

文章编号 1005-0388(2002)04-0350-04

基于矩量法对导体板上单极天线特性研究^{*}

李玉莹 徐晓文

(北京理工大学电子工程系, 北京 100081)

摘要 利用矩量法对有限大导体板上单极天线的阻抗特性进行了研究。基于 Pocklington 积分方程和 Galerkin 法, 采用分域基正弦函数展开模式, 得出了有限尺寸导体板上单极天线的电流分布和输入阻抗, 并对单极天线在不同长度及不同导体板上的情况进行研究。结果表明, 单极天线的长度及导体板的形状及大小在一定程度上影响了单极天线的特性。

关键词 矩量法, 表面贴片模型, 单极天线, 阻抗

中图分类号 TN82 文献标识码 A

Characteristic investigation of monopole antenna on a conducting plate using method of moments

LI Yu-ying XU Xiao-wen

(Dept. of Electronics Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract In this paper, the characteristics of monopole antenna on a finite square plate are studied by using the method of moment. Based on the Pocklington equation and Galerkin method, the current distribution and input impedance of the monopole antenna are calculated by employing the piecewise sinusoidal function as the expansion and testing functions. Of particular interest, the effect of antenna length and shape of plate on the characteristics of monopole antenna is analyzed and the numerical results are presented.

Key words Method of Moments, surface-patch models, monopole, impedance

1 引言

近年来, 随着通信事业的发展, 无线电通信设备和电子器件的几何尺寸变得越来越小, 因此迫切地需要能与设备大小协调且具有有效电性能的小天线。对小天线的研究是天线工程中的重大课题之一, 已引起了众多天线设计师和科技工作者的关注。对于复杂环境下的小天线而言, 很难利用解析法对所研究的问题精确分析。对于与波长可比拟的小天线, 人们利用 FDTD 方法做了较多的分析和研究^[1~2]。这种方法需要单独考虑吸收边界条件, 增加了处理问题的难度和效率。研究小天线的另外一

种有效的方法是矩量法, 它在处理天线远场、近场参量时, 有其精确性和灵活性。对矩量法应用最广泛的是对线天线的研究^[3~5]。采用矩量法, 利用线格栅模型, 人们对表面形体进行了模拟分析, 但这种模型不能精确分析平面结构的近场特性, 如表面电流和阻抗特性。

近来, 人们利用面贴片模型对任意复杂形体的电磁特性进行了分析, 并取得了满意的结果。文献[6]在基于反应积分方程的基础上采用全域基方法分析了线天线与平面连接情况下的天线阻抗和表面电流分布等近场参量。但利用全域基方法需事先了解表面电流的分布特性, 这大大限制了分析问题的

灵活性和广泛性。

本文用矩量法分析了有限大导电板上单极天线的阻抗特性。与其它文献采用的方法不同之处在于(1)采用Pocklington积分方程和Galerkin法使数学推导简单。(2)利用磁流环(magnetic frill)馈电模型以减小因馈电模型的选择对计算天线输入阻抗的影响,可以更精确分析问题。(3)选择分域基函数来近似表面电流以增加处理问题的灵活性。

本文在以上3点改进方法基础上分析了单极天线在不同长度及不同导体板上的阻抗特性。同时,将部分计算结果同实验进行了比较。

2 基本理论

研究天线电磁特性可用三种积分方程:Hallen积分方程、Pocklington积分方程及反应积分方程。本文利用Pocklington积分方程来分析有限尺寸导体板上单极天线的特性。天线结构见图1。

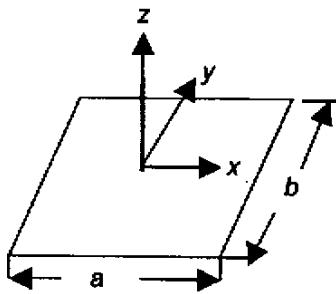


图1 有限尺寸导体板上单极子天线

设 E^i 为入射场或外加激励场, E^s 为等效电流 $I(r')$ 在自由空间的辐射场。在理想导体表面上,有 $\mathbf{n} \times (E^i + E^s) = 0$, \mathbf{n} 为外法线单位矢量。

其中, E^s 可由下式给出,

$$E^s = -j\omega A - \nabla \Phi \quad (1)$$

其中, $A(\mathbf{r}) = \frac{\mu}{4\pi} \int_s I \frac{e^{-jkR}}{R} ds'$

$$\Phi(\mathbf{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_s \sigma \frac{e^{-jkR}}{R} ds', \quad R = |\mathbf{r} - \mathbf{r}'|$$

式中 I 为表面电流,也是所要求的未知电流。 σ 为表面电荷密度。 \mathbf{r} 和 \mathbf{r}' ,分别为场点(x, y, z)和源点(x', y', z')的位置矢量。采用分段正弦函数将 I 展开

$$I(\mathbf{r}') = \sum_{n=1}^N I_n F_n(\mathbf{r}') \quad (2)$$

式中 I_n 为表面电流展开系数, $F_n(\mathbf{r}')$ 为展开函数,单极天线上电流(z 向)展开函数为:

$$\begin{cases} F_n(z) = z \frac{\sin k(z - z_{n-1})}{\sin k(z_n - z_{n-1})}, & z_{n-1} \leq z < z_n \\ F_n(z) = z \frac{\sin k(z_{n+1} - z)}{\sin k(z_{n+1} - z_n)}, & z_n \leq z < z_{n+1} \end{cases} \quad (3)$$

平板上的电流展开函数为(以 x 向为例):

$$\begin{cases} F_n(x, y) = x \frac{k \sin k(x - z_{n-1}) \cos ky}{\sin k(x_n - x_{n-1})}, & x_{n-1} \leq x < x_n \\ F_n(x, y) = x \frac{k \sin k(x_{n+1} - x) \cos ky}{\sin k(x_{n+1} - x_n)}, & x_n \leq x < x_{n+1} \end{cases} \quad (4)$$

y 向电流展开函数与 x 向相同,只需将(4)式中 x 变量用 y 变量作代换即可。现采用Galerkin法,即基函数与检验函数采用相同的形式。将上面的电流表达式代入下面的Pocklington积分方程:

$$E^s = -\frac{1}{j\omega\epsilon_0} \cdot \iint_s \mathcal{K}(\mathbf{r}', \mathbf{r}) \frac{\partial^2 G(\mathbf{r}, \mathbf{r}')}{\partial^2 r} + k^2 G(\mathbf{r}, \mathbf{r}') ds' \quad (5)$$

可得到下面的方程:

$$\sum_{n=1}^N I_n Z_{mn} = V_m, \quad m = 1, 2, \dots, N \quad (6)$$

也可写成矩阵方程如下:

$$ZI = V \quad (7)$$

上式中 Z 的元素 Z_{mn} 为基函数与检验函数的反应, V 为检验电流与激励场的内积,表达式分别为:

$$Z_{mn} = - \iint_s I_n \cdot E_m ds \quad (8)$$

$$V_m = \iiint_V J_i \cdot E_m dv \quad (9)$$

其中, J_i 是激励电流。 E_m 是检验电流产生的场,具体表达式可由(1)式推导得出。限于篇幅,这里不再赘述。(8)式的得出利用了互易定理,将激励矢量的单元表示为检验电流 J_m 产生的场 E_m 与激励电流 J_i 的内积。为了减小馈电模式对阻抗特性的影响,可采用磁流环(magnetic frill)馈电模型对天线进行馈电。

3 数值结果及分析

图2是利用所选模型计算的单极天线在方形导体板上输入阻抗随频率变化的曲线。计算时,单极天线高度为0.40m,导体板的边长尺寸为0.87m×0.87m。为了说明所选理论模型的可行性和准确性,图2中加入了实验结果^[7]作为检验标准(其中,实验

中天线尺寸与本文计算条件相同)。从图中可以看出,计算结果与实验结果非常接近,这说明所选模型准确可行。

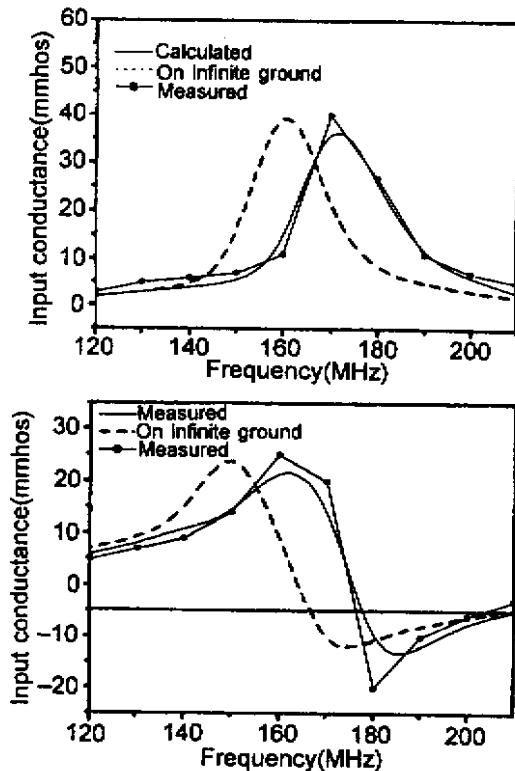


图 2 有限尺寸导体板上单极天线输入导纳随频率变化的曲线

为了说明平面导体板的有限尺寸对单极天线输入阻抗的影响,在图中同样给出了单极天线在无限大导电地面上的输入阻抗随频率的变化曲线以示比较。从图 2 中可以看出有限尺寸平板的边缘影响主要表现在高频段,在低频段($f < 140\text{MHz}$),单极天线在有限尺寸导体板上的输入阻抗与在无限大地面上的输入阻抗数值非常接近。从图 2 中还可以看出有限尺寸导体板上单极子天线与无穷大地面上单极子相比,输入阻抗的谐振频率向高频移动,但两者的输入阻抗特性随频率变化的趋势相同。

图 3 是有限尺寸导体板上单极天线输入阻抗随 h/λ 的变化特性。其中,单极天线位于导电平面的中心,导电平面尺寸为 $0.87\text{m} \times 0.87\text{m}$ 。从图中还可看出,单极天线输入阻抗随单极天线的高度增加而增大。为了便于说明有限尺寸导体板的影响,在图 3 中还给出了同样高度单极天线在无限大地平面上阻抗随高度变化的曲线做比较。从图中还可以看出,有限尺寸导体板对单极天线阻抗的影响主要体现在单极天线高度大于 $\lambda/4$ 的情况下。当单极天

线的高度小于 $\lambda/4$ 时,单极天线阻抗特性与自由空间中单极天线的阻抗特性接近一致。这说明,在 h/λ 很小时,导体板相对于单极天线相当于无穷大导电地面,因此单极天线所体现的特性与其在无穷大地面上相近。而在 h/λ 很大的时候,导体板的有限尺寸对单极子的影响变得明显,这是因为当平板尺寸变大时,边缘电磁场的绕射影响加强,对单极天线的影响显著。

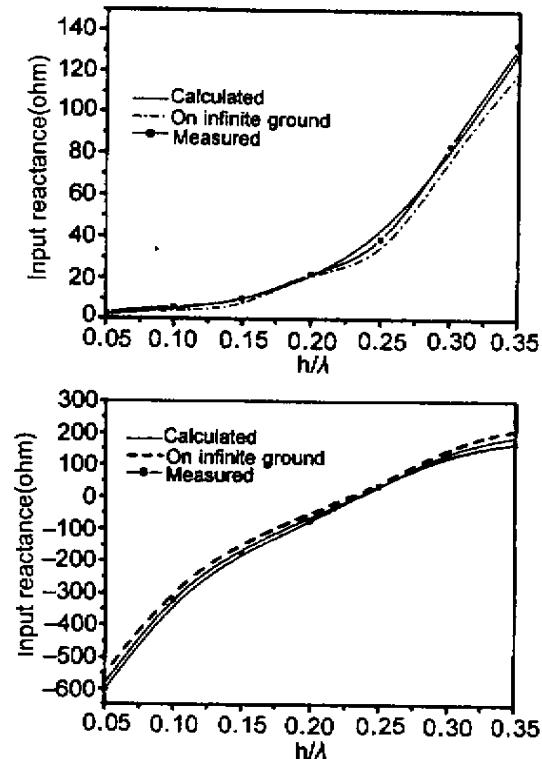


图 3 输入阻抗随单极天线高度变化的曲线
($f = 500\text{MHz}$)

图 4 是矩形导电板上单极天线输入阻抗随频率的变化曲线。导体板长为 $a = 0.87\text{mm}$,宽 b 与 a 的比分别为 $2:1$ 、 $3:1$ 、 $4:1$ 。单极天线位于平板中心,高度为 0.4m 。从图中可以看出,随导体板长宽比的增加,输入阻抗的谐振频率向高频移动,且峰值有所增加。当长宽比由 $2:1$ 变化到 $3:1$ 时,谐振频率由 160MHz 变为 180MHz ,在长宽比为 $4:1$ 时,则变为 190MHz 。这主要是由于随长宽比的增加,导体板的空间对称性改变,导致导体板的边缘效应加强,对单极天线的影响加大,直接影响到单极天线的阻抗特性。

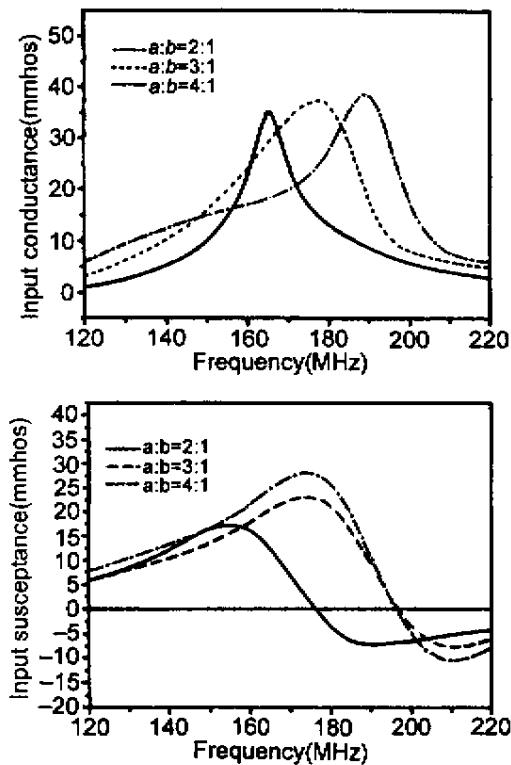


图4 不同边长比导体板上单极天线输入阻抗随频率的变化曲线

总结以上结果可以看出,调节导体板的形状或改变单极天线的高度可以调节天线的阻抗特性,进而可以调节电小天线在不同环境下的电性能,使天线达到要求的匹配性能,从而为设计理想的小天线提供切实可行的理论方法。

4 结论

基于矩量法,采用分域基正弦函数模型对导体板上单极天线的特性进行了研究。分析了不同高度单极天线及不同形状导体板上单极天线的阻抗特性。本文结果与利用其它方法所得结果相比有较好的一致性,与国外文献所报道的结果吻合较好,且计算效率得到提高。本文方法为研究电小天线特性提供了一种有效的手段。

参考文献

- [1] T Taga. Analysis of planar inverted-F antennas and antenna design for portable radioequipment [M]. in Analysis, Design and Measurement of Small and Low Profile Antennas. K. Hir-asawa and M. Haneishi ,Eds. Boston :Artech ,1992 ,ch.5
- [2] Hirasawa and K Fujimoto. On wire-grid method for analysis of wire antennas near/on conducting bodies [J]. in proc. IEE Second Int. Conf. Antennas Propagat ,1981 ,pp. 530 ~ 534.
- [3] G Mur. Absorbing boundary condition for the finite-difference approximation of the time-domain electromagnetic-field equation [J]. IEEE Trans. Electromagn Compat. , 1981 ,EMC-23 (4) 377 ~ 382.
- [4] 李世智.电磁辐射与散射问题的矩量法 [M].电子工业出版社.1985.
- [5] J H Richmond ,D M Pozar ,and N H Geary. Mutual impedance of nonplanar-skew sinusoidal dipoles [J]. IEEE Trans. Antennas and Propagat. , 1975 , AP - 23.
- [6] P Parhami ,Y Rahmat-Samii ,and R Mittra. Investigation of antennas on a finite ground plane [J]. AP-s Int. Symp. ,U-niv. of Massachusetts Amherst ,Oct. 11 ~ 15 ,1976 ,pp. 511 ~ 514.
- [7] E H Newman and D M Pozar. Electro-magnetic modeling of composite wire and surface geometries [J]. IEEE Trans. Antennas Propagat. , 1978 Ap-26(6) 784 ~ 789.



李玉莹 (1972-),男,博士。
主要从事天线设计及理论研究。

徐晓文 (1957-)男,教授,博导。主要从事超低副瓣天线技术的研究。

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>