

一种毫米波低副瓣微带天线阵列的设计与仿真^{*}

赵 伟, 段 磊, 亓 东, 李 晓

(中国空空导弹研究院第8研究所, 河南洛阳 471009)

摘要: 针对降低毫米波段微带天线的副瓣电平, 提出了一种角馈方形微带贴片天线阵。在分析毫米波频段阻抗变换段与传输线之间存在不连续而导致阻抗失配和设计频率偏移这一突出问题的基础上, 确定了馈线与输入阻抗、谐振频率的关系, 利用 HFSS 软件优化馈线和阻抗变换段的宽度, 实现了阻抗匹配和天线谐振频率的调整。仿真表明, 设计的 6×10 元谐振式角馈方形微带阵列是一种低造价、实用性强的低副瓣电平毫米波天线。

关键词: 角馈; 微带阵列; 天线; 低副瓣; 毫米波

中图分类号: TN82 **文献标志码:** A

The Design and Simulation of a Millimeter Wave Microstrip Antenna Array with Low Side-lobe

ZHAO Wei, DUAN Lei, QI Dong, LI Xiao

(No. 8 Department of China Airborne Missile Academy, Henan Luoyang 471009, China)

Abstract: To reduce side-lobe level of a millimeter wave microstrip antenna array, a kind of corner feeding square microstrip antenna was put forward. Based on analyzing discontinuity between quarter-wavelength transformers and transmission line which leads impedance mismatch and frequency offset, the relationship of the feeder, the input impedance and resonant frequency was determined, and width of feeder and impedance converter was optimized using HFSS software. At last, impedance matching was realized and resonant frequency was adjusted. Simulation results show that the 6×10 units resonant corner feeding square microstrip array is a kind of low cost, strong practicability millimeter wave antenna with low side-lobe.

Keywords: corner feeding; microstrip array; antenna; low side-lobe; millimeter wave

0 引言

在各种平面天线中, 微带天线具有容易制造, 成本低, 重量轻, 易于壳体共形等优点。常见的微带天线多工作于 C 波段、X 波段等微波频段, 而毫米波频段微带阵列天线的设计较为困难, 其中一个关键问题是降低副瓣电平。降低副瓣电平常用的方法有两种: 一是四分之一波长阻抗变换段法。在天线阵上加四分之一波长阻抗变换段, 调整各变换段特性导纳与传输线特性导纳之比就可以实现电流锥削。二是贴片宽度加权。通过调整阵元宽度, 就是改变阵元的辐射导纳, 从而实现对电流幅度分布的改变。在毫米波段, 采用第一种方法更有益于控制电流分配和减小加工误差对天线性能的影响。

常见的具有较低副瓣电平的天线有梳形线微带阵列, 但是其辐射主要来自梳齿的末端, 难于控制电流分布。另外采用角馈方形贴片阵列, 其最先由 Dan-

iel^[1-2] 等人提出。角馈方形单元具有结构紧凑、馈线与单元分离便于设计等优点, 同时容易采用阻抗变换段形成阵列实现较低的副瓣电平, 在毫米波段上应用具有较大优势。该形式天线之前的研究工作多集中于较低频段, 并且未能考虑阻抗变换段与传输线之间存在的结构不连续对性能的影响, 而此问题在毫米波段尤为突出。

1 角馈方形贴片线阵

角馈方形贴片通过单元四条边与接地板之间的边缘场产生辐射场, 总合成场是 TE_{10} 模和 TE_{01} 模的迭加, 主极化是垂直极化(见图 1)。

方形贴片的尺寸满足式(1)。

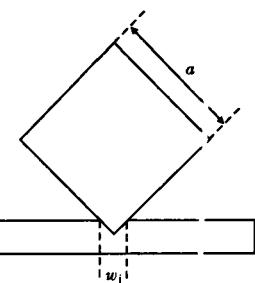


图 1 角馈方形贴片

* 收稿日期: 2012-05-24

作者简介: 赵伟(1980-), 男, 河南确山人, 工程师, 硕士, 研究方向: 波导阵列天线、微带阵列天线等。

$$f_r = \frac{c}{2a\sqrt{\epsilon_{ef}}} \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{w_j}{a} \right)^2 \right] \quad (1)$$

式中: f_r 为贴片谐振频率; a 为贴片的等效边长; ϵ_{ef} 为等效介电常数。谐振电阻 R_A 与 f_r 、 w_j 及 h 有关, 其经验公式^[2-3]为:

$$R_A = 113 \frac{(f_r)^{0.354}}{\left(\frac{w_j}{h} \right)^{0.24}} \quad (2)$$

由文献可知, w_j 与 h 最好满足 $\left(\frac{w_j}{h} \right) \leq 2$, 谐振频率的计算值与测试值的误差最小。

角馈方形贴片利用单元间馈线形成四分之一波长阻抗变换段来实现预定的电流分布。整条线阵采用中心馈电, 其示意图如图 2。



图 2 角馈方形微带线阵

阻抗变换段形成 $1:n_i$ 变压器, 假设第一辐射元上输入电流幅度为 1, 那么得到 $I_0 = 1; I_1 = n_1; \dots; I_i = n_1 n_2 \dots n_{i-1} n_i$ ^[4]。

2 毫米波线阵的设计和优化

天线线列为了降低副瓣电平需要采用非均匀阵。10 元线阵按副瓣电平 -30dB 的切比雪夫分布设计, 求得一侧的电流分布为 $I_1 : I_2 : I_3 : I_4 : I_5 = 1 : 0.878 : 0.669 : 0.430 : 0.258$ 。线阵采用基板材料为 R5880, 厚度 0.254mm, 取 Z_{in} 为 150Ω , 则单元物理宽度 2.86mm, 插入宽度 $w_j = 0.324\text{mm}$ 。取 $Z_{e2} = 75\Omega$, 则四分之一波长阻抗变换器的线宽分别为 0.477mm, 0.611mm, 0.809mm, 0.905mm, 单元间距 λ_g 。

应用 HFSS 仿真软件建立模型^[5], 天线采用中心馈电。仿真得到线阵单元表面电流强度的灰度图如图 3。中间两个单元的辐射强度最大, 依次向两边逐渐减弱, 实现了天线阵电流分布中心单元向两侧单元的锥削。

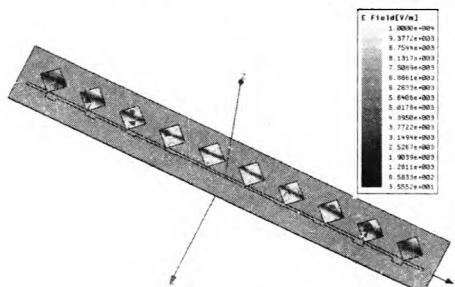


图 3 微带线阵单元的电流分布

10 元线阵在整个工作带宽内的输入阻抗曲线和

驻波曲线如图 4。在设计的中心频率 f_0 处输入阻抗的实部为 30Ω , 虚部 20Ω , 驻波 1.78。由驻波曲线可见, 线阵在 $(f_0 + 0.3)\text{GHz}$ 处的谐振最好, 驻波最小, 但是却相对设计的中心频率偏移了 0.3GHz , 且输入阻抗的实部在频带内小于 60Ω , 未能与馈线阻抗做到完全匹配。

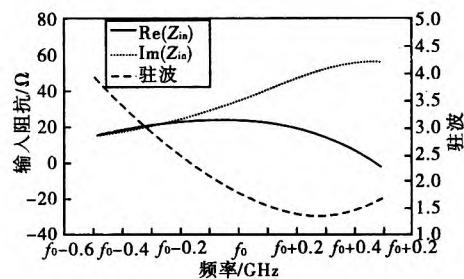


图 4 输入阻抗和驻波

分析认为, 串联阵列各单元贴片谐振时, 单元应保持同相。由于各个贴片之间的相位差由传输线、阻抗变换段及贴片单元的延时引起, 而在阻抗变换段与传输线之间存在的不连续会影响单元相位, 特别在毫米波频段尤为突出。

调整馈线以及相应的四分之一波长阻抗变换器的线宽, 应用 HFSS 软件的优化功能分析馈线线宽变化时, 输入阻抗和天线谐振频率的变化, 见图 5。馈线越宽, 整个线阵的输入阻抗变大, 谐振频率向低频移动, 阻抗匹配越好。因此, 通过调整馈线和阻抗变化器的宽度可调整线阵阵列的阻抗匹配。

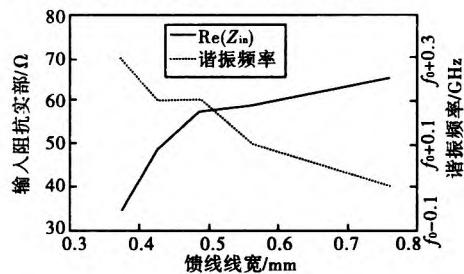


图 5 输入阻抗、驻波与馈线宽度的关系

10 元线阵馈线线宽优化的结果为 0.763mm , 由优化后的天线输入阻抗、电压驻波比随频率的变化曲线(见图 6(a))知, 在工作频率 f_0 处输入阻抗的实部约为 70Ω , 虚部为零, 阵列驻波最小, 与馈线满足阻抗的完全匹配; 当驻波小于 2, 天线带宽达到 700MHz 。由线阵优化前后的方向图对比(图 6(b)), 优化后第一副瓣副瓣电平降低 5dB , 远区副瓣电平降低 10dB 以上。可见, 利用 HFSS 软件优化馈线和阻抗变换器的宽度, 消除了阻抗失配, 较大幅度的降低了天线副瓣电平。

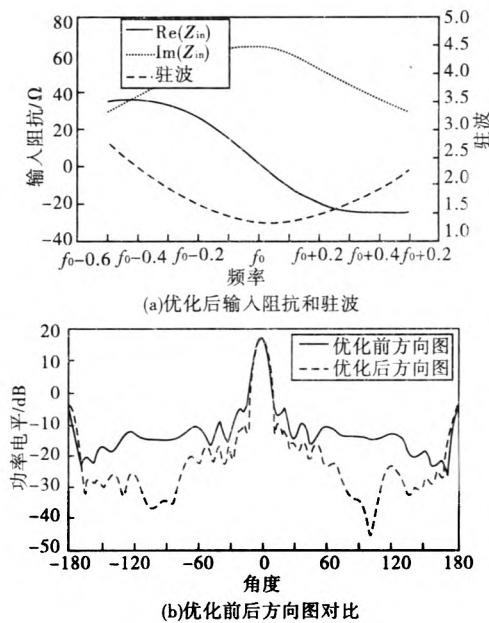
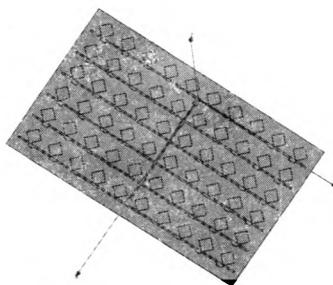


图 6 线阵优化前后性能

3 毫米波平面阵列的仿真验证

微带线阵是面阵组成的基础,由6条10元线阵组成 6×10 元谐振式面阵,阵列尺寸 $65\text{mm} \times 40\text{mm} \times 0.254\text{mm}$ 。6条线阵之间按照副瓣电平 -25dB 的切比雪夫分布设计,其一侧的电流分布为 $I_1 : I_2 : I_3 = 1 : 0.727 : 0.386$,中心采用同轴馈电,按同样的方法优化计算可得到线阵行之间四分之一波长阻抗变换器的线宽。阵列结构如图7。

图 7 6×10 元微带面阵

由仿真结果,阵列的立体方向图类似纺锤体,如图8(a)。YZ面和XZ面方向图见图8(b),天线增益 24.3dB ,副瓣电平 $\leq -25\text{dB}$,波束宽度分别为 9° 和 14.5° ,实现了天线的高增益、低副瓣、窄波束。

4 结论

文中提出了一种毫米波段角馈方形微带贴片天线阵。该天线采用四分之一波长阻抗变换器实现切比雪

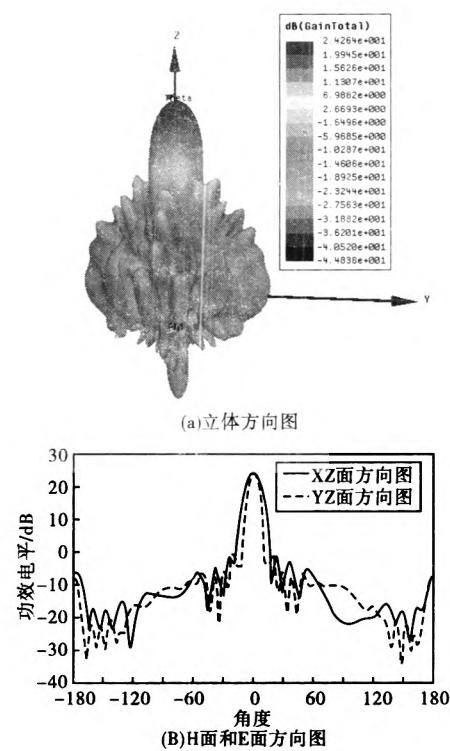


图 8 面阵方向图

夫分布的电流锥削,在分析毫米波频段天线阻抗变换段与传输线之间存在不连续而导致阻抗失配和设计频率偏移这一突出问题的基础上,确定了馈线与输入阻抗、谐振频率的关系,利用HFSS软件优化馈线和阻抗变换器的宽度,实现阻抗匹配和天线谐振频率的调整。仿真表明,设计的 6×10 元谐振式角馈方形微带阵列是一种低造价、实用性强的低副瓣电平毫米波天线。

参考文献:

- [1] Daniel J P, Himdi M, Thouroude D. Printed antenna arrays: Examples of commercial applications [C]//Antennas and Propagation for Wireless Communications, IEEE-APS, 1998: 105 – 108.
- [2] Motta Cruz E, Daniel J P. Experimental analysis of corner-fed printed square patch antennas [J]. Electronics Letters, 1991, 27(16): 1410 – 1412.
- [3] Shun-Shi Zhong, Xue-Xia Yang. Corner-fed microstrip antenna element and arrays for dual-polarization operation [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2002, 50(10): 1473 – 1480.
- [4] 恽小华,陈春红,孙琳琳,等.一种具有加减信道的低旁瓣微带天线阵 [J].电子学报,2003,31(12A): 2009 – 2011.
- [5] 赵伟,李晓.基于有限元法毫米波引信天线罩的仿真设计 [J].系统仿真学报,2009,21(8): 2446 – 2448.

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>