

平面阿基米德螺旋天线的矩量法分析

杨 放^{1,2}, 郭陈江¹, 朱晓娟²

(1. 西北工业大学电子工程系, 陕西 西安 710072; 2. 西安建筑科技大学信控学院, 陕西 西安 710055)

摘要: 在推广的海伦积分方程的基础上对方程进行了化简, 得到了 Nakano 方程, 用矩量法将方程化为矩阵方程, 给出了广义阻抗矩阵, 电压矩阵的表达式. 并以平面阿基米德螺旋天线为例, 计算了天线上的电流分布和辐射特性, 验证了天线的频率无关特性. 此方法解决了任意形状的线天线的分析问题.

关键词: 平面阿基米德螺旋天线; 矩量法

中图分类号: TU375

文献标识码: A

文章编号: 1006-7930(2004)03-0356-04

*

The moment method analysis of the plane Archimedean spiral antenna

YANG Fang^{1,2}, GUO Chen-Jiang¹, ZHU Xiao-Juan²

(1. Dept of Ele. Eng., Northwestern Polytechnic University, Xi'an 710072, China;

2. College of Info. and Auto., Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China)

Abstract: As the generalized Halen integral equation was simplified, the Nakano equation was derived and converted into a matrix equation through the moment method. With the plane Archimedean spiral antenna a calculation of the current on the antenna as well as its radiation is carried out and its frequency independence was verified. The method proved to be efficient for the analysis of arbitrary wire antennas.

Key words: the plane spiral archimedean antenna; the moment method

平面阿基米德螺旋天线是一种曲线天线, 具有宽频带, 小尺寸, 重量轻, 圆极化, 轮廓低等特点, 因而是包括车辆, 船舶, 飞机等在内的卫星通信业务中的一种新型天线. 关于曲线天线的分析, K. K. Mei 在 1965 年提出了推广的海伦方程^[1], 使曲线天线的分析成为可能. 由于此积分方程的积分核里含有繁杂的微积分运算, 因而计算量大, 不易于编程. 本文在此方程的基础上推导了 Nakano 方程, 使方程大大简化, 并用矩量法将方程化为矩阵方程, 计算了天线的电流分布和辐射特性, 验证了天线的频率无关特性.

1 公式推导

推广的海伦方程见文献[1], 如果把天线分成很多的单元, 每个单元可以看成直线, 就可以得到另外一个积分方程, 即 Nakano 方程. 在 Nakano 方程中, 积分核中不含微积分运算.

Nakano 方程^[2]为 $\sum_j \int_{j-th element} I_j(s'_j) \pi(s_i, s'_j) ds'_j = B \cos \beta (d_i + s_i) - \frac{jV_0}{2Z_0} \sin \beta |d_i + s_i|$ (1)

其中: $\pi_{ij}(s_i, s'_j) = G_{ij}(s_i, s'_j) \hat{s}_i \cdot \hat{s}'_j - \eta_{ij}(s_i, s_i, s'_j) + \eta_{ij}(0, s_i, s'_j)$

* 收稿日期: 2003-02-25

作者简介: 杨放(1977-), 男, 陕西富平人, 硕士, 讲师, 主要从事电路和电磁场理论的研究.

$$-\sum_{k=1}^{i-1} [G_{ij}(e_k, s'_{-j})(\hat{s}_{k+1} - \hat{s}_k) \cdot s'_{-j} \cos \beta D_{ik}(s_i, e_k) + \eta_{kij}(e_k, s_i, s'_{-j}) - \eta_{kij}(0, s_i, s'_{-j})] \quad (2)$$

式中各项的意义及具体推导过程见参考文献[2].

$$\text{令脉冲函数的定义为: } P_n(s') = \begin{cases} 1 & s' \in \Delta s'_n \\ 0 & s' \notin \Delta s'_n \end{cases} \quad (3)$$

则 $I(s')$ 可以写成:

$$I(s') = \sum_{j=1}^N a_j P_j(s') \quad (4)$$

将式(4)代入式(1),得

$$\sum_j a_j \int_{\text{element}}_{j-th} \pi_{ij}(s_i, s'_{-j}) ds'_{-j} = B \cos \beta (d_i + s_i) - \frac{jV_0}{2Z_0} \sin \beta |d_i + s_i| \quad (5)$$

再以各天线单元的中点 $s_i (i = 1, 2, 3, \dots, N)$ 代入方程(5),得到 N 个联立线性方程式,考虑到天线的另一条臂上的电流等幅反相,其中第 i 个方程为:

$$\sum_j a_j \int_{\text{element}}_{j-th} [\pi_{ij}(s_i, s'_{-j}) + \pi_{ij}(s_i, -s'_{-j})] ds'_{-j} = B \cos \beta (d_i + s_i) - \frac{jV_0}{2Z_0} \sin \beta |d_i + s_i| \quad (6)$$

未知数 a_j 的系数为

$$l_{ij} = \int_{\text{element}}_{j-th} [\pi_{ij}(s_i, s'_{-j}) + \pi_{ij}(s_i, -s'_{-j})] ds'_{-j} \quad (7)$$

则积分方程(5)可展开成

$$\begin{aligned} \sum_j a_j \int_{\text{element}}_{j-th} [\pi_{ij}(s_i, s'_{-j}) + \pi_{ij}(s_i, -s'_{-j})] ds'_{-j} &= a_1 l_{i1} + a_2 l_{i2} + \dots + a_N l_{iN} \\ &= B \cos \beta (d_i + s_i) - \frac{jV_0}{2Z_0} \sin \beta |d_i + s_i| \end{aligned} \quad (8)$$

写成 N 个联立的线性方程式:

$$\begin{aligned} a_1 l_{11} + a_2 l_{21} + \dots + a_N l_{1N} &= B \cos \beta (d_1 + s_1) - \frac{jV_0}{2Z_0} \sin \beta |d_1 + s_1| \\ a_1 l_{21} + a_2 l_{22} + \dots + a_N l_{2N} &= B \cos \beta (d_2 + s_2) - \frac{jV_0}{2Z_0} \sin \beta |d_2 + s_2| \\ \dots \\ a_1 l_{N1} + a_2 l_{N2} + \dots + a_N l_{NN} &= B \cos \beta (d_N + s_N) - \frac{jV_0}{2Z_0} \sin \beta |d_N + s_N| \end{aligned} \quad (9)$$

已经知道天线末端开路,电流为零,故 $a_N = 0$,这样,未知数只有 N 个: $a_1, a_2, \dots, a_{N-1}, B$. 所以用 N 个匹配点就可以解出这 N 个未知量.

将式(9)等号右边的 $B \cos \beta (d_i + s_i)$ 一项移到等号左边,然后将积分方程写成矩阵的形式:

$$Z \cdot I = V \quad (10)$$

$$\text{其中: } Z = \begin{bmatrix} l_{11} & l_{12} & \dots & l_{1,N-1} & d_1 \\ l_{21} & l_{22} & \dots & l_{2,N-1} & d_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ l_{N1} & l_{N2} & \dots & l_{N,N-1} & d_N \end{bmatrix} \quad I = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \dots \\ a_{N-1} \\ -B \end{bmatrix} \quad V = \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \dots \\ V_N \end{bmatrix}$$

$$\text{式中: } l_{ij} = \int_{\text{element}}_{j-th} [\pi_{ij}(s_i, s'_{-j}) + \pi_{ij}(s_i, -s'_{-j})] ds'_{-j} \quad d_i = \cos \beta (d_i + s_i)$$

$$V_i = -\frac{jV_0}{2Z_0} \sin \beta |d_i + s_i|$$

解上述矩阵方程(10),即可求得未知数 $a_1, a_2, \dots, a_{N-1}, B$.

在上述脉冲数据点匹配的方法中, $d_i + s_i$ 即为匹配点,在进行计算时,把匹配点选在每个天线单元的中点,这样做的目的是为了避免匹配点选在天线切向分量不连续处.

2 计算结果

阿基米德螺旋天线的结构形状如图1所示。阿基米德螺旋天线由阿基米德螺旋方程 $r = a\phi_s$ (a 为螺旋常量, ϕ_s 为螺旋角) 确定。选区的天线参数为: 第一段为角度为 $\phi_{st} = 4617\text{rad}$, 且其长为 $e_{st} = 3\text{mm}$; 螺旋常量为 $a = 0.72\text{mm/rad}$, 螺线终止于 $\phi_{end} = 31.6$; 导线的半径为 $\rho = 0.3\text{mm}$ 。

图2中(a), (b), (c), (d) 分别表示频率为 3GHz, 4GHz, 5GHz, 6GHz 时天线上的电流分布。可见, 随着频率提高, 电流的驻波点向馈电点移动, 从而验证了天线的频率无关特性。

图3描述了天线方向性图的形状及其随频率的变化状况。计算了

$\frac{E_\theta(\theta, \phi = 0)}{E_\theta(\theta = 0, \phi = 0)}$ 及 $\frac{E_\phi(\theta, \phi = 0)}{E_\phi(\theta = 0, \phi = 0)}$ 随 θ 的变化情况。

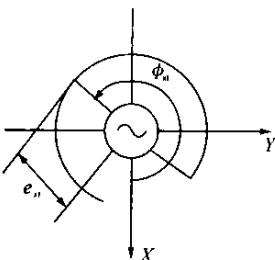


图1 阿基米德螺旋天线的结构

Fig. 1 Configuration of the Archimedean spiral antenna

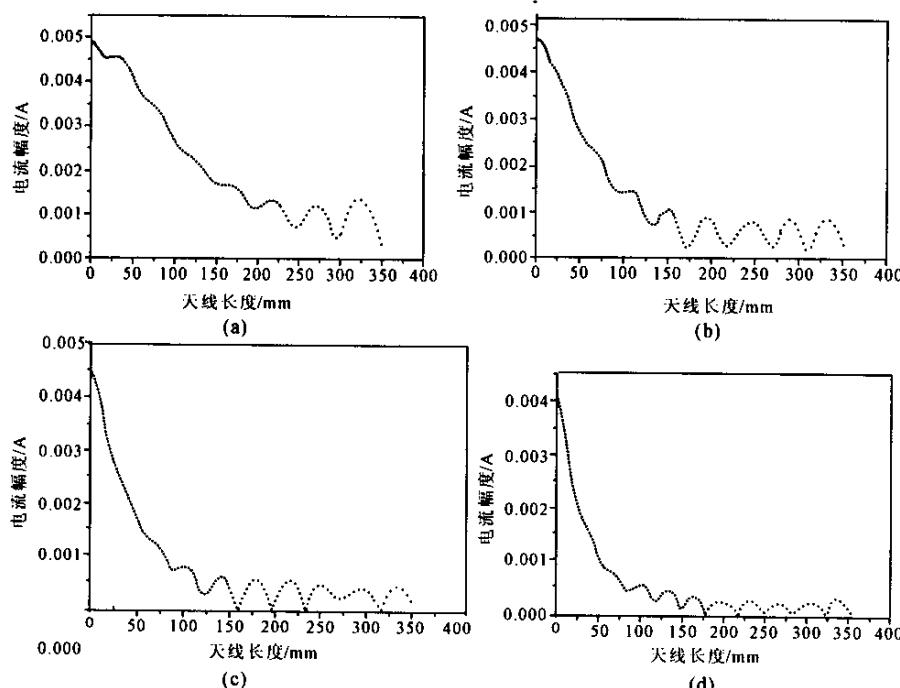
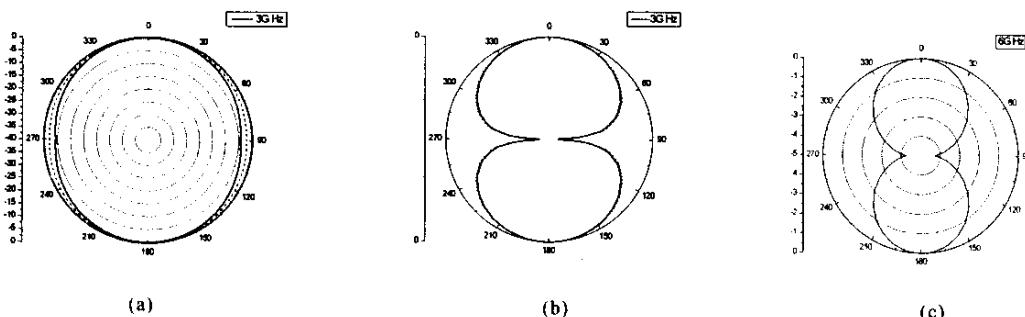


图2 天线上的电流分布

Fig. 2 Current distribution on the antenna



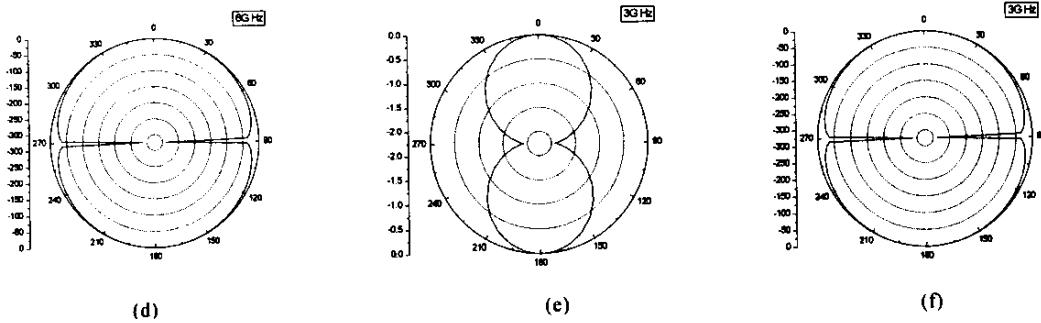


图3 天线方向图

Fig. 3 Radiation pattern of the antenna

其中图3(a)、3(c)、3(e)为 $\frac{E\phi(\theta, \phi=0)}{E\phi(\theta=0, \phi=0)}$ 随 θ 的变化情况,

而图3(b)、3(d)、3(f)为 $\frac{E_\theta(\theta, \phi=0)}{E_\theta(\theta=0, \phi=0)}$ 随 θ 的变化情况. 可以看出3GHz和6GHz的方向图很一致,因而得出了其频率无关特性.

图4计算了天线不同频率时的输入阻抗.

3 结 论

通过对平面阿基米德螺旋天线的分析可以看出,此方法计算简便,编程容易,只要分段合理,可以解决任意形状线天线的分析问题.

参考文献:

- [1] K. K. Mei. On the equations of thin wire antennas[J]. IEEE Trans. 1965, 13(5):374-378.
- [2] Nakano, H. Helical and spiral antennas: a numerical approach[M]. Letchworth, Her tfordshire, England: Reserch Studies Press, 1987.

(编辑 白茂瑞)

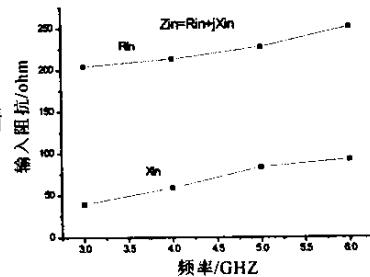


图4 不同频率时的输入阻抗

Fig. 4 Input impedance of antenna

(上接第355页)

(3) 若 $E_0 = \infty$ 或 $E_1 = 0$, 则麦钦特体将退化为伏吉特体或马克斯威尔体. 因此, 本文所使用的方法也可用于伏吉特型或马克斯威尔型粘弹性地基上的矩形板的准静态分析.

(4) 算例虽然是四边简支的矩形板, 但也可用于其它边界条件的矩形板, 关键是要找到其相应的振型函数.

参考文献:

- [1] Hoskin, B C. and Lee, E H. Flexible Surfaces on Viscoelastic Subgrades[J], J. Eng. Mech. Div. ASCE, 1959, 85(4):2195-2224.
- [2] Pister, K S. and Williams, M L. Bending of Plates on a Viscoelastic Foundation[J], J. Eng. Mech. Div. ASCE, 1960, 86(5):2619-2623.
- [3] Sonoda, K. and Kabayashi, H.. Rectangular Plates on Linear Viscoelastic Foundations[J], J. Eng. Mech. Div. ASCE, 1980, 104(2):323-338.
- [4] 钱家欢, 殷宗泽. 土工原理与计算(第二版)[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1996.
- [5] 张福范. 弹性薄板(第二版)[M]. 北京: 科学出版社, 1984.
- [6] C. R. 方方数据E. 西安交通大学数学系《工程数学》翻译组译. 高等工程数学(上册)[M]. 北京: 人民教育出版社, 1980.

(编辑 白茂瑞)

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>