

# 宽带平面微带贴片天线阵设计

朱 莉,任卫华,高向军

(空军工程大学 导弹学院,陕西三原 713800)

**摘要:**在分析了一种结构简单且具有宽带特性的双层贴近耦合微带贴片天线的基础上,通过计算阵列单元间E面和H面的互耦效应,确定了合适的阵元间距,并采用简单的T型等分功分器组成并联馈电网络,实际制作并测试了一个 $8 \times 8$ 元宽带平面天线阵。天线阵中心频率 $f_0 = 12.5$  GHz,阻抗带宽大于16.0% (驻波比VSWR < 2.0),增益大于22.5 dB。这种结构的平面天线阵在卫星通信等领域应用前景广阔。

**关键词:**微带天线;平面阵;宽带;双层

中图分类号: TN822

文献标识码: A

文章编号: 1003-3114(2009)01-42-3

## Design on Broadband Planar Array of Microstrip Patch Antenna

ZHU Li , REN Wei-hua, GAO Xiang-jun

(Missile Institute of Air Force Engineering University, Sanyuan Shanxi 713800, China)

**Abstract:** Based on the analysis of simple and broadband coupling microstrip patch antenna with dual-layer, the spacing between every two elements is selected through calculating the mutual coupling. We implement and test a broadband planar array with  $8 \times 8$  elements, which is fed by parallel feed net comprised of simple T type power distributors. The test results show that the bandwidth is more than 16.0% (VSWR < 2.0) and the gain is more than 22.5dB when the center frequency of planar array is 12.5GHz. Such array will be widely used in satellite communications.

**Key words:** microstrip antenna; planar array; broadband; dual-layer

## 0 引言

随着利用微带线馈电的微带天线的出现,针对微带天线阵的研究受到了越来越多的重视。目前微带天线阵已被广泛地应用于军事和民用设备上,例如各种雷达、通信、遥测等设备,特别是在各种空间飞行器上得到广泛的应用。然而微带天线频带较窄的缺点极大限制了微带天线阵的带宽,如果采用一些特殊的具有宽带特性的天线单元,尽管可以改善天线阵的频带特性,但复杂的结构又限制了它的实际应用,尤其是在较大的高频阵列中的应用。

本文采用双层贴近耦合微带贴片天线为阵列单元,制作并测试了一个 $8 \times 8$ 元宽带平面天线阵。天线阵中心频率 $f_0 = 12.5$  GHz,阻抗带宽大于16.0% (驻波比VSWR < 2.0),天线阵增益大于22.5 dB。这种结构简单的平面天线阵在卫星通信等领域应用前景广阔。

收稿日期:2008-10-30

作者简介:朱莉(1980-),女,博士研究生。主要研究方向:天线技术及信号处理等。

## 1 天线阵单元分析

微带天线拓宽频带最常用的方法包括采用 $\epsilon_r$ 较小或者 $\tan\delta$ 较大(有耗)的基板;附加阻抗匹配网络;采用楔形或者阶梯形基板;采用非线性基板材料;采用非线性调整元件,采用特殊形状的贴片<sup>[1,2]</sup>,采用多层结构<sup>[3]</sup>以及在贴片或接地板“开窗”等措施<sup>[4,5]</sup>,其中对于微带贴片天线来讲,增加基板厚度是实现宽带最简单的方法。因此为了获得宽频带,并便于阵列应用,采用结构简单的双层贴近耦合微带贴片天线为阵列单元,这样不仅可以有效拓展频带,而且由于馈电电路与辐射元不共面,减少了馈电电路的自身辐射对天线性能的影响,同时也易于馈电网络的排布。双层贴近耦合微带贴片天线单元结构如图1所示。

天线的各个参数分别选取为: 中心频率

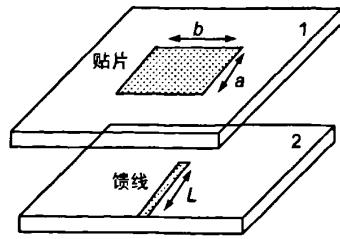


图1 双层微带贴片天线结构

$f_0 = 12.50$  GHz, 基板介电常数  $\epsilon_{r1} = \epsilon_{r2} = 2.65$ ; 厚度  $h_1 = h_2 = 1.50$  mm; 贴片尺寸  $a = 5.76$  mm,  $b = 5.88$  mm; 馈线长度  $l = 10.36$  mm; 馈线宽度  $w_f = 3.53$  mm, 特性阻抗  $Z_0 = 50.00$  Ω。图 2 给出了天线电压驻波比的计算结果。

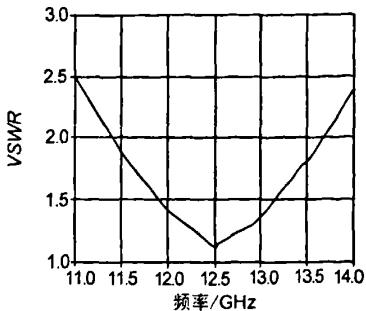


图 2 天线驻波比曲线

从计算结果可以看出双层贴近耦合微带贴片天线的阻抗带宽可以达到 17.60% ( $VSWR < 2.0$ ), 相对普通微带贴片天线, 阻抗带宽拓展了近 5 倍。

## 2 单元间互耦效应分析

在平面天线阵的设计中, 单元之间的互耦影响不容忽视。互耦效应的存在将导致单元在阵中的方向图与孤立元的方向图不同, 并且导致阵中单元的输入阻抗与孤立元的输入阻抗不同, 天线的极化特性也会变坏。从直观上讲: 第一, 单元间的互耦大小反比于单元的间距; 第二, 互耦与单元的相对方位有关, 即相互平行单元的耦合要比相互垂直单元的耦合更强; 第三, 当极化矢量位于直线上且直接指向或离开阵中的相邻辐射器时, 耦合为最小; 第四, 大的天线耦合弱。在较大的平面阵列中, 对一个单元有实际影响的只是它附近的几个单元, 其他单元由于间距较大, 互耦影响可以忽略。这里采用时域有限差分法(FDTD 法)分析了  $2 \times 2$  元阵中单元间距对互耦电平的影响, 同时将计算结果与 Ensemble 软件的仿真结果进行了比较, 结果如图 3 所示。

计算结果表明, 互耦电平随着单元间距的增加呈单调下降, 而且 H 面的耦合系数随距离增大而减小地更快, 这说明了耦合主要取决于空间辐射波部分, 表面波耦合不占主要部分。同时也反映出在较大平面阵中, 与某个单元相距较远的其他单元对其互耦效应已经很弱, 阵列设计中可以忽略不计。

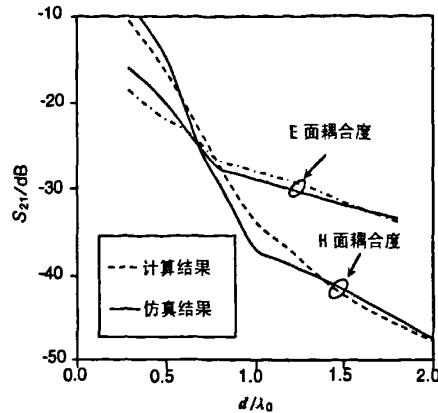


图 3 E 面和 H 面耦合度

## 3 天线阵设计

选择图 1 所示的双层贴近耦合微带贴片天线为阵列单元, 采用简单的 T 型等分功分器组成功分网络, 设计并制作了  $8 \times 8$  元平面天线阵, 阵列单元的各个参数不变, 同时为了减小单元间互耦效应的影响, E 面和 H 面阵元间距均取  $18$  mm( $0.75\lambda_0$ ), 图 4 和图 5 分别给出了阵列天线电压驻波比和在中心频率( $f_0 = 12.50$  GHz)处远场方向图的测试结果。

测试结果表明,  $8 \times 8$  元双层贴近耦合微带贴片天线阵中心频率  $f_0 = 12.5$  GHz, 在  $11.50$  GHz ~  $13.50$  GHz 的频带内均满足驻波比  $VSWR < 2.0$ , 阻抗带宽大于  $16.0\%$ , E 面和 H 面  $3$  dB 波瓣宽度分别为  $7.5^\circ$  和  $8.0^\circ$ , 天线阵增益大于  $22.5$  dB。在 E 面和 H 面方向图中左侧第一副瓣比较大, 这主要是由于测试环境的影响, 与天线结构无关。双层耦合贴片天线阵结构简单, 成本较低, 不仅可以有效拓展频带, 而且获得了较满意的增益, 这为下一步更大型平面天线阵的设计打下坚实的基础, 并在卫星通信等领域应用前景广阔。

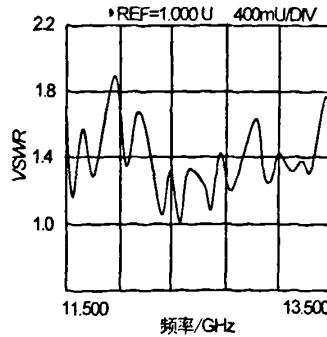


图 4 天线阵驻波比测试结果

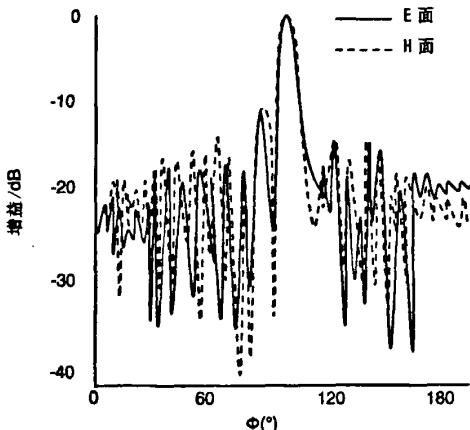


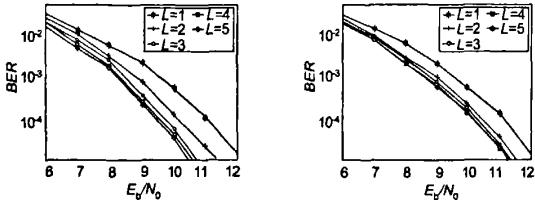
图 5 天线阵远场方向图

#### 4 结束语

微带天线的宽带方法依然是目前国内外研究的热点问题,尤其平面天线阵的宽带设计,由于受到天线单元形式的实用性以及阵列结构等方面因素的限制,从而具有一定的难度。在 Ku 波段由于设计频率较高,需要尽可能地简化单元形式,这样不管是天线形式还是实际制作工艺均对天线阵带宽造成一定

(上接第 34 页)

0.5% 以内。无频偏时,不同的  $L$  值对应的误码性能曲线如图 3 所示。剩余频偏为符号速率的 0.5% 时,不同的  $L$  值对应的误码性能曲线如图 4 所示。

图 3 无频偏时,不同  $L$  值对应的 BER 曲线图 4 频偏为符号率的 0.5% 时,不同  $L$  值对应的 BER 曲线

由图中可以看出:在高斯信道中,相对于传统的差分检测方法,误码率为  $10^{-4}$  时,判决反馈多码元差分检测方法在  $L = 5$ ,不存在频率偏移时的性能改善大约 1.6 dB;剩余频率偏移值为符号速率的 0.5% 时, $L = 4$  与  $L = 5$  的误码性能几乎相同,性能改善约 1 dB。

#### 4 结束语

本文提出并研究了一种用于  $\pi/4$ -DQPSK 信号的判决反馈多码元差分检测方法,计算机仿真结果

的影响,因此选择结构简单、技术成熟、频带较宽的双层微带贴片天线不失为一种可行的方法。此外,在天线阵馈电网络设计中,由于采用了大量的 T 型功分器,这就造成了天线阵用于接收时输入端的失配,在一定程度上影响了天线阵的效率,因此进一步改进馈电网络是下一步设计的重点。

#### 参 考 文 献

- [1] YUEHE G, KARU P E, TREVOR S B. A broadband E-Shaped patch antenna with a microstrip compatible feed[J]. Microwave and Optical Technology Letters, 2004, 42(2): 111 - 112.
- [2] VIJAY K P, BABAU R V. Analysis of an E-Shaped patch antenna[J]. Microwave and Optical Technology Letters, 2007, 49(1):4 - 7.
- [3] LI QIAN, LU XIAO-DE. Stacked wide band microstrip antenna[J]. Journal of the Graduate School of the Chinese Academy of Science, 2006, 23(6):770 - 774.
- [4] WEICAND S, GREG H H. Analysis and design of broad-band single-layer rectangular U-Slot microstrip patch antennas[J]. IEEE Transaction on Antennas and Propagation, 2003, 51(1): 13 - 15.
- [5] JANG YONG-WOONG. Experimental study of a broadband U-Slot triangular patch antenna[J]. Microwave and Optical Technology Letters, 2002, 34(5):325 ~ 327.

表明,在误码率为  $10^{-4}$ ,无频率偏移时,这种检测方法比通常的一阶差分检测方法,性能改善大约 1.6 dB;在剩余频率偏移值为符号速率的 0.5% 时,性能改善大约 1 dB。这种差分检测方法也可以推广到一般的 MDPSK 和 MDAPSK 系统中。

#### 参 考 文 献

- [1] WONG D P C, MATHIOPoulos P T. Nonredundant error correction analysis and evaluation of differentially detected  $\pi/4$ -shift DQPSK systems in a combined CCI and AWGN environment [J]. IEEE Transaction on Communications, 1992, 41(1):35 - 47.
- [2] DIVSALAR D, SIMON M K. Multiple-symbol differential detection of MPSK[J]. IEEE Transaction on Communications, 1990, 28(3):300 - 308.
- [3] 杨喜根,童新海.  $\pi/4$ -DQPSK 信号的一种新的解调方法[J]. 通信学报, 2000(10), 21(10):1 - 5.
- [4] 杨水旺,方能强,吴芝路. 基于 DDS 的  $\pi/4$ -DQPSK 调制器设计[J]. 无线电工程, 2005, 35(7):54 - 56.
- [5] 潘克强,张邦宁,郭道省. 一种新的解调译码方案[J]. 信号处理, 2006(8), 22(4):476 - 479.
- [6] FUMIYUKI A, MAMORU S. Decision feedback differential detection of differentially encoded 16APSK signal[J]. IEEE Transaction on Communications, 1996, 44(4):416 - 418.

## 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>