

文章编号:1671-0576(2003)01-0033-04

## 可调谐谐振频率的矩形微带天线改进模型

宋朝晖， 黄玉敏， 林澍， 邱景辉

(哈尔滨工业大学 电子与通信工程系, 黑龙江 哈尔滨 150001)

**摘要:** 为提高矩形微带天线谐振频率的计算精度, 提出了平均有效介电常数的概念, 推出了具有和不具有空气隙的矩形微带天线谐振频率的改进公式, 并给出了具有空气隙矩形微带天线的谐振频率随空气隙高度的变化曲线, 阐述了仿真结果与实验值吻合得较好。

**关键词:** 矩形微带天线; 有效介电常数; 谐振频率

中图分类号: TN 821 文献标识码:A

### An Improved Model for the Rectangular Microstrip Antenna of Tunable Resonant Frequency

SONG Zhao-hui, HUANG Yu-min, LIN Shu, QIU Jing-hui

(Dept Electronics and Communication Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin Heilongjiang 150001, China)

**Abstract:** In order to improve the calculative precision of the resonant frequency of rectangular microstrip antenna, the conception of average effective permittivity is presented, the improved formula of the resonant frequency of rectangular microstrip antenna with and without airgaps are educed, and the curve of the resonant frequency of rectangular microstrip antenna with air-gaps along with the heighth of the air-gaps is given, then comes to a conclusion that the theoretic values corresponds with the experimental ones well.

**Key words:** rectangular microstrip antenna; effective permittivity; resonant frequency

### 0 引言

在微带天线的设计中, 精确地确定谐振频率是十分重要的, 因为微带天线的频带窄, 只有在谐

振频率附近才能有效工作。并且, 微带天线制成功后, 其谐振频率很难改变, 限制了它的应用范围。所以如何精确地确定谐振频率和实现微带天线的频率可调谐, 就成为了备受关注的问题。

近年来, 许多文献都研究了微带天线的谐振频率计算问题, 现在已经提出了几类分析方法<sup>[1,2]</sup>, 使用腔模理论计算的解析计算方法简单, 但是误差较大, 需要用实验数据加以调整<sup>[3,4]</sup>; 使用数值分析的方法计算量又特别大<sup>[5]</sup>。并且这

收稿日期: 2002-04-21  
作者简介: 宋朝晖(1970-), 男, 博士研究生; 黄玉敏(1973-), 女, 硕士研究生; 林澍(1979-), 男, 硕士研究生; 邱景辉(1960-), 教授, 均从事微波毫米波电路及天线的研究。

些方法一般只是对某种特定尺寸的微带天线有效,而不能适用于较大的电尺寸范围。对于谐振频率的调谐问题,Lee 和 Dahele 提出了在介质和地板之间加入一层空气隙的方法,通过改变空气隙的高度来调谐谐振频率<sup>[6]</sup>。计算这种微带天线的谐振频率方法与传统的微带天线分析方法相类似,只是需要将贴片下的混合介质等效为单一介质。

微带天线的谐振频率主要受到介质和边缘场的影响。本文对以往的计算谐振频率的公式进行了改进,提出了平均有效介电常数  $\epsilon_{r,ave}$  的概念,又采用了动态介电常数  $\epsilon_{r,dyn}$ 、有效宽度  $W_{eff}$  和有效长度  $L_{eff}$ ,比较全面地考虑了介质和边缘场的影响,并将本公式的计算结果与文献中的多个天线的实验结果进行了比较。

## 1 有效介电常数的计算

在微带天线的设计中,基板的介电常数是个重要的参数,谐振频率、天线尺寸、带宽、功率容量等一系列参数都与之有关。为描述各种因素的影响,产生了多种介电常数的概念。

为描述矩形微带天线中边缘场的影响,引入了动态介电常数  $\epsilon_{r,dyn}$ :

$$\epsilon_{r,dyn} = \frac{C_{dyn}(\epsilon_0 \epsilon_r)}{C_{dyn}(\epsilon_0)} \quad (1)$$

式中,  $C_{dyn}(\epsilon)$  是介质介电常数为  $\epsilon$  的微带天线的总动态电容;  $\epsilon_0$  为基板的相对介电常数。这里将微带天线视为电容,  $\epsilon_{r,dyn}$  即为电容率,有关它的计算,在文献[7]中有详细的论述。

考虑了贴片下介质的影响和边缘场的影响,文献[2]给出了一种有效介电常数的计算公式:

$$\epsilon_{r,eff} = \frac{4\epsilon_r \epsilon_{r,dyn}}{(\sqrt{\epsilon_r} + \sqrt{\epsilon_{r,dyn}})^2} \quad (2)$$

该公式对边缘场的影响描述得不够全面,因为对于微带天线来说,引入介电常数  $\epsilon_r$  时,也要考虑边缘场对其的影响。本文提出了一种改进模型,用考虑边缘场影响的平均有效介电常数  $\epsilon_{r,ave}$  来替换上式中的相对介电常数  $\epsilon_r$ ,这样就更加全面地描述了边缘场的影响。

对于矩形贴片,由于其有一对长边和一对短边,综合考虑了这两对边的边缘场影响的平均有

效介电常数定义如下:

$$\epsilon_{r,ave} = \frac{1}{2} [\epsilon_{eff}(L) + \epsilon_{eff}(W)] \quad (3)$$

$$\text{其中: } \epsilon_{eff}(L) = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + \frac{10h}{W}\right)^{-1/2}$$

$$\epsilon_{eff}(W) = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \cdot \left(1 + \frac{10h}{L}\right)^{-1/2}$$

它们分别是考虑到长边和短边两端的边缘场影响下的相对介电常数。

改进后的有效介电常数表达式如下:

$$\epsilon_{r,eff}^* = \frac{4\epsilon_{r,ave}\epsilon_{r,dyn}}{(\sqrt{\epsilon_{r,ave}} + \sqrt{\epsilon_{r,dyn}})^2} \quad (4)$$

介电常数与天线相对尺寸的关系曲线如图 1 所示,其中  $L$  为贴片谐振边长度;  $h$  为介质高度。

图中曲线 1,2 分别代表  $\epsilon_r = 2.55$  时的  $\epsilon_{r,eff}^*$  和  $\epsilon_{r,dyn}$  的理论值; 曲线 3,4 分别代表  $\epsilon_r = 2.33$  时的  $\epsilon_{r,eff}^*$  和  $\epsilon_{r,dyn}$  的理论值。表明了  $\epsilon_{r,eff}^*$  和  $\epsilon_{r,dyn}$  的理论值是以  $\epsilon_r$  为参数的天线相对尺寸  $L/h$  的函数。显然,在  $L/h$  非常大时,  $\epsilon_{r,eff}^*$  比较接近  $\epsilon_{r,dyn}$ , 说明边缘场效应不明显, 而随着  $L/h$  的减小,  $\epsilon_{r,eff}^*$  和  $\epsilon_{r,dyn}$  相差得越来越大, 说明边缘场在这种尺寸下作用效果比较明显。

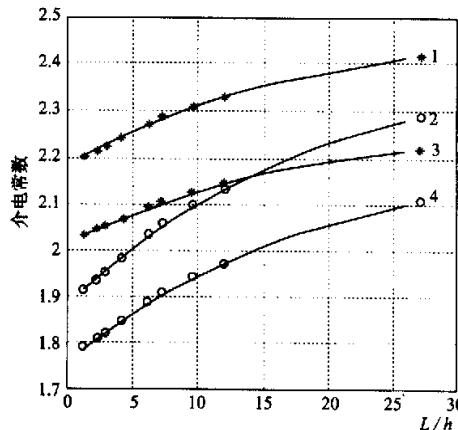


图 1  $\epsilon_{r,eff}^*$  和  $\epsilon_{r,dyn}$  随  $L/h$  的变化规律

Fig. 1 Relation between  $\epsilon_{r,eff}^*$  and  $\epsilon_{r,dyn}$  along with  $L/h$

## 2 谐振频率的计算

本文在矩形微带天线谐振频率的计算公式中

采用式(4)定义的有效介电常数,得到

$$f_0 = \frac{c}{2(\epsilon_{r,eff})^{1/2}} \left[ \left( \frac{n}{L_{eff}} \right)^2 + \left( \frac{m}{W_{eff}} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (5)$$

式中,  $c$  是光速;  $n$  和  $m$  是模式数;  $W_{eff}$  和  $L_{eff}$  是矩形贴片的有效宽度和有效长度。计算它们时也要考虑边缘场的影响,公式如下<sup>[7]</sup>:

$$W_{eff} = W + \frac{L_{equ} - L}{2} \cdot \frac{\epsilon_{eff}(L) + 0.3}{\epsilon_{eff}(L) - 0.258} \quad (6)$$

$$L_{eff} = L + \frac{W_{equ} - W}{2} \cdot \frac{\epsilon_{eff}(W) + 0.3}{\epsilon_{eff}(W) - 0.258} \quad (7)$$

$$L_{equ} = \frac{120\pi h}{Z_L \sqrt{\epsilon_{eff}(L)}} \quad (8)$$

$$W_{equ} = \frac{120\pi h}{Z_W \sqrt{\epsilon_{eff}(W)}} \quad (9)$$

式中,  $Z_L$  和  $Z_W$  分别是宽度为  $L$  和  $W$  的微带线的特性阻抗。

表 1 给出了没有空气隙的多个矩形贴片天线谐振频率的计算值,并与文献中的实验值行了比较。其中  $f_1$  是文献[5]提供的测量值;  $f_2$  是采用本文模型所得到的理论计算值。从表中可以看出,本文提出的模型的结果与实验值较为接近。

表 1 谐振频率的计算值和测量值( $m=0, n=1$ )

Tab. 1 The theoretical results and experimental results of resonant frequency ( $m=0, n=1$ )

| $W$ (mm) | $L$ (mm) | $h$ (mm) | $\epsilon_r$ | $f_1$ (MHz) | $f_2$ (MHz) |
|----------|----------|----------|--------------|-------------|-------------|
| 57.0     | 38.0     | 3.175    | 2.33         | 2310        | 2336        |
| 45.5     | 30.5     | 3.175    | 2.33         | 2890        | 2843        |
| 29.5     | 19.5     | 3.175    | 2.33         | 4240        | 4170        |
| 14.0     | 9.0      | 3.175    | 2.33         | 7700        | 7564        |
| 10.5     | 7.0      | 3.175    | 2.33         | 9140        | 9007        |
| 108.0    | 41.4     | 1.524    | 2.5          | 2181        | 2178        |
| 68.58    | 41.4     | 1.524    | 2.5          | 2200        | 2194        |
| 41.0     | 41.4     | 1.524    | 2.5          | 2228        | 2215        |
| 最大误差     |          |          |              | 1.8%        |             |

### 3 加空气隙的矩形微带天线

本文的可调谐矩形微带天线是采用介质和地板之间加入一层空气隙的方法来实现的。它的结构如图 2 所示。这种天线是一种混合介质的结

构,研究它的方法是将混合介质等效为一层单一介质,其等效介电常数由下式确定<sup>[8]</sup>:

$$\epsilon_{r,eq} = \frac{h_1 + h_2}{h_1 + \epsilon_r \cdot h_2} \epsilon_r \quad (10)$$

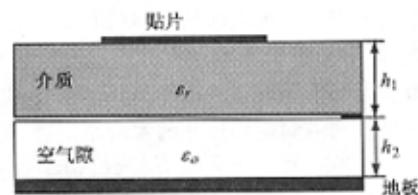


图 2 加空气隙的矩形微带天线

Fig. 2 Rectangular microstrip antenna with airgap

应用公式(5)计算这种天线的谐振频率,需要将  $\epsilon_r$  替换成  $\epsilon_{r,eq}$ 。这时改变空气隙的高度就可以调谐天线的谐振频率。如果增加空气隙的高度,既可以增加介质的高度,同时又能减小有效介电常数,减少介质损耗,可以提高天线的带宽和功率容量。传统的微带天线谐振频率不可调,带宽和功率容量都很小,加入空气隙可以对其进行改善。

图 3 中的曲线 1~3 代表三种不同尺寸的天线谐振频率的变化规律,三个天线介质的介电常数均为 2.32,厚度为 1.6mm,贴片尺寸分别为  $103.6 \times 92.0 \text{ mm}^2$ 、 $106.3 \times 95.3 \text{ mm}^2$ 、 $109.2 \times 98.7 \text{ mm}^2$ 。从图中可以看出,天线的谐振频率变化的范围比较大,说明靠改变空气隙高度的方法

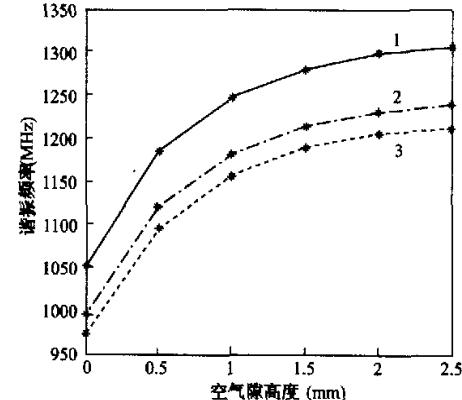


图 3 谐振频率随空气隙高度的变化规律

Fig. 3 The relation of resonant frequency along with height of airgap

来改变谐振频率是一种有效的方法。

## 4 结论

本文采用了考虑边缘场影响的有效介电常数表达式,得出了用于计算具有和不具有空气隙的矩形微带天线谐振频率的改进公式。本文的模型同以往报道的不同贴片尺寸的实验结果进行了验证,仿真结果与实验结果吻合较好,最大误差为1.8%,提高了计算矩形微带天线谐振频率的精度,分析了加入空气隙的矩形微带天线,得出了谐振频率随空气隙高度的变化规律,说明了采用这种方法调谐矩形微带天线的谐振频率是简单有效的。

## 参考文献

- [1] Guha D. Resonant frequency of circular microstrip antennas with and without air gaps [J]. *Antennas and Propagation, IEEE Transactions*, 2001, 49(1).
- [2] Wolff I, Knoppik N. Rectangular and circular microstrip disk capacitors and resonators [J]. *IEEE Trans. MTT*. 1974, 22(10): 857-864.
- [3] Gharpure D C, Yazdandoost K Y. Simple formula for calculation of the resonant frequency of a rectangular microstrip antenna [C]. *Spread Spectrum Techniques and Applications, 1998. Proceedings, 1998 IEEE 5th International Symposium, 1998, 2(9)*: 604-605.
- [4] Das A, Mythili P. Simple approach to determine resonant frequencies of microstrip antennas [J]. *Microwaves, Antennas and Propagation, IEE Proceedings*, 1998, 145(4): 159-162.
- [5] Karaboga D, Güney K, Sagiroglu S, Erler M. Neural computation of resonant frequency of electrically thin and thick rectangular microstrip antennas [J]. *IEE Proc. Microw Antennas Propag*, 1999, 146(4).
- [6] Lee E F, Dahele J S. Mode characteristics of annular-ring and circular-disc microstrip antenna with and without airgaps [J]. *IEEE antennas Propagation Soc. Int. Symp. Dig*, 1983, pp. 55-58.
- [7] Wheeler H A. Transmission-line properties of parallel strips separated by a dielectric sheet [J]. *IEEE Trans. Microwave Theory Tech*. 1965, 13(3): 172-185.
- [8] Abboud F, Damiano J P, Papiernik A. Accurate model for the input impedance of coax-fed rectangular microstrip antenna with and without airgaps [J]. *Antennas and propagation, IEEE Transactions*, 1989, 1(4).

(上接第8页)

### 4.3 多路低通滤波器

小型化多路低通滤波器用于电发火拔销器、推销器和电雷管回路中,提高了火工品抗干扰能力和安全性。

### 4.4 光电传感器

光电传感器用于安全保险系统,以控制电发火推销器起爆,以实现机电光组合式安全保险系统。

### 4.5 超小型微动开关

超小型微动开关,用于电雷管起爆回路短路机构。它有两个功能:一是使雷管起爆回路电源端在解除保险前处于零电平,而在解除保险后转接到引信电源上,使点火电路充电;二是提供S/A检测。

### 4.6 小型化设计

采用SMD器件,SMT表面安装技术,微型接插件和双面柔性印制带与精密机械装置一起构成小型化、机电组合式触发引信。

## 5 结束语

本机电组合式触发引信,经地面各种试验和飞行试验考核表明,它具有触发灵敏度高、安全可靠、抗干扰性能好,是一种高性能新型触发引信。它不仅可用于超低空便携式新型导弹上,而且还可用于其它型号导弹上。

## 参考文献

- [1] 梁某文.防空导弹引信设计及仿共技术[M].北京:宇航出版社,1995.
- [2] GJB373-87,引信安全性设计准则[S].
- [3] 福成.现代引信[M].北京:兵器工业出版社,1994.

## 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>