG structure has single radial characteristic instead of the traditional  $\lambda/4$  cavity.

**Key words:** electromagnetic band-gap structure; Archimedean spiral antenna; single radial characteristic

电磁带隙 EBG 结构是从光子带隙结构<sup>[1]</sup>发展而来, 具有周期特性, 能够使某些频段的电磁波无法从中通过, 存在明显的频率禁带特性。目前, 国内对 EBG 结构电磁特性的分析研究已有不少文献, 对于 EBG 高阻表面结构用于天线系统, 国内外也有学者进行过研究<sup>[2]</sup>, 他们研究了在单极子天线周围附加 EBG 高阻表面结构来提高天线增益, 但对 EBG 结构应用于超宽带天线系统的文献却不多见。本文主要对 EBG 高阻表面结构应用于阿基米德螺旋天线进行了研究, 研究表明 EBG 结构可以被用来加载于阿基米德螺旋天线背部, 使其得到单向圆极化辐射, 与背面加载反射腔结构的阿基米德螺旋天线<sup>[3]</sup>相比, 天线方向图的前后辐射比、天线增益相当, 但结构尺寸缩减近 70%。充分证明了 EBG 结构可以用于超宽带天线系统的小型化设计。

## 1 EBG 结构分析

EBG 方形高阻表面结构如图 1(a), 图 1(b)所

示, 假设方形高阻表面的结构参数为: 正方形金属贴片边长为  $w$ , 周期长度为  $a$ , 单元间的缝隙为  $g$ , 金属柱的直径为  $d$ , 基板材料的厚度为  $h$ , 基板介电常数为  $\epsilon_r$ , 磁导率为  $\mu_0$ 。

EBG 高阻表面可以等效为二维电容电感网络, 每个单元可以等效为  $LC$  串联电路如图 1(c)所示。将表面阻抗等效为平面谐振电路的阻抗, 表面阻抗在谐振频率附近变得很大。表面阻抗高的频率范围就是频率阻带, 即电磁带隙。由文献[4]可知, EBG 的带隙中心频率及 3dB 带宽可以分别由以下近似公式求得:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (1)$$

$$\Delta f = f_0 \frac{1}{\eta} \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (2)$$

收稿日期: 2006-11-27

作者简介: 姜南(1981-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为微波天线。

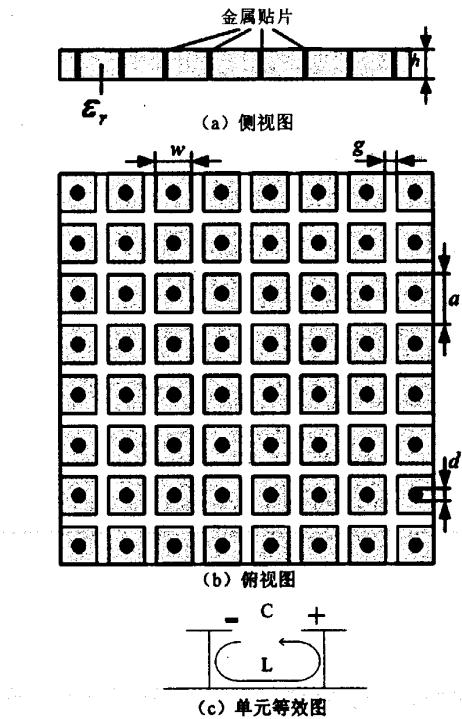


图 1 EBG 结构示意

其中,  $f_0$  为带隙中心频率,  $\Delta f$  为带隙宽度,  $\eta = 120\pi$ , 即自由空间的波阻抗,  $L = \mu h$ ,

$$C = \frac{(\epsilon_0 + \epsilon_r)}{\pi} \cosh^{-1} \left[ \frac{2w + g}{g} \right] \quad (3)$$

高阻表面能抑制带隙频率范围内表面波的传播, 当将它作为天线地加载于天线的背面时, 由于介质截断处不连续引起的表面波辐射将会被抑制, 从而减小天线的背瓣和旁瓣辐射。高阻表面可以看成人造“磁壁”即 PMC 理想磁介质。如果天线放置在高阻表面上, 由高阻表面引起的水平镜像电流将与天线振子上的电流同相, 而不是像理想电壁那样为反相。所以高阻表面能加强天线的正面辐射, 而不是像电壁那样将之削弱。因此, 高阻表面可以作为天线地, 并有效地减小了有地天线的高度。

## 2 EBG 性能分析

为验证 EBG 高阻表面结构在改良天线方向图的前后辐射比方面的效用, 根据上述理论设计了一种带隙中心频率为 12GHz 的 EBG 高阻表面结构。选择介质基板的相对介电常数  $\epsilon_r = 2.2$ ,  $h = 1.425\text{mm}$  ( $0.05\lambda_{12\text{GHz}}$ ), 高阻表面面积  $27.5\text{mm} \times 27.5\text{mm}$  ( $1.1\lambda_{12\text{GHz}} \times 1.1\lambda_{12\text{GHz}}$ ), 金属贴片边长  $w = 3\text{mm}$  ( $0.12\lambda_{12\text{GHz}}$ ), 短路金属柱直径  $d = 0.125\text{mm}$  ( $0.005\lambda_{12\text{GHz}}$ ), 周期单元间的距离  $g = 0.5\text{mm}$  ( $0.02\lambda_{12\text{GHz}}$ )。该结构在带隙频率范围内可以抑制表面波的传播, 可以被看作“人造”

PMC 理想磁介质。设计一种对称阵子天线, 其工作频率为带隙中心频率 12GHz, 单个阵子长度为 5mm ( $0.2\lambda_{12\text{GHz}}$ ), 阵子半径  $0.125\text{mm}$  ( $0.005\lambda_{12\text{GHz}}$ )。将对称阵子天线分别置于 EBG 结构(如图 2 所示)、PMC 理想磁介质、PEC 理想电介质上方  $0.5\text{mm}$  ( $0.02\lambda_{12\text{GHz}}$ ) 处。采用基于有限元法的数值计算软件 Ansoft HFSS 对三种天线系统进行模拟。计算得到天线的远场方向图、输入回波损耗  $S_{11}$ 。

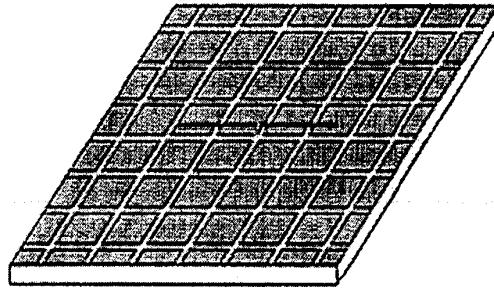


图 2 EBG 结构对称阵子天线

图 3 是对称阵子天线分别置于 EBG 结构、PMC 理想磁介质上方时天线的远场方向图。结果表明, EBG 结构对称阵子天线方向性系数可以达到 8dB, 且 EBG 结构、PMC 理想磁介质分别作为天线地时, 两者天线方向图基本吻合。说明在提高天线方向图的前后辐射比方面, EBG 结构可以准确的模仿理想磁介质 PMC。

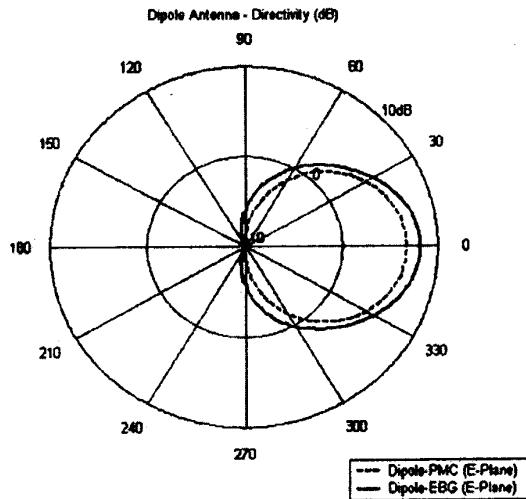


图 3 远场方向图

以  $50\Omega$  传输线作为馈线的情况下, 比较三种材料作为天线地时天线的输入回波损耗  $S_{11}$ 。如图 4 所示, 天线放置在 PEC 材料表面上时, 回波损耗  $S_{11}$  只有  $-1\text{dB}$ , 这是因为理想电介质引起的平面镜像电流将与天线上的电流反相, 反相镜像电流削弱了对天线的正面辐射。而天线放置在 PMC 材料表面

上时,表面引起的平面镜像电流将与天线上的电流同相,所以 PMC 表面能加强天线的正面辐射,回波损耗  $S_{11}$  达到  $-17.8\text{dB}$ 。但天线的输入阻抗不能很好地和  $50\Omega$  傅线匹配,为得到较好的回波损耗必须进行阻抗匹配。虽然 PMC 材料可以被用来实现天线的单一方向辐射,但 PMC 是一种假想材料,自然界中并没有真正意义上的 PMC。最好的回波损耗  $S_{11}$  可以达到  $-32\text{dB}$ ,出现在天线放置在 EBG 材料表面上时。此时,平面镜像电流的相位可以随频率的变化从 0 度到 180 度变化,说明在特定频带内 EBG 材料可以实现理想磁介质 PMC 的作用。仿真结果表明,EBG 结构起到了改善天线输入阻抗,增强前向辐射,抑制后向辐射,提高天线前向增益的作用。

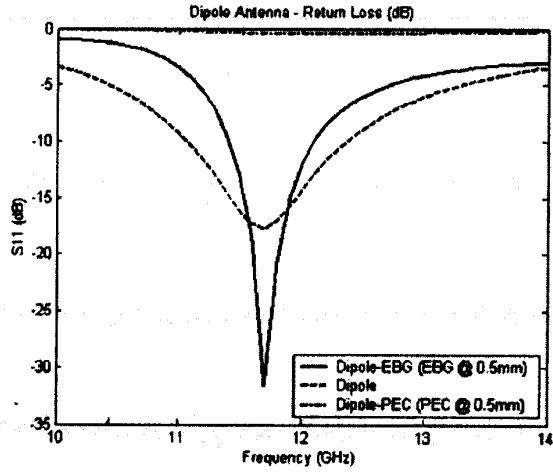


图 4 回波损耗图

### 3 阿基米德天线中 EBG 结构的应用

#### 3.1 EBG 结构阿基米德天线

阿基米德平面螺旋天线是由两条阿基米德螺旋线构成的天线,两条阿基米德螺旋线的方程分别为:  
 $r_1 = r_0 + \alpha\varphi$  和  $r_2 = r_0 + \alpha(\varphi - \pi)$ ,式中  $r_0$  是起始半径,  $\alpha$  是螺旋增长率。本文选择自补型阿基米德平面螺旋天线,即天线带线宽度  $w$  等于缝隙宽度  $s$  的阿基米德螺旋天线,天线结构如图 5 所示。经典阿基米德螺旋天线的尺寸设计原则是:外径  $R_0 = 1.5 \times (\lambda_L/2\pi)$ ,内径  $R_1 = 0.5 \times (\lambda_H/2\pi)$ 。其中  $\lambda_H, \lambda_L$  分别为最小和最大工作波长,即上限频率、下限频率分别对应的波长。这一结论已经得到了证明<sup>[5]</sup>。

设计中心频率为  $12\text{GHz}$ ,工作频率范围为  $8\text{GHz} \sim 16\text{GHz}$  的阿基米德天线。天线的结构参数应为:  
 $w = s = 0.4\text{mm}$ ,外半径  $R_0 = 9\text{mm}$ ,内半径  $R_1 = 1.5\text{mm}$ 。为证明 EBG 高阻表面结构在超宽带天线系统中的作用,将阿基米德天线放置于先前设计的带

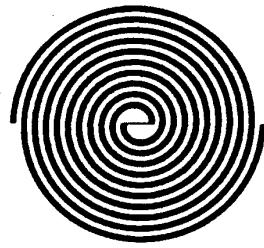


图 5 阿基米德螺旋天线

隙中心频率为  $12\text{GHz}$  的 EBG 高阻表面结构上方  $0.5\text{mm}(0.02\lambda_{12\text{GHz}})$ ,组成 EBG 结构阿基米德天线系统。

#### 3.2 天线性能分析

比较由 HFSS 仿真得到的阿基米德平面螺旋天线分别置于 EBG 结构、PMC 理想磁介质、 $\lambda/4$  反射腔结构上方时天线增益如图 6 所示。由图可知,这三种结构作为天线地加载在阿基米德平面螺旋天线背面都可以增强天线的前向辐射,抑制后向辐射,提高天线前向增益。进一步证明了 EBG 结构可以在宽带范围内作为人造“磁壁”代替 PMC 理想磁介质。加载 EBG 结构和  $\lambda/4$  反射腔结构的阿基米德平面螺旋天线正向天线增益都可以达到  $9\text{dB}$ ,但加载 EBG 结构后的整个天线系统的截面高度仅为加载  $\lambda/4$  反射腔结构时的  $32\%$ 。

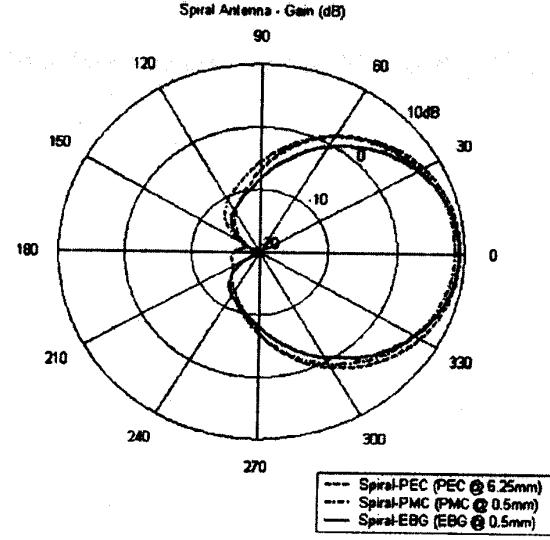


图 6 天线增益图

回波损耗  $S_{11}$  如图 7 所示,在阿基米德天线背面分别加载 EBG 结构和  $\lambda/4$  反射腔结构时天线的回波损耗随工作频率的变化而变化,且两种情况下对天线的影响很相似。但背面加载 EBG 结构的阿基米德平面螺旋天线在频带  $10.3\text{GHz} \sim 16\text{GHz}$  内回波损耗可以达到  $-27\text{dB}$  左右,可以满足设计要求,如对 EBG 结构进行进一步优化设计可以(下转第 152 页)

个成员。

## 6 网络安全技术

网络互联的规模越大,安全问题就越突出。安全技术问题涉及安全策略、移动代码、指令保护、密码学、操作系统、软件工程和网络安全管理等内容。

当前,Internet 的安全技术问题集中在以下四个方面:

(1)端到端的安全问题:主要指用户(包括代理)之间的加密、鉴别和数据完整性的维护。

(2)端系统 的安全问题:主要涉及防火墙技术。

(3)安全服务质量问题:主要指如何保证合法用户的带宽。防止用户非法占用带宽。

(4)安全的网络基础设施:主要涉及路由器、域名服务器,以及网络控制信息和管理信息的安全问题。

## 7 计算机网络技术的未来综述

计算机网络技术的发展方向是开放、集成、高性能和智能化。

(1)开放:开放的体系结构、开放的接口标准,使

(上接第 97 页)达到更加理想的效果。

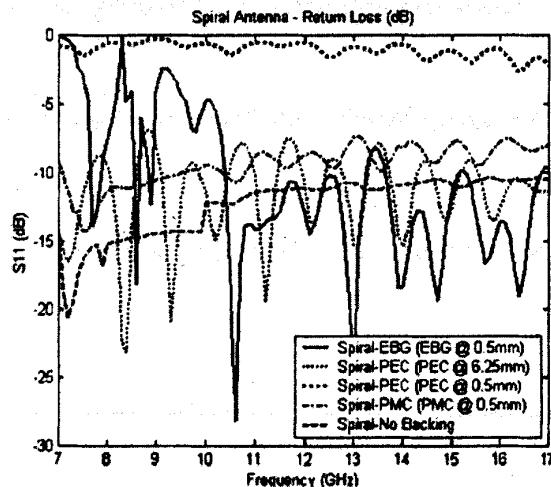


图 7 天线回波损耗图

## 4 结束语

阿基米德螺旋天线具有超宽带、薄断面的特点,被广泛应用于移动通讯、探地雷达等领域。但应用于某些系统(如探地雷达)中,需要阿基米德天线有单向辐射特性,常用的做法是在天线背面加载反射腔结构。本文通过仿真证明了 EBG 结构可以同样有效地提高天线前后辐射比,实现天线单向辐射。而且,采用 EBG 结构后,整个天线系统(含 EBG 结构)的截面高度比加载反射腔结构时可以减少近

各种异构系统便于互联和具有高度的互操作性,归根结底是标准化技术问题。

(2)集成:表现在网络的各种服务与多媒体应用的高度集成,在同一个网络上,允许各种消息传递。既能提供单点传输,也能提供多点传递;既能提供无特殊服务质量要求的信息传输,也能提供有一定时延和差错要求的确保服务质量的实时传递。

(3)高性能:表现在网络提供高速率的传输、高效率的协议处理和高品质的网络服务。

(4)智能化:表现在网络的传输和处理上。能向用户提供更为方便、友好的应用接口。在路由选择、拥塞控制和网络管理等方面显示出更强的主动性。尤其是主动网络的技术研究,使得网络内执行的计算能动态地变化,该变化可以是“用户指定”或“应用指定”,而且用户数据可以利用这些计算。计算机网络技术的未来趋势是优化网络体系结构、提高网络传输效率和解决网络关键技术。

责任编辑:么丽革

70%。阿基米德天线背面加载 EBG 结构后,天线具有单向辐射特性,同时仍然具有原型天线薄截面的特点。

本文采用的 EBG 结构属于金属化过孔的高阻抗表面型,表面金属贴片为正方形。为提高带隙宽度即阻带带宽,在文献[6]中,将金属贴片形状变为圆形或六变形。还有一些其他类型的 EBG 结构,如介质基片内钻孔型、接地板上刻蚀周期性的槽或图案型。在进一步的研究中,可以将阿基米德天线与不同的 EBG 结构相结合,以获得更佳的天线性能和更小的天线截面。

### 参 考 文 献:

- [1] Yablonovitch E. Inhibited spontaneous emission in solid-state physics and electronics[J]. Phys Rev Lett, 1987, 58(20): 2059–2062.
- [2] 胡荣,张雪霞. PBG 结构特性的研究及其在天线中的应用[J]. 电子学报, 2003(12).
- [3] 陈小娟,袁乃昌. 平面螺旋天线的设计与实现[J]. 雷达与对抗, 2004(4).
- [4] Fan Yang, Yahya Rahmat-Samii. Mutual coupling reduction of microstrip antennas using electromagnetic band-gap structure[C]. IEEE AP-s Digest. USA: IEEE, 478–481.
- [5] Caswell E D. Design and Analysis of Star Spiral with Application to Wideband Arrays with Variable Element Sizes[M]. Virginia Polytechnic and State University, MS Thesis, Dec 2001.
- [6] Yang F, Rahmat-Samii Y. Reflection phase characterizations of the EBG ground plane for low profile wire antenna applications[J]. IEEE Trans. Antennas Propagat, 2003, 51: 2691–2703.

责任编辑:肖滨

## 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>