

一种宽频带四单元微带天线阵设计*

倪国旗^{1,2}, 梁军¹, 余白平¹

(1. 桂林电子科技大学 信息与通信学院, 广西 桂林 541004; 2. 桂林空军学院, 广西 桂林 541003)

摘要: 综合运用了H型缝隙耦合馈电技术和引入空气层技术展宽了天线的频带, 设计出一个工作在Ku波段的宽频带微带天线单元并组成四单元阵列。该天线由两层介质板构成, 并利用180°反相馈电抑制了高次模的耦合激励, 降低了交叉极化电平。使用三维电磁场仿真软件(Ansoft HFSS)对微带天线进行仿真优化, 仿真结果表明, 天线单元性能良好, 相对阻抗带宽($S_{11} \leq -10 \text{ dB}$)为8.5%, 增益为8.05 dB。四单元天线阵列相对阻抗带宽($S_{11} \leq -10 \text{ dB}$)达到16.6%, 增益为13.7 dB。天线阵列性能良好, 设计方法具有很好的可扩展性。归纳总结出的介电常数计算式也具有普遍性。

关键词: H型缝隙耦合; 微带天线; 反相馈电; 宽频带; 交叉极化

中图分类号: TN821 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2012)03-1035-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.03.064

Design of four elements wide-band microstrip patch array antenna

NI Guo-qi^{1,2}, LIANG Jun¹, YU Bai-ping¹

(1. School of Information & Communication Engineering, Guilin University of Electronic Technology, Guilin Guangxi 541004, China; 2. Guilin Air Force Academy, Guilin Guangxi 541003, China)

Abstract: This paper described a wide-band microstrip antenna and its 4 elements array antenna working at Ku-band. It adopted the H-shaped aperture-coupled feeding and inserting of the air layer technologies to achieve wider bandwidths. The antenna consisted of double-layered substrates. It applied the 180 degrees anti-phase feeding technique that contributed to suppress the higher order modes and decreased of cross-polarization. By using a software 3D electromagnetic field analysis (Ansoft HFSS), the microstrip antenna was simulated and optimized. The simulated results show that the antenna element's relative impedance bandwidth is 8.5%, and the gain is 8.05 dB. The 4 elements array antenna's relative impedance bandwidth is 16.6%, and the gain is 13.7 dB. So the performance of the antenna is very well and the method of designing has a good expandability. The expressions of permittivity that concluded is prevalent.

Key words: H-shaped aperture-coupled feeding; microstrip patch; anti-phase feeding; wide-band; cross-polarization

1 天线的结构设计及尺寸理论值计算

0 引言

随着现代无线通信技术的飞速进步, 天线和天线技术的发展也是日新月异, 天线形式更是层出不穷。微带天线以其体积小、质量轻、低剖面、易与有源器件集成、能与载体共形等诸多优点, 日益受到人们青睐。但是, 普通的微带天线带宽一般相对较窄, 这限制了它在许多无线通信系统中的广泛应用。因此, 研究微带天线的宽频带特性一直是天线工作者们十分关心的问题。近年来, 许多国内外学者在宽频带微带天线研究方面做了大量工作, 并取得了很好的成果。对于宽频带天线的设计大多是采用多层贴片构成宽频带天线, 但是这样会使天线的厚度加大, 并且多层贴片要考虑贴片的对齐问题, 增加了加工的难度^[1-5]。

为了解决以上问题, 本文设计了一种由一层辐射贴片和两层介质板组成的微带天线阵列。采用了H型缝隙耦合馈电技术和引入空气层技术展宽了天线的频带^[6-8], 运用180°反相馈电技术降低交叉极化电平。该四元天线阵的中心频率为13 GHz, 工作在Ku波段。

1.1 天线结构设计

1.1.1 天线单元结构

本文设计的微带天线单元的3D示意图和俯视图如图1、2所示。

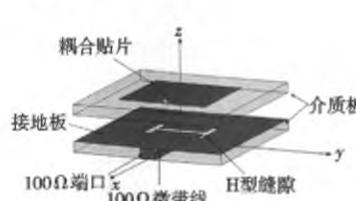


图1 微带天线单元结构3D图

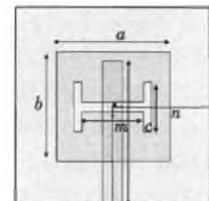


图2 微带天线单元结构俯视图

由图1、2可知, 天线单元的主体由两层介质板组成。辐射贴片在第一层介质板的上面, 接地板和馈线分别位于第二层介质板的上面和下面。接地板上开有一个H型缝隙, 两个介质层之间隔着一个空气层, 空气层厚度大约为 $h=0.05\lambda_0$ 。

有了以上天线单元, 再对其进行适当的组阵, 即可得到设计中所需要的天线。

收稿日期: 2011-07-08; 修回日期: 2011-09-14 基金项目: 广西回国基金资助项目(桂科字0991291)

作者简介: 倪国旗(1964-), 男, 湖北鄂州人, 教授, 博士, 主要研究方向为微波器件、微波材料、单片机控制、智能化计算机外设(ngq157@163.com); 梁军(1984-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为微波技术与天线; 余白平(1986-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为微波技术与天线。

1.1.2 天线阵列结构

以上面微带天线单元为基础,对其馈电结构微调后组成 2×2 元微带阵列天线,其结构如图3所示。为了减小交叉极化,单元采用 180° 反相馈电技术,对相邻单元进行馈电,因此馈电结构会有 $1/4$ 中心频率介质波长的偏移。阵列天线采用等幅反相并联馈电,能有效地抑制高次模的耦合激励,降低了交叉极化电平。馈电网络由两级T型等分威尔金斯功分器组成,功分器采用 $\lambda/4$ 阻抗匹配枝节设计,使调试简单方便。

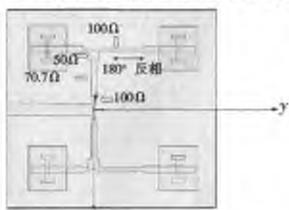


图3 四元阵列天线结构

1.2 理论尺寸计算

1.2.1 贴片大小计算

上述结构中,矩形贴片天线的宽度设为 a ,长度设为 b 。天线贴片宽度 a 的大小影响着微带天线的方向性函数、辐射电阻和输入电阻,从而影响频带宽度和辐射效率。长度 b 影响着天线工作的中心频点位置。

使用传输线模型可以分析计算出矩形贴片天线的尺寸值。矩形贴片天线宽度 a 由式(1)计算为

$$a = \frac{c}{2f_0} \left(\frac{\epsilon_r + 1}{2} \right)^{-1/2} \quad (1)$$

当贴片宽度 a 大于式(1)时,微带贴片天线将可能产生高次模,引起场的畸变。考虑到边缘缩放效应后,实际的贴片谐振长度 b 由式(2)决定。

$$b = \frac{\lambda_0}{2\sqrt{\epsilon_r}} - 2\Delta L = \frac{c}{2f_0\sqrt{\epsilon_r}} - 2\Delta L \quad (2)$$

其中:延伸量为

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_r + 0.3)(a/h + 0.264)}{(\epsilon_r - 0.258)(a/h + 0.8)} \quad (3)$$

有效介电常数为

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + 12 \frac{h}{a} \right)^{-1/2} \quad (4)$$

其中: c 为光速; f_0 为矩形贴片天线的工作频率; h 为介质板的厚度; ϵ_r 为天线的相对介电常数。

本文设计的天线工作频率中心为13 GHz,下层介质板采用的是Rogers公司的RO4003C(介电常数为3.38,厚度为0.813 mm)介质基板,理论上,其介电常数越大对波的束缚作用越好,能减少漏波、增大能量耦合效率。上层介质板采用的是Rogers公司的RT5880(介电常数为2.2,厚度为0.787 mm)介质基板,采用低介电常数以减小辐射损耗,并能展宽频带。两介质板之间的空气厚度取为1 mm,所以天线的总体厚度为2.6 mm。

由于介质层是空气和介质复合层,因此需要分析计算出其相对介电常数 ϵ_{r1} 。由文献[9]可以得到:当天线由一层介质板和一层空气层组成时,天线的相对介电常数和介质层、空气层的函数关系式为

$$\epsilon'_{r1} = \frac{\epsilon_r}{\frac{h_1}{\epsilon_r h + h_1} + \frac{h}{h + h_1}} \quad (5)$$

但以上关系式还不完全适用于本文的天线设计。为此,经过大量实验数据分析,可以归纳总结出:当天线由三层不同介质板组成时,天线的相对介电常数与不同介质板间的函数关系

式为

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon_1 h_1 + \epsilon_2 h_2 + \epsilon_3 h_3}{h_1 + h_2 + h_3} \quad (6)$$

由以上公式可以计算出天线的相对介电常数为 $\epsilon_r = 2.1$ 。将 $\epsilon_r = 2.1$ 代入式(1)~(4),可以计算出贴片天线尺寸, a 的取值大约为9.3 mm, b 的取值大约为5.6 mm。 a 和 b 的最终取值由仿真结果决定。

1.2.2 馈电方式设计

为了提高天线的阻抗带宽,天线使用了缝隙耦合馈电方式。缝隙耦合馈电就是通过在接地板上开的缝隙对辐射单元进行耦合馈电。缝隙的形状有很多,如小缝(窄矩形)、大缝(宽矩形)、H型、蝶行等,缝的形状对带宽有一定的影响。使用这种馈电方式对贴片的影响更小,交叉极化也很小。天线和馈电结构的介质层可以分别选择,并且独立调节馈电部分和天线辐射部分,增加了设计的灵活性。但是因为缝隙具有双向性,辐射的前后比减小,应采取一些相关措施,如在缝隙后等效四分之一自由空间波长处放一块反射板等。

由文献[4]可知,相对于其他的缝隙而言,开H型耦合缝隙可以得到较大的耦合量。开H型缝隙的微带天线一般可以获得10% (VSWR≤2)左右的相对带宽,而且具有良好的交叉极化性能。调节H型缝隙的长度和宽度,也可以有效地调节天线端口的匹配状况^[10,11]。

2 仿真实验与结果分析

2.1 天线单元的仿真实验及结果分析

由微带天线的理论知识可知,贴片宽度 b 的大小将影响天线的中心频点。如图4所示,当 b 的值由小变大时,天线的中心频点将由大变小。当 $b = 6.4$ mm时,天线的中心频点为13.5 GHz;当 $b = 6.8$ mm时,天线的中心频点为13 GHz;当 $b = 7.2$ mm时,天线的中心频点为12.6 GHz,所以贴片宽度 $b = 6.8$ mm为最优值。

由以上分析可知,天线与馈线之间是通过接地板上的H型缝隙来耦合的,所以H型缝隙的形状大小对天线的性能有重大影响。如图5所示,缝隙长度 f 值的变化对天线的回波损耗 S_{11} 有很大的影响。当 $f = 3$ mm时,天线谐振在13.16 GHz, $S_{11} = -18$ dB;当 $f = 3.4$ mm时,天线谐振在13 GHz, $S_{11} = -32$ dB;当 $f = 3.8$ mm时,天线谐振在12.92 GHz, $S_{11} = -21$ dB。由此可见,缝隙的长度大小主要影响天线的回波损耗 S_{11} ,对天线频点的影响不大;当 $f = 3.4$ mm时,天线的性能最优。

天线单元模型参数:矩形耦合贴片边长 $a = 7$ mm, $b = 6.8$ mm,为了便于后面组成四元阵列,把微带馈线的端口设置为100 Ω。将端口设计为100 Ω主要是为后面组成四单元阵列提供方便。微带馈线的长 $c = 8.8$ mm,宽 $d = 1.2$ mm,对于H型缝隙,其 $e = 3$ mm, $f = 3.4$ mm。上下两介质板间其空气层的厚度为 $h = 1$ mm。

天线单元输入回波损耗曲线如图5所示,在12.5~13.6 GHz的频段范围内 $S_{11} \leq -10$ dB,相对阻抗带宽达到8.5%。在中心频率点13 GHz处天线的增益为8.05 dB。因此,天线单元具有良好的带宽特性和增益特性。

2.2 天线阵列的仿真实验及结果分析

由理论分析和仿真实验可见,天线的单元间距对天线的增益有重大影响,为避免单元间互耦过大并出现栅瓣,要求单元间距 $0.5\lambda_0 < d < \lambda_0$ (λ_0 为中心频率自由空间波长)。当 $d = 0.65\lambda_0 = 15$ mm时,天线的增益为13.4 dB,天线有较大的栅

瓣;当 $d = 0.7\lambda_0 = 17.25 \text{ mm}$ 时,天线的增益为 13.6 dB ;而当 $d = 0.7\lambda_0 = 16.1 \text{ mm}$ 时,天线的增益为 13.7 dB ,天线的增益值最高。所以天线单元间距的最优值取为 $d = 0.7\lambda_0 = 16.1 \text{ mm}$ 。

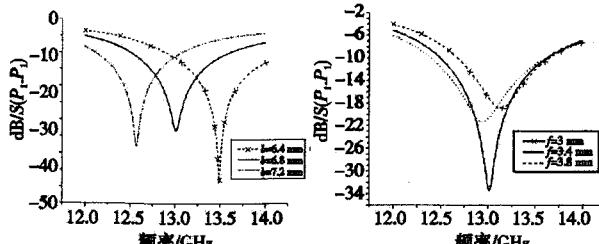


图4 天线宽度b对天线中心
频点的影响

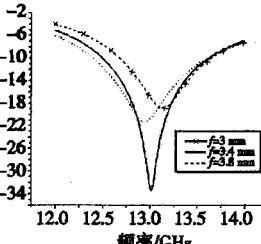


图5 缝隙长度对天线S₁₁的影响

取天线单元间距 $d = 0.7\lambda_0$,对阵列天线进行仿真分析,其输入回波损耗曲线如图6所示,在 $12.14 \sim 14.3 \text{ GHz}$ 频带内满足 $S_{11} \leq -10 \text{ dB}$,实际带宽为 2.16 GHz ,相对阻抗带宽达到 16.6% 。由图可知,该天线阵列有两个谐振点,一个处于 12.5 GHz ,一个处于 13.63 GHz 。正是由于该天线阵列有两个谐振点,才使得该天线在工作频段内有较好的带宽特性。阵列方向图如图7所示,增益达到 13.7 dB 。因此,四单元天线阵具有良好的带宽特性和增益特性。

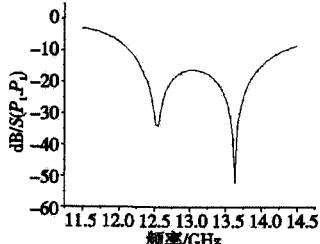


图6 阵列天线输入回波损耗曲线

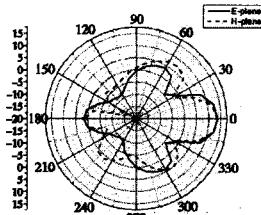


图7 阵列天线的E面和H面

3 结束语

本文设计了一个工作在 Ku 波段的宽频带四单元微带天线阵。用三维电磁场仿真软件 Ansoft HFSS 对该天线阵的结构进行了仿真优化。由于设计的天线综合运用了 H 型缝隙耦合

馈电技术、反相馈电技术并引入空气层等,设计的宽频带天线具有良好的带宽特性和增益特性。四元天线阵列在 $12.14 \sim 14.3 \text{ GHz}$ 频带内满足 $S_{11} \leq -10 \text{ dB}$,实际带宽为 2.16 GHz ,相对阻抗带宽达到 16.6% ,增益达到 13.7 dB 。该天线阵电性能和辐射特性良好,可满足其在卫星、车载雷达和散射通信等领域的工程应用。

参考文献:

- [1] 杨帅,冯全源.缝隙加载的宽频带圆极化微带天线[J].探测与控制学报,2009,31(5):77-80.
- [2] 王宇,姜兴,李思敏.Ku 波段宽频带双极化微带天线阵的设计[J].电波科学学报,2008,23(4):276-279.
- [3] 李倩.C/X 波段双频共口面微带阵列天线研究[D].北京:中国科学院研究生院,2006.
- [4] 丁军.宽带微带天线单元及阵列研究[D].北京:中国科学院研究生院,2007.
- [5] 王泽美,潘雪明,鄢泽洪,等.一种 H 型槽耦合的 Ku 波段宽频带天线[J].雷达科学与技术,2005,3(5):317-320.
- [6] 李书杰,鄢泽洪,张小苗.一 16 元 Ku 波段微带天线阵的设计[J].微波学报,2006,22:32-34.
- [7] 焦永昌,潘雪明,王泽美,等.一种开双 H 型槽的新型宽频带微带天线[J].电波科学学报,2005,20(5):656-659.
- [8] YUN W, YOON Y J. A wind-band aperture couple microstrip array antenna using inverted feeding structures[J]. IEEE Trans on Antennas Propagation, 2005, 53(2):861-862.
- [9] LI Cun-long, WANG Hai-hua, LIN Hao-jia, et al. Analysis and design of broadband microstrip patch antenna with a pair of double cross-shaped slots[C]//Proc of International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology. Chengdu: The Chinese Institute of Electronics, 2010:18-21.
- [10] WANG H, HUANG X B, FANG D G. A single layer wideband U-slot microstrip patch antenna array[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2008(7):9-12.
- [11] 张小波.一种宽频带高增益微带天线的设计[J].微波学报,2008, 24:113-116.

(上接第 1034 页)

4 结束语

在 LTE-A 系统的载波聚合情况下,本文针对边缘用户的体验问题,提出了边缘用户优先 PF 调度算法。仿真表明,该算法可以提高边缘用户的吞吐量和用户间的公平性,并且可以通过控制 a 的大小来调节边缘用户吞吐量和用户间的公平性。但是相比传统 PF 调度算法,扇区吞吐量有些许的下降。

参考文献:

- [1] YUAN Guang-xiang, ZHANG Xiang, WANG Wen-bo, et al. Carrier aggregation for LTE-Advanced mobile communication systems[J]. IEEE Communications Magazine, 2010, 48(2):88-93.
- [2] RATASUK R, TOLLI D, GHOSH A. Carrier aggregation in LTE-Advanced[C]//Proc of the 71st IEEE Vehicular Technology Conference. 2010:1-5.
- [3] IWAMURA M, ETEMAD K, FONG M H, et al. Carrier aggregation framework in 3GPP LTE-Advanced[J]. IEEE Communications Magazine, 2010, 48(8):60-67.
- [4] 周渝霞. LTE-Advanced 系统中的载波聚合技术的研究综述[J]. 电子质量, 2009(9): 37-40.
- [5] 程顺川, 郑瑞明, 张欣, 等. LTE-Advanced 系统中载波聚合技术的性能研究[J]. 现代电信科技, 2009(4): 53-56.
- [6] LEI Lei, ZHENG Kan. Performance evaluation of carrier aggregation for elastic traffic in LTE-Advanced systems[J]. IEICE Trans on Communications, 2009(11):3516-3519.
- [7] ZHANG L, WANG Y Y, HUANG L, et al. QoS performance analysis on carrier aggregation based LTE-A systems[C]//Proc of IET International Communication Conference on Wireless Mobile and Computing. 2009:253-256.
- [8] CHEN Li, CHEN Wen-Wen, ZHANG Xia, et al. Analysis and simulation for spectrum aggregation in LTE-Advanced system[C]//Proc of the 70th IEEE Vehicular Technology Conference. 2009:1-6.
- [9] SHI Song-song, FENG Chun-yan, GUO Cai-li, et al. A resource scheduling algorithm based on user grouping for LTE-Advanced system with carrier aggregation[C]//Proc of International Symposium on Computer Network and Multimedia Technology. 2009.
- [10] MA Y. Proportional fair scheduling for downlink OFDMA[C]//Proc of IEEE International Conference on Communications. 2007:4843-4848.
- [11] 任参军,钱耘之,陈明. LTE 系统上行链路无线资源分配算法[J]. 通信技术, 2010(4):190-192.
- [12] 3GPP TS 36.300. Evolved universal terrestrial radio access (E-UTRA); stage 2 description, version 10.3.0[S]. 2011.
- [13] SANG A, WANG Xiao-dong, MADHIAN M, et al. A flexible downlink scheduling scheme in cellular packet data systems[J]. IEEE Trans on Wireless Communications, 2006, 5(3):568-577.

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>