

基模螺旋天线的研究

纪奕才,孙保华,刘其中

(西安电子科技大学,陕西西安 710071)

摘要: 本文提出了一种计算基模螺旋天线的新方法.该方法采用螺旋线段对基模螺旋天线进行划分,只需少量分段就可用矩量法对其进行精确模拟分析.文中求出了螺旋天线上的电流分布和远场方向图,与直线段模拟计算结果吻合良好.求阻抗矩阵 Z 时,利用螺旋天线的对称性和周期性,只需求出一小部分元素就可得到 Z 矩阵的其它元素的值.该方法分段数少,使得计算时间和计算所需存储量大大减小,计算速度和精度显著提高.

关键词: 矩量法;螺旋线段;基模螺旋天线

中图分类号: TN823⁺.31 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112(2002)03-0428-03

Research on Normal Mode Helical Antenna

Ji Yi-cai, SUN Bao-hua, LIU Qi-zhong

(Xidian University, Xi'an, Shaanxi 710071, China)

Abstract: In this paper, a new moment method using helical segments is presented to model Normal Mode Helical Antenna (NMHA). Using this method, the NMHA can be modeled by a few segments. The current distributions and radiation patterns of some NMHAs are calculated. A comparison is made between results obtained using this helical segment algorithm and the linear segment algorithm, and the results of the two algorithms agree fairly well. When calculating the impedance matrix Z , all the elements of the matrix can be obtained by only calculating a few elements with the application of the symmetric and periodic characteristics of the NMHA. Therefore, the CPU time and the memory storage are significantly reduced, with the accuracy and speed enhanced.

Key words: method of moment; helical segment; normal mode helical antenna (NMHA)

1 引言

随着电子集成技术的快速发展,通讯设备体积越来越小,使得天线小型化技术也日益发展.短波天线小型化的主要技术之一是使用基模螺旋天线.基模螺旋天线(又称为法向模螺旋天线),指的是螺旋直径与波长相比很小的一种圆柱螺旋天线^[1-3],它可使天线的高度降低到同一频率工作的细线天线高度的三分之一甚至更短.合理的选择结构参数可使基模螺旋天线成为一种高效的辐射器^[4].

以往细线天线的计算多采用直线分段的矩量法^[5-7],这样需要相当多的分段才能精确模拟曲线天线,因此矩量法生成的阻抗矩阵维数很大,从而大量占用了计算机存储空间,并且矩阵方程求解时间较长.为了解决这一矛盾,N.J. Champagne等人提出了一种采用由二次曲线确定的曲线段来划分弯曲天线方法^[8],使得分段数相对减小,对于圆环,平面螺旋天线,及圆锥螺旋天线^[9]等天线的计算得到了较好的结果.然而,二次曲线段仍然存在着同直线分段相似的限制性,无法精确分析基模螺旋天线.早在七十年代初,Y. Hiroi 和 K. Fujimoto等人就提出了将基模螺旋天线的每一整圈分为一段,并用矩量法进行了分析^[10,11],但这样固定分段的方法的计算精度和收敛

性都没有保证.本文在前人分析计算的基础上提出了采用螺旋线段来对基模螺旋天线进行划分,对天线上电流采用分段三角形基函数展开,并用伽略金法检验的矩量法进行了计算.文中列举了一些计算实例,并将计算所得的电流、输入阻抗和辐射特性与直线段划分的矩量法的计算结果进行了比较,还将两种方法的计算时间和占用计算机内存的情况进行了比较.

2 螺旋线段划分的矩量法分析

圆柱螺旋对称振子天线的几何结构如图1所示,图中 b 是螺旋半径, p 是螺距, h 是天线高度, α 是螺距角, a 为螺旋线半径, S_0 是一圈螺旋线的长度,螺旋线圈数为 N ,这些参数之间的关系可由图1(c)得出.图1所示的螺旋天线可视为一个臂上是左旋螺旋线,另一个臂上是右旋螺旋线的螺旋对称振子,其中图1(a)是螺旋线直接同馈源相连接,图1(b)是螺旋线通过一小段长为 l 的直线段同馈源相连接.螺旋天线上每一点的坐标、单位切向矢量和螺旋线的长度,都可由关于参数 z 的方程给出,这样螺旋线上的电流就可表示为只与参数 z 有关的函数.

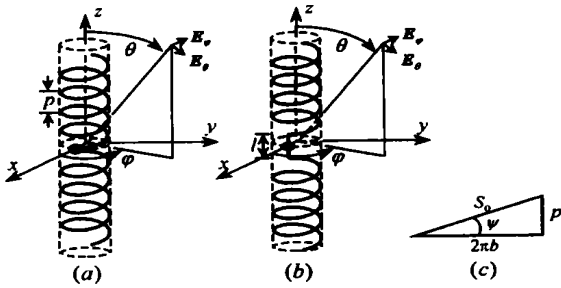


图 1 圆柱螺旋对称振子天线几何结构示意图

螺旋天线上的电流可用电场积分方程 (EFIE), 并利用天线表面的切向电场为零的边界条件来求解^[5-7]. 计算时先把天线分为 $M + 1$ 段, M 为奇数, 即上下两臂各为 $(M + 1)/2$ 段, 每段轴向长度为 $h/(M + 1)$, 划分时注意左旋和右旋螺旋线段或螺旋线段和直线段不要划分在同一段上, 然后将天线上的电流用分段三角形基函数^[7]展开如下

$$I(z) \delta(z) = \sum_{n=1}^M I_n n(z) \delta_n(z) \quad (1)$$

其中

$$n(z) \delta_n(z) = \begin{cases} \frac{z - z_{n-1}}{z_n - z_{n-1}} \delta_{n-}, & z_{n-1} \leq z \leq z_n \\ \frac{z_{n+1} - z}{z_{n+1} - z_n} \delta_{n+}, & z_n \leq z \leq z_{n+1} \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (2)$$

式中 $\delta(z)$ 为螺旋线上每点的单位切向矢量, $\delta_n(z)$ 为第 n 段线上每点的单位切向矢量. 该基函数即可描述螺旋线段上的电流分布又可描述直线段上的电流分布. 将式 (1)、(2) 代入电场积分方程, 经过变量代换, 并利用 Galerkin 法, 取 $m(z) \delta_m(z)$ 为检验函数, 经推导可得如下矩阵方程

$$\sum_{n=1}^M Z_{mn} I_n = V_m, \quad m = 1, 2, \dots, M \quad \text{或者} \quad Z_{mn} I_n = V_m \quad (3)$$

求解该矩阵方程就可求得电流展开系数, 进而求得天线上的分布电流、输入阻抗及辐射方向图等.

由螺旋线的几何结构和参数方程, 可以看出螺旋天线具有两个性质: (1) 天线是关于 XY 平面对称的; (2) 在每一个臂上的螺旋线都具有周期性. 在求解其阻抗矩阵 Z 的元素时, 可充分利用螺旋天线的对称性和周期性, 只求出其中少部分元素就可求得矩阵中的其他元素, 这样可使矩阵填充的时间大大减少. 求矩阵元素时要求解两重积分, 本文采用具有较高计算精度的高斯积分法来求解.

3 数值计算与结果

对于的多种不同尺寸和不同工作频率的基模螺旋天线的计算时, 本文算法都表现出了较快的收敛性, 较高的计算精度和比直线段更快的计算速度. 图 2 给出了图 1 (a) 所示的螺旋对称振子输入阻抗随分段数变化时的收敛特性分析图, 所计算的螺旋天线的每条臂有 6 圈螺旋, 其具体结构参数为: $b = 0.0065\text{m}$, $p = 0.01\text{m}$, $a = 0.0005\text{m}$, $h = 0.06\text{m}$, 频率为 500MHz . 由图示, 该算法表现了较快的收敛性, 当分段为 24 段也就是每半圈螺旋线为一段时, 就已经收敛的很好, 这样使得天线的分段数很少, 大大节约了矩阵元素填充和矩阵求逆所需的时间, 并减少了计算所需的存储量, 可以快速计算圈数非常多的基模螺旋天线.

图 3 给出了图 1 (b) 所示的螺旋对称振子上的电流分布的曲线图, 并与著名天线计算软件 NEC2^[6] 的计算结果进行了比较. 天线的结构参数为: $b = 0.0065\text{m}$, $p = 0.01\text{m}$, $a = 0.0005\text{m}$, $h = 0.105\text{m}$, 每臂有 10 圈螺旋线, 中间连接段长度为 0.01m , 频率为 300MHz . 由图中曲线可看出, 本文算法只需 42 段 (中间连接段分为 2 段) 就可与 NEC2 的计算结果吻合很好, 而 NEC2 却需要 705 段直线段 (中间连接段分为 5 段) 才得到较好的结果. 图 4 给出了天线的 E 面方向图, 其 E 面方向图为 8 字形, H 面方向图是个圆形 (图中未给出), 与对称振子的方向图相似, 这与理论分析相符合. 计算得最大方向上的功率增益为 1.84dB , NEC 计算值为 1.81dB , 天线的输入阻抗为 $19.80 + j79.0(\Omega)$, NEC2 的计算值为 $19.68 + j78.1(\Omega)$, 二者吻合良好.

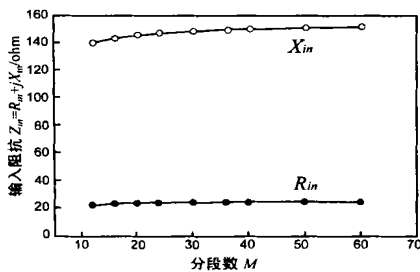


图 2 螺旋对称振子输入阻抗随分段数变化时的收敛特性示意图

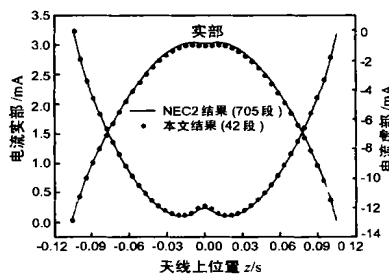


图 3 螺旋天线上的电流分布图

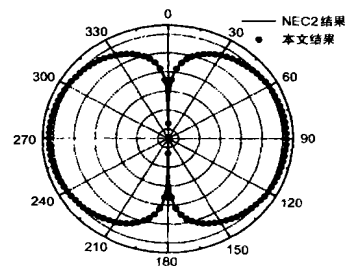


图 4 螺旋天线的 E 面方向图

下面对本文方法与 NEC2 在奔腾 200 的电脑上计算的时间及每圈分段数做一下对比. 如表 1 所示, 在相同的计算精度下, 本文算法每圈螺旋的分段数约为 NEC2 方法的十七分之一即本文方法阻抗矩阵占内存量仅为 NEC2 的千分之三左

右. 求解矩阵元素的时间有些增加而矩阵求解的时间大量减少, 因而总的计算时间仅为 NEC2 方法的 27% 左右. 通过这个例子可以看出, 本文算法比 NEC2 的计算速度快得多, 并且占用机器内存少.

表 1 本文算法与 NEC2 的比较

比较项 算法	每圈 分段数	矩阵填充 时间(秒)	矩阵求逆 时间(秒)	总时间 (秒)
NEC2	35	19	112	131
本文算法	2	36	小于 1	36

4 结论

本文采用螺旋线段划分的矩量法分析了基模螺旋天线的电特性. 与直线段划分的矩量法相比, 本方法所需的分段数目少, 大大减少了矩阵求逆的时间和计算存储量. 因此, 该方法克服了直线分段遇到的机器资源的限制, 可以快速计算频率很低螺旋圈数非常多的基模螺旋天线, 具有更广泛的适应性. 在采用基模螺旋天线并加载的短波天线小型化宽带化技术中, 要对螺旋天线的圈数, 半径, 螺距及加载和加载位置等参数进行优化设计. 在优化过程中需要成千上万次调用螺旋天线计算程序, 每次调用的计算时间越多, 优化设计的效率就越低. 本文的算法较好的解决了这一问题, 对短波天线小型化宽带化的设计具有重要的意义.

参考文献:

- [1] 魏文元, 宫德明, 陈必森等. 天线原理 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1985.
- [2] 周朝栋, 王元坤, 周良明. 线天线理论与工程 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1988.
- [3] 王元坤, 李玉权. 线天线的宽频带技术 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1995.
- [4] K Fujimoto, J R James. Mobile Antenna Systems Handbook [M]. Boston: Artech House, 1994.
- [5] R F Harrington. Field Computation by Moment Method [M]. New York: Macmillan, 1968.
- [6] G J Burke, A J Poggio. Numerical Electromagnetics Code (NEC) Method of Moments [R]. Rep. UCID 18834, Lawrence Livermore Lab., CA Jan. 1981.

- [7] 刘其中, 宫德明. 天线的计算机辅助设计 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1988.
- [8] N J Champagne, et al. The use of curved segments for numerically modeling thin wire antennas and scatterers [J]. IEEE Trans. on AP, 1992, 40(6): 682 - 689.
- [9] 高青, 刘其中, 尹应增. 双臂圆锥对数螺旋天线的研究 [J]. 电子学报, 1999, 27(12): 121 - 123.
- [10] Y Hiroi, K Fujimoto. Practical usefulness of normal mode helical antenna [A]. IEEE International Symposium on AP [C], 1976, 238 - 241.
- [11] K Fujimoto, A Henderson, K Hirasawa, J R James. Small Antennas [M]. Letchworth, Hertfordshire, England, Research Studies Press LTD, 1987.

作者简介:



纪奕才 男. 1974 年出生于山东省青岛市. 1998 年在西安电子科技大学电磁场与微波技术专业获学士学位, 现为该校天线与电磁散射研究所博士研究生.



孙保华 男. 1969 年出生, 1996 年在西安电子科技大学获工学硕士学位, 现为该校天线与电磁散射研究所博士研究生.

刘其中 男. 1938 年出生, 1961 年毕业于成都电讯工程学院雷达系. 现为西安电子科技大学天线与电磁散射研究所教授、博士生导师. 在国内外发表论文 60 多篇, 研究方向为天线数值计算与 CAD, 宽带小型化天线和智能天线、电磁散射以及电磁兼容等.