

短路针加载三角形微带贴片天线的研究

栾秀珍¹, 李永红¹, 李春庚², 林斌¹, 王百锁¹

(1. 大连海事大学信息工程学院, 辽宁大连 116026; 2. 大连海事大学计算机学院, 辽宁大连 116026)

摘要: 短路针加载微带贴片天线具有较低的谐振频率, 特别适用于低频便携式通信设备(如手机)中。与短路针加载矩形和圆形贴片天线相比, 短路针加载三角形贴片天线具有更低的谐振频率。本文基于腔模理论, 利用未加载三角形贴片天线的静态模, 提出了短路针加载三角形贴片天线的理论分析方法, 给出了天线谐振频率、输入阻抗及反射损耗的计算公式, 数值计算与实测结果相吻合, 表明这种分析方法是有效的。

关键词: 微带贴片天线; 腔模理论; 谐振频率; 输入阻抗; 反射损耗

中图分类号: TN820 文献标识码: A 文章编号: 0372-2112(2003)06-0944-03

Research on Triangular Microstrip Patch Antenna Loaded with a Shorting Pin

LUAN Xiu-zhen¹, LI Yong-hong¹, LI Chun-geng², LIN Bin¹, WANG Bai-suo¹

(1. College of Information Engineering, Dalian Maritime University, Dalian, Liaoning 116026, China;

2. College of Computer Science & Technology, Dalian Maritime University, Dalian, Liaoning 116026, China)

Abstract: Microstrip patch antenna with a shorting pin has a lower resonant frequency, so it especially suits to low frequency portable communication equipment(such as handsets). Compared to rectangular and circular patch antenna loaded with a shorting pin, triangular patch antenna loaded with a shorting pin has lower resonant frequency. Based on the cavity model theory, this paper used the static mode of the unloaded triangular patch antenna to propose the analytical method of triangular patch antenna loaded with a shorting pin, and the calculation formulas of resonant frequency, input impedance and reflective loss for this kind of antennas are given. The numerical calculations agree with the measured results very well, verifying that this analytical method is valid.

Key words: microstrip patch antennas; cavity model theory; resonant frequency; input impedance; return loss

1 引言

微带贴片天线具有剖面低、重量轻、制作简单、易与RF器件集成等优点, 目前已得到广泛应用。然而, 在某些应用场合(如移动通信手持机)中, 由于工作频率较低, 若采用传统形式的微带贴片天线, 则所需尺寸仍然太大而不适用。目前, 人们已经提出了几种减小微带贴片天线尺寸的技术, 在贴片天线中加入短路针是其中最简单、最有效的方法之一。实验研究表明, 在同样的工作频率上, 矩形和圆形贴片天线中加入短路针可使贴片尺寸减少67%^[1], 而三角形贴片天线中加入短路针可使贴片尺寸减少75%^[4]。因此, 在贴片天线中加入短路针可以大大减少贴片天线的尺寸, 而且在三角形贴片天线中加入短路针可使贴片尺寸减少得更多。目前, 关于短路针加载微带贴片天线的研究主要在实验方面^[1~4], 有关的理论研究较少。因此, 对这种天线进行理论研究, 提出有效的分析方法是非常必要的。在理论研究方面, 文献6基于腔模理论, 利用未加载贴片天线的零模分析了短路针加载矩形和圆形贴片天线的谐振频率特性, 解释了在贴片天线中加入短路针可以减

少贴片尺寸的实验现象。这种方法简单、有效, 但对天线的重要特性—输入阻抗特性和反射损耗特性以及短路针加载其他形状贴片天线并没有进行详细讨论。由于在三角形贴片天线中加入短路针可以使贴片尺寸减少得更多, 具有更大的应用价值。本文对短路针加载三角形贴片天线进行了详细研究。基于腔模理论, 利用未加载三角形贴片天线的静态模分析了短路针加载三角形贴片天线, 给出了天线谐振频率的计算公式, 并提出了天线输入阻抗和反射损耗的分析方法, 给出了相应的计算公式。由这些公式所作的数值计算与实测结果吻合, 故可将这些公式用于这种天线的计算机辅助设计中。

2 短路针加载三角形微带贴片天线的理论分析

短路针加载三角形微带贴片天线的结构如图1所示。图中贴片是等边三角形, 边长为d, 介质基片的相对介电常数为 ϵ_r , 厚度为h, 短路针和馈电探针的半径和坐标分别为 r_s 、(x_1 , y_1)和 r_p 、(x_2 , y_2), 且 $d_h = \sqrt{3}d/2$, $x_1 = d_h/3 - d_s$, $y_1 = 0$, $x_2 = d_h/3 - d_p$, $y_2 = 0$ 。

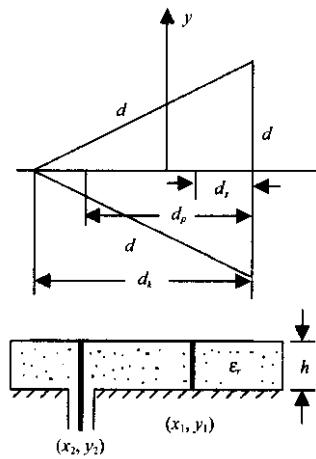


图 1 短路针加载三角形微带贴片天线结构图

根据腔模理论,贴片和接地板之间腔体内的法向电场为^[5]:

$$E(x, y) = j\omega\mu_0 \sum_{m,n} \frac{\langle J_z, \Psi_{mn}^* \rangle \cdot \Psi_{mn}}{(k^2 - k_{mn}^2)} < \Psi_{mn}, \Psi_{mn}^* > \quad (1)$$

其中本征函数 $\Psi_{mn}(x, y)$ 和截止波数 k_{mn} 由下式确定^[7]:

$$\begin{aligned} \Psi_{mn}(x, y) = & \cos\left[\left(\frac{2\pi x}{\sqrt{3}d} + \frac{2\pi}{3}\right)\gamma\right] \cos\left[\frac{2\pi(m-n)y}{3d}\right] \\ & + \cos\left[\left(\frac{2\pi x}{\sqrt{3}d} + \frac{2\pi}{3}\right)m\right] \cos\left[\frac{2\pi(n-l)y}{3d}\right] \\ & + \cos\left[\left(\frac{2\pi x}{\sqrt{3}d} + \frac{2\pi}{3}\right)n\right] \cos\left[\frac{2\pi(l-m)y}{3d}\right], \end{aligned}$$

$$l = -(m+n), k_{mn} = \frac{4\pi}{3d} \sqrt{m^2 + mn + n^2}$$

为分析方便,将与短路针和馈电探针有关的量分别用下标 1 和 2 表示,且设短路针和馈电探针分别是横截面积为 $\Delta_1^2 = (2r_s)^2$ 和 $\Delta_2^2 = (2r_p)^2$ 的正方形。由于短路针和馈电探针通常很细,故可设第 j 针上的电流密度为

$$J_j(x, y) = \begin{cases} \frac{I_j}{\Delta_j^2}, & x \in [x_j - \frac{\Delta_j}{2}, x_j + \frac{\Delta_j}{2}], y \in [y_j - \frac{\Delta_j}{2}, y_j + \frac{\Delta_j}{2}] \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (2)$$

对应的内积为

$$\begin{aligned} \langle J_{j'}, \Psi_{mn}^* \rangle &= \int_{x_j - \frac{\Delta_j}{2}}^{x_j + \frac{\Delta_j}{2}} dx' \int_{y_j - \frac{\Delta_j}{2}}^{y_j + \frac{\Delta_j}{2}} \frac{I_j}{\Delta_j^2} \Psi_{mn}(x', y') dy' \\ &= \frac{I_j}{\Delta_j^2} \cdot p(x_j, y_j, \Delta_j) \end{aligned} \quad (3)$$

其中

$$p(x_j, y_j, \Delta_j) = \int_{x_j - \frac{\Delta_j}{2}}^{x_j + \frac{\Delta_j}{2}} dx' \int_{y_j - \frac{\Delta_j}{2}}^{y_j + \frac{\Delta_j}{2}} \Psi_{mn}(x', y') dy'$$

于是,由式(1)知,第 j 针上的电流产生的电场为

$$E_j = j\omega\mu_0 \cdot \frac{I_j}{\Delta_j^2} \sum_{m,n} \frac{1}{k^2 - k_{mn}^2} \cdot \frac{p(x_j, y_j, \Delta_j) \cdot \Psi_{mn}}{< \Psi_{mn}, \Psi_{mn}^* >} \quad (4)$$

第 j 针上的电流在第 i 针邻域产生的平均电场为

$$\bar{E}_{ij} = \frac{j\omega\mu_0}{\Delta_i^2} \cdot \frac{I_i}{\Delta_i^2} \sum_{m,n} \frac{1}{k^2 - k_{mn}^2} \cdot \frac{p(x_j, y_j, \Delta_j) \cdot p(x_i, y_i, \Delta_i)}{\Psi_{mn}, \Psi_{mn}^*} \quad (5)$$

相应的阻抗为

$$\begin{aligned} Z_{ij} &= \frac{\bar{E}_{ij} \cdot h}{I_j} = \frac{1}{j\omega \frac{dd_h}{2h}} + \frac{j\omega\mu_0}{\Delta_i^2} \cdot \frac{h}{\Delta_j^2} \sum_{m,n \neq 0,0} \frac{1}{k^2 - k_{mn}^2} \\ &\cdot \frac{p(x_j, y_j, \Delta_j) \cdot p(x_i, y_i, \Delta_i)}{\Psi_{mn}, \Psi_{mn}^*} \end{aligned} \quad (6)$$

在不考虑短路针和馈电探针之间耦合的情况下,由短路针处的边界条件 $V_1 = I_1 Z_{11} = 0$, 即自阻抗 $Z_{11} = 0$ 可以导出天线的谐振频率。令

$$Z_{11} = \frac{1}{j\omega \cdot d \cdot d_h / 2h} + \frac{j\omega\mu_0}{\Delta_1^4} \cdot h \sum_{m,n \neq 0,0} \frac{1}{k^2 - k_{mn}^2} \cdot \frac{p(x_1, y_1, \Delta_1)}{\Psi_{mn}, \Psi_{mn}^*} = \frac{1}{j\omega C} + j\omega L = 0$$

式中

$$C = \epsilon d d_h / 2h, \quad L = \frac{\mu_0 \cdot h}{\Delta_1^4} \sum_{m,n \neq 0,0} \frac{1}{k^2 - k_{mn}^2} \cdot \frac{p(x_1, y_1, \Delta_1)}{\Psi_{mn}, \Psi_{mn}^*}$$

于是得天线的谐振频率为

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (7)$$

由上式可见,天线谐振频率由静态模等效的电容和其他模等效的电感决定,而不是仅取决于某个单一模式。这一点与腔模理论的一般应用方法不同。另外,由于等效电感与短路针位置(x_1, y_1)和短路针直径 Δ_1 有关,故天线谐振频率也随(x_1, y_1)和 Δ_1 变化。式(7)是一个超越方程,需用迭代法进行数值求解。

若考虑短路针和馈电探针间的耦合,则可将该天线等效成二端口网络,且满足以下关系式:

$$\begin{cases} V_1 = Z_{11} I_1 + Z_{12} I_2 = 0 \\ V_2 = Z_{21} I_1 + Z_{22} I_2 \end{cases} \quad (8)$$

由上式可得馈电探针处的输入阻抗为

$$Z_{in} = \frac{V_2}{I_2} = \frac{Z_{11} Z_{22} - Z_{12} Z_{21}}{Z_{11}} \quad (9)$$

相应的反射损耗为

$$IL(\text{dB}) = 20 \log \left| \frac{Z_{in} - R_0}{Z_{in} + R_0} \right| \quad (10)$$

式中 R_0 为谐振电阻。

3 数值计算结果

由式(7)计算的短路针加载三角形贴片天线谐振频率随短路针位置的变化曲线如图 2 所示。图中标出了相应的测量值。由图可见,天线谐振频率的大小与短路针位置密切相关。在 $d_s/d_h = 1/3$ 处谐振频率最高,在 $d_s/d_h = 1$ 处,谐振频率最低。这是因为贴片天线谐振频率主要与腔内场零点的位置有关。当短路针在 $d_s/d_h = 1/3$ 处时,恰与未加载三角形贴片 TM_{10} 模的零点重合;而当短路针位于 $d_s/d_h = 1$ 处时,零点移至三角形顶点处。此时零点位置偏移最大,所以谐振频率降低得最多。与矩形和圆形贴片相比,在三角形贴片中短路针可使零点的偏移量最大,所以谐振频率降低得也最大。对于同样的工作频率,所需的贴片尺寸就最小。

由式(6)(9)(10)计算的短路针加载三角形贴片天线的

反射损耗随频率的变化曲线如图 3 所示, 图中标出了相应的测量值。由图可见, 数值计算结果与测量结果吻合, 最低损耗频率偏移 20MHz, 相对偏移约为 1%。

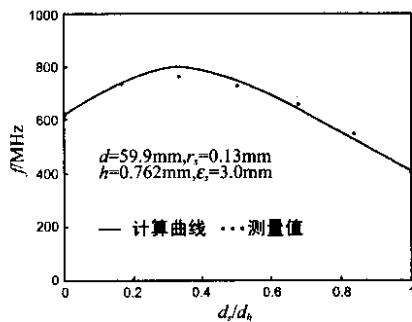


图 2 谐振频率随短路针位置变化曲线

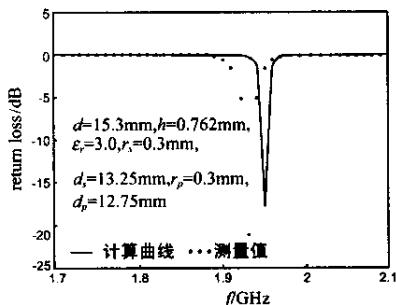


图 3 反射损耗随频率变化曲线

4 结束语

在腔模理论的一般应用中, 通常都是利用腔体中的最低谐振模进行工作。静态模由于自身不能构成谐振而无应用价值。如果这样应用腔模理论来分析短路针加载贴片天线的话, 将会得到天线谐振频率升高的结论, 这与实验结果相反。本文在用腔模理论分析短路针加载三角形贴片天线时, 利用了腔体中的静态模, 将其等效为电容, 并用该电容和其他模等效的电感确定天线谐振频率, 很好地解释了在三角形贴片天线中加入短路针使天线谐振频率降低的实验现象。另外, 本文还利

用网络理论提出了天线输入阻抗和反射损耗的分析方法, 由于该法考虑了馈电探针与短路针之间的耦合, 所以由所得公式得到的计算结果与实测结果吻合得很好。

参考文献:

- [1] R Waterhouse. Small microstrip patch antenna [J]. Electron. Lett., 1995, 31: 604–605.
- [2] R B Waterhouse. Broadband stacked shorted patch [J]. Electron. Lett., 1999, 35: 98–100.
- [3] R B Waterhouse. Stacked shorted patch antenna [J]. Electron. Lett., 1998, 34: 612–613.
- [4] Kin-Lu Wong, Shan-Cheng Pan. Compact triangular microstrip antenna [J]. Electron. Lett., 1997, 33: 433–434.
- [5] 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. 21–22.
- [6] Rebekka Porath. Theory of miniaturized shorting-post microstrip antennas [J]. IEEE Trans Antennas Propagat, 2000, 48: 41–47.
- [7] I J Boell, P Brabec. 微带天线 [M]. 梁联倬, 寇廷耀, 译. 北京: 电子工业出版社, 1984. 125–126.

作者简介:



蔡秀珍 女, 1963 年出生, 山东青岛人, 1988 年获西安电子科技大学工学硕士学位, 2003 年获大连海事大学博士学位, 现为大连海事大学副教授, 主要从事微带天线、移动通信和小波理论等方面的教学和研究工作。



李永红 女, 1964 年出生, 辽宁大连人, 1988 年获大连海事大学工学硕士学位, 2000 年获大连海事大学工学博士学位, 现为大连海事大学副教授, 主要从事微带天线、小波理论和人工神经网络等方面的教学和研究工作。

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 门视频培训课程和 1 本图书教材，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 软件设计进行天线设计…

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>