

文章编号: 1006-544X (2008) 04-0572-04

## Ku波段双极化宽带阵列天线

朱 莹, 姜 兴

(桂林电子科技大学 信息与通信学院, 广西 桂林 541004)

**摘要:** 在 Ku 波段的微带阵列天线贴片单元基础上, 进行了低旁瓣阵列的设计。设计了切比雪夫阵列、切比雪夫分布与等幅分布综合的  $16 \times 16$  阵列, 利用 CST 软件对这些阵列进行仿真。通过比较仿真结果, 选择旁瓣电平较低的切比雪夫分布与等幅分布综合的  $16 \times 16$  阵列进行加权处理。结果表明, 权值为 0.9、阵元间距为  $0.7\lambda$  的  $16 \times 16$  切比雪夫分布与等幅分布综合阵列, 旁瓣电平小于  $-26$  dB, 阵元电流相差较小, 达到了性能指标要求。

**关键词:** 微带天线; 旁瓣电平; 等幅分布; 切比雪夫分布; 综合阵列

中图分类号: TN82

文献标志码: A

微带天线具有剖面低、体积小、重量轻, 便于与有源器件集成, 较易实现多频段工作等优点, 易满足小型化移动通信的要求。利用微带单元贴片天线的这些优点, 进行了低旁瓣阵列的设计。本文通过采用低旁瓣技术, 设计工作在 Ku 波段、频率为  $12 \sim 14$  GHz、旁瓣电平小于  $-26$  dB 的低旁瓣双极化天线阵, 并利用仿真软件 CST 进行仿真优化, 使其达到低旁瓣性能, 并在满足旁瓣电平要求的前提下, 通过加权处理的方式减小阵元激励电流。

### 1 阵列天线单元结构

组成阵列的叠层宽带微带天线单元结构如图 1 所示。

本天线采用双层贴片结构, 两块单元贴片分别为馈电元和寄生元。本天线为双极化天线, 而正方形微带贴片具有较好的正交极化辐射特性且易于制造, 因此选择它来作为辐射贴片单元<sup>[1-2]</sup>。阵列单元 1、2 端口驻波比均小于 2, 达到了性能指标中的要求。

### 2 设计 $16 \times 16$ 阵列

#### 2.1 切比雪夫分布阵列阵元电流分布计算

性能指标中要求旁瓣电平为  $-26$  dB, 因此先利用切比雪夫 Dolph 变换设计一个 16 元边射阵<sup>[3-5]</sup>:

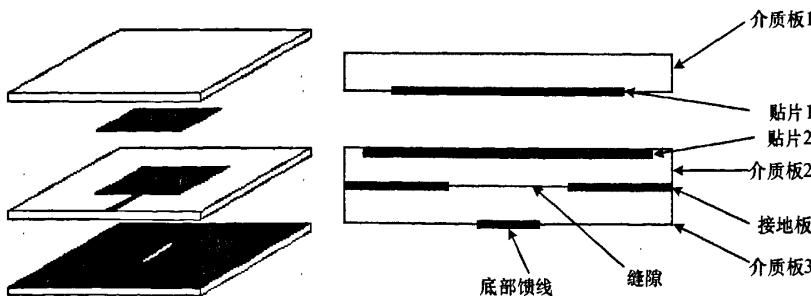


图 1 天线单元结构图  
Fig. 1 Structure of antenna unit

收稿日期: 2007-8-30

基金项目: 广西自然科学基金资助项目 (0342045)

作者简介: 朱 莹 (1984-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 移动通信与个人通信, E-mail: stefaniezhuy@163.com。

通讯作者: 姜 兴, 教授, E-mail: jiang\_x@guet.edu.cn。

$$F(\omega) = \omega^{15} + 0.85\omega^{14} + 1.16\omega^{13} + 1.46\omega^{12} + 1.73\omega^{11} + 1.96\omega^{10} + 2.14\omega^9 + 2.22\omega^8 + 2.22\omega^7 + 1.96\omega^5 + 1.73\omega^4 + 1.46\omega^3 + 1.16\omega^2 + 0.85\omega + 1.$$

通过已求出的阵因子, 可看出式中各次幂的系数为 16 元阵各阵元的电流相对激励分布。利用切比雪夫 Dolph 变换设计得到的结果进行组阵, 组阵时在 Matlab 中编辑了一个宏, 能更快速、简便的求出各阵元的激励电流, 该宏如下:

```
chebyshevAm(x)
[u, v] = meshgrid(x)
u * v
```

其中,  $x$  为  $N$  元线阵的激励电流。直接调用 chebyshevAm(x) 即可得到各个阵元的激励电流。

## 2.2 切比雪夫 $16 \times 16$ 阵列仿真

在以下的阵列设计中, 考虑到在实际制作中要满足相应的尺寸要求, 阵元间距  $d = 0.7\lambda$  的阵列更易于实现, 所以选择阵元间距  $d = 0.7\lambda$  进行仿真。组阵时没有代入角度, 均按照各个阵元的初始相位角度为 0 计、阵元间距  $d = 0.7\lambda = 16.16$  mm, 设计边射微带天线阵列的结果见表 1。

表 1  $16 \times 16$  切比雪夫阵仿真结果

Table 1 Simulation of  $16 \times 16$  Chebyshev current distribution array

$f$ /GHz	端口	旁瓣电平/ dB	增益/ dBi	主瓣宽度 (3dB)
12	1	-26.32	34.3	5.4
	2	-26.06	34.7	5.4
13	1	-26.72	34.7	5.0
	2	-26.72	35.8	5.0
14	1	-26.32	35.6	4.6
	2	-26.46	36.3	4.6

通过切比雪夫综合法设计的  $16 \times 16$  阵列, 均可达到旁瓣电平小于  $-26$  dB 的要求。

## 2.3 切比雪夫分布与等幅分布综合的 $16 \times 16$ 阵列

切比雪夫分布与等幅分布综合的  $16 \times 16$  阵列, 是将每个  $2 \times 2$  阵列视为一个子阵, 子阵与子阵之间按切比雪夫分布的方式馈入电流, 而子阵内部的 4 个贴片单元则按照等幅分布的方式馈入电流 (图 2)。阵列采用并联馈电的形式, 并联馈电采用级联 T 型分支, 这种结构从输入端到各阵元的传输路径等长, 可实现各阵元同相馈电, 形成边射波束<sup>[3]</sup>。取阵元间距  $d = 0.7\lambda = 16.16$  mm,

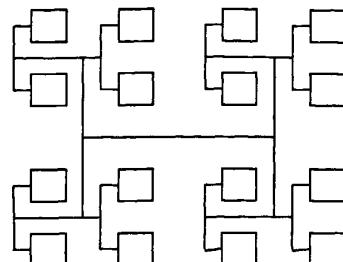


图 2 切比雪夫分布与等幅分布综合阵列示意图

Fig. 2 Structure of  $16 \times 16$  Chebyshev current distribution synthesized with continuous current distribution array

设计切比雪夫分布与等幅分布综合的  $16 \times 16$  阵列, 仿真结果如表 2。

表 2 等幅分布与切比雪夫分布综合  $16 \times 16$  阵列

Table 2 Simulation of  $16 \times 16$  Chebyshev current distribution synthesized with continuous current distribution array

$f$ /GHz	端口	旁瓣电平/ dB	增益/ dBi	主瓣宽度 (3dB)
12	1	-27.91	34.1	5.5
	2	-27.81	34.5	5.5
13	1	-28.44	34.5	5.1
	2	-28.57	35.6	5.1
14	1	-26.98	35.4	4.7
	2	-26.85	34.9	4.8

## 2.4 $16 \times 16$ 阵列分析

通过以上的仿真数据, 在旁瓣电平方面, 切比雪夫分布  $16 \times 16$  阵列与综合  $16 \times 16$  阵列较好, 旁瓣电平均小于  $-26$  dB, 但综合阵的旁瓣电平更好, 最低为  $-28.57$  dB, 最高为  $-26.85$  dB; 在增益方面切比雪夫分布  $16 \times 16$  阵列较好, 综合阵与其相比稍差。这些结果证明, 降低旁瓣电平就要付出牺牲增益和主瓣宽度的代价。通过对旁瓣电平、增益与主瓣 3 dB 带宽等方面进行综合考虑, 等幅分布与切比雪夫分布综合阵的仿真结果较好, 其旁瓣电平较低, 主瓣 3 dB 带宽较窄, 利于集中辐射能量。

## 3 加权处理及其仿真结果

### 3.1 加权

通过以上仿真数据比较, 等幅分布与切比雪夫分布综合  $16 \times 16$  阵列的效果较好, 但是由于该阵列相邻阵元之间激励电流振幅相差较大, 不利于馈电网络的设计, 所以尝试加权的处理方式, 在保证旁瓣电平小于  $-26$  dB 的前提下, 进一步减

小阵元激励电流振幅之间的差距。

加权处理是通过在原来已计算出的阵元电流分布的基础上, 利用式  $I_n' = \alpha(I_n - I_1) + I_1$  计算加权后的阵元激励电流。其中:  $I_n'$  为加权后的阵元激励电流,  $\alpha$  为权值,  $I_n$  为已计算出的阵元激励电流。通过选择不同的  $\alpha$ , 得到不同的阵元激励电流, 再分别进行仿真, 分析结果, 得到最佳方案。在仿真时, 选用了综合分布  $16 \times 16$  阵列进行加权。

### 3.2 $16 \times 16$ 等幅分布与切比雪夫分布综合阵列的加权及其仿真

取  $\alpha = 0.8$ , 设计切比雪夫分布与等幅分布综合的  $16 \times 16$  阵列, 仿真结果如表 3。

通过对以上数据的分析,  $\alpha = 0.8$  仿真结果中有旁瓣电平不能达到性能指标要求的情况, 因此还需增大权值。

取  $\alpha = 0.9$ , 其仿真结果如表 4、图 3 和图 4。

以上数据表明, 将权值  $\alpha$  调整为 0.9, 不仅旁瓣电平均达到指标要求, 而且增益与主瓣宽度也较好, 与权值  $\alpha = 0.8$  的相比, 有了较大改善。因此, 权值  $\alpha = 0.9$  的综合阵是加权阵列中较好的一种。

表 3 等幅分布与切比雪夫分布综合  $16 \times 16$  阵列

Table 3 Simulation of  $16 \times 16$  Chebyshev current distribution synthesized with continuous current distribution array

$f/\text{GHz}$	端口	旁瓣电平/ dB	增益/ dBi	主瓣宽度 (3dB)
12	1	-25.91	34.3	5.4
	2	-25.65	34.7	5.4
13	1	-27.21	34.7	5.0
	2	-26.17	35.8	5.0
14	1	-24.61	35.6	4.6
	2	-25.65	36.4	4.7

表 4 等幅分布与切比雪夫分布综合  $16 \times 16$  阵列

Table 4 Simulation of  $16 \times 16$  Chebyshev current distribution synthesized with continuous current distribution array

$f/\text{GHz}$	端口	旁瓣电平/ dB	增益/ dBi	主瓣宽度 (3dB)
12	1	-26.32	34.2	5.5
	2	-26.85	34.6	5.5
13	1	-28.17	34.6	5.0
	2	-28.08	35.7	5.0
14	1	-26.46	35.5	4.6
	2	-26.46	36.3	4.7

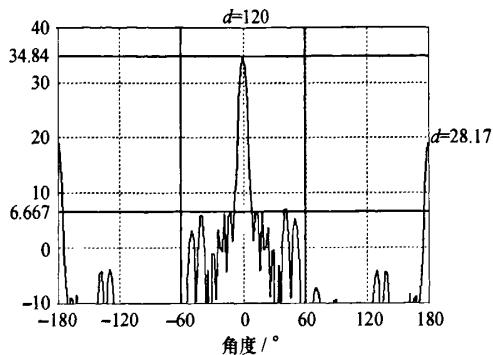


图 3-1 端口  $f=13$  GHz 旁瓣电平图  
Fig. 3 Simulation of port 1 in 13 GHz

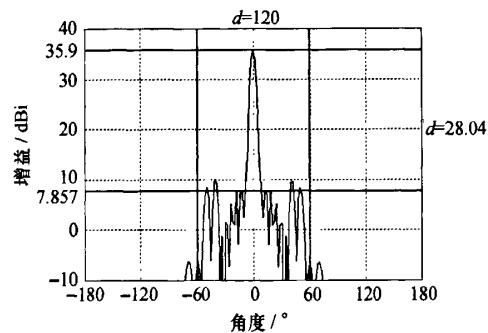


图 3-2 端口  $f=13$  GHz 旁瓣电平图  
Fig. 4 Simulation of port 2 in 13 GHz

## 4 结束语

设计了一个工作在 Ku 波段 (中心频率为 13 GHz) 的双极化宽带阵列天线, 本天线具有高增益、低旁瓣的特性, 同时具有较高的端口隔离度和较低的交叉极化电平, 常用于雷达系统和卫星通信与全球定位系统等领域。

文中设计了切比雪夫分布阵列、切比雪夫分布与等幅分布综合阵列, 最后对切比雪夫分布与等幅分布综合阵列进行加权处理。利用 CST 软件进行仿真与优化, 得到阵列单元的电压驻波比小于 2。对阵列各指标分析比较, 当权值  $\alpha = 0.9$ 、阵元间距  $d = 0.7\lambda$  时的  $16 \times 16$  综合阵列, 旁瓣电平小于  $-26$  dB, 阵元激励电流相差较小, 所以这一阵列效果较好。通过阵列的仿真和分析, 得到了各自的性能特点, 为阵列天线设计或其他天线的相关设计提供了有价值的参考。

**参考文献:**

- [1] 高式昌, 钟顺时. 一种高隔离度的双极化微带天线阵的理论和实验 [J]. 电子学报, 1999, 27 (8): 64 - 66.
- [2] 梁仙灵, 钟顺时, 汪伟, 等. 高隔离度双极化微带天线直线条阵的设计 [J]. 电子学报, 2005, 33 (3): 553 - 555.
- [3] 卢万铮. 天线理论与技术 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2004: 259 - 288.
- [4] Villanen J, Eskelinen P. Small Ku-band phases array antenna system [J]. IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, 2003, 18 (2): 7 - 12.
- [5] Ni Jinlin, Zheng Xueyu, He Dongyuan. The ultra-low side-lobe dipole array of 16-elements [C] //Radar 2001 CIE International Conference Proceedings, 2001: 1093 - 1097.

## Dual-Polarized Wideband Array Antenna at Ku-Band

ZHU Ying, JIANG Xing

(School of Information and Communication Engineering, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China)

**Abstract:** Low side lobe level array is designed by microstrip array antenna patch unit. The Chebyshev current distribution array and Chebyshev current distribution synthesized with continuous current distribution array are designed. Both arraies are simulated by software CST. Through the comparation between the results of simulation Chebyshev current distribution synthesized with continuous current distribution array with lower side lobe level is chosen to weight and simulate. The simulation results show that when weight equal to 0.9 and array unit space  $d = 0.7\lambda$ , the side lobe level is less than -26 dB and the current differences between each array unit are small. It satisfies the demand of performance index.

**Key words:** microstrip antenna; side lobe level; constant amplitude distribution; Chebyshev current distribution synthesize with continuous current distribution array

## 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>