

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 equipments (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 $d_h = \sqrt{3}d/2$, $x_1 = d_h/3 - d_s$, $y_1 = 0$, $x_2 = d_h/3 - d_p$, $y_2 = 0$.

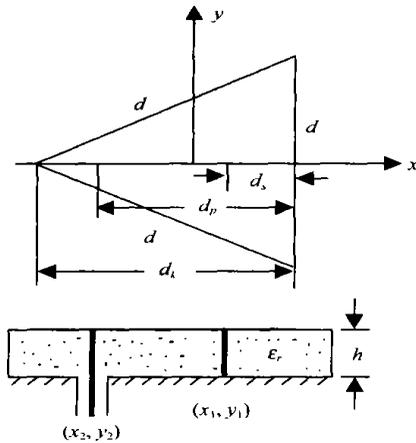


图 1 短路针加载三角形微带贴片天线结构图

根据腔模理论,贴片和接地板之间腔体内的法向电场为^[5]:

$$E_z(x, y) = j \mu_0 \frac{\langle J_z, \overset{*}{mn} \rangle \cdot \overset{*}{mn}}{m_{n,n} (k^2 - k_{mn}^2) \cdot \langle mn, \overset{*}{mn} \rangle} \quad (1)$$

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

$$mn(x, y) = \cos\left[\left(\frac{2x}{\sqrt{3}d} + \frac{2}{3}\right)l\right] \cos\left[\frac{2(m-n)y}{3d}\right] + \cos\left[\left(\frac{2x}{\sqrt{3}d} + \frac{2}{3}\right)m\right] \cos\left[\frac{2(n-l)y}{3d}\right] + \cos\left[\left(\frac{2x}{\sqrt{3}d} + \frac{2}{3}\right)n\right] \cos\left[\frac{2(l-m)y}{3d}\right]$$

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

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 $\frac{1}{2} = (2r_s)^2$ 和 $\frac{2}{2} = (2r_p)^2$ 的正方形. 由于短路针和馈电探针通常很细,故可设第 $j(j=1,2)$ 针上的电流密度为

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

对应的内积为

$$\langle J_j, \overset{*}{mn} \rangle = \int_{x_j - \frac{i}{2}}^{x_j + \frac{i}{2}} dx \int_{y_j - \frac{i}{2}}^{y_j + \frac{i}{2}} \frac{I_j}{2} mn(x, y) dy = \frac{I_j}{2} \cdot p(x_j, y_j, i) \quad (3)$$

其中

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

于是,由式(1)知,第 j 针上的电流产生的电场为

$$E_{zj} = j \mu_0 \cdot \frac{I_j}{2} \frac{1}{m_{n,n} (k^2 - k_{mn}^2)} \frac{p(x_j, y_j, i) \cdot \overset{*}{mn}}{\langle mn, \overset{*}{mn} \rangle} \quad (4)$$

第 j 针上的电流在第 i 针邻域产生的平均电场为

$$\bar{E}_{ij} = \frac{j \mu_0}{2} \cdot \frac{I_j}{2} \frac{1}{m_{n,n} (k^2 - k_{mn}^2)} \frac{p(x_j, y_j, i) \cdot p(x_i, y_i, i)}{mn, \overset{*}{mn}} \quad (5)$$

相应的阻抗为

$$Z_{ij} = \frac{\bar{E}_{ij} \cdot h}{I_j} = \frac{1}{j} \frac{dd_h}{2h} + \frac{j \mu_0}{2} \cdot \frac{h}{2} \frac{1}{m_{n,n} (k^2 - k_{mn}^2)} \frac{p(x_j, y_j, i) \cdot p(x_i, y_i, i)}{mn, \overset{*}{mn}} \quad (6)$$

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

$$Z_{11} = \frac{1}{j} \frac{1}{d \cdot d_h / 2h} + \frac{j \mu_0}{4} \cdot h \frac{1}{m_{n,n} (k^2 - k_{mn}^2)} \frac{p^2(x_1, y_1, i)}{mn, \overset{*}{mn}} = \frac{1}{jC} + jL = 0$$

式中

$$C = dd_h / 2h, L = \frac{\mu_0 \cdot h}{4} \frac{1}{m_{n,n} (k^2 - k_{mn}^2)} \frac{p^2(x_1, y_1, i)}{mn, \overset{*}{mn}}$$

于是得天线的谐振频率为

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

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 i 有关,故天线谐振频率也随 (x_1, y_1) 和 i 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

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

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%。

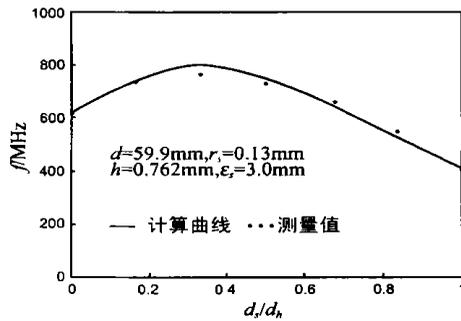


图 2 谐振频率随短路针位置变化曲线

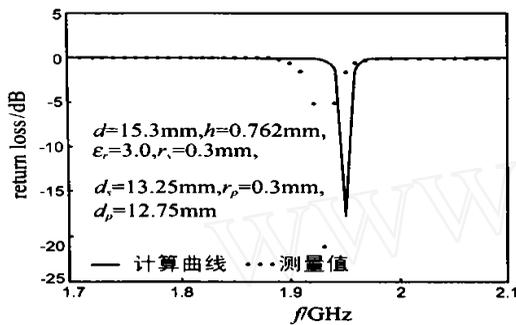


图 3 反射损耗随频率变化曲线

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] Kir-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 Pbrath. Theory of miniaturized shorting-post microstrip antennas [J]. IEEE Trans Antennas Propagat., 2000, 48:41 - 47.
- [7] IJ 鲍尔, P 布哈蒂亚. 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:



栾秀珍 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。