

# 特征模法分析 E 型贴片天线

张莹 欧阳骏 杨峰

(电子科技大学电子工程学院, 四川 成都 611731)

**摘要** 简单介绍了特征模法,该方法为任意形状的电磁物体定义了一系列正交的特征电流。这些特征电流是该电磁物体本身的固有属性,因此可以从本质上解释其辐射特性。利用特征模法提取 E 型贴片天线的特征电流并利用特征角随频率的变化曲线分析各个特征模式的辐射特性。将利用特征模方法得到的等效电流、等效方向图与商业软件 HFSS 得到结果进行对比,得到了较好的一致性。

**关键词** 特征模法; E 型贴片天线; 特征电流

**中图分类号** TN821

## 1. 引言

随着通信技术的迅速发展,人们对天线的设计提出越来越多的要求。微带天线以其低剖面、体积小、重量轻、易于与载体表面共形、易集成、成本低和加工方便等优点受到了人们越来越多的关注。但微带天线的窄频带特性成了限制其广泛应用的主要障碍。E 型贴片采用在微带天线上开两条平行的槽形以展宽天线带宽,可以使天线带宽增加 30%<sup>[1-2]</sup>。

本文利用特征模式方法,分析 E 型贴片天线。特征模式方法物理概念清晰并且可以分析任意形状的天线形式,得到的特征模只与天线的结构、尺寸和工作频率有关,与天线的激励无关。此外,考虑电小天线时,只有几个特征电流起主要作用,因此,等效电流可以看成是三个或者四个特征电流的叠加,因此,可以大大简化问题<sup>[6]</sup>。但特征模式与频率有关,不同的频点需重新计算特征电流及特征值,增加了计算量及复杂度。

## 2. 特征模理论简介<sup>[3-4]</sup>

自从特征模提出以后相继有文献报道了它在散射体,散射截面和天线方向图控制,展宽天线带宽中的一些应用,对天线的分析与设计,具有指导性意义。

考虑本征方程  $XJ_n = \lambda_n R J_n$ , 其中  $R, X$  分别为阻抗矩阵的实部和虚部。根据广义特征值及  $R, X$  的性质,求出的特征值  $\lambda_n$  和特征电流  $J_n$  均为实数(即同相位)。可以证明,特征电流满足如下的正交性

$$\langle J_m, R J_n \rangle = \delta_{mn} \quad (1)$$

$$\langle J_m, X J_n \rangle = \lambda_n \delta_{mn} \quad (2)$$

$$\langle J_m, Z J_n \rangle = (1 + j\lambda_n) \delta_{mn} \quad (3)$$

这里,特征电流已经归一化。由于  $P_{mn} = \langle J_m, Z J_n \rangle = (1 + j\lambda_n) \delta_{mn}$ , 因此在辐射功率为 1 的情况下,储能只与  $\lambda_n$  有关,当  $\lambda_n$  越接近于 0, 表示此模式在此频率下越接近谐振。

假设存在一个导体系统,其表面记作  $S$ , 存在入射电场  $E^i$ , 根据电场边界条件,在表面  $S$  上满足如下算子方程

$$[L(J) - E^i]_{\tan} = 0 \quad (4)$$

式中:  $-L(J)$  表示在  $S$  上的电流  $J$  在空间任意点产生的场  $E$ 。“tan”表示切向分量。

把导体上的电流用特征电流展开为

$$J = \sum_n a_n J_n \quad (5)$$

$a_n$  为展开系数。于是得到

$$\sum_n [a_n L J_n - E^i]_{\tan} = 0 \quad (6)$$

用特征电流对其加权得到

基金项目: 国家自然科学基金 (No. 61001029, No. 10876007); 国家博士后科学研究基金 (No. 20090461325, No. 201003690); 中央高校基本科研业务费 (No. 103. 1. 2E022050205); 四川省科技支撑计划项目 (2011GZ0157)

联系人: 张莹 E-mail: zhangying.0722@163.com

$$\sum_n \langle J_n, ZI_n \rangle = \langle J_n, E_{in} \rangle \quad (7)$$

由特征电流满足的正交性化简为

$$a_n(1+j\lambda_n) = \langle J_n, E' \rangle \quad (8)$$

另激励系数为

$$V_n = \langle J_n, E' \rangle = \oint J_n \cdot E' ds \quad (9)$$

因此得到

$$J = \sum_n \frac{V_n J_n}{1+j\lambda_n} \quad (10)$$

### 3. E型贴片天线的特征模分析

论文[1]对E型贴片天线展开分析,并设计了一款工作于1.9~2.4 GHz的E型贴片天线。本文按照论文中的尺寸(如图1所示),利用特征模法对其进行分析。利用Fortran编程计算得到其特征模式,并用MATLAB对其进行后处理,使其可视化。这里给出E型贴片天线在其工作频带范围内的主要特征模式如图2所示。

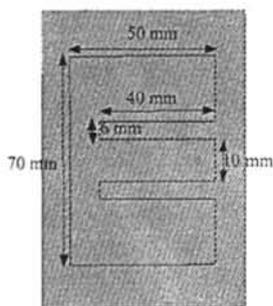


图1 E型贴片天线尺寸图

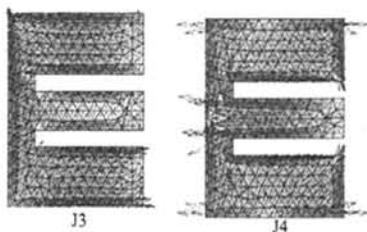
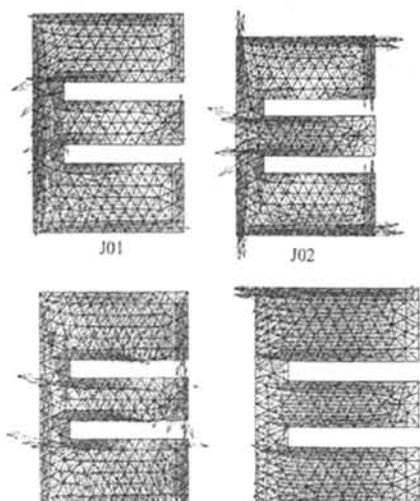
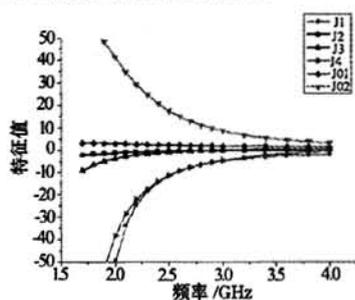
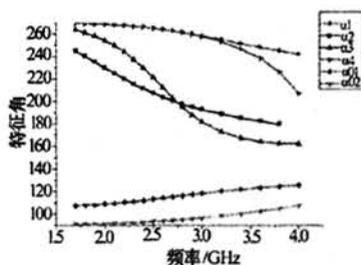


图2 E型贴片天线重要的特征电流图

特征值 $\lambda_n$ 的幅度大小,表征了其对应特征电流的辐射能力,特征值幅度小的特征模式辐射能力强,特征值幅度大的特征模式辐射能力弱。但是,特征值幅度没有一个上限,因此其特征值幅度的大小没有一个量的标准。与特征值相对应,特征角经常被用来描述特征模式的辐射能力。特征角定义为 $\theta_n = 180^\circ - \tan^{-1}(\lambda_n)$ ,特征角越接近 $180^\circ$ ,表征其对应的特征模式辐射能力越强,特征角越接近 $90^\circ$ 和 $270^\circ$ ,表征此模式辐射能力较弱。图3分别给出特征值和特征角随频率的变化曲线。



(a) 特征值随频率的变化曲线



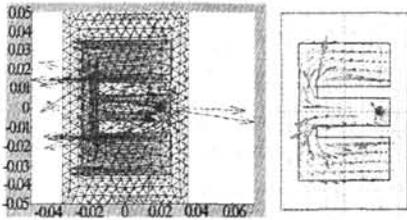
(b) 特征角随频率的变化曲线

图3 E型贴片天线的特征值及特征角曲线

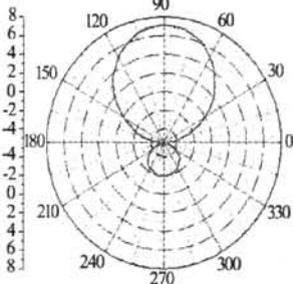
由图2和图3可以看出,特征电流 $J_{01}, J_{02}$ 为环状电流,其特征角接近 $90^\circ$ ,并不谐振<sup>[7]</sup>,只对储存磁能有贡献。由于E型贴片横向槽的截断作用,使纵向特征电流 $J_n$ 接近 $270^\circ$ ,在此工作频率范围内,储

存电能。特征模式  $J_2$  和  $J_3$  在此频段范围内为主要的工作模式,但是,特征电流能否被激励起来,还取决于激励系数  $V_i$ ,因此可以通过适当的选取激励点的个数、位置、幅度和相位,以激励起所需特征电流,抑制高次模。

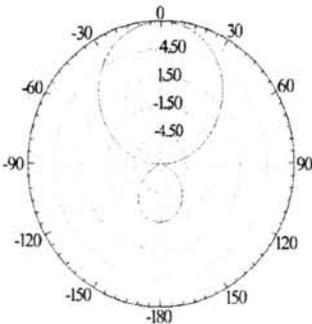
选取论文[1]中的激励点位置  $x=35\text{ mm}$ ,  $y=6\text{ mm}$ ,利用特征模式法计算得到 E 型贴片天线的等效电流与等效方向图与 HFSS 仿真得到的表面电流和方向图进行对比,得到了较好的一致性。如图 4,5 所示。



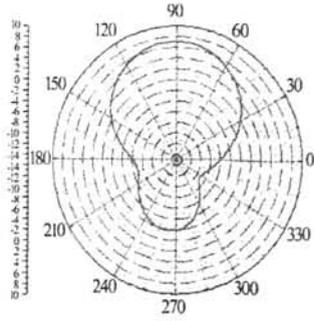
(a) 等效电流图 (b) HFSS 仿真电流图



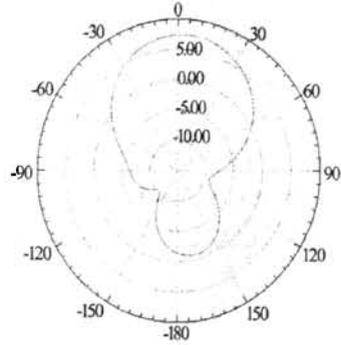
(c) 等效电流 XZ 平面方向图



(d) HFSS 仿真 XZ 平面方向图

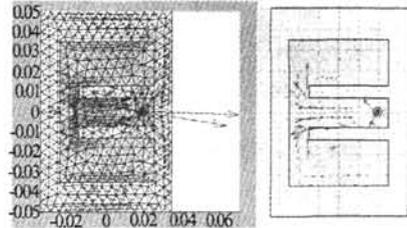


(e) 等效电流 YZ 平面方向图

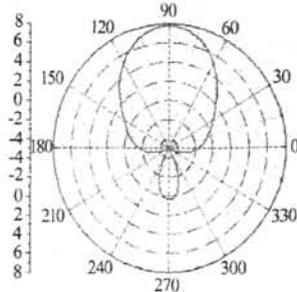


(f) HFSS 仿真 YZ 平面方向图

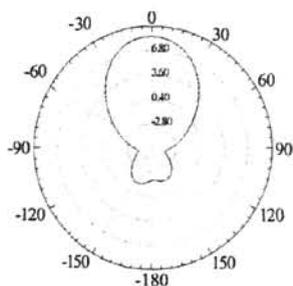
图 4 E 型贴片天线 1.9 GHz 特征模法与 HFSS 对比



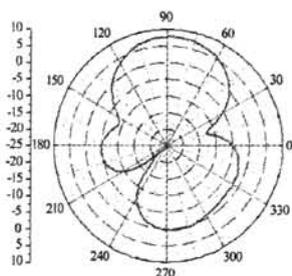
(a) 等效电流图 (b) HFSS 仿真电流图



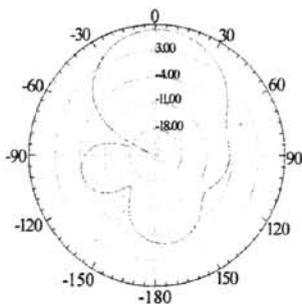
(c) 等效电流 XZ 平面方向图



(d) HFSS 仿真 XZ 平面方向图



(e) 等效电流 YZ 平面方向图



(f) HFSS 仿真 YZ 平面方向图

图 5 E 型贴片天线 2.4 GHz 特征模法与 HFSS 对比

## 4. 结论

本文简单介绍了特征模法,并编程得到 E 型贴片天线的主要特征模式,并由其特征值和特征角随频率的变化曲线简单阐述了不同特征模式的辐射特性。最后将利用特征模式法得到的等效电流和等效方向图与 HFSS 仿真得到的结果进行对比,得到了很好的一致性。

## 参考文献

- [1] WONG K L. Compact and Broadband Microstrip Antennas[M]. New York, John Wiley & Sons, 2002.
- [2] WONG K L. Planar Antennas for Wireless Communications[M]. New York, John Wiley & Sons, 2003.
- [3] HARRINGTON R F, MAUTZ J R. Theory of characteristic modes for conducting bodies [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1971, 19 (5):622-628.
- [4] HARRINGTON R F, MAUTZ J R. Computation of characteristic modes for conducting bodies[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1971, 19 (5):629-639.
- [5] AUSTIN B A, MURRAY K P. The application of characteristic-mode techniques to vehicle-mounted NVIS antennas[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1998, 40(1):7-21.
- [6] CABEDO M, ANTONINO E, FERRANDO M. On the use of characteristic modes to describe patch antenna performance[C]//2003 International Symposium on Antennas and Propagation and URSI North American Radio Science Meeting, Columbus, Ohio, June 2003.
- [7] CABEDO M, ANTONINO E, VALERO A. The theory of characteristic modes revisited: a contribution to the design of antennas for modern applications[J]. IEEE Antennas and Propagation Magazine, 2007, 49 (5): 52-68.
- [8] ETHIER J, LANOUE E, MCNAMARA D A. MI-MO handheld antenna design approach using characteristic mode concepts [J]. Microw. Opt. Technol. Lett., 2008, 50:1724-1727.

## 作者简介

张莹 (1988-),女,黑龙江人,硕士,主要研究领域为天线设计、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](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>