

# 一种宽频带四单元微带天线阵设计\*

倪国旗<sup>1,2</sup>, 梁 军<sup>1</sup>, 余白平<sup>1</sup>

(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 ( $S_{11} \leq -10$  dB) 为 8.5%, 增益为 8.05 dB。四单元天线阵列相对阻抗带宽 ( $S_{11} \leq -10$  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<sup>1,2</sup>, LIANG Jun<sup>1</sup>, YU Bai-ping<sup>1</sup>

(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 expansibility. The expressions of permittivity that concluded is prevalent.

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

### 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<sup>[15]</sup>。

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<sup>[68]</sup>, 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 天线的结构设计及尺寸理论值计算

#### 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。

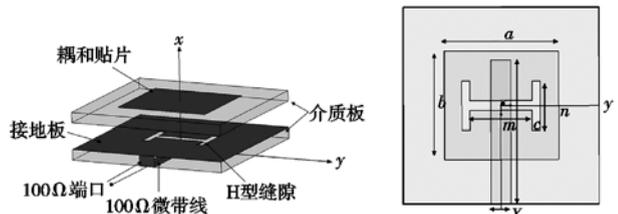


图1 微带天线单元结构3D示意图 图2 微带天线单元结构俯视图

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 形缝隙, 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 λ/4 阻抗匹配枝节设计,使调试简单方便。

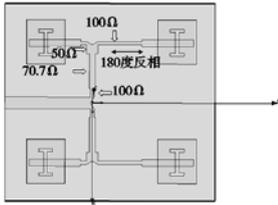


图3 四元阵列天线结构

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。

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

其中:延伸量为

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

有效介电常数为

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

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; $\epsilon_r$  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 R04003C(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少辐射损耗,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  $\epsilon_r$ 。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

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

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<sup>[10,11]</sup>。

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 12.513.6 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  $0.5\lambda_0 < d < \lambda_0$  ( $\lambda_0$  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  $d=0.75\lambda_0=17.25\text{ mm}$  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  $d=0.7\lambda_0=16.1\text{ mm}$ 。

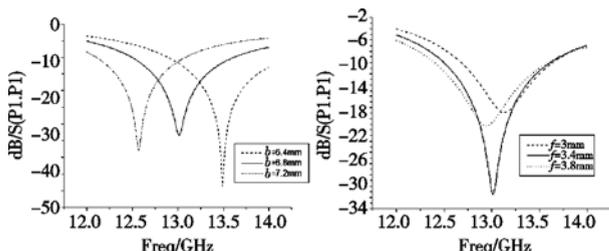


图4 天线宽度  $b$  对天线中心频点的影响

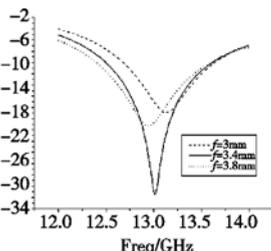


图5 缝隙长度对天线  $S_{11}$  的影响

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 12.14-14.3 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。

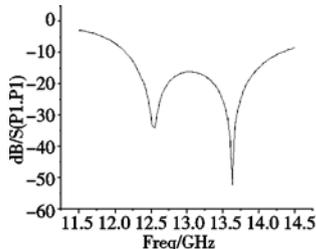


图6 阵列天线输入回波损耗曲线

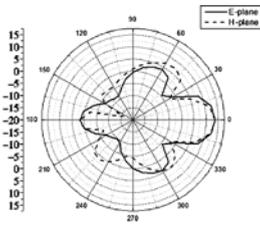


图7 阵列天线的E面和H面

### 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 12.14-14.3 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,冯光源. 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 wide-band aperture couple microstrip array antenna using inverted feeding structures[J]. IEEE Tran 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,郝瑞明,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, MADIHAN M, et al. A flexible down-link scheduling scheme in cellular packet data systems[J]. IEEE Trans on Wireless Communications,2006,5(3):568-577.