

文章编号:1000-1972(2005)02-0067-04

矩量法结合渐近波形估计分析对数周期天线

程 勇,曹 伟

(南京邮电学院 通信工程系,江苏南京 210003)

摘要:应用渐近波形估计技术与矩量法相结合,分析了一种对数周期天线的电气特性。采用这种方法可以在很宽的频带中只取少量频点利用矩量法计算,再在整个频带进行 Pade 逼近就可获得天线的频率特性。从而节省了分析电磁问题时的计算时间和内存要求。采用这个方法与矩量法算出的结果进行了比较,它们之间良好的一致说明了本方法的正确性和有效性。

关键词:矩量法;渐近波形估计技术;天线

中图分类号:TN821⁺.6;O241.8 文献标识码:B

Analysis of LPDA Using Method of Moments in Conjunction with Asymptotic Waveform Evaluation Technique

CHENG Yong, CAO Wei

(Department of Communication Engineering, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

Abstract: A numerical method of analyzing log periodic antenna(LPDA) is presented in this paper. It uses the method of moments(MoM) in conjunction with the asymptotic waveform evaluation technique. The antenna is calculated only at a few frequency points, then matched via the pade approximation to obtain the frequency characteristic. It therefore reduces both the computation time and storage requirement. Some wire antennas are analyzed by means of this method and the calculated results are compared with those obtained by a conventional method of moments.

Key words: Method of moments; Asymptotic waveform evaluation technique; Wire antennas

1 引 言

为了使天线能在更宽的频带内稳定地工作,就需要寻求电气性能指标基本不随频率变化的天线,对数周期天线就是其中的一种。它可以在十几比一甚至几十比一的频带宽度内性能基本保持一致。比较常见的是对数周期偶极子天线。这种金属线天线的形式比较适合于采用矩量法(MoM)进行分析。它通过求解积分方程得到金属振子上的电流分布,从而获得天线的各项电气性能参数。但是由

于对数周期天线的工作频带很宽,用矩量法求天线的频带特性时,就要进行大量的重复计算工作。如果将渐近波形估计(AWE)与矩量法结合,就可以减少许多重复计算。渐近波形估计是一种函数逼近技术,最早以应用于电路分析而闻名^[1~3],后来逐渐被应用于对电磁场问题的分析^[4~7]。也就是说为了计算一个频带内的电磁特性时,则可以在该频带内抽取一些频率点,用矩量法求出这些频点下的电流分布,然后求其余各频点电流在这些点的 Talor 级数。再采用多点 Pade 逼近。较之矩量法分析而言,频率点可以取得比较稀,即可以在较少的频率点上进行计算,从而大大地节省了计算工作量。

2 基本理论

对数周期天线的结构如图1所示。它是由馈电点向外长度逐渐增加的平行半波振子串馈阵。内连馈线在相邻两个振子之间交叉。对于某一工作频率,长度远小于半波的振子,输入端呈现很大的容抗,其上的电流很小,辐射很微弱,集合线上的能量在这一区域衰减很小。长度接近半波的几个振子,输入阻抗几乎是纯电阻,其上承受了比其它振子大得多的电流,形成有效区,产生强辐射。LPDA(对数周期天线)的电性能主要取决于有效区,能量在这一区域有很大衰减。经过有效区后,集合线上的能量所剩无几,长度远大于半波的振子几乎处于未激励状态,恰好满足截止特性。LPDA的电性能可以采用矩量法分析。但是由于对数周期天线的工作频带很宽,因而要得到天线的频率特性足够准确,就得取足够的频点进行计算,这使得矩量法计算的工作量很大。先在较少的频率点上对天线进行矩量法分析。求出天线在这些频点上的电流分布 $I(f)$,然后再进行多点Pade逼近,从而得到天线的整个频域特性。从而大大节省计算工作量。

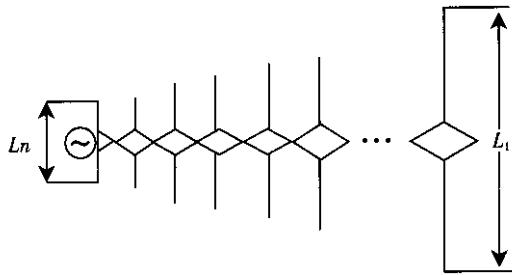


图1 对数周期天线结构

2.1 线天线的矩量法分析

对于一个线天线的辐射问题,首先建立如下算子方程

$$T(i) = \bar{I} \cdot \bar{E}^i \quad (1)$$

现在的问题就是利用矩量法来求取天线上的电流分布。第一步选取展开函数 $\{u_1, u_2, \dots, u_N\}$ 将线天线上的电流展开

$$i = \sum_{n=1}^N I_n u_n = \mathbf{U}^T \mathbf{I} \quad (2)$$

式中, $\mathbf{I} = [I_1, I_2, \dots, I_N]^T$, $\mathbf{U} = [u_1, u_2, \dots, u_N]^T$ 。

将展开表达式代入算子方程得到:

$$\sum_{n=1}^N I_n T(u_n) = \bar{I} \cdot \bar{E}^i = E_l^i \quad (3)$$

选取一组加权函数对上式两边进行加权运算
万方数据

$$\sum_{n=1}^N I_n < w_m, T(u_n) > = < w_m, E_l^i > \quad m = 1, 2, \dots, M \quad (4)$$

将上面的线性方程组写成下面的矩阵方式:

$$\mathbf{ZI} = \mathbf{V} \quad (5)$$

式中, Z 是一个广义阻抗矩阵,它的元素可表示为:

$$z_{mn} = < w_m, T(u_n) > \quad m = 1, 2, \dots, M; n = 1, 2, \dots, N$$

V 是一个 M 元素的列矢量,它的第 m 个元素表示为

$$v_m = < w_m, E_l^i > \quad m = 1, 2, \dots, M$$

求解这个矩阵方程

$$\mathbf{I} = \mathbf{Z}^+ \mathbf{V} \quad (6)$$

$$\text{式中}, \mathbf{Z}^+ = \begin{cases} \mathbf{Z}^{-1} & M = N \\ ([\mathbf{Z}^*]^T \mathbf{Z})^{-1} [\mathbf{Z}^*]^T & M > N \end{cases}$$

最后就可以得到天线上的电流分布:

$$i = \mathbf{U}^T \mathbf{I} = \mathbf{U}^T \mathbf{Z}^+ \mathbf{V} \quad (7)$$

一旦得到天线的电流分布,就可以计算出天线的其它的电气性能参量。在本文的分析中,电流的展开函数选取的是脉冲函数,而权函数选取的是狄拉克函数,也就是采用的是点选配的方法。

2.2 矩量法分析中的渐近波形估计技术

当然,在以频率 f 作为自变量的矩量法分析中,矩阵 Z 以及矢量 I 和 V 都是与频率 f 有关的。其矩阵方程(5)应写成

$$\mathbf{Z}(f) \mathbf{I}(f) = \mathbf{V}(f) \quad (8)$$

在所需频带内取定一个频率点 f_0 ,并求出电流的列矢量函数在该频率点上的函数值及其若干阶导数的值,从而得到列向量在该频点的Talor级数。

$$\mathbf{I}(f) = \sum_{n=0}^{\infty} c_n (f - f_0)^n \quad (9)$$

式中, c_n 是Taylor系数,它表示为

$$c_n = \frac{I^{(n)}(f_0)}{n!} \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

将阻抗矩阵 Z 和列矢量 V 展开成Talor级数,代入式(8)得到

$$\left\{ \sum_{n=0}^{\infty} \frac{[\mathbf{Z}(f_0)]^{(n)}}{n!} (f - f_0)^n \right\} \left\{ \sum_{n=0}^{\infty} c_n (f - f_0)^n \right\} = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\mathbf{V}^{(n)}(f_0)}{n!} (f - f_0)^n \quad (10)$$

最后得到的Taylor系数为:

$$c_0 = [\mathbf{Z}(f_0)]^{-1} \mathbf{V}(f_0)$$

$$c_n = [\mathbf{Z}(f_0)]^{-1} \left\{ \frac{\mathbf{V}^{(n)}(f_0)}{n!} - \sum_{j=1}^n \frac{[\mathbf{Z}(f_0)]^{(j)}}{j!} c_{n-j} \right\}$$

$$n = 1, 2, \dots, L$$

由于多项式级数的收敛半径一般较小,而且在

收敛域边缘的收敛速度比较慢,不宜在大范围内直接用于函数逼近。因而将其转化为有理函数来逼近,称为 Pade 逼近:

$$\mathbf{I}(x) = \frac{P_L(x - x_0)}{Q_M(x - x_0)} + 0(|x - x_0|^{L+M+1}) \quad (11)$$

在这里, $P_L(x - x_0)$ 和 $Q_M(x - x_0)$ 分别表示最高幂次为 L 和 M 的多项式。那么就可得到

$$\sum_{n=0}^{\infty} c_n(f - f_0)^n = \frac{\sum_{l=0}^L a_l(f - f_0)^l}{\sum_{m=0}^M b_m(f - f_0)^m} + 0(|f - f_0|^{L+M+1}) \quad (12)$$

式中, $\{a_n\}$ 和 $\{b_n\}$ 称为 Pade 系数, 它们均为待求的未知系数。忽略高阶无穷小。取 $b_0 = 1$, 求解下列矩阵方程获取 Pade 系数 $\{b_1, b_2, \dots, b_M\}$:

$$\begin{bmatrix} c_L & c_{L-1} & \cdots & c_{L+1-M} \\ c_{L+1} & c_L & \cdots & c_{L+2-M} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{L+M-1} & c_{L+M-2} & \cdots & c_L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{L+1}b_0 \\ c_{L+2}b_0 \\ \vdots \\ c_{L+M}b_0 \end{bmatrix} \quad (13)$$

再利用 $\{b_1, b_2, \dots, b_M\}$, 按下列公式求 Pade 系数 $\{a_1, a_2, \dots, a_L\}$:

$$a_1 = \sum_{i=0}^l c_{l-i} b_i \quad l = 0, 1, \dots, L$$

这样就可以获得电流矢量的 Pade 逼近表达式为:

$$\mathbf{I}(f) = \frac{\sum_{l=0}^L a_l(f - f_0)^l}{\sum_{m=0}^M b_m(f - f_0)^m} \quad (14)$$

当工作频带较宽时, 可对 $\mathbf{I}(f)$ 采用多点 Pade 逼近。较之矩量法分析而言, 频率点可以取得比较稀, 即可以在较少的频率点上计算向量 \mathbf{I} , 从而大大地节省了计算工作量。

3 计算实例

假设有一对数周期天线, 其结构可参见图 1, 具体参数为: 振子数目为 18 元, $\tau = 0.917$, $\sigma = 0.169$, $L_{18} = 0.172 \text{ m}$, $L_1 = 0.75 \text{ m}$, 分别用矩量法和矩量法/渐近波形估计技术分别计算出天线的各项频率性能参数如图 2~图 5 所示。

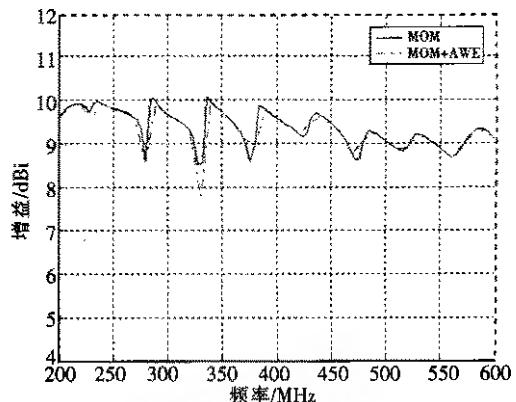


图 2 天线增益

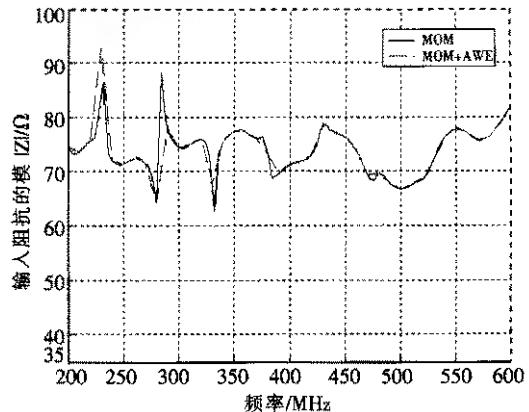


图 3 输入阻抗的模

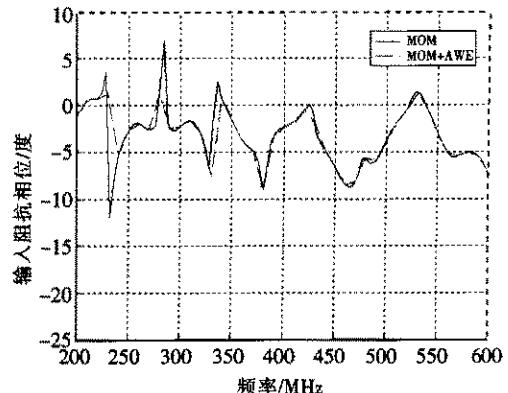


图 4 输入阻抗的相位

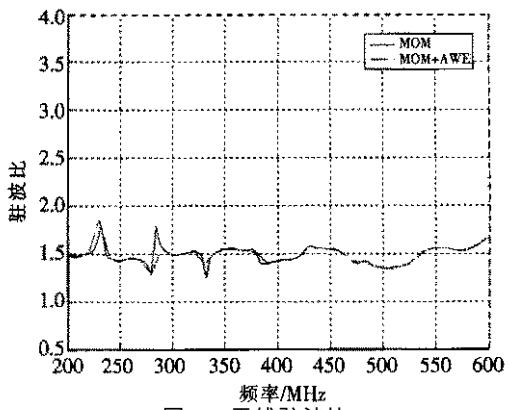


图 5 天线驻波比

在配置为赛扬 1 GHz, 内存 256 M 的微机上进行计算, 矩量法的时间为 30.679 秒, 混合方法的时间为 15.532 秒。

4 结 论

本文应用矩量法与渐近波形估计技术结合分析了一种对数周期天线的各项频率特性。并与矩量法的计算结果进行了比较, 具有很好的一致性。利用这种方法, 只需计算一个或很少的几个频点上的矩阵方程, 就可以获得天线的频率特性, 从而大大缩短了计算时间, 提高了计算效率。

参考文献:

- [1] PILLAGE T. Asymptotic Waveform Evaluation for Timing Analysis[J]. IEEE Trans on Computer-Aided of Integrated Circuits and Systems, 1990, 9(4):352~366.
- [2] TANG T K. Analysis of High Speed VLSI Interconnects Using the Asymptotic Waveform Evaluation Technique [J]. IEEE Trans on Computer-Aided of Integrated Circuits and Systems, 1992, 11(3):341~352.
- [3] SANAIE R. A Fast Method for Frequency and Time Domain Simulation of High Speed VLSI Interconnects[J]. IEEE Trans on MTT, 1994, (12):2563~2571.

- [4] REDDY C J. Fast RCS Computation over a Frequency Band Using Method of Moments in Conjunction with Asymptotic Waveform Evaluation Technique [J]. IEEE Trans on AP, 1998, (8):1229~1233.
- [5] ERDEMELI Y E. Fast RCS Pattern fill Using AWE Technique [J]. IEEE Trans on AP, 1998, (11):1752~1753.
- [6] TONG C M. Fast Calculation of Wide Angle Mono-Static RCS of Dielectric Cylinders Based on Asymptotic Waveform Evaluation Technique[J]. Chinese Journal of Radio Science, 2001, 16(1):72~75.
- [7] 刘芸江,甄蜀春,李曼,等. AWE 技术结合矩量法分析某型八木天线[J]. 电波科学学报, 2003, 18(3):337~340.

作者简介:



程 勇(1970—),男,江苏南京人。南京邮电学院通信工程系讲师,南京邮电学院电磁场与微波技术专业在职博士研究生。1992 年毕业于南京邮电学院无线工程系。1998 年在南京邮电学院电磁场与微波技术专业获工学硕士学位。目前主要研究方向为天线与电波传播,电磁场数值方法,无线通信与电磁兼容。

曹 伟(1939—),男,湖南长沙人。南京邮电学院通信工程系教授,博士生导师,日本名古屋工业大学工学博士。(见本刊 2005 年第 1 期第 50 页)

(责任编辑:潘雪松)

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>