

新型三角形微带天线及其分析

董玉良，杨小鹏，张士选

(西安电子科技大学 天线与电磁散射研究所 陕西 西安 710071)

摘要：内场结构研究表明，方形微带天线含对角线的两个空腔横截面分别属于理想电壁和理想磁壁。提出了两种新型三角形微带天线，在谐振频率不变的情况下，将天线贴片面积缩减了一半。给出了用于分析三角形微带天线的一种新方法，理论计算和基于矩量法解的 Ensemble 软件模拟结果一致性很好。

关键词：微带天线 模式展开 小型化

中图分类号 TN821.1 文献标识码 A 文章编号 1001-2400(2002)03-0408-03

New triangular microstrip antennas and analysis

DONG Yu-liang, YANG Xiao-peng, ZHANG Shi-xuan

(Research Inst. of Antennas and EM Scattering, Xidian Univ., Xi'an 710071, China)

Abstract: The analysis of the field distribution inside a square microstrip antenna shows that two cavity cross sections situated across the diagonal lines are the perfect conducting wall and the perfect magnetic conducting wall, respectively. Hence, two new triangular microstrip antennas are presented. Compared with the square microstrip antenna, the antennas presented here have the similar field distributions but half the patch area at the same resonant frequency. Also, a new analysis approach to the triangular microstrip antenna is described. The theoretical results agree well with those simulated by the Ensemble software based on the method of moments.

Key Words: microstrip antennas; expanding mode approach; size reduction

微带天线具有低剖面结构，在通信领域中有广泛的应用。但由于二维尺寸的限制，它不能满足像空间飞行器以及个人移动通信等应用场合的要求，因此，微带天线的小型化一直是人们普遍关注的焦点和努力方向^[1~3]。

工作于基模(TM_{10} 和 TM_{01})的方形微带天线在含对角线的两个空腔横截面内($E_z = 0$ 或 $H_t = 0$)。在 $E_z = 0$ 面处放入理想导体，而在 $H_t = 0$ 处放入理想磁体，这并不破坏内场分布，依此原理，提出了两种新型直角三角形微带天线。新三角形天线与原正方形天线具有类似的场分布和相同的谐振频率，贴片面积却缩减了一半。文中论述了两种直角三角形贴片天线的产生原理，其阻抗特性和辐射特性可由方形贴片天线的结果导出。天线馈电输入端反射损耗和远场辐射特性的理论计算值与基于矩量法解的 Ensemble 软件模拟结果吻合很好，为三角形微带天线的分析提供了一种新方法。

1 基本原理

根据模展开理论，边长为 a 的方形微带天线的内场可表示为各本征模的叠加^[4]

$$E_z = \sum_{m,n=0}^{\infty} B_{mn} \cos(m\pi x/a) \cos(n\pi y/a) . \quad (1)$$

天线中究竟存在何种模式完全取决于微带天线基片材料特性、贴片形状、尺寸以及馈电激励结构等。当方形

收稿日期 2001-08-30

基金项目 国家部委预研基金资助项目(DJ984.11.1.1)

作者简介 董玉良(1951-)，男，高级工程师。

万方数据

微带天线沿对角线激励时,由于贴片结构关于激励点的对称性,天线中可同时维持等幅同相极化正交的 TM_{10} 模和 TM_{01} 模,故基模时内场可简化为

$$\begin{cases} E_z = B_0 [\cos(\pi x/a) + \cos(\pi y/a)] \\ H_x = B_1 \sin(\pi y/a) \\ H_y = -B_1 \sin(\pi x/a) \end{cases}, \quad (2)$$

相应的场分布如图1(a)所示。

由式(2)发现,在含对角线 AC 的空腔横截面上,内场 $E_z = 0$,符合理想导体边界条件。将无限薄理想导体嵌入该零场处,舍弃三角形 ABC 部分,则保留的三角形贴片 ADC 的内场分布及边界条件与原方形贴片对应部分的场分布及边界条件完全相同。于是由方形贴片天线的内场分布、输入阻抗及远区辐射特性可直接导出三角形贴片天线的相应特性。

同理,在含对角线 BD 的空腔横截面上, $H_z = 0$,符合理想磁体边界条件,以 BD 为界,将方形贴片一分为二,舍弃一半,保留一半,则保留部分成为新的辐射贴片。与原方形贴片比较,忽略边缘效应及互耦时,新辐射贴片的谐振频率将保持不变。

理想情况下,三角形贴片天线与原方形贴片天线的谐振频率相等,这意味着贴片面积将缩减一半。

短路三角形贴片 ADC 和开路三角形贴片 BCD 的辐射边场分布分别如图1(b)、(c)所示。

2 理论分析

方形微带天线的输入阻抗可表示为各模阻抗的叠加^[1]

$$Z_{\text{in}} = \frac{j k_0 \eta_0 h}{a^2} \sum_{m,n=0}^{\infty} \frac{\delta_{0m} \delta_{0n}}{k_{mn}^2 - k_e^2} \varphi_{mn}^2(x_0, y_0) j_0^2\left(\frac{m \pi d_0}{2a}\right), \quad (3)$$

其中 $\varphi_{mn}(x_0, y_0) = \cos(m\pi x_0/a) \cos(n\pi y_0/a) j_0(x) = \sin(x) \vee x$,

$$\delta_{0p} = \begin{cases} 2 & p \neq 0 \\ 1 & p = 0 \end{cases}, \quad k_{mn} = (\pi/a)^2 m^2 + n^2)^{1/2},$$

$k_e = k(\epsilon(1 - j \tan \delta_e))^{1/2}$ 为 k 的修正值, $\tan \delta_e$ 为总的等效损耗角正切, d_0 为馈电点 (x_0, y_0) 处沿 x 和 y 方向等效薄片电流宽度, h 是微带基片材料厚度, k_0 和 η_0 具有常规意义。

贴片边缘的理想短路不易做到,在天线制造中可用“金属化孔”工艺实现由探针短路,短路三角形贴片天线的输入阻抗不能简单地由方形贴片结果直接得出,原因是短路探针将引入等效电感和电容^[1]。探针直径、间距、数量、分布以及基片材料厚度等都将影响该天线的输入阻抗,涉及内容较多,需要专门论述。

在忽略辐射边互耦情况下,开路三角形贴片天线的输入阻抗是方形贴片天线的两倍。

根据场的等效性原理,方形和三角形微带天线的贴片周边磁流分布可统一表示为

$$\mathbf{M}_s = -\mathbf{n} \times \mathbf{z} E_z = \begin{cases} -x B_0 [1 + \cos(\pi x/a) \cos(\pi y/a)] \\ +y B_0 [1 + \cos(\pi x/a) \cos(\pi y/a)] \end{cases}, \quad (4)$$

式中方形贴片取 $x = 0, a$ 和 $y = 0, a$;短路三角形贴片取 $x = 0$ 和 $y = 0$;开路三角形贴片取 $x = a$ 和 $y = 0$ 。 \mathbf{n} 为单位矢量, x, y, z 表示 x, y, z 方向的单位矢量。

由磁流 \mathbf{M}_s 可求得矢量位

$$\mathbf{F} = \frac{h}{2\pi R} \exp(-j k_0 R) \int_S \mathbf{M}_s \exp[j(k_x x + k_y y)] dx dy, \quad (5)$$

其中 $k_x = k_0 \sin \theta \cos \phi$, $k_y = k_0 \sin \theta \sin \phi$ 。远区辐射场可表示为

$$\mathbf{E} = \boldsymbol{\theta} j k_0 (F_x \sin \phi - F_y \cos \phi) + \boldsymbol{\phi} j k_0 (F_x \cos \phi + F_y \sin \phi) \cos \theta. \quad (6)$$

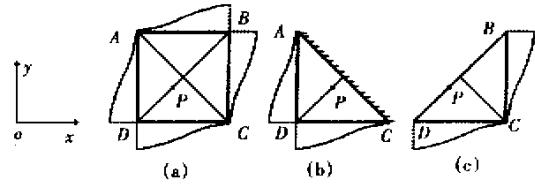


图1 方形和三角形微带天线辐射边场分布

3 结果及讨论

根据以上理论分析,就给定的一组材料和参数: $a = 60 \text{ mm}$, $h = 1.5 \text{ mm}$, $\epsilon_r = 2.55$, $\tan \delta = 0.001$,激励探针直径为 1.0 mm ,13 个直径为 0.8 mm 的短路探针均匀分布于 AC 边。由式(3)计算的方形和开路三角形贴片天线馈电输入端反射损耗如图 2 所示,其中开路三角形贴片天线辐射边等效延伸按方形贴片等效延伸^[1]的一半计算,图 3 和图 4 分别给出了文中计算的两种三角形贴片天线的 E 面($\phi = 45^\circ$)和 H 面($\phi = -45^\circ$)方向图。图 2~4 同时给出了基于矩量法解的 Ensemble 软件模拟结果,由图可见理论计算与模拟结果均吻合很好。笔者虽未给出短路三角形贴片的计算值,但模拟结果足以证明该天线的可行性。表 1 是天线激励探针坐标(x_0 , y_0)谐振频率 f_0 和带宽 BW 的比较。

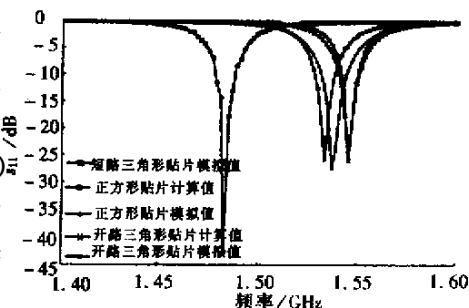


图 2 天线反射损耗

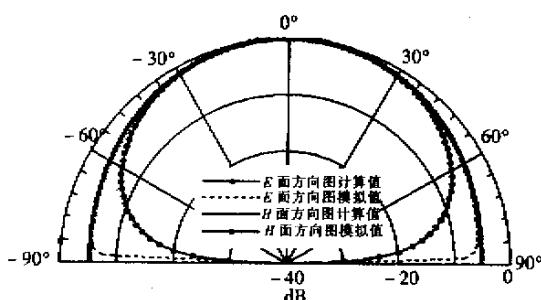


图 3 开路三角形贴片天线方向图

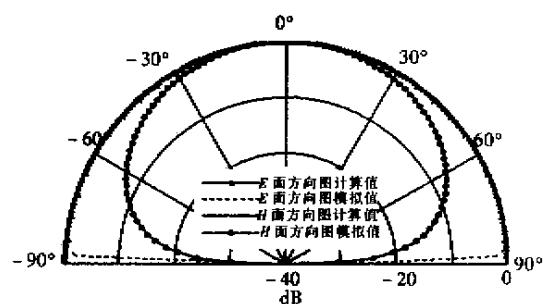


图 4 短路三角形贴片天线方向图

表 1 天线性能比较

贴片形式	正 方 形	短路三角形	开路三角形
$(x_0, y_0)/\text{mm}$	(24.0, 24.0)	(27.0, 27.0)	(26.8, 26.0)
f_0/GHz	1537	1483	1545
BW/GHz	14	10	8

4 结 论

基于内场分布特点,发现方形微带天线含对角线的两个互相正交的空腔横截面分别属于理想电壁和理想磁壁,只要保证边界条件不变,则场分布亦将不变。据此,文中提出了两种新型等腰直角三角形天线并对其进行了有效分析。理论计算结果和软件模拟结果一致性很好。显然,文中提出的直角三角形微带天线的贴片面积仅是常规方形贴片面积的一半,这在天线安装空间受限的场合具有重要意义。

参考文献:

- [1] Sanad M. Effect of the Shorting Posts on Short Circuit Microstrip Antenna [A]. IEEE AP-S Int Symp Dig [C]. Washington : University of Washington Seattle , 1994. 794-797.
- [2] Waterhouse R. Small Microstrip Path Antenna [J]. Electron Lett , 1995 , 31(8): 604-605.
- [3] Satpathy S K , Ray K P , Kumar G. Compact Shorted Variations of Circular Microstrip Antenna [J]. Electron Lett , 1998 , 34(2): 137-138.
- [4] 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.

(编辑:齐淑娟)

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>