

# W 波段串馈微带贴片阵列天线设计

李欣 王月娟 严继军

(上海市航空航天器电磁环境效应重点实验室, 上海 200438; 上海无线电设备研究所, 上海 200090)

**摘要:** 通过采用微带传输线模型进行分析, 设计了 W 波段微带串馈微带贴片阵列天线, 并用幅度加权实现方向图副瓣控制。而该微带天线具有体积小、重量轻、结构简单、制作简单等诸多优点, 从而使该天线在 W 波段具有加工可实现性高、成本低的优点。

**关键词:** W 波段, 串馈, 微带天线

## Design of a Series-Feed Microstrip Patch Antenna at W-Band

LI Xin, WANG Yue-juan, YAN Ji-jun

(Shanghai Key Laboratory of Electromagnetic Environmental Effects for Aerospace Vehicle, Shanghai 200438, China; Shanghai Wireless Equipment Research Institute, Shanghai 200090, China)

**Abstract:** In this paper, series-fed microstrip antenna array is analyzed by applying the transmission line theory, and a W-band side lobe controlled array is designed with amplitude weighting. With the characters of small, light weight, simple framework and easy for produce, this Series-Feed Microstrip Patch Antenna at W-band can be realized with low price.

**Key words:** W-band, series-fed, microstrip antenna

### 引言

毫米波雷达波束窄, 天线副瓣低, 频带宽, 分辨率高, 有利于实现成像或准成像; 在大气窗口频段传播时, 不受白天和黑夜的影响, 受恶劣环境的影响小, 具有全天候工作的特点。穿透烟雾和尘埃的能力也优于红外和光学系统, 天线体积小易于安装。近年来, 毫米波高频段 (60~110GHz) 越来越受到研究人员的关注。

微带天线具有低剖面、重量轻、便于加工、成本低廉、易于与微波电路共面集成等优点, 在通信、导航、雷达和电子对抗等无线领域得到广泛应用。用微带串馈微带贴片阵列天线形式可以设计实现高增益、低副瓣, 文献 1、2 设计了 X 波段阵列天线, 文献 3 设计了 Ku 波段阵列天线。本文采用微带串馈微带贴片阵列天线形式设计了 W 波段阵列天线, 并采用幅度锥削, 实现了低副瓣的要求。

### 1 理论分析及公式推导

串馈矩形微带贴片天线可看作一个场量在横向没有变化的传输线谐振器<sup>[1]</sup>, 如图 1 所示, 其等效的传输线模型如图 2 所示, 场仅沿微带贴片长度方向变化, 微带贴片长度  $L$  通常是半个波长, 辐射主要由间距为  $L$  的 2 个开路端缝隙场产生。 $Y_t$  由微带传输线及等效负载决定。每个缝隙的辐射场与具有磁流  $M$  的磁偶极子辐射场相同, 辐射电导  $G$  为

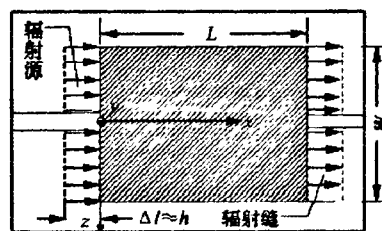


图 1 矩形微带贴片天线

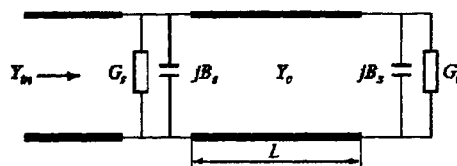


图 2 等效的传输线模型

$$G = \frac{P_r}{2V_0^2} = \frac{I}{120\pi^2} \quad (1)$$

$$= \frac{1}{120\pi^2} [xSi(x)] + \cos x - 2 + \frac{\sin x}{x}$$

$$B = Y_c \tan(\beta \Delta l) \quad (2)$$

其中:  $x = k_0 W$ ,  $Si(x) = \int_0^x \frac{\sin u}{u} du$ ,

$$Y_c = 1/Z_c.$$

式中,  $B$  为电纳;  $Y_c$  为微带天线的特性导纳。

等效导纳是一电容部分, 由边缘效应引起,

用延伸长度  $\Delta l$  表示,  $\Delta l$  的经验公式为:

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

式中,  $\epsilon_e$  为等效相对介电常数。矩形微带天线的等效电路如图所示, 这样将一条缝隙的导纳为

$$Y_{in} = G + jB + Y_c \frac{G + j(B + Y_c \tan \beta L)}{Y_c + j(G + jB) \tan \beta L} \quad (4)$$

微带辐射元等效为传输线连接的两个导纳。在谐振时, 输入导纳  $Y_{in}$  的虚部为零, 可以证明谐振器的谐振频率由下式计算

$$\tan \beta L = \frac{2Y_c B}{B^2 + G^2 - Y_c^2} \quad (5)$$

图3为加权后的串馈微带天线线阵结构示意图。

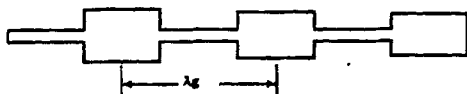


图3 串馈微带天线线阵结构

利用前面传输线模型, 将加权后的线阵等效为图4所示的电路图。考虑到各阵元为同相辐射, 因此天线单元间距为  $\lambda_g$ , 贴片的输入导纳为  $Y_L$ , 传输线的特性导纳为  $Y_c$ 。

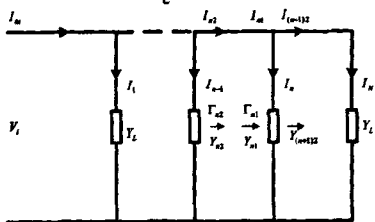


图4 串馈线阵等效电路图

假设第  $n$  元的电流为  $I_n$ , 从第  $n$  元右侧向末端看的导纳为  $Y_{(n+1)2}$ , 则第  $n$  元左侧传输线的电流为

$$I_{n1} = I_n + I_{(n+1)2} = I_n + \frac{Y_{(n+1)2}}{Y_L} I_n \quad (6)$$

第  $n$  元左侧传输线的导纳为

$$Y_{n1} = Y_L + Y_{(n+1)2} \quad (7)$$

通过理论格式推导后可得到

$$Y_{n2} = \frac{(Y_L + Y_{(n+1)2})(e^{a\lambda_g} + e^{-a\lambda_g}) + Y_c(e^{a\lambda_g} - e^{-a\lambda_g})}{Y_c(e^{a\lambda_g} + e^{-a\lambda_g}) + (Y_L + Y_{(n+1)2})(e^{a\lambda_g} - e^{-a\lambda_g})} \quad (8)$$

$$I_{n-1} = \frac{I_n}{2} [(e^{a\lambda_g} + e^{-a\lambda_g}) + \frac{(Y_L + Y_{(n+1)2})}{Y_c} (e^{a\lambda_g} - e^{-a\lambda_g})] \quad (9)$$

式(8)为各元处输入导纳的递推式, 式(9)为各元电流的递推式。计算从最末端元即第  $N$  元开始, 第  $N$  元右侧看入的导纳为零, 第  $N$  元的电流假设为1, 都是确定值, 由式(8)、(9)向前递推可求得  $I_{N-1}, I_{N-2}, \dots, I_2, I_1$  等阵元电流, 同时也得到从每个阵元右侧看入的输入导纳, 以及每个阵元右侧的传输线电流, 从第一元的左侧向右看的导纳为

$$Y_{11} = Y_1 + Y_{22} \quad (10)$$

第一元左侧传输线的电流为

$$I_{11} = I_1 + I_{22} \quad (11)$$

根据式(10)、(11)可知: 矩形贴片单元的电导与贴片单元的宽度  $W$  有关, 当工作频率、谐振长度确定后, 可根据式(10)计算得到各矩形贴片单元的电导, 以确定各矩形贴片单元的宽度  $W$ 。

## 2 天线阵列设计

设计了一个W波段矩形微带串馈线阵, 单元数为18。由于W波段微带损耗很大, 为减小微带板的损耗, 微带基板采用Rojers RT/Duroid 5880, 介电常数为2.2, 厚度为0.258mm, 线阵采用-25dB泰勒加权, 采用ANSOFT HFSS进行了仿真设计, 天线模型如图5所示, 其计算结果如图所示6。



图5 天线设计模型

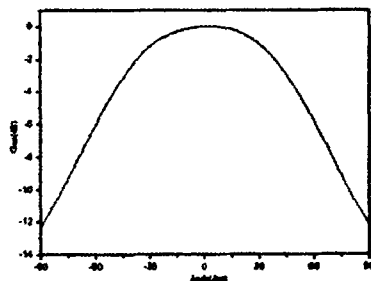


图6(a) 天线H面方向图

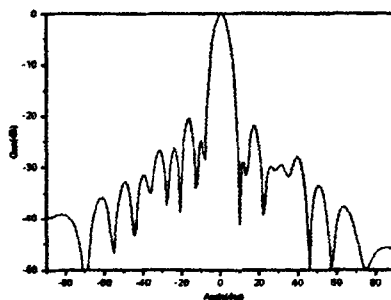


图6(b) 天线E面方向图

从图中可以看出,波束宽度 $7.1^\circ$ 、 $92^\circ$ ,副瓣电平-20.4dB,驻波系数为1.4.很好的实现了W波段微带串馈微带贴片阵列天线的设计工作。但由于微带传输线在W波段上的损耗较大,该天线的增益有较大的损失。

### 3 结 论

通过结合采用微带传输线模型,设计了W波段微带串馈微带贴片阵列天线,实现了低副瓣的要求。而该微带天线具有体积小、重量轻、低剖面、制作简单等诸多优点,从而使该天线在W波段具有加工可实现性高、成本低的优点;但由于微带传输线在W波段上的损耗较大,该天线的增

益有较大的损失。

### 参 考 文 献

- [1] I.J.鲍尔, P.布哈蒂亚.微带天线[M].北京:电子工业出版社.1984
- [2] 华光,杜小东,洪伟.微带加权串馈天线阵的设计与研制[J].微波学报, 2009,25(4):41-44
- [3] 刘晓磊,等. K 波段串馈微带贴片天线设计分析[J].微波学报, 2010,26(增刊): 146-147
- [4] 徐琰,张立东.矩形微带串馈线阵的设计[J].制导与引信,2003,24(4):34-41

李 欣 男, 1980 年生, 硕士生。主要研究方向: 阵列天线的分析与设计。

E-mail: venme@163.com

## 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,一直致力和专注于微波、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>