

快速精确分析套简单极子天线的一种实用新方法

孙保华, 焦永昌, 刘其中

(西安电子科技大学, 西安 710071)

摘 要: 本文利用矩量法分析计算套筒天线. 文中采用一种新的粗圆柱线天线快速精确计算模型, 提出了所谓的“等长分段”方法, 并使用了一种固定间隔电压源模型, 大大提高了分析计算的精度; 通过使用正弦插值基函数、引入 Daubechies 小波变换等, 提高了分析计算的速度. 最后, 设计制作了一付工作在 200 - 700MHz 频段、VSWR < 3.0 的实用套筒天线, 其分析计算结果与实验结果相吻合.

关键词: 套简单极子天线; 矩量法; 粗圆柱线天线快速精确计算模型; 正弦插值基函数; Daubechies 离散小波变换

中图分类号: TN821+.4

文献标识码: A

文章编号: 0372-2112 (2000) 09-0016-03

A New Fast and Practical Technique for Accurately Analyzing Sleeve Monopole Antennas

Sun Bao-hua, JIAO Yong-chang, LIU Qi-zhong

(Xidian University, Xi'an 710071, China)

Abstract: In this paper, the method of moments is used to compute sleeve monopole antennas. A new efficient and accurate modeling for moderately thick cylindrical wire antennas with a so-called 'equal length dividing method' and a constant gap voltage source model is established to greatly improved the accuracy. By using the sinusoidal interpolate basis and Daubechies discrete wavelet transform, the computing time is considerably reduced. Finally, a practical sleeve antenna, with the VSWR less than 3.0 in 200 ~ 700MHz frequency band, is designed. The calculated results of these three antennas are all in good agreement with the experimental results.

Key words: sleeve monopole antennas; method of moment; efficient and accurate modeling for moderately thick cylindrical wire antenna; sinusoidal interpolate basis; daubechies discrete wavelet transform

1 引言

早在本世纪四十年代, 人们通过实验就已经认识到, 在普通的单极子天线外面, 共轴放置一个与地连接的短金属筒, 可使天线在很宽的频带内与馈线实现良好的阻抗匹配^[1]. 后来, Paggio 和 Mayes^[2]为了进一步改善天线的宽频带性能, 将馈电点由天线的底部移至套筒内, 从而形成了典型的套简单极子天线, 其结构如图 1 所示. 适当协调这些结构参数, 该天线在较宽的频带内, 不仅可以实现良好的阻抗匹配, 而且可以获得满意的辐射方向图^[2]. 因而, 在现代的通信和遥感系统中, 套简单极子天线有着广泛的用途.

Taylor^[3]和 King^[4]将套简单极子天线等效为半径均匀、馈电点升至套筒末端所在高度的单极子天线, 再利用镜像原理和叠加原理确定内导体和套筒表面上的电流分布. 此方法忽略了套简单极子天线内外导体的半径差异, 结果导致在并联谐振频率附近, 理论计算难以与实验相吻合. 近年来, 先后又

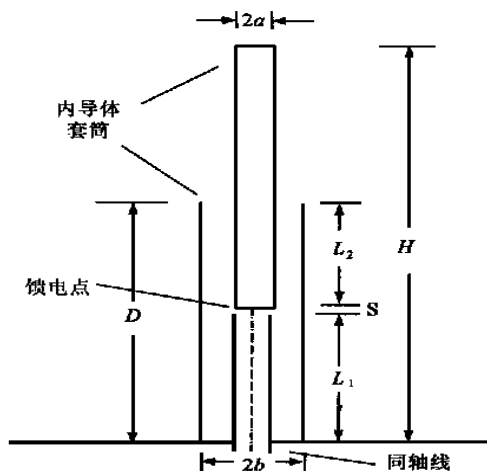


图1 套简单极子天线结构示意图

收稿日期: 1999-07-14; 修回日期: 2000-02-10

基金项目: 国防科技预研基金 (No. 99J10. 1. 1); 国防科技预研基金 (No. 31. 5. 4. 2)

出现了几种新的分析方法:Rispien 和 Chang^[5]提出了一种简单的细线分析方法,通过构造天线表面驻波电流来计算天线输入阻抗.Wunsch^[6]将套筒天线表面电流用 Fourier 级数表示.Shen 和 Macphie^[7]采用模式展开法精确计算了底部馈电套筒单极子天线的输入阻抗.

如上所述,有关套筒单极子天线的理论分析,前人已作过一些研究.但是天线分析,作为现代天线综合设计的基础,不仅要求其具有较高的计算精度,同时要求其具有较快的计算速度和较广的适用范围,上述方法尚不能满足这些要求.为此,本文在利用矩量法分析套筒单极子天线时,着重围绕提高计算精度和速度进行研究.

2 理论分析

在图 1 所示套筒单极子天线的基础上,应用镜像原理采用两个固定间隔为 $\lambda/2$ 的理想电压源激励模型等效实际天线馈电.天线内导体和套筒为共轴放置的两个无限薄的金属筒,半径分别为 a 和 b .

有关矩量法分析线天线的基本原理,R. F. Harrington 作了详细的描述^[8].为此,本文将只讨论套筒单极子天线矩量法分析过程中的几个关键问题.

众所周知,在矩量法计算中,基函数的选取对天线的快速、准确分析有很大的影响.本文在选取基函数时,采用正弦插值基函数,即:

$$f_n(z) = A_n + B_n \sin[(z - z_n)] + C_n \cos[(z - z_n)], \quad |z - z_n| \leq n/2 \quad (1)$$

其中 z_n 表示第 n 个分段的中点坐标, n 为分段长度,三个未知量 A_n 、 B_n 和 C_n ,两个可以通过电流、电荷连续性方程确定,另外一个作为矩量法待求变量.已证明^[9],上述基函数用于天线矩量法分析中,能够获得较快的收敛特性.

而对于套筒单极子天线,一方面由于套筒半径通常较粗,另一方面由于需要计算套筒表面电流在内导体表面产生的电场,显然,细线模型已不再适用.最近,D. H. Werner^[10]提出了一种粗圆柱线天线计算模型.在该模型中积分均已用级数形式精确表示出来,且在场点离源点较远时,通过递推公式快速计算;在场点与源点靠近或重合时,通过特殊奇点处理技术,数值求解.将该模型应用于套筒单极子天线矩量法分析中,不仅提高了计算精度,而且加快了计算速度.

馈源的处理,也是直接影响矩量法收敛特性和适用范围的重要因素之一.本文采用固定间隔的理想电压源模型,收到了较为满意的效果.

另外,在计算中还发现,对套筒单极子天线而言,如何进行矩量法分段,也是影响计算精度和算法适用范围的重要因素之一.如果采用内导体和套筒独立、不等长分段,则会出现图 2(a)所示的情况,其中 i 和 j 分别表示场点和源点所在分段.从图中可以看到,第 j 段的中点(即场点)靠近第 i 段(源所在段)的一个端点,而靠近分段端点处的电场值很大,当内导体和套筒半径较为接近时,就有可能造成数值计算不稳定.为此,采用一种所谓的“等长分段”方法,即首先将内导体和套筒对齐等长分段,见图 2(b),再将露出套筒外的部分内导体

另行分段.同时,为了使内导体上的分段长度尽可能的接近,设套筒分段数为 N ,露出套筒外的内导体分段数 N' :

$$N' = \left\lceil N \cdot \frac{H-D}{D} \right\rceil \quad (2)$$

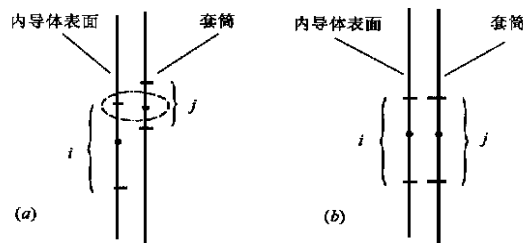


图 2 套筒单极子天线分段示意图

在计算阻抗矩阵元素时,充分利用套筒天线几何结构的对称性,可以大大的减少元素的计算量,降低矩阵方程的求解维数.

在线天线矩量法分析中,求解矩阵方程也是一个较为耗时的过程.使用 Daubchies 离散小波变换,可以明显提高线性方程组的求解速度^[11].具体来说,设阻抗矩阵已表示为:

$$ZI = V \quad (3)$$

再设 W 表示 Daubchies 离散小波变换矩阵,由其正交性知 $W^{-1} = W^T$.对式(2)两边进行 Daubchies 离散小波变换运算,得到:

$$WZW^{-1} \cdot WI = WZW^T \cdot WI = WV \quad (4)$$

令 $Z = WZW^T$, $I = WI$, $V = WV$,则上式可写为:

$$ZI = V \quad (5)$$

取阈值 $\epsilon = 1.0 \times 10^{-4} \cdot \max[|z_{m,n}|]$,矩阵 Z 成为一稀疏矩阵.求解该稀疏矩阵方程,并将解向量 I 逆变换,便得到了待求的电流系数 I .进而可以得到天线的电流分布并计算天线的输入阻抗、电压驻波比、辐射方向图以及增益.

3 算法验证

作为算法验证第一步,首先来考察分段收敛特性.为此,对不同尺寸的套筒单极子天线,在不同分段数的情况下,分别进行计算,均得到了相似的收敛效果.图 3 给出了一组天线输入阻抗随分段数变化曲线,旨在说明所提出的新分析方法具有较快的分段收敛特性.

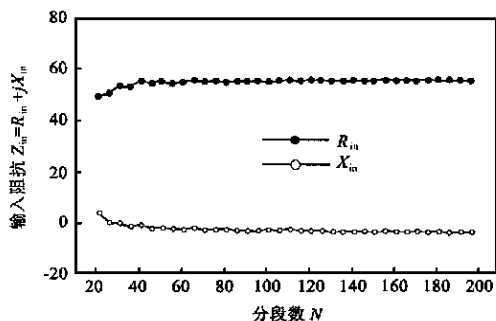


图 3 套筒单极子天线输入阻抗随分段收敛曲线

Taylor^[3]给出了实验结果.本文就其中的一组进行计算和比较,结果见图 4.需要说明的是,由于当时 Taylor 对实验数据

进行了归一化处理,因此,图中的比较,只能是在实验结果的两个端点拟和计算值基础上进行比较.不过仍然可以发现,两者变化规律吻合很好.这些结果都表明,本文提出的分析方法是实用和有效的.

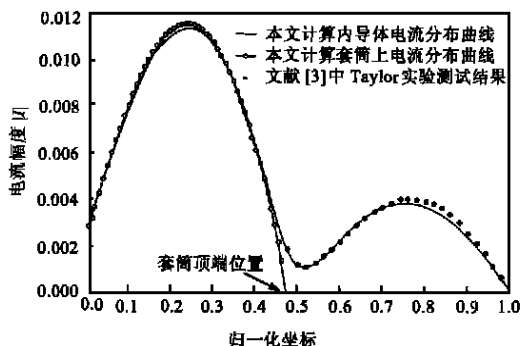


图4 套筒单极子天线电流分布比较 ($H = 0.95$, $D = 0.45$, $L_1 = 0$, $a/H = 0.003342$, $b = 4.5a$)

4 天线设计

借助本文算法,设计了一付工作在 $200 \sim 700\text{MHz}$ 频段、 $VSWR \leq 3.0$ 的套筒单极子天线.天线结构参数: $H = 320.0\text{mm}$, $D = 128.0\text{mm}$, $L = 32.0\text{mm}$, $a = 5.0\text{mm}$, $b = 27.5\text{mm}$.按照上述尺寸,实际制作了套筒单极子天线,并以 $3.0\text{m} \times 3.0\text{m}$ 铝板作地面,使用 Wiltron 37269A 矢量网络分析仪,测量天线在 $200 \sim 700\text{MHz}$ 频段

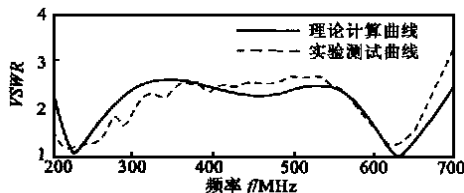


图5 $200 \sim 700\text{MHz}$ 套筒单极子天线理论计算与实验测试结果

5 结论

套筒单极子天线具有良好的宽带特性,因而得到了较为广泛的应用.但由于影响其电性能的因素较多,单纯通过实验调整的方法进行设计,一般较为费时和费力.本文提供了一种快速、有效分析套筒单极子天线的新方法.通过采取多种措施不仅提高了计算精度,同时也加快了计算速度.无论是对已有的套筒单极子天线,还是对文中设计的实用套筒单极子天线进行分析计算,结果均充分说明了该方法的有效性和实用性.

采用之,可实现套筒单极子天线的计算机辅助设计,从而提高设计效率并改善设计结果.

参考文献:

- [1] Staff of Radio Research Laboratory of Harvard University [M]. Very high frequency technique. 1947.
- [2] A. J. Poggio, P. E. Mayes. Pattern bandwidth optimization of the sleeve monopole antenna [J]. IEEE Trans. On AP, 1966, 14(6): 643 - 645.
- [3] J. Taylor. The sleeve antenna [R]. Cruft laboratory technique report 128, Harvard University, USA, April 1951.
- [4] R. W. P. King. Theory of Linear Antenna [M]. Harvard University Press, 1956.
- [5] L. W. Rispin, D. C. Chang. Wire and Loop Antennas [M]. Antenna Handbook, Y. T. Lo and S. W. Lee, Eds. New York: Van Nostrand Reinhold, 1988.
- [6] A. D. Wunsch. Fourier series treatment of the sleeve monopole antenna [J]. IEE Proc. -H, 1988, 135(4): 217 - 225.
- [7] Z. X. Shen, R. H. Macphie. Rigorous evaluation of the input impedance of a sleeve monopole by modal-expansion method [J]. IEEE Trans. On AP, 1966, 44(12): 1584 - 1591.
- [8] R. F. Harrington. Field Computation by Moment Method [M]. New York: Macmillan, 1968.
- [9] E. K. Miller, F. J. Deadrink. Some computational aspects of thine-wire modeling [C]. Numerical and Asymptotic Technique in Electromagnetics. R. Mittra, Ed. New York: Springer-verlag, 1975.
- [10] D. H. Werner. A method of moments approach for the efficient and accurate modeling of moderately thick cylindrical wire antennas [J]. IEEE Trans. On AP, 1998, 46(3): 373 - 382.
- [11] 孙保华, 尹应增, 张厚, 刘其中. 用小波实现线天线的快速分析与计算 [J]. 电波科学学报, 1999, 14(增刊): 360 - 363.

作者简介:

孙保华 1969 年生, 1996 年在西安电子科技大学获工学硕士学位. 现为该校博士研究生.



焦永昌 1964 年生, 分别于 1987 年和 1990 年在西安电子科技大学获硕士和博士学位. 现为西安电子科技大学天线所教授、博士生导师. 在国内外刊物上发表论文 20 多篇, 研究方向为进化算法及应用、宽带小型化天线的设计、天线数值分析.