

平面可调谐微带天线的设计与仿真

曾翔，童玲

(电子科技大学自动化学院,四川 成都 610054)

摘要:将铁电材料特别是锶钡钛酸盐($Ba_xSr_{1-x}TiO_3$)这类强非线性介质的压电非线性特性^[1]应用到微带贴片天线的介质基片上,通过改变基片的等效介电系数 ϵ_r 来实现微带天线的可调谐工作,对此方法进行了可行性研究,给出了理论验证性质的简单设计和仿真结果。

关键词:微带天线;可调谐;铁电膜;仿真;反射系数

中图分类号:TN817

文献标识码:A

文章编号:1672-4984(2007)04-0074-03

Design and simulation of resonant frequency tunable microstrip antenna

ZHENG Xiang, TONG Lin

(School of Automation Engineering, University of Electronic Science and Technology, Chengdu 610054, China)

Abstract:This paper presented a new type tunable antenna which was designed with ferroelectric film materials. Because of the nonlinear dielectric property of the ferroelectric film, the authors could change the resonance frequency of the microstrip antenna by change the relative permittivity of the substrate. Finally gave design examples and used electromagnetic field simulation software to have modeling and simulating works done.

Key words:Microstrip antenna; Tunable; Ferroelectric film; Simulate; Reflectance

将铁电薄膜材料(BST)的压电非线性特性应用到微带天线的设计上,可使新型的可调谐微带天线不仅具有传统微带天线低剖面、重量轻、体积小、结构简单等优点^[2],还具备谐振频率电压可调、可调谐范围宽等诸多优点。能够满足特定条件下的通讯需求,对于航天、军事、卫星通讯等方面的应用有着现实的意义。但是目前国际上对其研究的水平仍然处于可行性验证阶段,面临诸多难题,尚未有实用化产品的报道,从发表论文情况来看也大都是基于计算机仿真实验结果,本文应用基于有限元算法的三维电磁仿真软件HFSS给出了可行性验证仿真结果。

1 铁电材料的压电非线性特性

铁电材料的压电非线性是指材料的极化强度随外加电场强度呈非线性变化,介电系数 ϵ_r 随外加电场强度的增强而非线性减小。非线性的强弱可用介电系数的电场变化率(或称为调谐率)来表征,即用式(1)表示^[4]。

$$\Delta\epsilon = \frac{\epsilon_r(0) - \epsilon_r(V_{pp})}{\epsilon_r(0)} \times 100\% \quad (1)$$

收稿日期:2006-06-05;收到修改稿日期:2006-08-13

作者简介:曾翔(1982-),男,硕士研究生,主要从事天线,微波多层板间不连续性等研究。

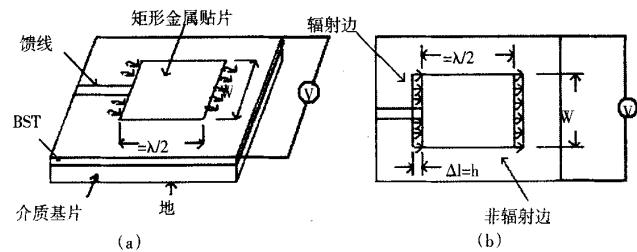


图1 矩形贴片微带天线示意图

其中 $\epsilon_r(0)$ 为未加直流偏置电场时材料的相对介电常数实部; $\epsilon_r(V_{pp})$ 为加大小为 V_{pp} 的直流偏置电压下材料的相对介电常数实部。

在微带天线介质基片上生长铁电膜的结构可看作是双层介质,等效介电常数可以用下式计算:

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon_{r1}\epsilon_{r2}(h_1+h_2)}{h_1\epsilon_{r1}+h_2\epsilon_{r2}} \quad (2)$$

式中 h_1, ϵ_{r1} 是上层介质板的厚度和相对介电常数, h_2, ϵ_{r2} 是下层介质板的厚度和相对介电常数。也可以从计算电磁学方法(这里采用时域有限差分法FDTD)分析,则在X、Y、Z三个方向上把空间划分为整数单元网格进行计算。在Z方向上,空间步长 Δz 远大于BST薄膜层的厚度,因此在基片顶部单元格的相对介电常数就比较大。其介电常数通过基片和

BST 薄膜的介电常数加权平均计算得到,如下式:

$$\varepsilon_{avg} = \varepsilon_r \left(\frac{h_f}{\Delta z} \right) + \varepsilon_s \left(1 - \frac{h_f}{\Delta z} \right) \quad (3)$$

其中 ε_r 是 BST 的相对介电常数, h_f 是其厚度, ε_s 是基片的相对介电常数, Δz 为划分网格的空间的步长。因此即使是厚度很小的铁电薄膜层,因其介电常数很大,所以对于整个介质层的相对介电常数的影响不可忽视^[5,6]。

2 矩形微带贴片天线的设计和理论分析

天线分析基础问题是求解天线在周围空间建立的电磁场,求得电磁场后,进而得出其方向图、增益和输入阻抗特性指标。分析微带天线的基本理论大致可以分三类。最早出现的也是最简单的是传输线模型理论。主要用于矩形贴片。最为严格的计算也是最为复杂的是积分方程法即全波理论。第一种理论把天线的分析简化为一维的传输线问题;第二种理论则发展到基于二维边值问题的求解;第三种理论又进了一步,可计入第三维的变化,不过计算也费时得多。本文基于天线的厚度和精度要求采用的是第二种理论来分析。

空腔模型理论基于薄微带天线($h \cdot \lambda_0$)的假设,而将微带贴片与接地板之间的空间看成是四周为磁壁、上下为电壁的谐振空腔(或确切的说是漏波空腔)天线辐射场由空腔的四周的等效磁流来得出,天线的输入阻抗可根据空腔骨场和馈源边界条件来求得。

矩形贴片与地板相距几分之一波长,谐振腔模型理论中假定电场沿微带结构的宽度和厚度方向没有变化^[7],则辐射器的电场结构如图 1 所示。

首先选择具有适当厚度和相对介电常数的介质基片,厚度为 h 相对介电常数为 ε_r ,天线工作频率为 f ,其实用宽度是:

$$W = \frac{c}{2f} \left(\frac{\varepsilon_r + 1}{2} \right)^{-1/2} \quad (4)$$

式中 c 是光速。也可以选择其他宽度,但是当小于式中宽度时,辐射效率较低,而大于式中宽度时,辐射效率虽然较高,但将产生高次模,从而引起场的畸变。一旦知道了 W ,则等效介电常数 ε_e 和线伸

长 Δl 可分别由:

$$\varepsilon_e = \frac{\varepsilon_r + 1}{2} + \frac{\varepsilon_r - 1}{2} \left(1 + \frac{12h}{W} \right)^{-1/2} \quad (5)$$

$$\frac{\Delta l}{h} = 0.412 \frac{(\varepsilon_r + 0.3)(W/h + 0.264)}{(\varepsilon_r - 0.268)(W/h + 0.8)} \quad (6)$$

来计算,则单元长度为:

$$L = \frac{c}{2f\sqrt{\varepsilon_e}} - 2\Delta l \quad (7)$$

由于单元所固有的窄带宽,所以它的长度是一个临界参数,应当用上式来求线长 L 的精确值。这是已知矩形微带贴片天线的工作频率和介质基片厚度 h 和介电常数 ε_r ,确定矩形微带贴片长 L 和宽 W 的过程。

空腔模型方法把天线的基本问题分为两步:第一,求天线上的源分布或包围天线的封闭面上的等效源的分布,这称为天线的内场问题;第二,根据内场问题的解来求解外场,这称为天线的外场问题。当($h \cdot \lambda_0$),贴片与接地板间的场可以作以下的假定:(1)电场只有 E_z 分量磁场只有 H_x 和 H_y 分量,这是对 Z 向的 TM 型场;(2)内场不随 Z 坐标变化;(3)四周边缘的电流无法向分量,即边缘处的切向磁场为零,故空腔的四周壁可以视为磁壁。

TM_{mn} 模得谐振频率也就是微带天线的工作频率为:

$$f_{mn} = \frac{c}{2\sqrt{\varepsilon_e}} \sqrt{\left(\frac{m}{d}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2} \quad (8)$$

将上式中的 ε_e 用 ε_r 代替可以得到更接近实测结果

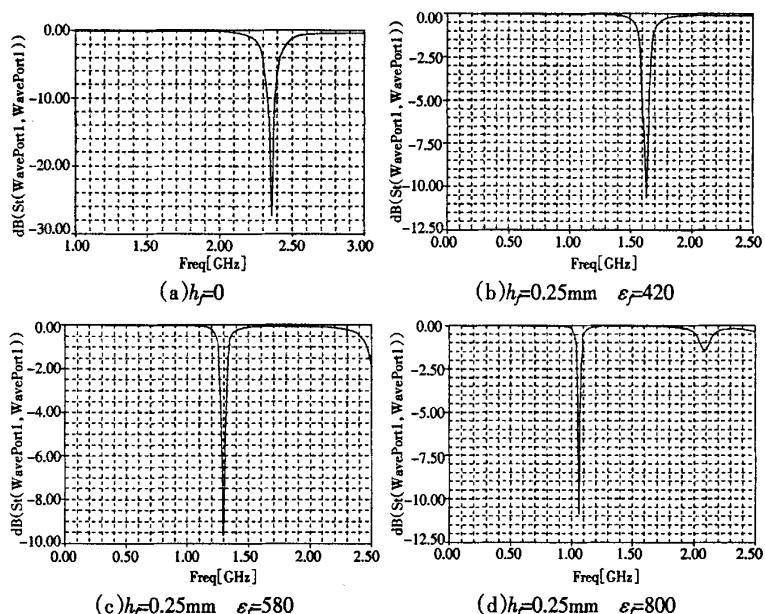


图 2 BST 可调谐微带天线反射系数 S11

的谐振频率值:

$$f_{res} = \frac{c}{2\sqrt{\epsilon_r}} \sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2} \quad (9)$$

矩形微带天线一般都工作在 TM_{10} (或 TM_{01}) 模。从矩形贴片微带天线的工作频率公式可以直观的看出,当贴片的尺寸即 W 和 L 固定以后,只要 ϵ_r 连续可调,那么从理论上就可以实现天线工作频率的连续可调。

3 铁电膜矩形微带贴片天线的仿真分析

铁电薄膜(BST)在常温下外加偏置电压控制其介电常数的变化,进而控制天线的谐振频率点,使之实现频率调谐功能。图 2(a)给出了可调谐矩形贴片天线系统的示意图。本例中选用的介质基片为 Rogers RT/duroid 5880(tm), $\epsilon_r=2.2$, $h=0.32\text{cm}$, 谐振频率 $f_r=2.36\text{GHz}$ 的矩形贴片天线,应用上述的计算公式得, $W=3\text{cm}$, $L=4\text{cm}$ 。选用铁电膜得厚度为 $h_f=0.25\text{mm}$,按照计算得出的矩形贴片天线尺寸和参数,在 HFSS 环境下仿真得出不加载铁电膜和分别加载介电常数为 420, 560, 800 的铁电膜时反射系数 S_{11} 比较如图 2。

可见,没有加载铁电薄膜时天线谐振频率为 2.36GHz ,加直流偏压使铁电薄膜的介电常数从 420 到 800 连续变化时,天线的谐振频率将不断下降。本例中天线的谐振频率从铁电薄膜介电常数为 420 时的 1.64GHz 下降到介电常数为 800 时的 1.05GHz ,可调谐范围为 590MHz ,而可调谐矩形贴片天线仍然具有矩形贴片天线的窄带特点,带宽比常规矩形贴片天线更窄。当可调谐天线应用在保密调频通讯时,通常认为是贴片天线的缺点带宽窄正是需要的特性。

4 结束语

本文从微带贴片天线的谐振腔模型理论分析出发,提出将铁电材料特别是锶钡钛酸盐($Ba_xSr_{1-x}TiO_3$)这类强非线性介质的压电非线性特性应用到微带贴片天线的介质基片上,以提供连续可调的直流偏压的方式实现介质基片介电系数连续可调,进而实现微带天线谐振频率的连续可调。并以实例仿真结果验证了该方法的可行性。实际应用中在实现工作频率连续可调的同时,如何兼顾其它参数如辐射方向性,增益,带宽,效率等,仍有许多难题需要解决。

参考文献

- [1] 陆清芳,李德红,何世明,等.BST 铁电薄膜压控微波器件 [J].电子元件与材料,2003,22(12):35-38.
- [2] 张 钧.微带天线理论与工程[M].北京:国防工业出版社,1988.
- [3] 陈宏伟,杨传仁,符春林,等.BST 薄膜的膜厚与铁电性能关系研究[J].电子元件与材料,2005,24(6):15-17.
- [4] Hu T, Jantunen H, Uusimaki A, et al.Ba_{0.7}Sr_{0.3}TiO₃ powders with B₂O₃ additive prepared by the sol-gel method for used as microwave material [J]. Mater Sci Semicond Process,2003,5(3):215-221.
- [5] Castro A M, Solis R A. Tunable folded-slot antenna with thin film ferroelectric material antennas and propagation society international symposium [J].IEEE, 2003,2(22-27):549-552.
- [6] Rodriguez S, Rodriguez R A, Colom J G. Design and characterization of a tunable aperture coupled microstrip patch antenna with ferroelectric films antennas and propagation society international symposium [J]. IEEE, 2003,4(22-27):536-539.
- [7] 钟顺时.微带天线理论与应用西安[M].西安:西安电子科技大学出版社,1991.

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>