

缝隙在双频微带天线设计中的应用

廖安谋，苏东林，冯彬

(北京航空航天大学电子工程系 205 教研室, 100083)

摘要：本文利用矩量法，分析了加载缝隙在双频微带贴片天线中的作用机理，给出了缝隙尺寸、位置变化时天线特性变化的规律，使用该技术可以在 1-2.06 之间方便调整微带天线两个谐振频率的比例关系。并利用此技术分别设计了工作频率在 2 和 2.55GHz 的矩形天线以及工作频率为 1.8 和 1.9GHz 的三角形天线，回波损耗可优于 20dB。

关键词：缝隙，双频，微带天线，矩量法，移动通信

Application of Slot in Dual-frequency Microstrip-antenna Design

An-mou Liao, Bin Feng, Dong-lin Su

Department of EE, Beijing University of Aeronautics & Astronautics

Beijing, 100083, China

Abstract A approach to design dual-frequency patch antennas is presented, in which slots are applied to adjust the resonant frequencies of microstrip antennas. The method of moment is involved to analyze the effect of slots on the antenna characteristics, including antenna pattern, S-parameters, input impedance. Changing the length and location of the slots, tendencies of the antennas' S-parameters are obtained. By inserting a pair of oblique-slots and adjusting their parameters properly, frequency ratio from 1-1.16 and 1.77-2.06 are obtained, and combining the technique with other methods, a wider frequency ratio from 1 to 2.06 is acquired. Two antennas, working at 2GHz & 2.5GHz and 1.8GHz & 1.9GHz respectively, are designed by the approach shown in this paper, and the return loss is better than 20dB.

Keyword slot, dual-frequency, microstrip antenna, MoM, mobile communication

1 引言

由于微波集成技术的发展和空间技术对低剖面天线的迫切需求，以及不断发展的通信技术对通信设备小型化的需要，微带天线因体积小，重量轻，低剖面，能与载体共形，易于制造，成本低，易于与有源器件和电路集成为单一的模块，便于实现圆极化、双极化和双频段等功能^[1]得到日益广泛的关注和应用，而宽频带和双频段微带天线则成为需求的一个趋势^[2]。文献[1][3]对宽频带和双频微带天线的实现技术做了一些论述，其中双频微带天线的实现一般采用多片法、多模单片法以及加载单片法。

加载单片法的特点是两个谐振频率的距离可以调节得很近，可以获得相同的极化和方向图。

这种方法一般通过加载微带支节和缝隙来实现，而缝隙加载的优点是体积小，易于加工。虽然利用缝隙加载实现双频的文献不少^[4-9]，但详细介绍其对于天线作用规律的文献比较少。本文利用矩量法，分析双频微带贴片天线中缝隙参数和谐振频率之间的关系，并在文献[4]提出的等边三角形双频微带贴片天线的基础上，给出了在更宽范围内调节双频比的方法，尤其是可以使双频比更接近于1。

2 缝隙加载在双频天线中的分析和应用

利用电抗加载的方法可以使微带天线实现双频工作，此时双频比可以调节得较靠近1。对于薄基片的微带天线，天线在某模谐振频率附近的输入阻抗，根据空腔模型理论，可等效为：

$$Z_{in} = R + jX_r + jX_f$$

其中 X_r 为该模并联谐振等效电路的“谐振”电抗， X_f 为其它模的合成效应^[1]。其谐振频率的特征方程为

$$X_r + X_f = 0$$

若用一个电抗 X_L 对微带天线进行加载，则上述特征方程变为

$$X_r + X_f + X_L = 0$$

调节 X_L 的值，可以获得两个零点，实现双频工作，这便是电抗加载方法的基本原理。这样得到的两个谐振频率在未加载时的谐振频率的两侧。起初人们提出加载微带支节的方法^[6]，但这就意味着天线尺寸的增大，因而缝隙的加载应运而生。对于缝隙加载， X_L 是缝隙参数（包括长度、宽度和位置）的函数，通过调整缝隙的这些参数，可以改变两个谐振频率的距离。本文利用矩量法，分别对缝隙加载矩形贴片和等腰三角形贴片进行了分析。

本文从输入阻抗特性、方向图和回波损耗几个方面分析了缝隙加载贴片天线特性。对于矩形贴片，如图1左边所示；缝隙加载在平行于一条辐射边的地方，本文分析了缝隙到天线辐射

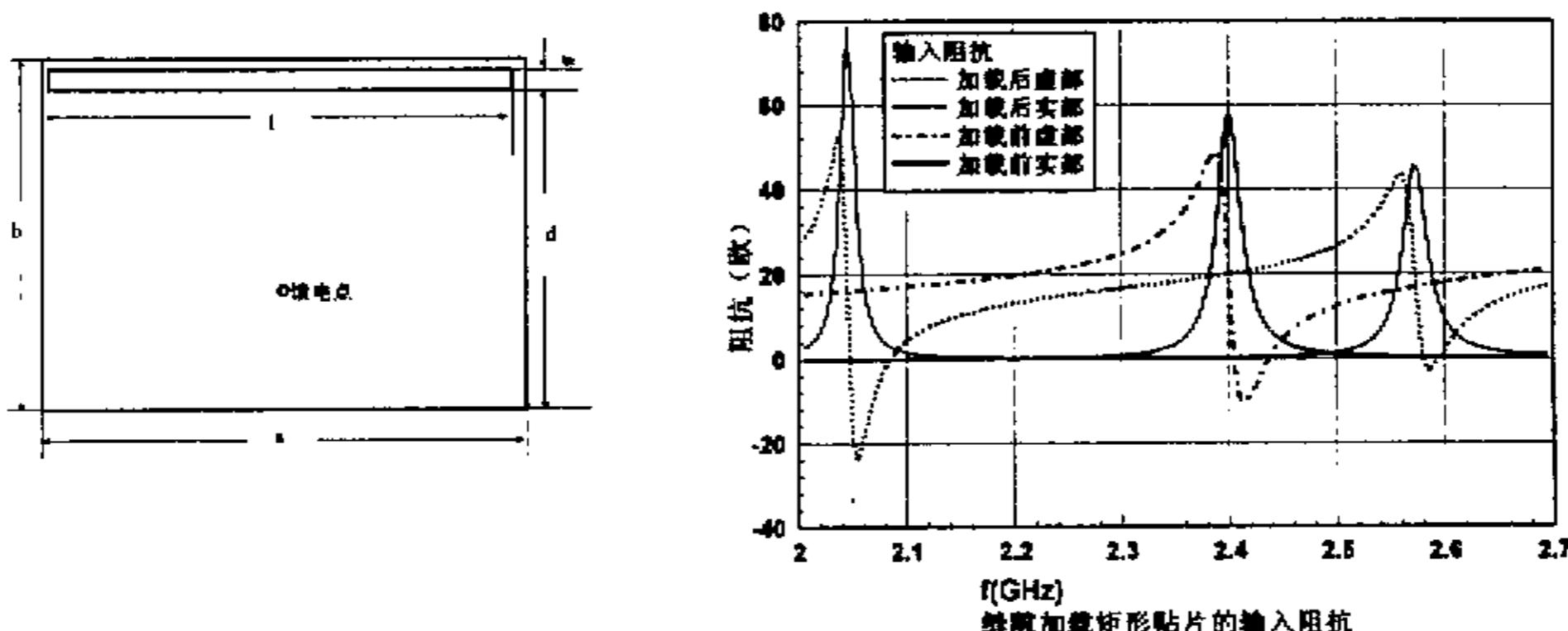


图1 矩形贴片的缝隙加载

边缘的距离 d 、缝隙的宽度 w 以及长度 l 对天线的影响，分析过程中，假定微带天线的接地板为无穷大。图1右边显示了矩形贴片在缝隙加载前后的谐振阻抗的对比，天线的尺寸为： $a=26.9\text{mm}$ ， $b=19.3\text{mm}$ ，基片的厚度为 1.6mm ，相对介电常数 $\epsilon_r=9.8$ 。从图中可以看出，在未加载时，天线在 2.405GHz 谐振，加载缝隙($w=0.2\text{mm}$, $l=26\text{mm}$, $d=18.9$)之后，出现了两个谐振点，位于原来谐振点的两侧，分别为 2.065 和 2.55GHz 。根据方向图(图2)，还可以看出，加载前后远场特性基本不变。

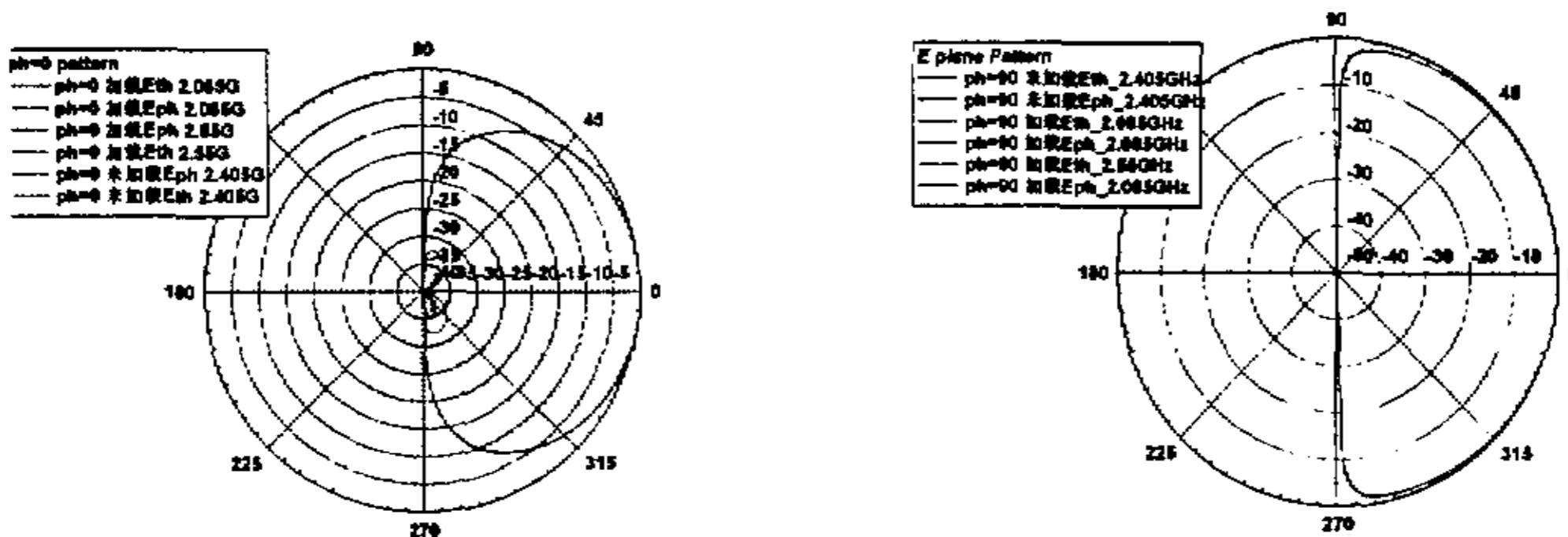


图 2 方向图比较 左: $\text{ph}=0$ 面, 右: $\text{ph}=90$ 度面

通过对缝隙的宽度、位置等的分析, 还得出如下的一些规律:

- 1) 保持缝隙的宽度和长度不变, 只改变缝隙到边缘的距离 d , 此时两个谐振频率的间距也相应发生改变。当 d 变小时, 低端谐振频率 f_1 降低, 而高端谐振频率 f_2 则增大。对于上述的贴片, d 从 19mm 变为 18.45mm (从 0.984b 到 0.956b) 时, f_1 从 2.105GHz 变为 1.933GHz, 而 f_2 从 2.535GHz 变为 2.623GHz。
- 2) 保持 d 及缝隙的长度不变, 增大缝隙的宽度, 此时 f_1 上升, 而 f_2 不发生变化。如图 3 所示。

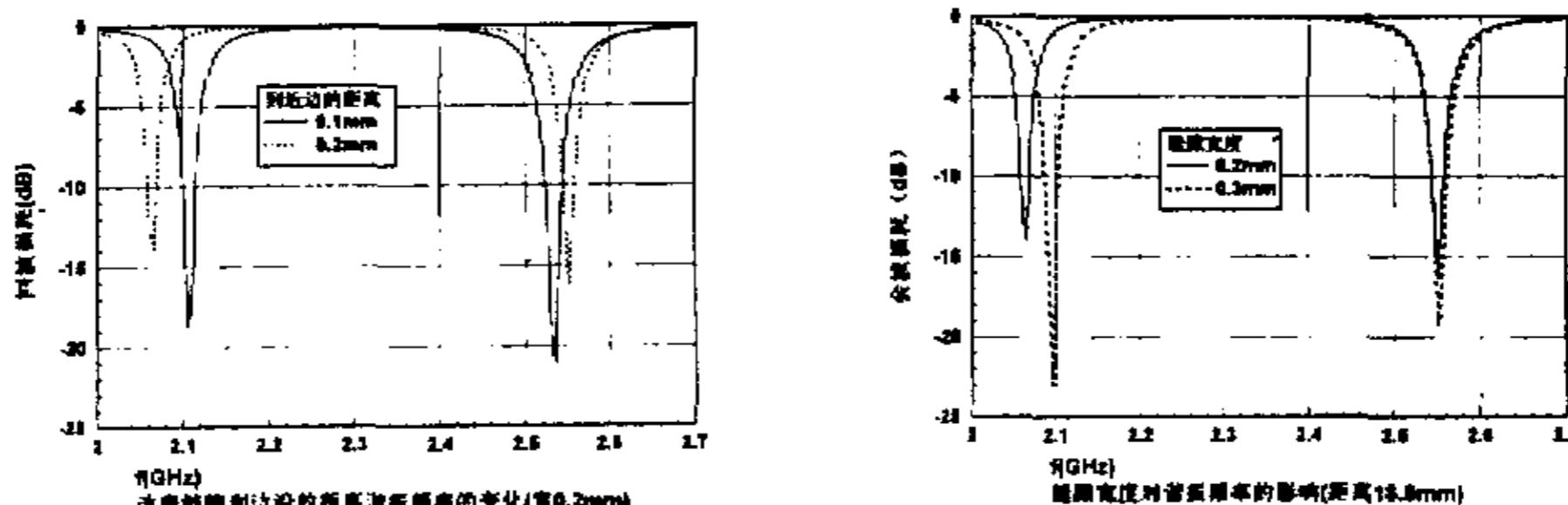


图 3 改变缝隙的参数对天线的影响

对于三角形微带贴片天线, 加载缝隙也能得到双频特性。从图 4 的例子, 我们发现其两个谐振点也落在未加载缝隙时的谐振频率的两侧。

另外, 为了增加天线的带宽, 以更简便的方法在更宽的频带范围内调节双频比, 一些附加

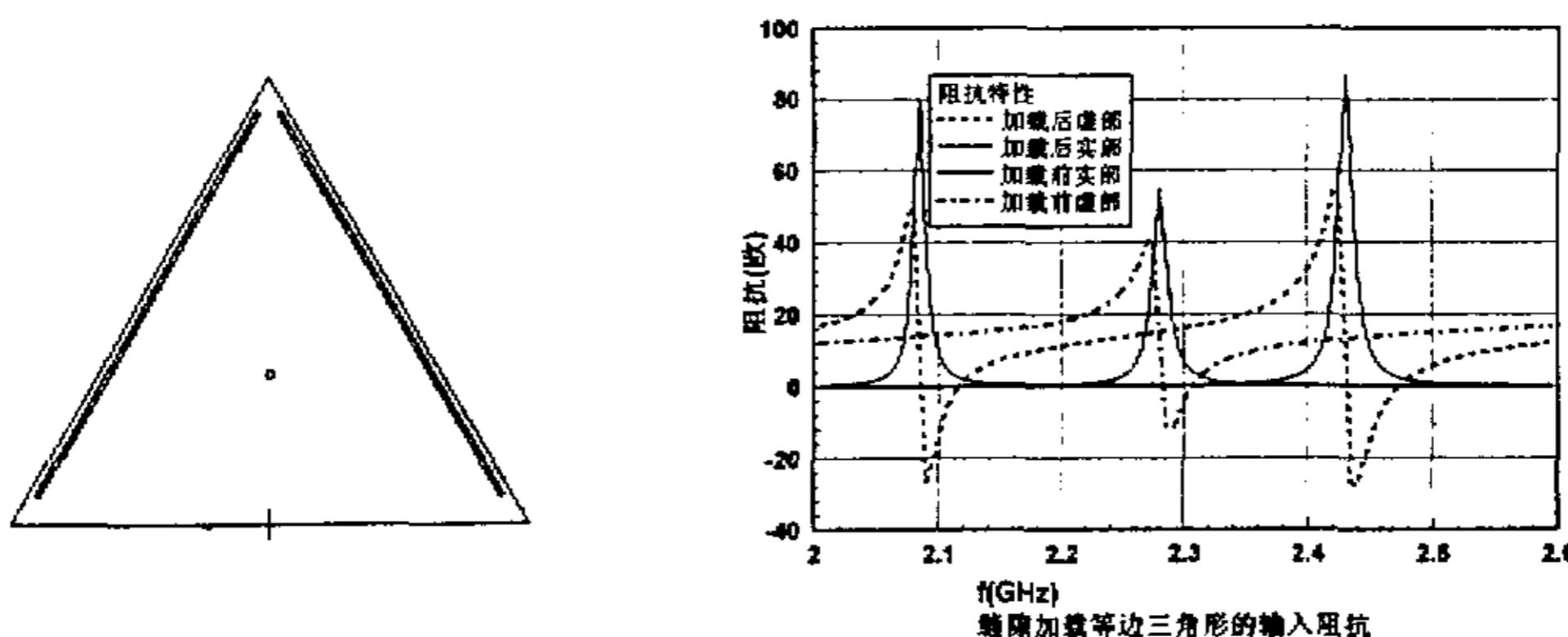


图 4 三角形贴片的缝隙

的缝隙被引进到贴片天线中。图 5 是文献[4]中提出的一种等边三角形贴片天线, 其中一对较短的缝隙旨在提高天线的带宽。通过大量的仿真研究发现, 改变这对缝隙的长度、宽度、位置及

其和长缝隙的夹角，可以调节两个谐振频点的位置，而且很容易实现该文献中未能实现的双频比在1~1.16之间的调节。

以图5的贴片天线为例，取三角形的边长为32.57mm，长缝隙的长度为28.9mm，宽0.47mm，与两边的距离为0.08mm。短缝隙与长缝隙的上夹角为100度。而且，在调整短缝隙的长度及其与底边的距离时，得到如下规律（如图6所示）：

- 1) 长度保持不变，改变缝隙与底边的距离。距离越近，两谐振频点的距离也越近；
- 2) 保持其它条件不变，改变缝隙的长度。长度增大，谐振频率的距离也加大。

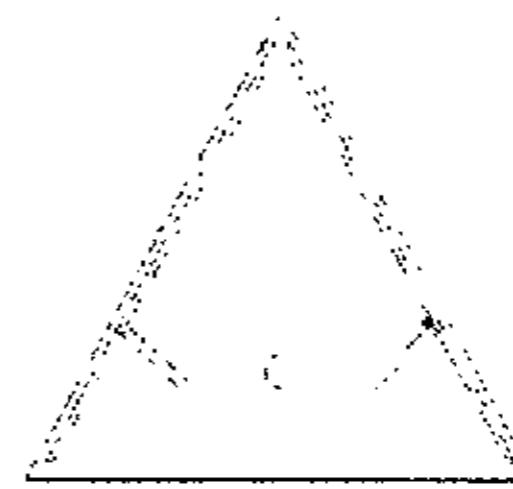


图5 加载两对缝隙的三角形贴片

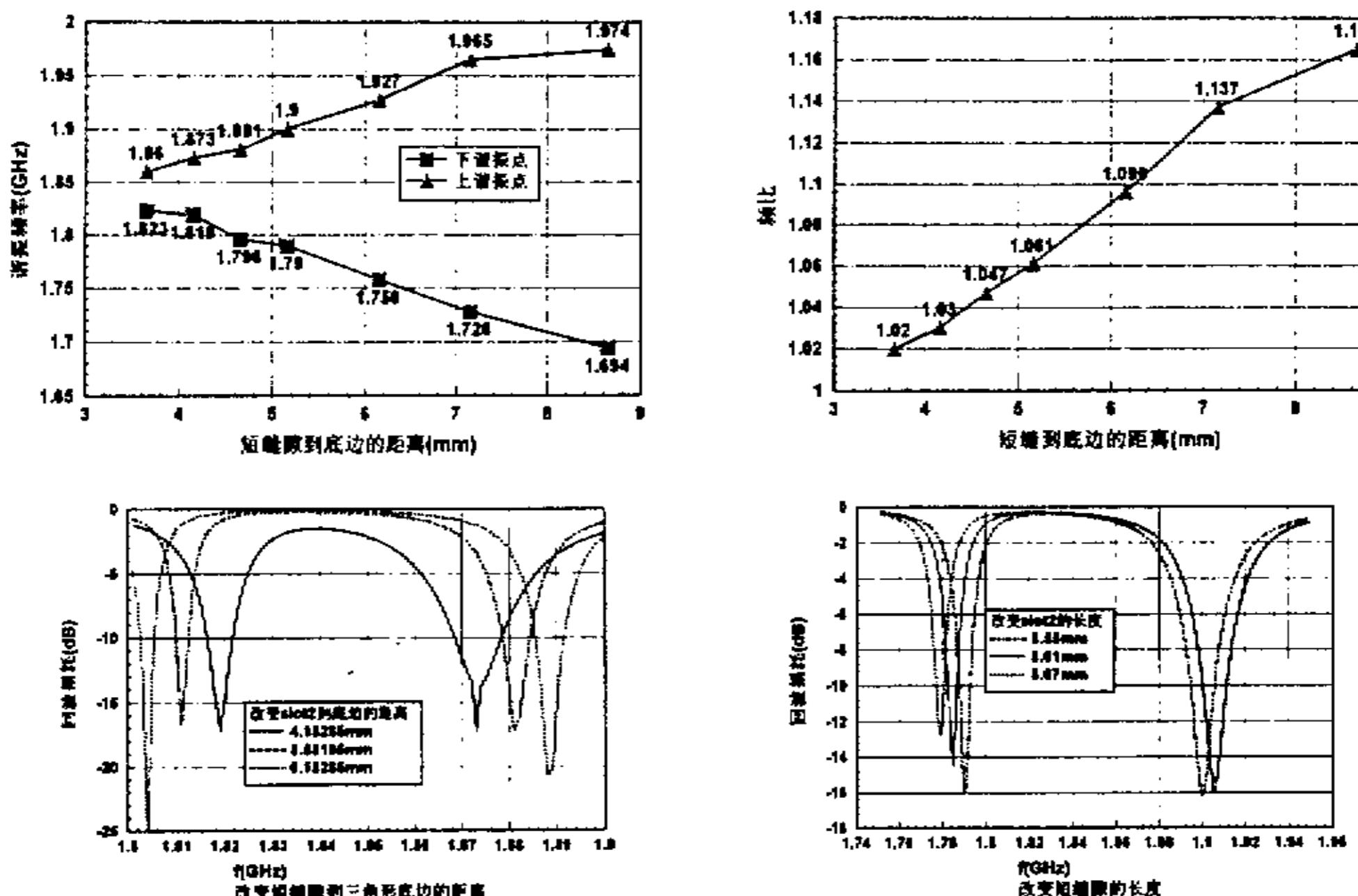


图6 改变短缝隙参数对天线谐振的影响

3 结论

本文根据微带天线电抗加载方法，利用矩量法分析了加载缝隙在矩形和三角形双频贴片天线中的作用及其变化规律，并在文献[4]的基础上，给出了更宽范围内调节双频比的方法，该方法能方便的实现在1~1.16范围内调节双频比，同时保证较好的回波损耗。

参考文献

- [1] 钟顺时，《微带天线理论与应用》，西安电子科技大学出版社，1991
- [2] 章文勋，“世纪之交的天线技术”，电波科学学报，第15卷，第1期，第97-100页，2000年3月
- [3] 陈雅娟，龙云亮，“宽带微带贴片天线的研究进展”，电波科学学报，第14卷，第3期，第357-361页，1999年9月
- [4] Jui-Han Lu, Chia-Luan Tang, and Kin-Lu Wong, "Novel Dual-frequency and Broad-band Design of Slot-loaded

Equilateral Triangular Microstrip Antennas", IEEE Trans. On Antenna and Propagation, Vol.48, No.7, pp.1048-1054,July 2000

- [5] S.E. Davidson, S.A. Long and W.F. Richards, "Dual-Band Microstrip Antennas with Monolithic Reactive Loading", Electr.Lett., Vol.21, pp936-937, Sep.1985
- [6] Wen-Shyang Chen, "Single-feed dual-frequency rectangular microstrip antenna with square slot" Electronics Letters , Vol.34 No.3 , 5 Feb. 1998, pp 231 -232
- [7] Jia-Yi Sze: Kin-Lu Wong , "Broadband rectangular microstrip antenna with pair of toothbrush-shaped slots", Electronics Letters , Vol.34 No.23 , Nov. 1998,pp 2186 -2187
- [8] Jia-Yi Sze , "Designs of broadband microstrip antennas with embedded slots", Antennas and Propagation Society, 1999. IEEE International Symposium 1999 , Vol.2 , 1999,pp936 -939
- [9] Jui-Han Lu."Single-feed dual-frequency rectangular microstrip atenna pair of step slot",Electronics Letters Online, No. :19990277

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)，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>