

文章编号:1000-582X(2004)04-0057-04

# 圆极化微带天线的设计与实现<sup>\*</sup>

韩庆文,易念学,李忠诚,雷剑梅

(重庆大学 通信学院,重庆 400030)

**摘 要:**圆极化微带天线是一种低剖面的天线元,研究圆极化微带天线的特性在天线设计中显得十分重要,而微带贴片天线的馈电位置的确定是设计的关键。针对单端侧馈五边形圆极化微带天线进行了详细分析和论述;简要介绍了微带天线的实现方法,并介绍了一种用于分析多边形微带天线的有效方法——有限元分析法;通过对一个 5.6 GHz 的五边形圆极化微带天线的研究设计,给出了圆极化微带天线的设计过程,找到了确定馈电点位置的合理方法,采用 HFSS 软件进行优化设计,进行仿真,给出了合理的仿真结果。

**关键词:**微带天线;圆极化;轴比;五边形;方向图;电压驻波比;带宽

**中图分类号:**TN820.11

**文献标识码:**A

目前简单的线极化天线已很难满足人们的需求,这就使得圆极化微带天线倍受青睐。

但在微带天线的分析中,近似处理较多,使得天线的设计准确性并不太好,微带贴片天线的馈电位置的确定往往需要实验调整的方法进行研究。另外由于微带天线的频带窄,设计尺寸的微小误差都会造成天线谐振频率的偏离,极化特性也会变差。在实际工作中由于介质基片的离散性,也影响了谐振频率的准确性<sup>[1]</sup>。针对上述问题,特别对圆极化微带天线的设计过程进行了深入的分析;通过应用 HFSS 高频结构软件仿真,使天线的性能得到了优化。

## 1 微带天线

微带天线是一种基于微带传输线的天线。它有多种形式,按结构特征,可把微带天线分为两大类,即微带贴片天线和微带缝隙天线;常用的一类,是贴片微带天线。贴片可以是矩形、圆形、椭圆形及其它形状,在此选用五边形贴片。

微带天线的辐射,是由微带天线边沿和接地板之间的边缘场产生的。以矩形贴片为例,其辐射场的示意图如图 1 所示。

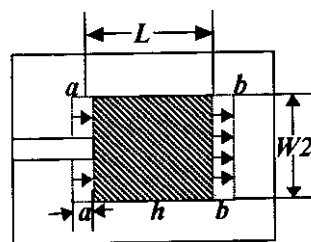


图 1 矩形微带天线的场图

微带天线分析的基本问题是,求解天线周围空间建立的电磁场;求得电磁场后,进而得出其方向图、增益和输入阻抗等特性指标,另外,微带天线的馈电,对天线的性能有至关重要的作用。馈线的长度和宽度直接影响着天线的谐振频率;馈电点的位置决定着天线边沿上的电流幅度、相位分布以及谐振频率。因此,对馈电方式的选择是设计成功与否的关键因素<sup>[2]</sup>。在本设计中采用微带线馈电。

## 2 圆极化微带天线的实现

微带天线要获得圆极化波的关键是,激励起两个极化方向正交的、幅度相等的、相位相差  $90^\circ$  的线极化波<sup>[3]</sup>。当前用微带天线实现圆极化辐射主要有以下几种方法:

<sup>\*</sup> 收稿日期:2003-11-08

基金项目:重庆市应用基础研究资助项目(2003-7960)

作者简介:韩庆文(1969-),女,重庆人,重庆大学工程师,硕士,主要从事微波通信、天线理论及天线设计的科研教学工作。

- 1) 正交馈电的单片圆极化微带天线;
- 2) 一点馈电的单片圆极化微带天线;
- 3) 曲线微带构成的宽带圆极化微带天线;
- 4) 微带天线阵构成的圆极化微带天线<sup>[4]</sup>。

正交馈的圆极化微带天线最早提出的一种结构形式。这种天线构成天线阵元时,馈电路之间会引起不希望有的耦合,因而限制了它的实际应用。现在实际应用较多的是后 3 种圆极化微带天线。曲线微带天线构成的宽频带圆极化微带天线不采用开放式的谐振腔,避开了基于谐振系统的辐射,不但有较强的辐射功率,而且有较低的 Q 值,是一种比较理想的宽频带圆极化微带天线。微带天线阵构成的圆极化微带天线在实际中已获得广泛的应用,这种天线具有高增益、高功率、低旁瓣、波束扫描或波束控制等优点,但是,它需要很复杂的功分器组合电路形成圆极化馈电,不易实现<sup>[5]</sup>。

在此采用一点馈电的单片圆极化方案,这种设计方案可以省去电桥,使得天线外形更为小巧,使用也更加灵活。

3 圆极化微带天线的分析方法(有限元法)

研究采用的五边形微带状天线是一种形状不规则的微带片状圆极化天线,因此,不能采用以前的方法来分析。起初,研究这种天线时,馈电点及各边尺寸都是由经验确定的,至今依然没有严格的分析方法。最近,有了两种比较好的近似分析这种天线的方法:一种是有限元法;一种是分片和补片法。由于计算机在进行模拟时主要采用的就是有限元法,故在此主要介绍一下用有限元法来分析五边形的过程<sup>[6-7]</sup>。

有限元法是把整个求解区域划分为若干个单元,在每个单元内规定一个基函数。在其它区域此函数为零,这些基函数在各自的单元内是解析的,这就是用分片解析函数代替全域解析函数。对于二维问题,单元可以取作三角形、矩形等,而以三角形域适应最广。

有限元法是从经典的里兹变分法发展而来的。可以证明,有下列微分方程

$$L(f) = g \tag{1}$$

$L$  为线性算子,  $g$  表示激励,  $f$  表示源的响应。如果对于定义域内任何非零函数  $f$ , 恒有内积  $\langle Lf, f \rangle > 0$ , 则上面的方程与下列泛函数变分等价

$$J(f) = \langle Lf, f \rangle - 2\langle g, f \rangle \tag{2}$$

里兹变分法是将分解为在域内解析的线性无关的基函数系列:

$$f = \sum a_n f_n \tag{3}$$

将式(1)、(2)代入式(3)中,则泛函数  $J(f)$  的变分就化作下列极值问题:

$$\frac{\partial J(f)}{\partial a_i} = 0, i = 0, 1, \dots, n \tag{4}$$

对于二次微分方程的泛函数,就化作  $n$  个线性代数方程的方程组,利用矩阵求逆,就可得到系数矩阵  $a$  从而得出的  $f$  近似解,这个解是稳定的。

基函数最简单的是选择一次多项式:

$$f_i(x, y) = a_i + b_i x + c_i y \tag{5}$$

式中  $a_i, b_i, c_i$  为对应于第  $i$  个单元的系数,  $x, y$  为该单元内的坐标。三角形的三个顶点称为结点,式(5)中未知系数正好可用 3 个结点处的函数值  $p_{i1}(x_1, y_1), p_{i2}(x_2, y_2), p_{i3}(x_3, y_3)$  来表示。即:

$$f_i(x, y) = N_{i1}(x, y)p_{i1} + N_{i2}(x, y)p_{i2} + N_{i3}(x, y)p_{i3} \tag{6}$$

式中  $N_{i1}, N_{i2}, N_{i3}$  均为  $x, y$  的一次多项式,它们仅适于单元内部,在单元处为零,且当  $x = x_1, y = y_1$ , 即第一个结点上,  $N_{i1} = 1, N_{i2} = N_{i3} = 0$ 。其余类推。函数  $N_i$  称为对应结点的基体。于是从全域来看,每个结点正好对应一个基函数,而写成全域形式为:

$$f = \sum_n^M p_n N_n \tag{7}$$

式(7)中  $M$  为结点数。用式(5)代入式(7)中,就可化为代数方程求解。最终求出其谐振频率  $f$ 。

图 2 为用有限元求解五边形微带天线的单元划分。

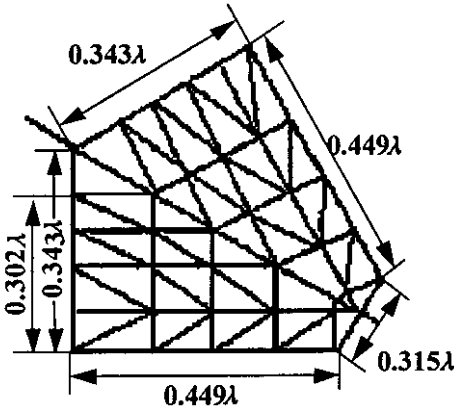


图 2 五边形微带天线的单元划分

边界导纳规定为:

$$Y = H_t / E_t$$

$H_t$  为边界上切向磁场。在微带腔的电场中,最方便的是求解电场,当基片很薄时,  $\frac{\partial E_z}{\partial z} = 0$ 。因此,电场可视为标量函数,求解较为方便。腔中电场满足的微分方程:

$$\nabla^2 E_z + k^2 E_z = j\omega\mu J_z \quad (8)$$

式中  $k = \omega \sqrt{\mu\epsilon}$ ,  $J_z$  为激励电流密度。

$$\text{在边界上 } H_t = \frac{1}{j\omega\mu} \frac{\partial E_z}{\partial n}, \hat{n} \text{ 为外法向单位矢量。}$$

故边界条件为：

$$\frac{\partial E_z}{\partial n} = j\omega\mu Y E_z \quad (9)$$

式(8)和式(9)对应的泛函数为：

$$J(E_z) = \frac{1}{2} \int_S [|\nabla_t E_z|^2 + k^2 |E_z|^2] ds + \int_L j\omega\mu J_z E_z^* dl - \frac{j\omega\mu}{2} Y \int_C |E_z|^2 dl \quad (10)$$

式中,  $\nabla_t E_z = \hat{x} \frac{\partial E_z}{\partial x} + \hat{y} \frac{\partial E_z}{\partial y}$ ,  $S$  为微带片面积,  $C$  为其周界,  $L$  为激励源  $J_z$  的周界。

应用有限元法,将五边形微带片区域分成三角形单元,如图 2 所示。利用前述,对泛函数变分可化为如下代数方程：

$$kp - k^2 Hp = T \quad (11)$$

式中  $p$  为列矩阵,表示各结点  $E_z$  的值,  $k, H$  均为系数矩阵,  $T$  为与源积分项有关的常数矩阵,通过此式的解可求出天线的输入阻抗。若所讨论的是无源问题,即  $J_z = 0$ ,则  $T = 0$ ,式(11)化作特征方程,可求出谐振频率和谐振模。

#### 4 仿真分析

以 5.6 GHz 的圆极化微带天线为设计目标。要求天线辐射尽量接近纯圆极化,即有较低的轴比,具有好的带宽特性,有较高的增益。微带天线一般应用在 1~50 GHz 频率范围内,关键问题是如何兼顾圆极化和宽带宽。

设计图形见图 3,它各边的尺寸关系是采用有限元法分析,由经验所得一组近似值,在实际的设计中只能作为一个参考,还要进行适当的修改。

根据式(12),(13)求得的介质波长：

$$\lambda_g = \lambda_0 / \sqrt{\epsilon_r} \quad (12)$$

$$\epsilon_r = \frac{1 + \epsilon_r}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + \frac{10h}{W}\right)^{-1/2} \quad (13)$$

根据这个介质波长,得到各边的长度。

通过尺寸调整并改变馈电点的位置,最终得到了比较理想的圆极化方向图。

需要说明的是馈电位置的选择在微带天线的设计中是一个难点。因为,馈电的位置不但决定天线激励那种模式,而且,还影响天线的辐射特性。调试时既要考虑辐射场的幅度,又要考虑其相位和谐振频率,故此

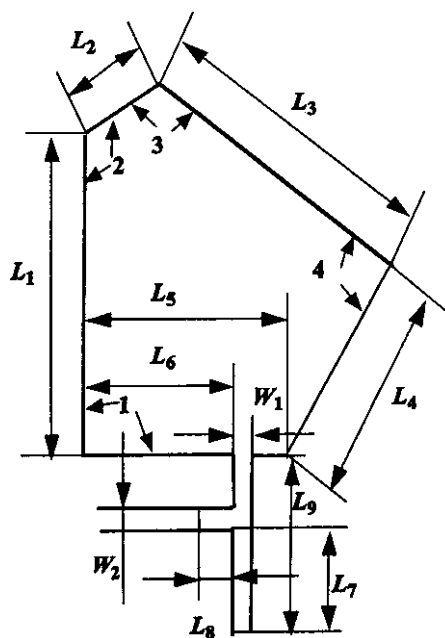


图 3 天线各边及馈线尺寸

选择起来比较困难。通过在实际中的不断摸索,总结出了一个比较实用的调试方法。在此给出:首先,根据上面的比例式确定一个馈电点位置(一般情况下这个馈电点都不会满足要求);然后,在这一点的一侧各选择一个距离此点约为 1~1.5 mm ( $0.03 \sim 0.05 \lambda_g$ ) 的点,模拟之后,对比两侧的相位和幅度变化,选择变化较大的一侧,以原来的点为起始点,以毫米( $0.003 \lambda_g$ ) 为单位,向这一侧依次移动馈电点,只要选择的馈线宽度和长度合适,最终一定能确定获得圆极化辐射图的馈电点位置。据此方法得到的馈电位置:  $L_6 = 8.366$  mm

至于基片尺寸,背馈情况可取：

$$WG = L + 0.2 \lambda_g \quad (14)$$

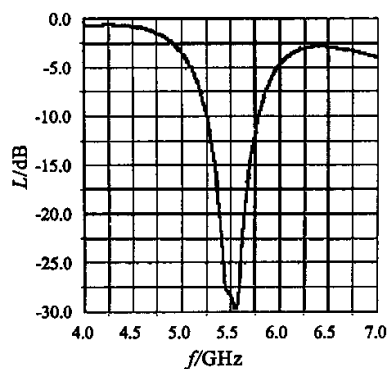
$$LG = W + 0.2 \lambda_g \quad (15)$$

到此,微带天线的基本尺寸已设计完毕。下一步就是通过模拟观察其结果,然后进行调整。

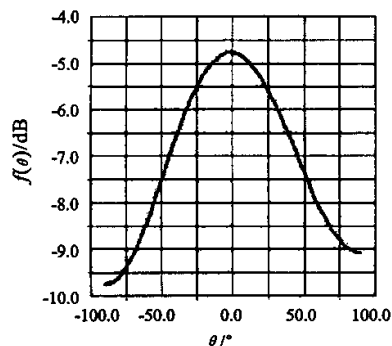
使用安捷伦公司所提供的专门软件 HFSS 模拟得到以下结果,见图 4。

由图 4 看出天线指标是：

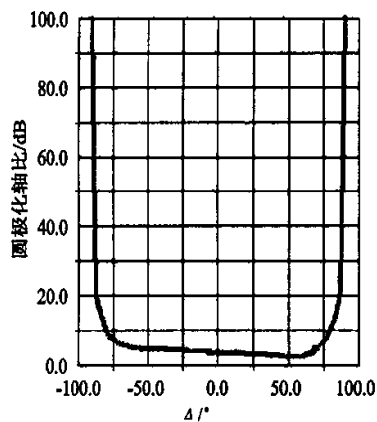
- 1) 带宽,反射系数 -15 dB 时的带宽为 6.54%; 反射系数 -20 dB 时的带宽为 3.4%。
- 2) 轴比,轴比低于 5 dB 的角度范围为  $-60^\circ \sim 72^\circ$ 。
- 3) 方向图,  $\theta$  方向,半功率角为  $85^\circ$ 。  $\phi$  方向,波束宽度为  $110^\circ$ 。
- 4) 增益,优于 6.0 dB。
- 5) 有效角度,  $128^\circ$ 。



(a) 反射系数与频率的关系图

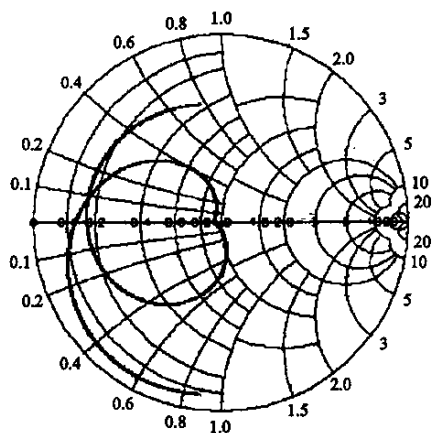


(c)  $\theta$  方向图

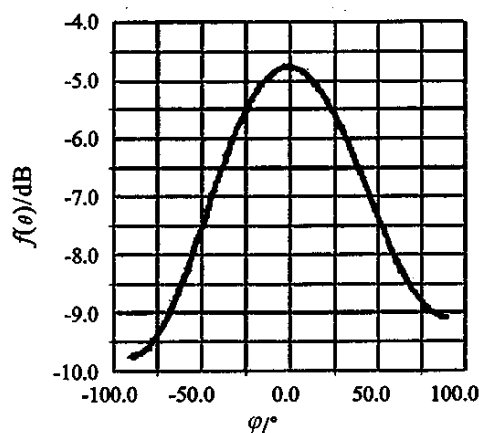


(e) 轴比图

图 4 HFSS 仿真结果



(b) 导纳圆图



(d) 方向图

译. 北京: 电子工业出版社, 1984.

- [2] 钟顺时. 微带天线理论与应用[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1991.
- [3] POZAR D M. Radiation and scattering from a microstrip patch on a uniaxial substrate[J]. IEEE Trans on Antennas Propagation, 1987, 35(6): 613-621.
- [4] JACKSON D R. The RCS of rectangular microstrip patch in a substrate-superstrate geometry[J]. IEEE Trans on Antennas Propagation, 1990, 38(1): 2-8.
- [5] VIRRG A K L, RAHMAT-SAMII Y. Efficient wide-band evaluation of mobile communication antenna using [Z] or [Y] matrix interpolation with the method of moments[J]. IEEE Trans on Antennas Propagation, 1999, 47(1): 65-76.
- [6] 付光, 郑会利. 一种用于移动卫星通信的新型多功能微带天线[J]. 西安电子科技大学学报, 1997, 24(3): 438-441.
- [7] 张均, 刘克诚, 张贤铎, 等. 微带天线理论与工程[M]. 北京: 国防工业出版社, 1988.

(下转第 92 页)

## 5 结 论

通过对 5.6 GHz 圆极化微带天线的研究, 对其设计方法也作了一些总结和大胆的创新, 如五边形尺寸的设计、馈电点位置的选择、调配枝节的确定和阻抗匹配等, 从而获得良好的轴比和较宽的带宽, 并实现了良好的匹配, 此研究对圆极化微带天线的设计极其有用, 提供了一种切实可行的圆极化微带天线的设计方法。

## 参考文献:

- [1] 鲍尔 I J, 布哈蒂亚 P 著. 微带天线[M]. 梁联倬, 寇廷耀

## Development of CuMn35 Master Alloy

JIANG Han-xiang, WANG Hong-jia, TANG Ying, GUO Hong

(College of Material Science and Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

**Abstract:** This article has investigated the principle and method of smelting CuMn35 master alloy by fusion alloying. And some questions about deoxidation and removal of hydrogen has been discussed. We have found the best process conditions after a series of orthogonal experiments and obtained uniform components by chilling technique. Elsewhere, we use carbon and cryolite as covering agent and refining agent to reduce oxide inclusion greatly and improve the surface texture and the yield of copper and manganese, attained 99.99% and 99.31% respectively. The results of the experiment show that the process is advisable.

**Key words:** CuMn35 master alloy; fusion alloying; chilling technique; orthogonal experiment

(编辑 李胜春)



(上接第 60 页)

## Design and Realization of Circular Polarization Microstrip Antenna

HAN Qing-wen, YI Nian-xue, LI Zhong-cheng, LEI Jian-mei

(College of Communication Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

**Abstract:** The circular polarization microstrip antenna is one kind of low cut plane antenna element. Researching circular polarization microstrip antenna property is very important in antenna design. And how to find the feed place is the key to design. Researching makes a detailedly analysing and expounding of the pentagon circular polarization microstrip antenna in view of the single ended side. The microstrip antenna realization means is introduced. The way to analyze polygon microstrip antennal is given, which is named finite cell. By adjusting the 5.6 GHz pentagon circular polarization microstrip antenna, we give out the circular polarization microstrip antenna design processing. The feed place is found with the right means. Adopting HFSS software to optimize the design, and carries on imitation, give out the right imitation result.

**Key words:** microstrip antenna; circular polarization; axial ratio; pentagon; antenna pattern; VSWR; bandwidth

(编辑 张 苹)

## 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>