不完整带隙结构在微带天线中的应用

吕善伟 赵晓纪 冯文全 张江林

(北京航空航天大学 电子信息工程学院, 北京 100191)

摘 要: 为了使微带贴片天线满足导航和通信等应用设计的某些特殊要求,提出了一种可改善微带天线性能的不完整电磁带隙结构:首先在普通的切去两个对角的方形圆极化贴片天线周围一定距离处附加电磁带隙结构,使谐振频率增加而带宽变化不大;然后,在此基础上又将接地板外侧四边切去窄方形金属层,从而形成方形环介质层.仿真结果表明:新型结构可提高传统贴片天线的低仰角增益和总增益,同时可使传统微带天线较好地实现双频工作.

关 键 词: 微带天线; 带隙结构; 双频

中图分类号: TN 823.27

文献标识码: A 文章编号: 1001-5965(2008)08-0904-03

Application of new defected EBG structure in microstrip antenna

Lü Shanwei Zhao Xiaoji Feng Wenquan Zhang Jianglin

(School of Electronics and Information Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China)

Abstract In order to meet some specific application requirements for microstrip patch antenna in navigation and communication project, a novel defected electromagnetic band-gap (EBG) and ground structure designed for improving the performance of traditional microstrip patch antenna was presented. For building this structure, several EBG elements were firstly placed near a usual circularly polarized square microstrip patch with two opposite corners cut. This can enhance the resonance frequency and change only slightly the bandwidth of the patch antenna. Then a thin square metal layer was cut off from four sides of the ground plane to forms a square loop of dielectric layer. The results of numerical simulation show that the new structure is able to improve the performance of antenna gain including total and low elevation situation, and the microstrip patch antenna equipped with this structure can be treated as a dual-frequency antenna.

Key words microstrip antenna; electromagnetic band-gap; dual frequency

近年来,在卫星通信系统中所应用的天线,要求具有体积小、剖面低、馈电形式可多样、易于实现共形和圆极化等特点.此外在一些卫星通讯工程中,还要求天线可以实现双频工作.微带天线由于具备相应的优势,因而在该领域内得到广泛的应用.本文提出了一种新的带隙结构的应用,引入到传统贴片天线系统中.电磁带隙结构刚刚兴起不久,虽日益显现出它的优点,但理论研究还待完善.本文从应用和仿真方面讨论,获得具有一定参考价值的结果.仿真结果证明,改进后的天线系统可以实现双频工作,且具有良好的低仰角增益和匹配性,同时保持不带 EBG (Electromagnetic Band-Gap)的孤立贴片天线的圆极化特点.

1 不完整带隙结构

1.1 天线设计

本文所采用的带隙结构,不同于传统类型[1-2],它是在贴片天线(文中称 A 天线)所在的平面上蚀刻若干正方形小贴片(不馈电),组成不完整的一个 $n \times n$ 的正方形块阵,所谓不完整块阵指的是其中心部分无方形块阵元,取而代之的是有馈电的常规帖片天线.图 1为本文所提出的天线系统(文中称 B 天线)结构的俯视示意图.选用具有圆极化的方形切角贴片作为天线辐射体,贴

收稿日期: 2007-07-19

基金项目: 国家 863计划资助项目(2006AA12A110)

作者简介: 吕善伟(1937-),男,辽宁大连人,教授, lueshw@buaa.edu.cn.

片的边长为 W, 两个对角的切角边长度为 C, 馈电点与贴片几何中心点距离为 P_x; 介质基板为正方形, 边长为 W_g; 新加入的带隙结构中, 每个带隙单元均为正方形, 边长为 a, 相邻两单元间距为 x_1, 相邻单元侧边中心间距为 $(x_1 + a)$; 天线贴片与其最近的 EBG单元的间距为 L. EBG 单元的数目则依据各项性能的仿真效果好坏来确定. 本文在 X 波段进行了仿真设计.

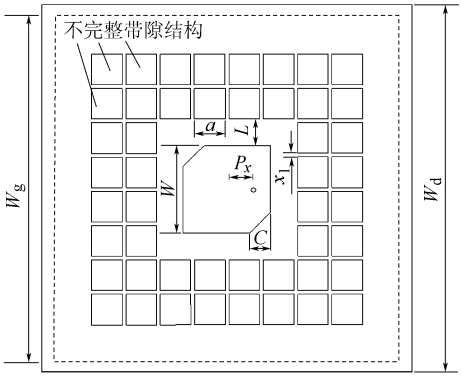


图 1　不完整带隙结构与贴片天线示意图 (单位: mm)

通常, 微带天线在一些实际应用中只希望有一个谐振点, 这时需要采取相应的措施来抑制多余谐振的发生, 比如引入某些常见的电磁带隙结构[3]. 然而如果在两个谐振频点附近都能保证足够的阻抗带宽, 则可以认为此时的天线是作为一个双频天线在工作, 尤其对于要求工作在多模模式下的天线来说, 无疑是十分有利的. 本文所设计的天线属于这种情况.

根据传输线模型[4-5]估算辐射贴片的边长为

$$W = \frac{c}{2f_0}\left(\frac{\varepsilon_r + 1}{2}\right)^{-\frac{1}{2}} \approx 9.4$$

式中, f_0选 9.6GHz, c为光速; ε_r为介质相对介电常数. 提高介质基板厚度 h 可提高带宽和效率, 但为了抑制表面波辐射的产生, 其厚度须满足

$$h_d \leqslant \frac{0.3c}{2\pi f_u \sqrt{\varepsilon_r}} \approx 6.8$$

其中 f_u为最高工作频率, 取 f_u = 10GHz

本文选取厚度符合上述要求的相对介电常数为 4.44,损耗角正切为 0.0019的介质基板.

1.2　带隙结构对天线匹配和增益的改善

经过 AnsoftHFSS软件的反复仿真计算, 最终得到一组比较理想结构的各部分尺寸为: W = 8.1, C= 1.7, P_x = 1.5, W_d = 200.6, a = 6.8, x_1 = 0.6, L= 11.6. 不完整带隙结构, 是在 8×8单元的完整带隙结构的中心处去掉 4×4单元构成的. 若以 $|s_{11}|$参数考察天线的匹配情况, 由图 2可见, 天线工作在 8.8GHz时加入带隙结构后天线的谐振点向右偏移 50MHz, 谐振深度几乎没有变化. 而天线工作在 9.6GHz时, 加入带隙结构后天线的谐振点向右偏移 100MHz, 谐振曲线深度则深了 6 dB. 这说明引入本文提出的带隙结构, 对原天线的谐振频点存在一定影响, 但对带宽的影响不是很大. 因此在设计过程中可以先设计一个工作在指定频点的单个传统贴片天线, 在引入此种带隙结构以改善天线性能的同时, 对贴片天线的尺寸加以微调即可使其谐振频率回到指定值. 这将使天线的设计过程大大简化.

若以电压驻波比小于 1.5作为标准确定天线的工作频带, 则引入带隙结构后, 天线工作在 8.8GHz左右时的带宽可达到 200MHz, 工作在 9.6GHz左右时的带宽可达到 400MHz, 在两个频点上都具有良好的带宽性能 (图 2和图 3). 8.64~ 9.91GHz范围内驻波比均小于 2(图 3).

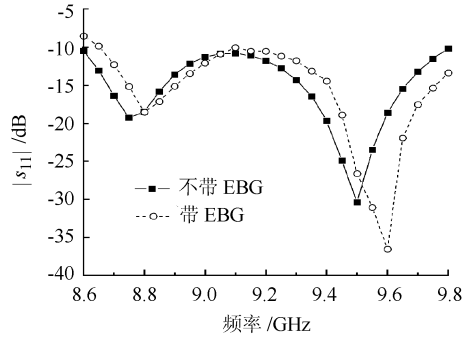


图 2　带有与不带有带隙结构的两种天线馈电口的 $|s_{11}|$ 随频率变化的曲线

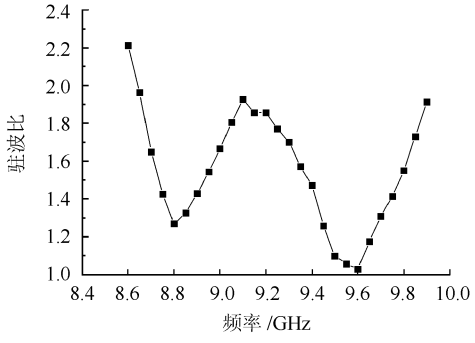


图 3　加入不完整带隙结构的天线驻波比

通过观察发现, 引入带隙结构之后, 对天线总体性提升最多的还是在增益方面, 尤其是低仰角的增益. 以 $\varphi = 0°$的平面为例, 天线工作在 8.8GHz附近时, 在加入带隙结构之后, 天线的辐射方向图在天顶处略有塌陷, 但最高增益和 70°角处的增益比传统贴片天线分别提高了 0.6 dB 和 1.5 dB左右 (表 1). 对比两者的方向图 (图 4) 可知, 加入带隙结构之后, 展宽了方向图的底部, 这对于低仰角性能有很高要求时是十分重要的.

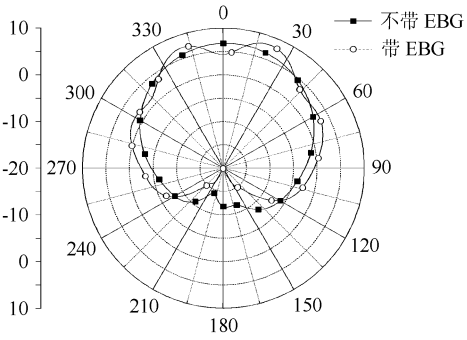


图 4 两种天线工作在 8.8GHz时 φ= 0°平面的增益

表 1 A, B两种天线工作在 8.8GHz时增益比较

天 线	增益 /dB		
	天顶增益	最大增益	70°角处增益
A	6.75	6.764	0.475
B	5.198	7.394	2.026

当天线工作在 9.6GHz时, 由图 5和表 2可以看出, 不完整带隙结构只改善了总增益和最大增益, 分别提高 0.75 dB左右. 但低仰角增益反而下降.

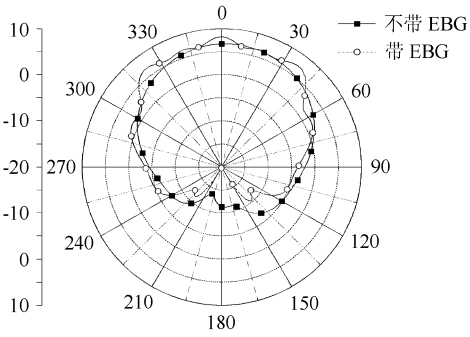


图 5 两种天线工作在 9.6GHz时 φ= 0°平面内的增益

表 2 A, B两种天线工作在 9.6GHz时增益比较

天 线	增益 /dB		
	天顶增益	最大增益	70°角处增益
A	6.724	6.734	0.916
B	7.507	7.507	-0.683

2 不完整接地板的带隙结构

2.1 天 线

本文对传统贴片天线的另一改进是剥掉基板背面金属接地板边缘一圈方形环的金属层 (介质板大于接地金属面), 即保持图 1的帖片与带隙不变, 仅仅将接地板外边四周切去方的环形金属层片, 留下边长为 W_g 的正方形金属接地板, 使接地板没有完全覆盖介质板 (文中称 C天线). 这样在接地板覆盖范围以外的介质板也有辐射作用, 其工作机理类似于“介质天线”. 选用 50Ω 的 SMA 接头对贴片天线进行单点馈电.

2.2 仿真结果及分析

若保持本文中介质板尺寸不变, 对于接地板不完全覆盖介质板的情况, 取 W_g = 146.6(见图 1虚线, 有金属层接地板外边至天线最大外边距离为 27mm), 当天线工作在 8.8GHz时, 70°角增益为 2.542 dB, 比地板完全覆盖的情况高 0.516 dB左右; 而最大增益可达 8.183 dB, 比地板完全覆盖的情况高 0.8 dB左右 (见表 3).

表 3 B, C两种天线工作在 8.8GHz时增益比较

天 线	增益 /dB		
	天顶增益	最大增益	70°角处增益
B	5.198	7.394	2.026
C	4.644	8.183	2.542

由表 4可见 , 在引入不完全覆盖的地板结构之后, 当天线工作在 9.6GHz的时候, 不但总增益 (同时也是最大增益)有所提升, 低仰角增益也提高了 1.38 dB左右, 克服了地板完全覆盖时不完整带隙结构在此频点上低仰角增益低的不足.

表 4 B, C两种天线工作在 9.6GHz时增益比较

天 线	增益 /dB		
	天顶增益	最大增益	70°角处增益
B	7.507	7.507	-0.683
C	8.183	8.183	0.701

3 结 论

本文提出了一种不完整带隙结构和应用, 该结构可以提高传统微带天线的低仰角增益和总增益, 同时使天线在两个工作频带内都具有较宽的带宽, 并且易于加工制造. 与常规微带贴片天线相比, 增加了天线总尺寸是其要克服的缺点.

参考文献 (References)

[1] 张国华, 袁乃昌, 付云起. FDTD方法分析光子带隙微带结构 [J]. 微波学报, 2001, 17(4), 14-17
Zhang Guohua, Yuan Naichang, Fu Yunqi. Analyzing photonic band-gap microstrip structure with FDTD method[J]. Journal of Microwaves, 2001, 17(4): 14-17(in Chinese)

[2] Yablonovitch E. Photonic band-gap structures [J]. Opt Soc Amer B, 1993, 10: 283-295

[3] 闫丽萍, 刘春恒, 刘长军. 不同电磁带隙结构对微带天线性能的影响 [J]. 电讯技术, 2006 (01): 135-138
Yan Liping, Liu Chunheng, Liu Changjun. The influences from different photonic band-gap structure to microstrip antenna's performance[J]. Telecommunication Engineering, 2006(01): 135-138(in Chinese)

[4] Balanis C A. Antenna theory-analysis and design[M]. 3th ed. New York: John Wiley & Sons, 2005: 869-870

[5] Pozer D M, Schaubert D H. Microstrip antenna: the analysis and design of microstrip antenna and array [C] // IEEE Anterrna and Propagation Society, 1995

(责任编辑: 娄 嘉)