

用 UTD 方法分析电大导体表面上缝隙天线间的互耦

刘子梁, 张 玉, 梁昌洪

(西安电子科技大学 陕西 西安 710071)

摘 要: 采用一致性几何绕射理论 (UTD) 结合互易定理准确分析了复杂电大导体表面上缝隙天线间的互耦。UTD 是高频方法, 对于解决电大系统问题十分有效。本文用 UTD 方法计算了电大导体圆柱面上缝隙天线间的互耦, 与已有文献结果吻合得很好, 对实际工程有一定的指导意义。

关键词: 一致性几何绕射理论; 互易定理; 互耦; 缝隙天线

中图分类号: TN82

文献标识码: B

文章编号: 1004-373X (2005) 05-038-02

UTD Method for Analyzing Coupling between Slot Antennas on Electrically Large Conductive Surface

LIU Ziliang, ZHANG Yu, LIANG Changhong

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

Abstract: The Uniform - geometrical Theory of Diffraction (UTD) is employed to accurately analyze the coupling between slot antennas on complex electrically large conductive surface combined with reciprocity theorem. UTD is a kind of high frequency method and it can efficiently solve the problem of electrically large object. The coupling between slot antennas is computed with the influence of the electrically large cylindrical surface being considered. The results obtained in good agreement with those in the available literature and useful for practical projects.

Keywords: UTD; reciprocity theorem; coupling; slot antenna

缝隙天线是一种十分常见的天线, 由于他特有的结构形式, 所以在实际工程中通常能满足共形的要求, 可以将多部缝隙天线安放在很小的区域内。然而多部天线在很小区域内同时工作, 天线间电磁兼容的问题亟待解决。

实际中, 天线的载体平台通常是表面结构复杂的电大导体表面, 在其影响下, 天线间的互耦用解析方法很难解决, 有限元法 (FEM) 和矩量法 (MoM) 等方法虽然应用十分灵活、广泛, 但由于他们在解决电大问题时所需未知数的个数大的惊人, 受到了计算机内存的限制, 所以也很难解决。一致性几何绕射理论 (UTD)^[1~3] 是以几何光学为基础的一种高频方法, 对于电大系统, 他需要的内存少、计算速度快, 因而成为解决电大问题的主流方法。本文采用 UTD 方法计算了复杂电大导体表面上缝隙天线间的互耦, 与文献 [4] 吻合, 对实际工程有一定指导意义。

1 UTD 方法的基本原理

图 1 所示为导体圆柱面上的两个缝隙天线。以圆柱的轴线为 z 轴建立直角坐标系, 如图 2 所示。

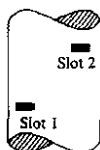


图 1 导体圆柱面上的缝隙天线

图 2 中, Q' 为缝隙天线 1 上任意一点, Q 为缝隙天线 2 上任意一点, 则从 Q' 到 Q 点的绕射场为:

$$\begin{aligned} d\vec{H}_m(Q|Q') = & \frac{-jk}{4\pi} d\vec{p}_m(Q') G_0(kt) \cdot \left[\left[\hat{b}' \hat{b} \cdot \left\{ \left(1 - \frac{j}{kt} \right) V(\xi) + \left(\frac{j}{kt} \right)^2 V(\xi) + T_0^2 \frac{j}{kt} [U(\xi) - V(\xi)] \right\} + \right. \right. \\ & \hat{i}' \hat{i} \left\{ \frac{j}{kt} V(\xi) + \frac{j}{kt} U(\xi) - 2 \left(\frac{j}{kt} \right)^2 V(\xi) \right\} + \\ & \left. \left. [\hat{i}' \hat{b} + \hat{b}' \hat{i}] \left\{ T_0 \frac{j}{kt} [U(\xi) - V(\xi)] \right\} \right] \right] \end{aligned} \quad (1)$$

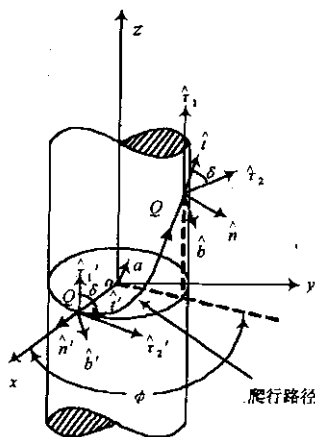


图 2 导体圆柱表面的绕射射线

$$\begin{aligned} \hat{t}'_1 &= \hat{z}, \text{在 } Q' \text{ 点} \\ \hat{t}_1 &= \hat{z}, \text{在 } Q \text{ 点} \\ \hat{t}'_2 &= \hat{\phi}, \text{在 } Q' \text{ 点} \\ \hat{t}_1 &= \hat{\phi}, \text{在 } Q \text{ 点} \\ \hat{b} &= \hat{t} \times \hat{n}; \hat{b}' = \hat{t}' \times \hat{n}' \\ \hat{t} \times \hat{z} &= \cos \delta = \hat{t}' \times \hat{z}' \end{aligned}$$

式 (1) 中: 磁流源 $d\vec{p}_m(Q') = \vec{E}^a(Q') \times \hat{n}' da'$; $\vec{E}^a(Q')$ 为 Q' 点处的口径场; da' 为面元; \hat{n}' 为单位法向矢量; 波阻抗 $Z_0 = \sqrt{\mu_0/\epsilon_0}$; 绕射弧长 $t = \sqrt{(a\phi)^2 + z^2}$; $\xi = mt/\rho_g$,

$m = (k\rho_g/2)^{1/3}$; 沿 t 方向的曲率半径 $\rho_g = a/\sin^2\delta$; $T_0 = \cos\delta$; 格林函数 $G_0(kt) = e^{-jkt}/t$ 。

$$U(\xi) \equiv \frac{\xi^{3/2} e^{j\frac{3\pi}{4}}}{\sqrt{\pi}} \int_{-\infty e^{-j2\pi/3}}^{\infty} d\tau \frac{W_2'(\tau)}{W_2(\tau)} e^{-j\xi\tau} \quad (2)$$

$$V(\xi) \equiv \frac{\xi^{1/2} e^{j\frac{\pi}{4}}}{2\sqrt{\pi}} \int_{-\infty e^{-j2\pi/3}}^{\infty} d\tau \frac{W_2'(\tau)}{W_2(\tau)} e^{-j\xi\tau} \quad (3)$$

$$W_2(\tau) \equiv \frac{1}{\sqrt{\tau}} \int_{-\infty e^{-j2\pi/3}}^{\infty} dZ e^{\tau Z - Z^3/3} \quad (4)$$

2 导体圆柱面上缝隙天线间的互耦

实际工程中，很多天线平台都可以近似等效为圆柱、尖劈和圆锥等很典型的几何体，例如飞机的机身可近似等效为圆柱。所以很好地解决圆柱等典型表面上天线间的互耦问题有很大的实际工程意义。对于如图 1 所示的位于导体圆柱表面上的缝隙天线系统，根据网络思想，将图 1 中所示的天线系统等效成一个 2 端口网络，其对应的 Y 矩阵为：

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} \quad (5)$$

根据互易定理^[5]：

$$Y_{21} = - \frac{\iint_{S_2} \iint_{S_1} d\vec{H}_m(Q|Q') \cdot d\vec{p}_m(Q)}{V_{11}V_{22}} \quad (6)$$

式 (6) 中： S_1, S_2 表示天线 1 和天线 2 的口径面积； V_{11}, V_{22} 分别表示天线 1 和天线 2 端口输入电压的最大值； $d\vec{H}_m(Q|Q')$ 表示位于缝隙天线 1 任意一点 Q' 的磁流源 $d\vec{p}_m(Q')$ 在天线 2 上的任意一点 Q 产生的磁场； $d\vec{p}_m(Q)$ 为缝隙天线 2 上任意一点 Q 磁流源。

3 数值结果

如果圆柱半径 $r=0.0506\text{ m}$ ，天线 1 和天线 2 均为工作在 9 GHz 的波导口径天线，口径尺寸均为 $l \times d=0.02286 \times 0.01016\text{ m}$ ，当天线 1 和天线 2 位于圆柱体的同一横截面内时，图 3(a)和(b)分别给出了互导纳 Y_{21} 的幅度和相位随两个天线口径法向矢量夹角 φ 的变化关系；当天线 1 和天线 2 位于圆柱体的同一条母线上时，图 4(a)和(b)分别给出了 Y_{21} 的幅度和相位随爬行弧长的变化曲线。

本文用 UTD 方法分析了位于电大导体圆柱表面上的两个波导口径天线间的互耦，计算了互导纳随两个天线不

同相对位置的变化关系，得到了对实际工程有指导意义的结果，并与已有文献的结果一致。

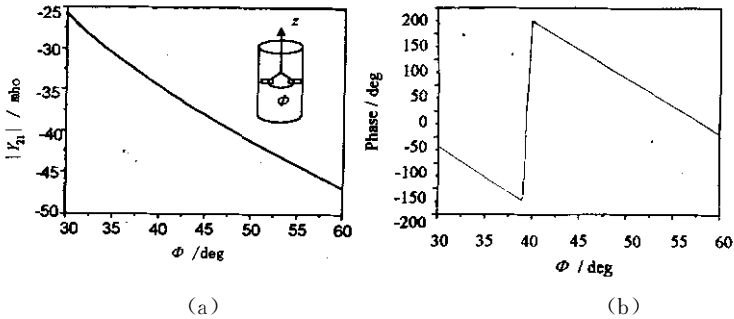


图 3 Y_{21} 随法向矢量夹角 φ 的变化

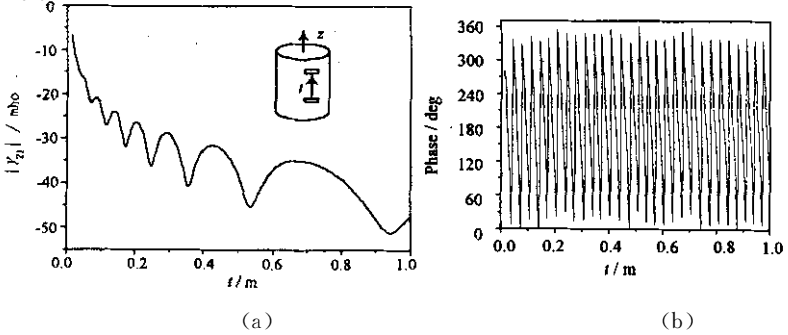


图 4 Y_{21} 随爬行弧长 t 的变化

参 考 文 献

[1] Pathak P H, Wang M N. Ray Analysis of Mutual Coupling between Antennas on a Convex Surface [J], IEEE Trans. on AP, 1981, 29 (6): 911-922.

[2] Pathak P H, Burnside W D, Marhefka J. A Uniform GTD Analysis of the Diffraction of Electromagnetic Waves by a Smooth Convex Surface[J]. IEEE Trans on AP, 1980, 28 (9): 631-642.

[3] Shungwu Lee, Safieddin Safavi - Naini. Approximate Asymptotic Solution of Surface Field due to a Magnetic Dipole on a Cylinder [J]. IEEE Trans on AP, 1978, 26 (4): 593-598.

[4] Pathak P H, Wang M N. An Analysis of the Mutual Coupling between Antennas on a Smooth Convex Surface, AD-A065591, 1978.

[5] Robert S, Euiott. Elliott Antenna Theory and Design [M]. Prentice-hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1981: 325-336.

(上接第 32 页)

仿真结果数据进行了存储和调用，还无法达到实时仿真。

参 考 文 献

[1] 张亦华, 延明, 肖冰. 数字逻辑设计实验技术与 EDA 工具 [M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2003.

[2] 李永平, 董欣. PSpice 电路优化程序设计 [M]. 北京: 国

防工业出版社, 2004.

[3] 贾新章. OrCAD/PSpice9 实用教程 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1999.

[4] 张宇弘, 何乐年, 严晓浪, 等. 基于 SOC 典型结构的系统验证环境 [J]. 微电子学, 2003, 33 (2): 98-101.

[5] OrCAD PSpice A/D User's Guide, 1998.

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>