

# 填充铁氧体介质的腔基微带天线 输入阻抗的计算分析

班永灵<sup>1</sup> 周乐柱<sup>2</sup> 聂在平<sup>1</sup>

(1. 电子科技大学电子工程学院, 四川 成都 610054; 2. 北京大学信息科学技术学院, 北京 100871)

**摘要** 采用矢量有限元——边界积分法(VFEM/BI), 对填充铁氧体材料的腔基微带天线的输入阻抗进行了详细的计算及分析。针对不同的偏置场  $H_0$  方向, 通过改变偏置场  $H_0$  的强度及饱和磁化强度  $4\pi M_s$ , 分析了这种天线的输入阻抗的频率变化特征。结果表明, 偏置场强度和饱和磁化强度可以对输入阻抗和谐振频率产生影响, 但对于不同的偏置场方向, 其影响是不相同的。可以通过改变偏置磁场的方向和强度来实现天线输入阻抗和谐振频率的变化。

**关键词** 微带天线, 铁氧体, 有限元, 输入阻抗, 谐振频率

## 1 引言

多年来, 铁氧体材料已广泛用于微波与毫米波器件和设备中, 如环行器、移相器、耦合器等。通过控制外加偏置磁场的方向及强度就可以改变铁氧体的磁导率参数, 铁磁材料的这一独特的特性不仅已应用于微波集成电路(MMIC's), 而且在天线技术中也得到了广泛利用。在天线设计中, 铁氧体的采用可以提供天线工程师许多渴望的特性, 比如调谐, 多种极化, 波束扫描, 雷达散射截面(RCS)缩减, 表面波抑制以及增益的提高。虽然铁氧体作为天线基片材料已被广泛用于提高天线的性能, 但是以前的研究多集中于天线的 RCS 计算<sup>[1][2]</sup>, 天线的调谐性<sup>[3]</sup>, 对输入阻抗特性的计算及分析则不多, 文献<sup>[1][2]</sup>虽然也研究了输入阻抗, 但也仅是针对偏置场方向沿天线法向一种情况。Vector FEM-BI 作为一种功能强大且精确度高的方法, 非常适合解决复杂结构及复杂介质的辐射问题。本文采用该方法在

偏置场沿任一方向( $x$ 轴、 $y$ 轴、 $z$ 轴)的情况下, 计算了不同的偏置场强度及饱和磁化强度对应的输入阻抗, 同时讨论了相应的谐振频率的变化。结果表明, 调整偏置场的强度不仅可以调节天线的第一个谐振频率, 而且也同时影响着第二个谐振频率, 但是偏置场沿不同的方向, 其影响是不同的。

## 2 铁氧体微带天线输入阻抗的计算分析

所考虑的微带贴片天线的一般结构如图 1。图中, 微带贴片位于或镶嵌在基片上, 而基片座放置在一个腔体中, 腔体凹陷在一个导电面内。对各向异性介质, 介电常数和磁导率为张量  $\epsilon_r, \mu_r$ 。

本文采用文献[4]中的计算模型, 腔体尺寸取为  $7.5\text{cm} \times 5.1\text{cm} \times 0.08779\text{cm}$  ( $a \times b \times c$ ) 的长方体腔, 矩形贴片大小为  $5.0\text{cm} \times 3.4\text{cm}$ 。腔体镶嵌在导电平面内, 贴片由一电流探针(位于  $x_f = 1.22\text{cm}$ ,  $y_f = 0.85\text{cm}$  处)激励。

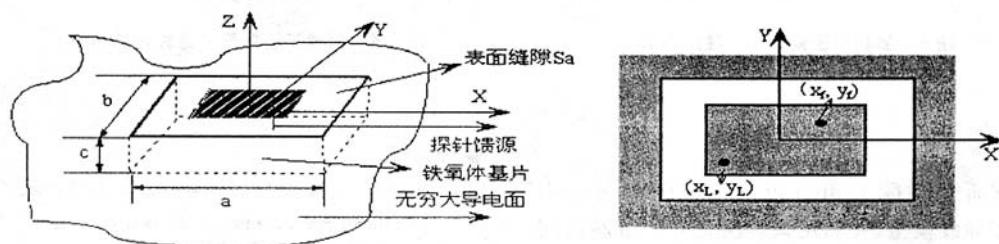


图 1 腔基微带贴片天线及其表面结构

探针馈源是一种经常使用的天线激励源,对薄介质基片,探针馈源可用焊接在导电底板和贴片之间的电流丝线(其上的电流为恒定值)代替。此时输入阻抗(其实部、虚部在下文中分别计为  $R_{in}$ 、 $X_{in}$ )由馈电处(探针与导电底板的焊点处,其对应  $xoy$  平面内的坐标在图 1 中以  $(x_f, y_f)$  表示)观察到的在探针与贴片、导电面两个焊点间的电压差与探针上的激励电流之比值(探针负载的详细的处理可参考文献[4])。

天线模型尺寸、探针馈源位置如上述所取,偏置

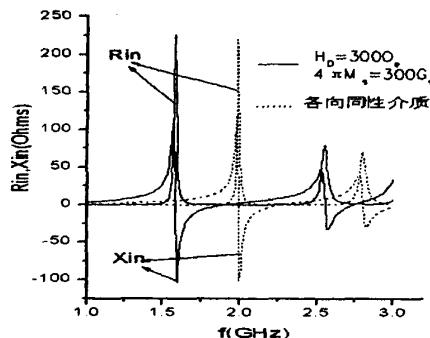


图 2  $H_0$  方向沿  $z$  轴时铁氧体微带天线与各向同性微带天线输入阻抗的比较

场  $H_0$  方向分别沿  $z$  轴、 $x$  轴、 $y$  轴时,图 2、图 3、图 4 给出了相应的腔体里分别填充铁氧体介质和各向同性介质微带天线输入阻抗的比较,各向同性介质和铁氧体的  $\epsilon_r$ 、 $\tan\delta$  取相同值 2.17、0.0015。从图中可看出当  $H_0$  方向沿  $z$  轴时,相对于普通介质天线,铁氧体材料天线的第一、第二谐振点均有偏移;当  $H_0$  方向沿  $x$  轴时,其第一谐振点降低,但第二谐振点没有变化;而当  $H_0$  方向沿  $y$  轴时,其第一谐振点不变,但第二谐振点降低。

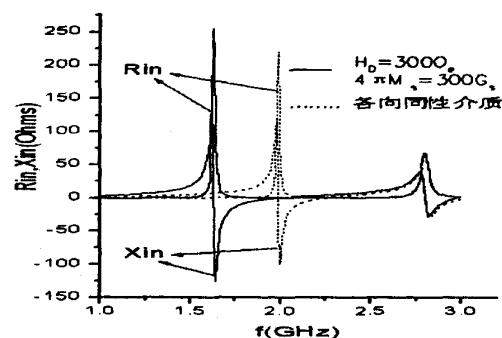


图 3  $H_0$  方向沿  $x$  轴时,铁氧体微带天线与各向同性微带天线输入阻抗的比较

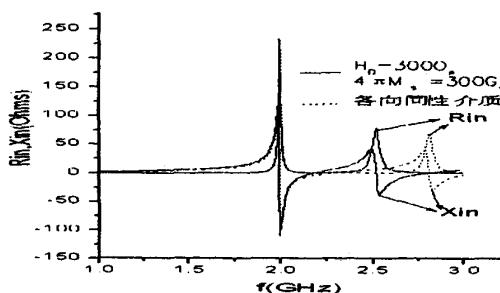


图 4  $H_0$  方向沿  $y$  轴时铁氧体微带天线与各向同性微带天线输入阻抗的比较

为了进一步研究偏置场  $H_0$ 、饱和磁场强度  $4\pi M_s$  对微带天线输入阻抗的影响,首先在  $4\pi M_s$  保持不变的情况下,改变  $H_0$ ,针对偏置场方向沿  $z$  轴、 $x$  轴、 $y$  轴分别计算了相应的输入阻抗,如图 5、图 6、图 7。从图中可看出偏置场的大小对输入阻抗的影响是比较大的,而且不同的方向对谐振点的影响是不同的。虽然没有给出饱和磁场强度  $4\pi M_s$  的变化对输入阻抗的影响曲线,但计算表明它的影响是很小的。

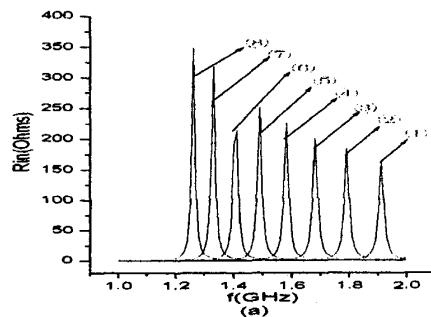
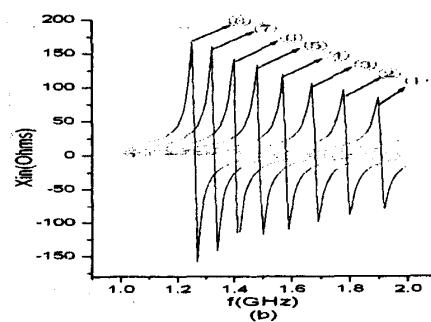


图 5  $H_0$  方向沿  $z$  轴、 $4\pi M_s = 300G$  时,不同  $H_0$  强度下的输入阻抗的频率特性((a):实部  $R_{in}$  (b):虚部  $X_{in}$ )

- ①:  $H_0 = 0Oe$
- ②:  $H_0 = 100Oe$
- ③:  $H_0 = 200Oe$
- ④:  $H_0 = 300Oe$
- ⑤:  $H_0 = 400Oe$
- ⑥:  $H_0 = 500Oe$
- ⑦:  $H_0 = 600Oe$
- ⑧:  $H_0 = 700Oe$



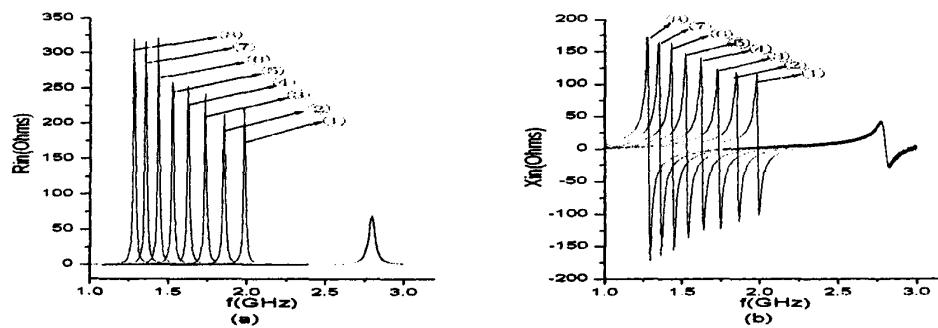


图6  $H_0$  方向沿  $x$  轴、 $4\pi M_s = 300G$  时, 不同  $H_0$  强度下的输入阻抗的频率特性

①:  $H_0 = 0O_e$  ②:  $H_0 = 100O_e$  ③:  $H_0 = 200O_e$  ④:  $H_0 = 300O_e$   
 ⑤:  $H_0 = 400O_e$  ⑥:  $H_0 = 500O_e$  ⑦:  $H_0 = 600O_e$  ⑧:  $H_0 = 700O_e$

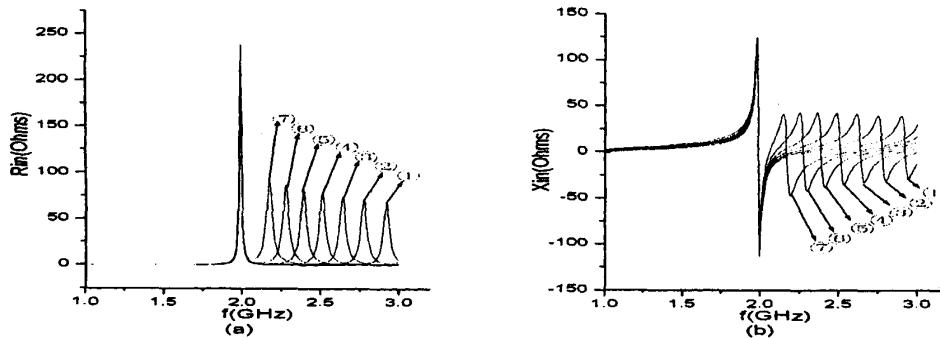


图7  $H_0$  方向沿  $y$  轴、 $4\pi M_s = 300G$  时, 不同  $H_0$  强度下的输入阻抗的频率特性

①:  $H_0 = 0O_e$  ②:  $H_0 = 100O_e$  ③:  $H_0 = 200O_e$  ④:  $H_0 = 300O_e$   
 ⑤:  $H_0 = 400O_e$  ⑥:  $H_0 = 500O_e$  ⑦:  $H_0 = 600O_e$

### 3 结论

通过本文的计算及分析表明可得出以下结论:

•  $H_0$  方向沿  $z$  轴时, 增加偏置场强度会降低第一、第二谐振频率, 同时会增加谐振点处输入电阻值; 增加饱和磁场强度会降低第一谐振频率, 谐振点处的输入电阻值变化较大, 同时会增大第二谐振频率, 谐振点处的输入电阻值没有变化。

•  $H_0$  方向沿  $x$  轴时, 增加偏置场强度会降低第一谐振频率, 同时会增加谐振点处输入电阻值, 但第二谐振频率及其处的输入电阻值均不会改变; 增加饱和磁场强度对谐振频率及输入阻抗均没有影响。

•  $H_0$  方向沿  $y$  轴时, 增加偏置场强度对第一谐振频率及其处的输入阻抗均没有影响, 但会降低第二谐振频率, 同时会增加谐振点处的输入电阻值; 增加饱和磁场强度仅会增加第二谐振频率, 谐振点处的输入电阻值没有变化, 对第一谐振频率及其处

的输入电阻值没有影响。

以上结论是对特定天线模型作出的, 但结论应该是普遍的。因此, 可以通过改变铁氧体基底的偏置磁场的方向和强度来实现天线输入阻抗和谐振频率的变化。

### 参考文献

- [1] A C Polycarpou, C A Balanis, J T Aberle and C Birtcher. Radiation and scattering from ferrite-tuned cavity-backed slot antennas: theory and experiment [J]. IEEE Trans. Antennas Propagat., 1998, 46(9): 1297~1305.
- [2] A D Brown, J L Volakis, L C Kempel and Y Y Botros. Patch antennas on ferromagnetic substrates [J]. IEEE Trans. Antennas Propagat., 1999, 47(1): 26~32.
- [3] P J Rainville and F J Harackiewicz. Magnetic tuning of a microstrip patch antenna fabricated on a ferrite film

- [J]. IEEE Microwave Guided Wave Lett., 1992, 2 (12): 483~485.
- [4] 班永灵. 填充各向异性介质的背腔式微带天线的矢量有限元法分析. 北京大学硕士论文, 2003年5月.
- 班永灵 (1978—), 男, 河南人, 电子科技大学博士研究生, 主要研究方向: 有限元法(特别是高阶矢量有限元)、快速扫频技术以及并行计算。
- 周乐柱 (1944—), 男, 贵州人, 北京大学教授、

博士生导师, CIE 会士, IEEE 高级会员, 主要研究方向: 计算电磁学及其应用(散射、天线、微波器件), 通信中的电磁场问题等。

聂在平 (1946—), 男, 陕西人, 电子科技大学教授, 博士生导师, 现任电子科技大学副校长, 主要研究方向: 计算电磁学、电磁散射与逆散射、非均匀介质中的场与波、移动通信中智能天线技术等。

(上接第 75 页)

- [2] R Holland and L Simpson. Finite-Difference Analysis of EMP Coupling to Thin Struts and Wires[J]. IEEE Trans. on Electromagn. Compa. 1981, 23(2): 88~97.
- [3] G Ledfelt. A Stable Subcell Model for Arbitrarily Oriented Thin Wires for the FDTD Method[J]. Int. J. Numerical Modeling, 2002, 15:503~515.
- [4] C W Trueman, S R Mishra, S J Kubina and C Larose. RCS of Resonant Scatterers with Attached Wires[J].

IEEE Trans. on Antennas and Propagation, 1993, 41 (3): 351~354.

董慧 (1979—), 女, 中国电波传播研究所在读硕士生, 主要从事电磁散射和计算电磁学方面的研究工作。

李清亮 (1963—), 男, 博士, 中国电波传播研究所研究员, 主要从事电波传播、电磁散射和计算电磁学等多方面的研究工作。

## 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](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>