

文章编号: 1001 - 893X(2011)06 - 0125 - 05

一种采用电磁带隙结构地板的微带八木天线*

曾文波, 赵 嘉, 黄庆南

(广西工学院 电子信息与控制工程系, 广西 柳州 545006)

摘要:提出了一种采用二维电磁带隙结构地板为反射器的微带八木天线。对所构造电磁带隙结构的电磁传输特性进行了研究,通过 HFSS 仿真和优化,使所设计天线的谐振频率落在电磁带隙地板阻带范围之内,有效地提高了天线的增益和阻抗带宽。实测结果表明,在 2.3 ~ 2.75 GHz 频率范围,所设计天线的回波损耗 $S_{11} \leq -10$ dB,其阻抗相对带宽为 18%,最大辐射方向增益达 10.1 dBi,而相同结构但采用普通金属地板为反射器的对比天线,其阻抗相对带宽为 12%,增益为 8 dBi。研究结论对平面、高增益天线的设计具有很好的参考价值。

关键词:微带天线;八木天线;电磁带隙;相对带宽

中图分类号: TN823 文献标识码: A doi: 10.3969/j.issn.1001-893x.2011.06.028

A Microstrip Yagi Antenna with Electromagnetic Band - gap Ground Plane

ZENG Wen-bo, ZHAO Jia, HUANG Qing-nan

(Electronic Information & Control Engineering Department, Guangxi University of Technology, Liuzhou 545006, China)

Abstract: A microstrip Yagi antenna that employs a 2 - D EBG (Electromagnetic Band - gap) ground plane as the reflector is presented in this paper. The EBG structure has been designed and studied. With the aid of HFSS software, the antenna is designed and optimized so that its resonance frequency is within the band - gap frequency of the EBG ground plane, therefore the antenna gain is enhanced and the impedance bandwidth is extended effectively. Measurement results show that the S_{11} of the proposed antenna prototype is less than 10 dB over 2.3 ~ 2.75 GHz with a relative bandwidth of 18% and a peak gain of 10.1 dBi at bore - sight, while the contrast antenna using a normal metal ground plane as the reflector achieves a relative bandwidth of 12% and a peak gain of 8 dBi respectively. The research presented in this paper has a good reference value for the design of planar high gain antennas.

Key words: microstrip antenna; Yagi antenna; electromagnetic band - gap (EBG); relative bandwidth

1 引言

八木天线由于具有体积小、结构简单、增益高等特点,在雷达和通信系统中得到了广泛的应用。基于微带结构的八木天线,由于同时具备了半波振子

类天线的特点和微带结构的诸如体积小、重量轻、剖面低、具有平面结构以及易于与导弹、卫星等载体表面共形等优点,其研究也越来越引起了人们的兴趣。与普通边向辐射的微带贴片类天线不同,微带八木天线是端向辐射的,其最大增益方向可与微带基片

* 收稿日期: 2011 - 03 - 30; 修回日期: 2011 - 05 - 19

基金项目: 广西自然科学基金资助项目 (0832062)

Foundation Item: The Natural Science Foundation of Guangxi (No. 0832062)

的法线方向相垂直,并可以通过调整微带振子长度、数量以及振子间距等参数来改善天线的性能,特别是用于提高天线的增益。通常,可以通过增加引向器数量的方法来提高八木天线的增益^[1],显然,这种方法是以增大天线的体积为代价的。

电磁带隙(Electromagnetic Band-gap, EBG)结构是一种人为的周期结构,主要是通过通过在一种材料中周期地加入另一种材料来获得。在微波频段,EBG结构具有很好的阻带特性,能很好地抑制一定频带内电磁波在其中的传播。近年来,将EBG结构引入到微带天线的设计中,用于抑制表面波、降低天线的副瓣、提高天线增益和前后比,国内外有很多文献报道,其相关研究也取得了很大的进展^[2~4]。在阻带频率范围内,具有高阻抗表面(High-impedance Surface)的EBG结构对电磁波的反射具有同相位反射的效果,即对于垂直入射到EBG结构上的电磁波,其反射波和入射波相位是相同的,这一零反射相位特性类似于理想磁导体(PMC)材料,故带有高阻抗表面EBG结构的微波材料也常常被称为人工磁导体(AMC)材料^[5]。在常规八木天线的设计中,有源振子和反射器的距离必须设置在0.15~0.25个波长之间才能获得最大的增益,而采用PMC材料或者AMC材料作为反射器,可以不受此约束,反射器可以和有源振子离得很近,这在天线的低剖面、小型化设计中具有十分重要的意义。

文献[5]提出了一种基于叉型微带贴片(Fork-like Metal Patches)构成的EBG结构单元,并通过金属棒与地板短路的方法,实现了三维EBG结构。文献[4]采用该叉型微带贴片结构单元和与之共面的折弯金属带(Meandered Metal Strip)相结合,构造了新的EBG单元和对应的一维EBG结构,并设计了基于该结构作为地板的微带半波天线。本文在此基础上,构造了新的二维EBG结构,并研究了其电磁传输特性,设计了一款采用该EBG结构作为地板和反射器的微带八木天线。此外,还研究了天线结构相关尺寸变化对天线阻抗特性的影响。

2 EBG结构及其特性

文献[4]提出的EBG单元结构如图1(a)所示,它由通过在介质基片上刻蚀叉型贴片和与之共面的折弯金属带构成。图中, h_i 和 l_i 分别为折弯金属带的总长度和总宽度, w_i 和 g_i 分别为金属带宽度和间

距, h_c 和 l_c 分别为叉型贴片的总长度和总宽度, w_c 和 g_c 分别为叉型贴片金属带的宽度及其间隙。相邻贴片缝隙间的电容C和折弯金属带的电感L分别构成EBG单元等效LC电路中的等效电容C和等效电感L。本设计构造的二维EBG结构如图1(b)所示。通常,可以用图1(c)所示的等效LC带阻滤波器模型来分析EBG结构的频率特性,并通过改变L和C的值,获得EBG结构的阻带频率范围。

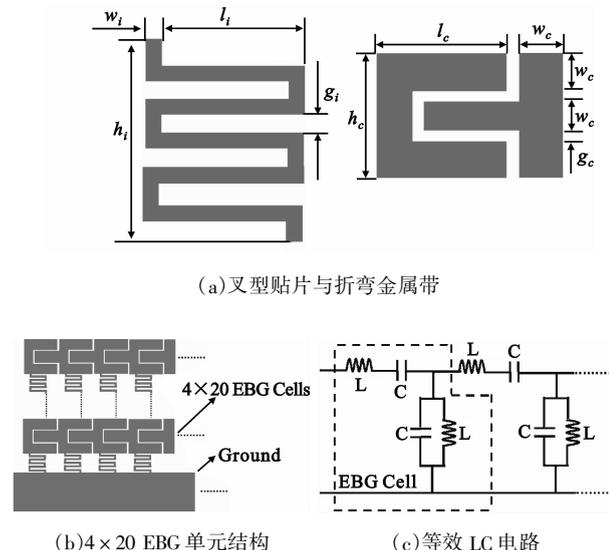


图1 二维EBG结构示意图及LC等效电路
Fig.1 Configuration of the proposed 2-D EBG structure and equivalent LC circuit

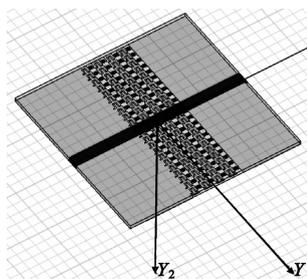
对于具体的微波介质材料,图1(a)所示的EBG单元,其等效电容C和电感L可由叉型贴片以及折弯金属带的相关几何参数决定,而EBG阻带的中心频率则由下式决定^[5]:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (1)$$

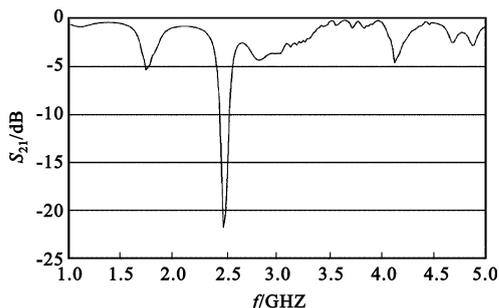
为进一步研究上述EBG单元的电磁特性,引入悬置微带线方法^[5],用电磁仿真软件HFSS对4x20 EBG单元所构成EBG结构的电磁传输特性进行了研究。具体做法如下:在尺寸为90 mm x 85 mm x 1.5 mm的双面FR4介质的一面刻蚀一条微带线,另一面刻蚀嵌有4x20 EBG单元的地板。选取微带线宽度为2.8 mm(对应特性阻抗为50 Ω),介质 $\epsilon_r = 4.4$,HFSS仿真模型如图2(a)所示。经反复仿真和优化设计,针对2.5 GHz的阻带中心频率,EBG单元相关几何参数为: $h_c = 3.2$ mm, $l_c = 2.8$ mm, $w_c = 0.8$ mm, $g_c = 0.4$ mm, $h_i = 4.0$ mm, $l_i = 2.8$ mm, $w_i =$

0.3 mm, $g_i = 0.4$ mm。

图2(b)为 4×20 EBG单元 S_{21} 的频率特性曲线。由图可见, $S_{21} \leq -10$ dB的频率范围为 2.35 ~ 2.55 GHz,阻带中心频率为预期的2.5 GHz。显然,该二维 EBG 结构在水平方向上有很好的阻带特性。



(a) HFSS 仿真模型



(b) S_{21} 频率特性

图2 4×20 EBG 单元电磁特性仿真

Fig.2 Electromagnetic characteristic of 4×20 EBG cells

3 天线的设计

3.1 天线的结构及工作原理

基于 EBG 地板微带八木天线结构如图3所示,天线采用上述提及的 FR4 介质材料,其总体宽度和长度分别为 W 和 L ,厚度为 h 。天线由天线辐射臂(尺寸为 $W_2 \times L_2$)、引向器(尺寸为 $W_1 \times L_1$)以及带 4×20 EBG 单元有截断面的地板和微带馈线构成,其中,引向器与天线上边缘距离为 l_1 ,辐射臂与引向器间距为 l_2 。天线臂、引向器和地板刻蚀在 FR4 材料的一面,另一面为微带馈线,有截断面的 EBG 地板同时又是天线的反射器。天线上下两层采用直径为 0.6 mm 的金属通孔相联。为扩展天线的阻抗带宽,在金属通孔和 50 Ω 微带馈线之间,采用了二级阻抗变换,对应的微带线长度和宽度分别为 L_{S2} 和 W_{S2} 以及 L_{S1} 和 W_{S1} 。通过调节两臂间缝隙的宽度 W_G 和长度 L_G ,可使天线的两辐射臂相位差为 180° ,起到

宽带巴伦作用^[6]。此外,天线各部分尺寸设计的原则是使天线的谐振频率与 EBG 结构的阻带中心频率一致。采用 HFSS 软件,在实现良好阻抗匹配特性并兼顾提高天线增益的前提下,对天线进行了仿真设计,优化后样本天线的尺寸参数如下: $L = 90$ mm, $W = 85$ mm, $W_1 = 31$ mm, $W_2 = 54$ mm, $W_G = 2$ mm, $W_{S1} = 7.6$ mm, $W_{S2} = 4.4$ mm, $W_S = 2.8$ mm, $L_1 = 5$ mm, $L_2 = 12$ mm, $L_{S1} = 12$ mm, $L_{S2} = 16$ mm, $L_G = 22$ mm, $l_1 = 10$ mm, $l_2 = 13$ mm, $d = 3$ mm。

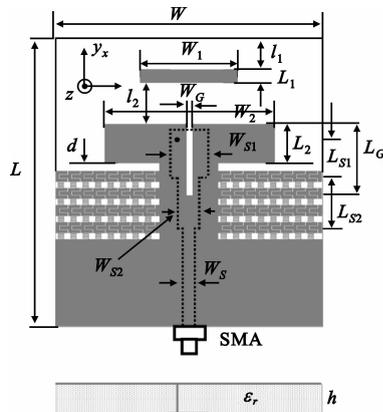


图3 天线结构示意图

Fig.3 Configuration of the proposed antenna

3.2 电气性能及分析

按上述尺寸加工了一副样本天线和一副尺寸相仿的对比天线,其中,对比天线结构和尺寸与样本天线完全一样,但采用普通金属地板作为反射器。为获得最佳增益,作为反射器的金属地板和辐射臂的距离必须在 $0.15\lambda_e \sim 0.25\lambda_e$ 之间(λ_e 为介质波导波长),经仿真优化取 $D = 14$ mm。天线输入端经 SMA 与电缆相联,采用 Agilent 8753ES 网络分析仪对样本天线和对比天线的阻抗特性进行了测试,输入端反射系数 S_{11} 结果如图4(a)所示。显然,仿真和实际测试结果基本吻合。样本天线在 2.3 ~ 2.75 GHz 频率范围内, $S_{11} \leq -10$ dB,相对带宽达 18%。相应地,对比天线 $S_{11} \leq -10$ dB 频率范围为 2.3 ~ 2.6 GHz,相对带宽为 12%。两个天线的中心频率都在设计的 2.5 GHz 上,说明 EBG 的引入对天线的中心频率影响不大,但能有效提高天线的阻抗带宽。图4(b)和(c)分别给出了天线在 xoy 平面和 $yoaz$ 平面仿真的增益方向图。显然,在两个平面上,样本天线方向图都比对比天线变窄,在主波束指向(y 方向),样本天线的增益较对比天线要大。实际测试结

果表明,样本天线在最大指向增益为10.1 dBi,而对
比天线的实测增益为8 dBi。

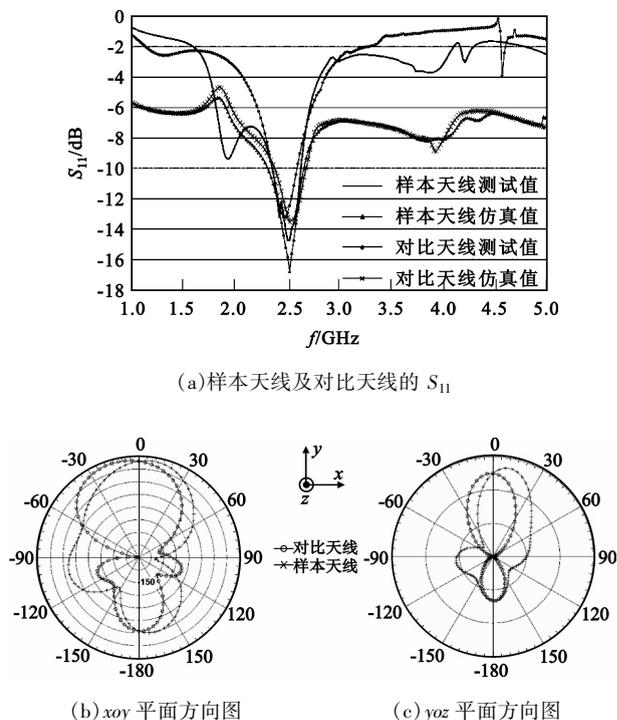


图4 天线的电气性能
Fig.4 Performance of proposed antenna

3.3 参数分析

影响天线阻抗及辐射特性的参数很多,这些参数包括辐射臂、引向器和地板的尺寸以及它们之间的距离等。为简化分析,本文重点仿真研究了 EBG 地板与辐射臂之间的距离 d 、两辐射臂间隙 W_c 对天线阻抗特性的影响。

图 5(a)和(b)是上述几何参数变化时,样本天线 S_{11} 仿真得到的频率特性曲线。由图 5(a)可见, d 对天线 S_{11} 的影响不大,不同的 d 值, S_{11} 极小值基本保持在中心频率上。但随着 d 的增大, S_{11} 极小值上升,相应的阻抗带宽减小,但变化缓慢。这一结果表明,采用 EBG 结构作为微带八木天线的反射器时,反射器与辐射臂的距离可以很小,同时该距离的变化对天线阻抗特性影响有限。这个特点在天线的小型化设计和加工中显然具有重要的指导意义。图 5(b)表明,辐射臂间隙 W_c 对天线阻抗特性具有明显影响, W_c 微小的变化会引起天线谐振点较大的偏移,阻抗特性也严重恶化。显然, W_c 直接影响到辐射臂的有效长度和微带巴仑的有效尺寸,出现这个结果是必然的。

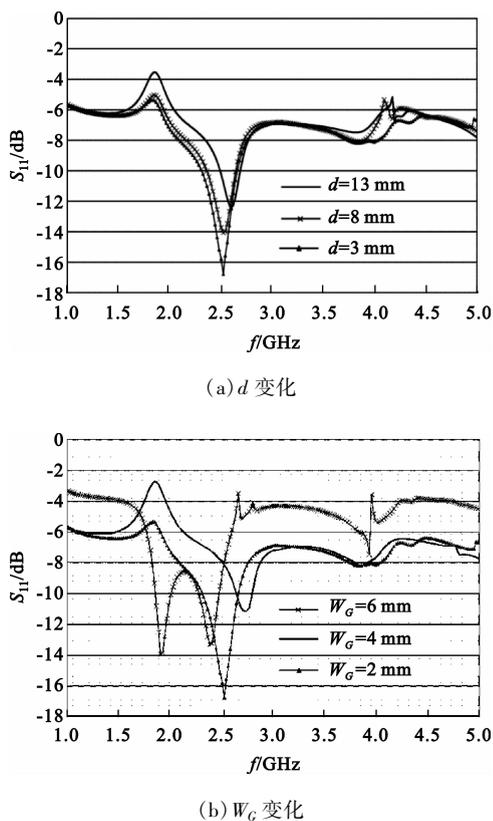


图5 d 和 W_c 变化时天线 S_{11} 频率特性曲线
Fig.5 S_{11} of the prototype antenna with different d and W_c

4 结 论

本文构造了一种基于 FR4 介质材料的二维 EBG 结构,深入研究了该结构的电磁传输特性,设计了一款采用 EBG 结构为地板和反射器的微带八木天线。天线 $S_{11} \leq -10$ dB 的相对带宽为 18%,最大辐射方向增益达 10.1 dBi。与相同尺寸用普通金属面做地板和反射器的对比天线比较,所设计带 EBG 地板天线的增益提高了约 2 dBi,阻抗相对带宽提高了 34%。此外,本文还对影响天线性能的主要尺寸参数进行了研究,所做的工作和结论对平面、高增益天线的设计具有很好的参考价值。

参考文献:

[1] 林昌禄. 天线工程手册[M]. 北京: 电子工业出版社, 2002.
LIN Chang-lu. Antenna Engineering Handbook [M]. Beijing: Publishing House of Electronic Industry, 2002. (in Chinese)

[2] 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, 46(1): 135-138.
YAN Li-ping, LIU Chun-heng, LIU Chang-jun. Effect of Different Electromagnetic Band Gap Structures on the Per-

formance of Microstrip Antenna [J]. Telecommunication Engineering, 2006, 46(1): 135 - 138. (in Chinese)

- [3] 李靖,丁君,郭陈江,等.基于人工电磁材料的微带贴片天线频带展宽[J].电子元件与材料,2010,29(3):47-50.
LI Jing, DING Jun, GUO Chen - jiang, et al. Broadening the bandwidth of microstrip patch antenna using inhomogeneous metamaterial substrate[J]. Electronic Components and Materials, 2010, 29(3): 47 - 50. (in Chinese)
- [4] Seung - Han Kim, Tai Thanh Nguyen, Dong - Ju Kim, et al. Printed Dipole Antenna with a 1 - D EBG Ground Plane [C]//Proceedings of 2010 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation. Toronto, Canada: IEEE, 2010: 256 - 259.
- [5] LI Yang, MING Yan - fan, FANG Lu - Chen, et al. A Novel Compact Electromagnetic Bandgap(EBG) Structure and Its Application for Microwave Circuits[J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2005, 53(1):183 - 190.
- [6] 卢晓鹏,李雁,李昂.一种用于微带半波振子天线的新型BALUN[J].雷达科学与技术,2006,4(4):236-239.
LU Xiao - peng, LI Yan, LI Ang. A Novel BALUN for Printed Dipole[J]. Radar Science and Technology, 2006, 4(4): 236 - 239. (in Chinese)

作者简介:

曾文波(1964—),男,广西北海人,1990年获华东工学院

微波技术与天线专业硕士学位,现为副教授、硕士研究生导师,主要研究方向为微带天线理论与设计、电波传播等;

ZENG Wen - bo was born in Beihai, Guangxi Zhuang Autonomous Region, in 1964. He received the M.S. degree from East China Institute of Technology in 1990. He is now an associate professor and also the instructor of gradated students. His research interests include microstrip antenna theory and design, radio waves propagation, etc.

Email: a90175@163.com

赵嘉(1965—),女,广西柳州人,2006年获华中科技大学软件工程专业硕士学位,现为副教授,主要研究方向为应用软件、计算电磁学等;

ZHAO Jia was born in Liuzhou, Guangxi Zhuang Autonomous Region, in 1965. She received the M.S. degree from Huazhong University of Science and Technology in 2006. She is now an associated professor. Her research interests include software application and computational electromagnetism, etc.

黄庆南(1977—),男,广西玉林人,2006年获华中科技大学通信与信息系统专业硕士学位,现为讲师,主要研究方向为微波通信、无线传感网等。

HUANG Qing - nan was born in Yulin, Guangxi Zhuang Autonomous Region, in 1977. He received the M.S. degree in Communication and Information System from Huazhong University of Science and Technology in 2006. He is now a lecturer. His research interests include microwave communication and radio sensor network, etc.