

一种宽带天线阵列的谱域矩量法分析

兰 栋 杨仕文

(电子科技大学, 成都 610054)

摘 要: 本文运用谱域矩量法对微带领结天线的无限阵列进行了分析。文章针对微带天线的无限阵列推导了谱域矩量法的表达式, 该方法使用 RWG 基函数, 能够处理任意形状的阵列单元, 与分析单个天线单元的全波矩量法相比, 要更加简单容易实现。然后给出了微带领结天线的计算结果, 与 HFSS 仿真软件的结果吻合很好。结果显示, 领结天线在无限大阵列中依然有很宽的阻抗带宽。

关键词: 谱域矩量法; 无限阵; 领结天线

Analysis of a Broadband Antenna Array with Spectral MoM

Lan Dong Yang Shi Wen

(University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054)

Abstract: This paper presents an analysis of microstrip bowtie infinite antenna array using the spectral moment methods. First, we derive the expression of spectral MoM regarding to the infinite microstrip array. The RWG base function can be used, therefore, we can analyze arbitrary shape antenna element. This method is easier to carry out compared with the full-wave MoM which is used to analyze single antenna. Then, a solution of bowtie antenna array is given, which is accordant with the solution of HFSS. The result demonstrates that the bowtie in the infinite array still has a great impedance bandwidth.

Keywords: Spectral MoM; Infinite array; Bowtie antenna

1 引言

在某些无线电系统中需要天线具有高增益、强方向性的特性, 单个天线无法实现, 就必须采用阵列天线。微带天线阵列与传统的喇叭阵列、波导缝隙阵列相比, 由于其具有低剖面、重量轻、可共型、易加工等优点, 正在被越来越多的使用。当阵列很大时, 可以采用无限阵的模型对其进行分析, 这是因为阵元辐射特性和反射特性取决于阵元放置在阵列的具体环境, 靠近阵列中心的阵元受到阵列边缘的影响很小, 如果阵列足够大, 这种影响是可以忽略的。

本文将使用谱域矩量对微带天线阵列的无限阵模型进行分析。在无限阵中, 所有天线单元所处的环境相同, 那么只需要求解一个天线单元。与求解

单个天线的全波矩量法相比, 这里把复杂的 Sommerfeld 积分通过泊松变换变为一个无限求和的表达式, 更加容易使用算法实现。在满足一定计算精度的要求下, 无限求和可以用有限项的求和来代替。矩量法使用 RWG 函数为基函数, 这样就可以处理复杂形状的天线结构。

微带领结天线具有结构简单、平面设计、容易加工制作和带宽很宽的特点, 被应用的越来越多。本文将对这种天线阵列的进行分析。

2 谱域矩量法

如图 1 所示, 在平面分层介质板上周期放置了无限多个相同的微带领结天线, 最下面是地板。领结天线通过理想 δ 电压源中心馈电。天线的长度 L 、宽度 W , 周期网格长度 a 、宽度 b 。第 m 、 n 个网格中源点的坐标为:

$$\begin{aligned} x_m &= x_0 + ma \\ y_m &= y_0 + nb \end{aligned} \quad (1)$$

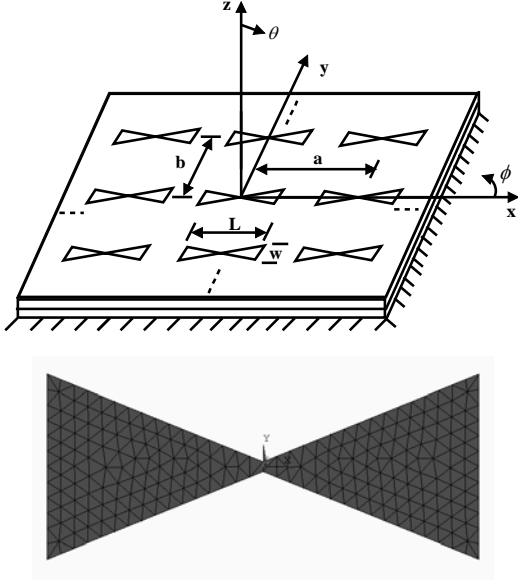


图1 阵列及天线单元结构

其中 m, n 为整数编号并且 $-\infty < m, n < \infty$ 。对于扫描角为 (θ, ϕ) ，第 m, n 个天线上的相位为：

$$e^{jk_0(mau+nbv)} \quad (2)$$

其中：

$$\begin{aligned} u &= \sin \theta \cos \phi \\ v &= \sin \theta \sin \phi \end{aligned} \quad (3)$$

那么介质板上无限个电偶极子相位由(2)式决定，产生的场通过叠加，就得到无限阵列格林函数：

$$G_{xx}^A(x, y, d) = \frac{1}{4\pi^2} \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} e^{jk_0(mau+nbv)} \quad (4)$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \tilde{G}_{xx}^{\theta 0}(k_x, k_y) e^{jk_x(x-x_0-ma)} e^{jk_y(y-y_0-nb)} dk_x dk_y$$

上式为矢量位格林函数的第一个分量，其他的格林函数与之相似。(4)式中 $\tilde{G}_{xx}^{\theta 0}$ 表示谱域位格林函数，文献[5]中有完整的表达形式。虽然(4)式容易理解，但是它却不利于计算，我们通过应用泊松求和公式并经过一些变换，得到：

$$G_{xx}^A(x, y, d) = \frac{1}{ab} \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \tilde{G}_{xx}^{\theta 0}(k_x, k_y) e^{jk_x(x-x_0)} e^{jk_y(y-y_0)} \quad (5)$$

其中 k_x, k_y 为离散值：

$$k_x = \frac{2\pi m}{a} + k_0 u, \quad k_y = \frac{2\pi n}{b} + k_0 v \quad (6)$$

可以看到式(5)中没有了无限积分而只剩下求和，这样非常便于计算。矩量法选用混合位积分方程：

$$\underline{\underline{E}} = -j\omega\mu_0 \left\langle \underline{\underline{G}}^A; \underline{\underline{J}} \right\rangle + \frac{1}{j\omega\epsilon_0} \nabla \left(\left\langle \underline{\underline{G}}^\phi; \nabla \cdot \underline{\underline{J}} \right\rangle + \left\langle \underline{\underline{C}}^\phi \hat{z}; \underline{\underline{J}} \right\rangle \right) \quad (7)$$

基函数为 RWG 函数，并且权函数选取使用伽略金方法，则积分可以表示为对基函数和权函数的傅里叶变换，那么阻抗矩阵元素为：

$$\begin{aligned} Z_{mn} &= \frac{1}{ab} \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} (-j\omega\mu_0) F_{pi}^V(k_\rho, \rho) \tilde{G}_{\phi i}^{\theta 0} \tilde{G}_{pj}^V(k_\rho, \rho) \\ &\quad - \frac{1}{ab} \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{1}{j\omega\epsilon_0} F_{\phi i}(k_\rho, \rho) \tilde{G}_{\phi}^{\theta 0} F_{\phi j}^*(k_\rho, \rho) \end{aligned} \quad (8)$$

式(8)中 F_ρ, F_ϕ 是 RWG 函数以及散度的傅里叶变换，可以由(9)、(10)式求得^[3]，星号表示取共轭。

$$\begin{aligned} F_\rho(k; \underline{\underline{r}}') &= \iint_{\Delta} (\underline{\underline{r}} - \underline{\underline{r}}_1') e^{jk \cdot \underline{\underline{r}}'} dA \\ &= \frac{1}{|k|^2} \sum_{n=1}^3 e^{jk \cdot \underline{\underline{r}}_{nc}'} \\ &\quad \left\{ \left[\frac{2}{3} l_n + \left(j \underline{\underline{r}}_{nc}' - j \underline{\underline{r}}_1' - \frac{2k}{|k|^2} \right) z \underline{\underline{g}}_n \times k \right] \right. \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} &\quad \left. g j_0 \left(\frac{k \underline{\underline{g}}_n}{2} \right) - l_n \frac{z \underline{\underline{g}}_n \times k}{2} j_1 \left(\frac{k \underline{\underline{g}}_n}{2} \right) \right\} \\ F_\phi(k) &= \iint_{\Delta} e^{jk \cdot \underline{\underline{r}}'} dA \\ &= \frac{j}{|k|^2} \sum_{n=1}^3 \hat{z} \underline{\underline{g}}_n \times k e^{jk \cdot \underline{\underline{r}}_{nc}'} j_0 \left(\frac{k \underline{\underline{g}}_n}{2} \right) \end{aligned} \quad (10)$$

我们使用的电压源为理想 δ 缝隙电压源，由电压源产生的切向电场等于天线上表面电流产生的切向电场。假设缝隙位于第二个三角形上，如图2所示，则在缝隙上散射电场等于由电压源产生的电场，而其他位置的场都为零。因此，领结天线的电压矢量为：

$$V_m = -V_m^{source} l_m \quad (11)$$

然后解矩阵方程就可以得到天线电流，输入阻抗等。

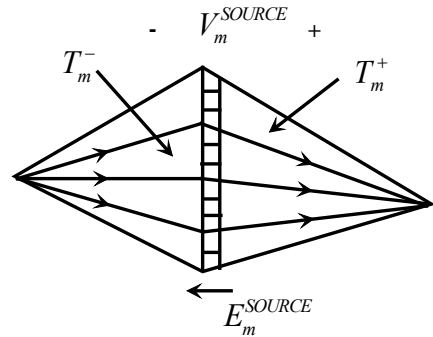


图2 δ 缝隙电压源模型

3 领结天线的计算结果

如图 1 所示, 领结天线长 $L=14.0\text{mm}$, 宽 $W=6.0\text{mm}$, 天线阵列间距 $a=16.0\text{mm}$, $b=10.0\text{mm}$ 。天线放置在图 3 所示的分层介质中, 天线层上面有两层宽角匹配层, 用来增加带宽, 天线层下面的空气层由泡沫材料填充。介质层由下到上介电常数为 1.0、4.0、2.8、1.5、1.0, 介质厚度为 5.0mm、1.0mm、3.5mm、6.5mm。图 4 为不扫描状态下, 由谱域矩量法和 HFSS 的计算结果, 二者吻合的很好, 可以看出在频率 3G-14GHz, 领结天线具有驻波比小于 2 的宽带性能, 这里假设特性阻抗为 100Ω 。图 5 为不同的 E 面扫描角下的矩量法计算的驻波比, 天线在高频大扫描角时会出现扫描盲区。

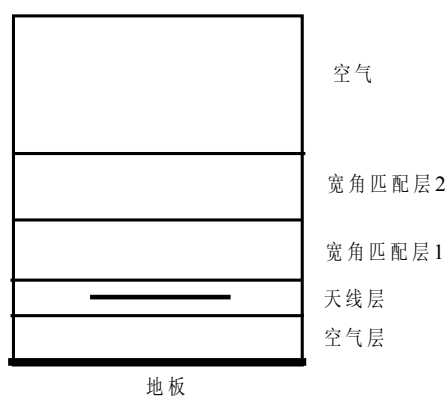


图 3 介质层结构

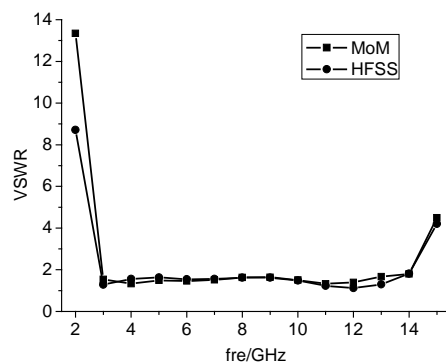


图 4 不扫描时的 VSWR

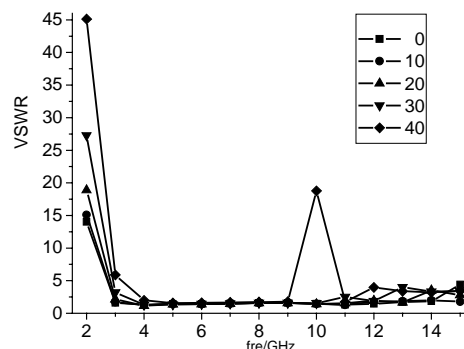


图 5 不同的 E 面扫描角下的 VSWR

4 结论

本文给出了一种能够对微带周期无限阵的分析方法——谱域矩量法。该方法能够对任意形状的微带形状进行分析, 而且算法简单容易实现。随后给出了宽带领结天线的计算结果, 与 HFSS 吻合很好。结果显示, 无限阵中的领结天线同样具有很宽的带宽。

参考文献

- [1] J. R. James, P. S. Hall, Handbook of Microstrip Antennas, Peter Peregrinus Ltd. 1989.
- [2] D. M. Pozar, "Scan Blindness in Infinite Arrays of Printed Dipoles," *IEEE Trans. Antennas Propag*, vol. AP-32, pp.602-610, June 1984.
- [3] K. McInturff, P. S. Simon, "The Fourier Transform of Linearly Varying Functions with Polygonal Support," *IEEE Trans. Antennas Propag*, vol. AP-39, pp.1441-1443, Sep. 1991.
- [4] D. G. Fang, Antenna Theory and Microstrip Antennas, Science Press, 2006.
- [5] K. A. Michalski, J. R. Mosig, "Multilayered Media Green's Functions in Integral Equation Formulations," *IEEE Trans. Antennas Propag*, vol. AP-45, pp.508-519, March 1997.
- [6] S. M. Rao, D. R. Wilton, and A. Glisson, "Electromagnetic Scattering by Surface of Arbitrary Shape," *IEEE Trans. Antennas*

Propag. vol. AP-30, pp.409-418, May 1982.

- [7] N. W. Montgomery, D. R. Wilton, "Analysis of Arbitrary Conducting Periodic Structures Embedded in Layered Media," *IEEE AP-S Int. Symp.*, vol. 3 pp.1889-1992 June 1991.

作者简介:

兰栋, 男, 硕士研究生, 主要研究领域为微带天线和计算电磁学等。

杨仕文, 男, 教授、博士生导师, 主要研究领域为新概念天线、阵列天线和计算电磁学等。

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,一直致力和专注于微波、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>