

# 基于 MOM 的线天线间的互阻抗计算

刘肖峰 张昕

(哈尔滨工程大学 通信学院, 黑龙江 哈尔滨 150001)

**摘 要:** 天线间的耦合是近场干扰的主要原因之一, 而互阻抗是计算天线间耦合度的关键。为了有效计算互阻抗, 引入了一种新的互阻抗定义, 即 Hui 阻抗定义。它是将天线接上负载, 再直接测量负载上的电压和电流进而求得互阻抗。这里运用了基于 RWG 基函数的矩量法进行计算。本文结果与 Carter 公式计算的理论值吻合良好, 表明本文方法较传统互阻抗定义法更具可行性。

**关键词:** 互阻抗; 耦合度; 线天线

各种情况下的两个线天线间的互阻抗计算已有许多作者研究过, 但最近有研究<sup>[1]</sup>表明传统的互阻抗定义不能准确的表示互耦效应。缺点之一是在较高频率时, 感应天线即使是开路情况也有较小电流流过。而且在接受阵列互耦中, 传统的互阻抗不能将干扰天线的方向信息考虑在内。本文采用 Hui 阻抗定义<sup>[2]</sup>结合基于 RWG 基函数的矩量法计算了两半波直天线间的互阻抗, 与传统互阻抗定义下的计算结果进行了比较, 并分别在边靠边和共线两种情况下与 Carter 公式对无限细直天线计算的理论互阻抗进行了比较, 得出本文方法较传统方法更加吻合理论值。

## 1 Hui 定义阻抗

假定场中有两天线 1、2, 均接负载  $Z_L$ , 为 50Ω。Hui 阻抗定义如下<sup>[2]</sup>:

$$Z^H = V_1 / I_2 \quad (1)$$

$I_2$  表示入射场在天线 2 上的感应经过负载  $Z_L$  的电流,  $V_1$  为天线 2 上的(感应)电流作用于天线 1 并产生的经过负载的电压。这是在没有考虑入射场对天线 1 的作用。这种定义下的互阻抗大小取决于入射场的方向, 与入射场的大小和相位无关(因为两天线会同时做出变化, 比值不变)。

这里, 天线 1 和天线 2 上的电流分布  $i(z)$  均由 RWG 基函数展开。在已知入射场的情况下, 由矩量法分别求得天线 2 负载上的电流  $I_2$  和仅由天线 2 在天线 1 负载上激励的电压  $V_1$ 。

## 2 RWG 基函数

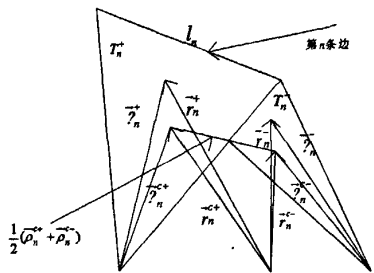


图 1 RWG

$A_n^+$  和  $A_n^-$  为三角形面  $T_n^+$ 、 $T_n^-$  的面积,  $\rho_n^+$  从  $T_n^+$  自由顶点指向面内的内点<sup>[3]</sup>, 而  $\rho_n^-$  从面内点指向  $T_n^-$  的自由顶点,  $r_n^+$  和  $r_n^-$  分别由坐标原点  $o$  指向两三角的内点,  $\rho_n^+$  和  $\rho_n^-$  则为相应中心点位置矢量。三角形网格每一条边对应一个基函数<sup>[4]</sup>(非边界边)。

良导体结构表面  $S$  的电流密度由  $M$  个边元的基函数叠加而成:

$$J = \sum_{m=1}^M I_m f_m \quad (2)$$

$J$  的单位是 A/m, 扩展系数  $I_m$  构成矢量  $I$ 。

$$f_n = \begin{cases} (I_n / 2A_n^+) \rho_n^+(r), & r \in T_n^+ \\ (I_n / 2A_n^-) \rho_n^-(r), & r \in T_n^- \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (3)$$

对于电小尺寸柱形天线, 当其半径远小于工作波长时, 则可等效为金属细带, 用 RWG 边元展开天线表面电流, 将细带离散化(两个 RWG 边元形成的电流矢集  $J$  精确指向带的轴向<sup>[5]</sup>)。阻抗矩阵决定边元间的电磁相互作用。如果边元  $m, n$  被视为有限小的电偶极子, 矩阵元素  $Z_{mn}$  就表示偶极子  $n$  对偶极子  $m$  的贡献, 反之亦然。阻抗矩阵的维数等于边元的数目。

下面引出基于 RWG 边元的阻抗矩阵。电场积分方程的阻抗矩阵元素可定量表示为式<sup>[6]</sup>:

$$Z_{nm} = I_m [j\omega(A_{nm}^+ \rho_m^+ / 2 + A_{nm}^- \rho_m^- / 2) + \Phi_{nm}^+ - \Phi_{nm}^-] \quad (4)$$

$m, n$  相应于两个边元, “ $J$ ”表示点积,  $l_n$  是边元  $m$  的边长。磁矢势  $A$  和标量势  $\Phi$  的表达式详见文献<sup>[1]</sup>第二章,  $\rho_n^+$  分别是边元  $m$  的两个三角  $T_n^+$  的自由顶点和中心点之间的矢量,  $g_n^+(r)$  为格林函数, 其公式不再列出。对于积分项求解, 可将三角分为 9 个相同的子三角。并假设被积函数在每个子三角上的平均由中心点代替。

## 3 仿真分析

下面考虑在 xoy 面沿 y 轴边靠边情况下, 两直天线间互阻抗随距离变化的情况。设偶极子长  $l=2m$ , 半径  $a=0.01m$ , 频率  $f=75MHz$ 。

图 2 是边靠边平行半波长直天线互阻抗作为间距  $d$  的函数曲线。上面是传统互阻抗定义下结合矩量法(其中一个天线加 1 伏的 8 间隙源, 计算另一天线开路感应电压)与 Carter 公式<sup>[6]</sup>(虚线)计算直天线的互阻抗理论值的比较。图 2 下面的是 Hui 定义结合 RWG 基的矩量法计算的互阻抗值(入射场电场为沿天线轴  $1V/m$  时, 两天线间的 Hui 阻抗, 负载均为 50Ω)与 Carter 公式计算两天线互阻抗理论值的比较。

由上可知, 本文方法(即 Hui 阻抗定义结合 RWG 基的矩量法)计算的互阻抗随间距变化的函数曲线与 Carter 公式计算的理论值吻合度较高, 而传统定义下的互阻抗则失真较大。由图 2 知, 在间距相同情况下, 共线天线间的互阻抗相对较小, 本文方法与 Carter 公式在间距很小的时候误差相对较大, 这是由于天线上划分的三角面元尺寸几乎与间距在同一量级所造成的。在低频时, 半波天线的电流分布相当稳定, 天线开路没有电流流过, 但是当频率很高时, 即使是开路也有较小电流流过, 所以传统的互阻

抗定义存在明显缺陷, 本文方法具有可行性。且相对于传统互阻抗定义, 本文已将天线负载影响计算在内, 现实中能方便地从负载的测量电压中得到信号电压。

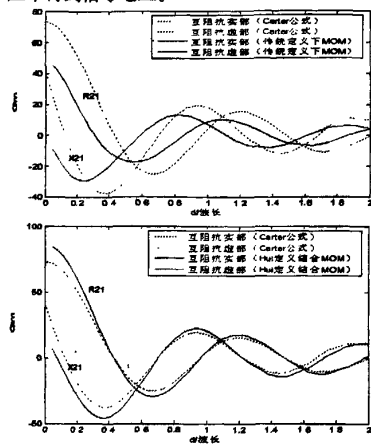


图 2

## 结束语

提出将 Hui 定义与基于 RWG 基的矩量法相结合计算天线间互阻抗, 得到的结果较传统定义下的互阻抗更贴近 Carter 公式计算的理论参考值, 表明了本文方法的可行性和有效性, 而且 Hui 定义中接入了负载方便实际中应用。

## 参考文献

- [1] [美] 塞吉·N·马卡洛夫. 通信天线建模与 MATLAB 仿真分析[M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2006.
- [2] H.T.Hui. A new definition of mutual impedance for application in dipole receiving antenna arrays. IEEE Antennas and wireless propagation letters, 2004, 3.
- [3] H.T.Hui. Improved Compensation for the Mutual Coupling Effect in a Dipole Array for Direction Finding. IEEE Antennas and propagation, 2003, 51(9).
- [4] 伍裕江. 多天线通信中的天线与信道空间域的研究[D].
- [5] 王鑫, 杨华元等. 互耦对阵列天线辐射特性的影响[J]. 应用科技.
- [6] 约翰·克劳斯. 天线[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.

作者简介: 刘肖峰, 男, 现工作于哈尔滨工程大学 通信学院。张昕, 男, 硕士生导师, 研究方向: 计算电磁学, 电磁兼容。

责任编辑: 孙卫国

## 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](http://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](http://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](http://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>