

利用 HFSS 分析 Ka 波段慢波微带带通滤波器

时晶晶

(合肥师范学院 物理与电子工程系, 安徽 合肥 230061)

[摘要] 介绍了一种新型的 Ka 波段微带带通滤波器。对这种滤波器进行了分析, 推导了滤波器产生慢波效应的机理。该滤波器通过加载电容而出现慢波效应, 使得在不改变电路性能的情况下, 减小了电路尺寸。同时由于电路中加载电容形成的慢波效应而出现了带阻效应, 因此对谐波有很好的抑制作用。利用软件 HFSS 仿真分析并设计了这种新型的加载电容型 Ka 波段微带带通滤波器。

[关键词] HFSS; 带通滤波器; 慢波效应; Ka 波段; 加载电容

[中图分类号] TN713+.5

[文献标识码] A

[文章编号] 1674-2273(2010)06-0031-03

1 引言

随着毫米波技术在无线通讯和雷达系统中应用的不断增多, 对电路尺寸小、制作简单的毫米波带通滤波器的需求也日益增加。由于微带在平面制图和制版上的方便, 且易于和别的电路集成, 因此尽管微带的损耗大, Q 值低, 结构不易调整, 其某些指标(如通带损耗和阻带衰减)较低于其他形式的滤波器, 但微带带通滤波器仍在毫米波频段得到了广泛的应用。常见的微带带通滤波器结构有平行耦合、端耦合、发夹式、梳状型和交指型等, 这些结构都是通过耦合线实现的。在以上各种结构的滤波器电路中, 平行耦合结构由于其纵向长度大约只有端耦合长度的一半, 且耦合缝更宽, 在综合设计得到所要求的原型滤波器参量时, 有比较大的结构灵活度, 适应的频带范围也较宽, 这些特点使得这种结构的滤波器有着较强的工程应用潜力。但传统的平行耦合和端耦合结构尺寸太大, 发夹式、梳状型和交指型等结构对工艺要求高, 因此迫切需要一种新结构^[1]。本文提出了一种新型的微带带通滤波器结构, 该滤波器通过加载电容而出现慢波效应, 从而在不改变电路性能的情况下, 减小了电路的尺寸。

2 设计原理

首先我们分析如图 1 所示的电容负载无耗传输线谐振器电路, C_L 是负载电容, Z_0 , β_a 和 d 是无负载线的特性阻抗、传播常数和物理长度。电长度 $\theta_a =$

$\beta_a d$, 图 1 所示的电路图可以表示为^[2]

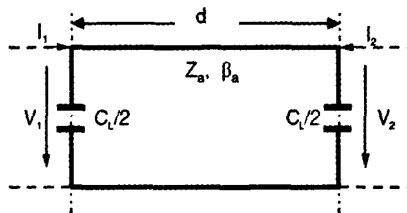


图 1 加载电容谐振器

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2 \\ -I_2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\text{其中 } A = D = \cos\theta_a - \frac{1}{2}\omega C_L Z_a \sin\theta_a \quad (2)$$

$$B = jZ_a \sin\theta_a \quad (3)$$

$$C = j\left(\omega C_L \cos\theta_a + \frac{1}{Z_a} \sin\theta_a - \frac{1}{4}\omega^2 C_L^2 Z_a \sin\theta_a\right) \quad (4)$$

A, B, C, D 是传输矩阵的网络参量, 同时满足 $AD - BC = 1$ 的条件。

当 $I_1 = I_2 = 0$ 时, 对于非零的 V_1 和 V_2 ,

$$\frac{C}{A} = \frac{I_1}{V_1} \Big|_{I_2=0} = \frac{I_2}{V_2} \Big|_{I_1=0} = 0 \quad (5)$$

$$\text{因为 } A = \frac{V_1}{V_2} \Big|_{I_2=0} = \begin{cases} -1 & \text{基波} \\ 1 & \text{一次谐波} \end{cases} \quad (6)$$

则由(2)式得

$$\cos\theta_{a0} - \frac{1}{2}\omega_0 C_L Z_a \sin\theta_{a0} = -1 \quad (7)$$

[收稿日期] 2010-08-20

[基金项目] 国家自然科学基金资助项目(60371041; 60671051)

[作者简介] 时晶晶(1984-), 女, 合肥师范学院教师, 硕士, 主要研究方向为无线通信与电磁兼容。

$$\cos\theta_{a1} - \frac{1}{2}\omega_1 C_L Z_a \sin\theta_{a1} = 1 \quad (8)$$

将(7)和(8)式代入(4)式,再根据(5)式得到的 $C=0$ 得

$$\frac{\omega_0 C_L}{2}(1 - \cos\theta_{a0}) = \frac{1}{Z_a} \sin\theta_{a0} \quad (9)$$

$$\frac{\omega_1 C_L}{2}(1 + \cos\theta_{a1}) = -\frac{1}{Z_a} \sin\theta_{a1} \quad (10)$$

上面两式变形得

$$\theta_{a0} = 2\tan^{-1}\left(\frac{1}{\pi f_0 Z_a C_L}\right) \quad (11)$$

$$\theta_{a1} = 2\pi - 2\tan^{-1}(\pi f_1 Z_a C_L) \quad (12)$$

从(11),(12)式可以看到当 $C_L=0$ 时 $\theta_{a0}=\pi$ 和 $\theta_{a1}=2\pi$,这是无载半波长谐振器。当 $C_L \neq 0$ 时,谐振频率随着负载电容的增加而减小,于是产生了慢波效应。如果电容 C_L 呈周期性的增大,不但可以减小电路尺寸,而且还具有带阻特性,对一些频率的抑制有很好的作用。

根据上述分析,我们设计了一种新型的 Ka 波段加载电容型微带带通滤波器。图2是该滤波器的结构和尺寸,图3是其谐振单元^[3-5]。

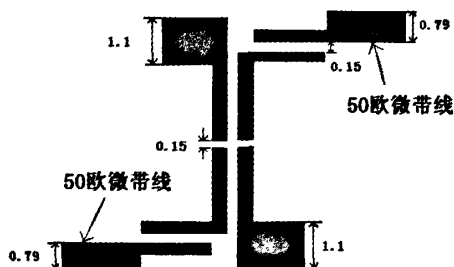


图2 慢波效应带通滤波器结构和尺寸(单位:mm)

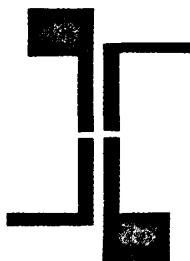


图3 滤波器的谐振单元

3 HFSS 仿真设计

在 HFSS 中建立一个微带滤波器的三维模型:

第一步:建立 HFSS 模型

模型包括了如图2结构的铜箔和厚度为0.254mm,相对介电常数为2.2的 Rogers RT/duroid 5880 (tm) 介质基板,铜箔厚度:0.018mm。如图4所示。

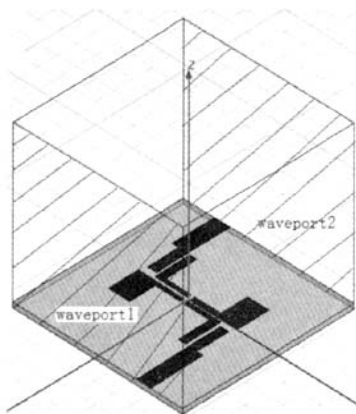


图4 HFSS 建模及波导端口的定义



图5 扫描设置

第二步:定义端口、边界条件

HFSS 模型端口位置如图4所示,端口定义为50 欧姆的波导端口;微带板的上层空间定义为空气盒。

第三步:分析扫描设置

在 Analysis 中设置 Steup1,将 Solution 的频率设为 33GHz,稍大于微带中心频率;将扫频 Sweep 的范围定为 25—40GHz,步长 0.1GHz,扫频类型设为 Discrete,设置截面如图5所示。

仿真运行后得到图6所示的结果,由图可见,此滤波器的中心频率为 32GHz,3dB 相对带宽 22.67%,插入损耗 ≤ 0.45 dB,带内起伏 ≤ 0.22 dB。

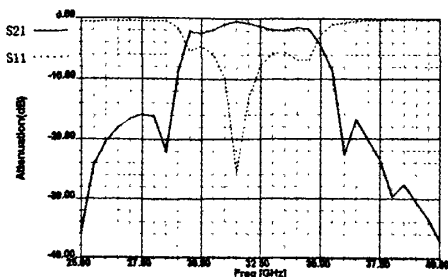


图6 HFSS 仿真结果

利用 Agilent 8757D Scalar Network Analyzer 测试滤波器结果如图 7 所示,结果包括了两个耦合探针微带到波导的过渡。

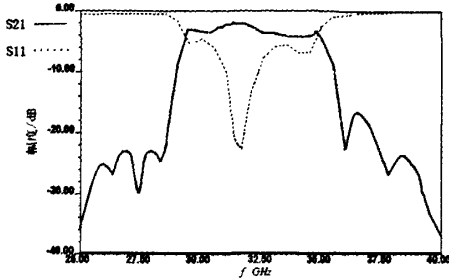


图 7 实物测试图

4 总结

在加载电容型毫米波微带带通滤波器的研究中,主要是应用 HFSS 进行软件仿真分析,在计算速度上大大得到提高。通过软件仿真得到的技术参数和性能指标与实际测试结果吻合良好,说明了这种软件的优越性和精确性,为系统研究和开创性探讨提供了方向和指导^[6]。

[参 考 文 献]

- [1] 喻梦霞,徐军,陈建新. 新型毫米波微带带通滤波器[J]. 微波学报,2006,22(3):45-47.
- [2] Jia-Sheng Hong, Michael J. Lancaster. End-coupled microstrip slow-wave resonator filter [J]. Electronics Letters,1996, 32(16):1494-1496.
- [3] Lung-Hwa Hsieh, Kai Chang. Slow-Wave Band-pass Filters Using Ring or Stepped-Impedance Hairpin Resonators [J]. IEEE Transactions On Microwave Theory And Techniques, 2002,50(7):1795-1880.
- [4] Sheng-Yuan Lee, Chih-Ming Tsai. New Cross-Coupled Filter Design Using Improved Hairpin Resonators[J]. IEEE Transactions On Microwave Theory And Techniques, 2000,48(12): 2482-2490.
- [5] Jia-Sheng Hong, Michael J. Lancaster. Theory and Experiment of Novel Microstrip Slow-Wave Open-Loop Resonator Filters[J]. IEEE Transactions On Microwave Theory And Techniques, 1997,45(12):2358-2365.
- [6] Ralph levy, Richard V Snyder,George. Design of Microwave Filters[J]. IEEE Transactions On Microwave Theory And Techniques, 2002, 50(3):783-792.

Analysis on Slow-wave Ka-band Microstrip Bandpass Filter with HFSS

SHI Jing-jing

(Department of Physics and Electronics Engineering, Hefei Normal University, Hefei 230061, China)

Abstract: A new Ka-band microstrip band-pass filter is introduced in this paper. The reasons of how the slow-wave effect is produced are also analyzed and deduced. The filter produces slow-wave effect through loading capacitance. The size of this filter is greatly reduced without changing the performance of the circuit. At the same time, the band-stop effect occurs in the filter owing to the slow-wave effect. Therefore it has good suppression for harmonic wave in the filter. This kind of new microstrip band-pass filter with loading capacitances is analyzed and designed by HFSS software.

Key words: HFSS; band-pass filter; slow-wave effect; Ka-Band; loading capacitance

HFSS 视频培训课程推荐

HFSS 软件是当前最流行的微波无源器件和天线设计软件, 易迪拓培训(www.edatop.com)是国内最专业的微波、射频和天线设计培训机构。

为帮助工程师能够更好、更快地学习掌握 HFSS 的设计应用, 易迪拓培训特邀李明洋老师主讲了多套 HFSS 视频培训课程。李明洋老师具有丰富的工程设计经验, 曾编著出版了《HFSS 电磁仿真设计应用详解》、《HFSS 天线设计》等多本 HFSS 专业图书。视频课程, 专家讲解, 直观易学, 是您学习 HFSS 的最佳选择。



HFSS 学习培训课程套装

该套课程套装包含了本站全部 HFSS 培训课程, 是迄今国内最全面、最专业的 HFSS 培训教程套装, 可以帮助您从零开始, 全面深入学习 HFSS 的各项功能和在多个方面的工程应用。购买套装, 更可超值赠送 3 个月免费学习答疑, 随时解答您学习过程中遇到的棘手问题, 让您的 HFSS 学习更加轻松顺畅...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/11.html>

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, 可以帮助您快速学习掌握如何使用 HFSS 设计天线, 让天线设计不再难...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>



更多 HFSS 视频培训课程:

- **两周学会 HFSS —— 中文视频培训课程**

课程从零讲起, 通过两周的课程学习, 可以帮助您快速入门、自学掌握 HFSS, 是 HFSS 初学者的最好课程, 网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/1.html>

- **HFSS 微波器件仿真设计实例 —— 中文视频教程**

HFSS 进阶培训课程, 通过十个 HFSS 仿真设计实例, 带您更深入学习 HFSS 的实际应用, 掌握 HFSS 高级设置和应用技巧, 网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/3.html>

- **HFSS 天线设计入门 —— 中文视频教程**

HFSS 是天线设计的王者, 该教程全面解析了天线的基础知识、HFSS 天线设计流程和详细操作设置, 让 HFSS 天线设计不再难, 网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/4.html>

- **更多 HFSS 培训课程**, 敬请浏览: <http://www.edatop.com/peixun/hfss>

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),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相关培训课程和 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讲授,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>