

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_β 、 β_α 和 d 是无负载线的特性阻抗、传播常数和物理长度。电长度 $\theta_\alpha =$

$\beta_\alpha d$, 图 1 所示的电路图可以表示为^[2]

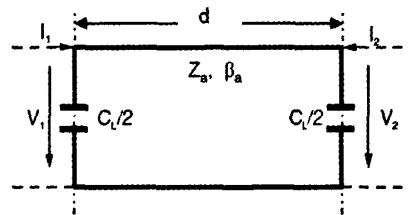


图 1 加载电容谐振器

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

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

$$B=jZ_\alpha \sin\theta_\alpha \quad (3)$$

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

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

$$\cos\theta_\alpha - \frac{1}{2}\omega C_L Z_\alpha \sin\theta_\alpha = -1 \quad (7)$$

[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。

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

将(7)和(8)式代入(4)式,再根据(5)式得到的 $C=0$ 得

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

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

上面两式变形得

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

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

从(11),(12)式可以看到当 $C_L=0$ 时 $\theta_{al}=\pi$ 和 $\theta_{al}=2\pi$,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。

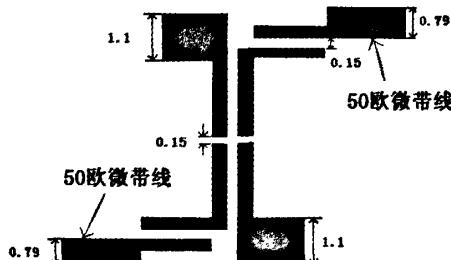


图 2 慢波效应带通滤波器结构和尺寸(单位:mm)

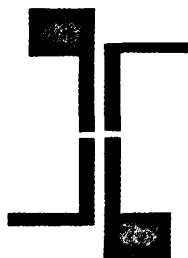


图 3 滤波器的谐振单元

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。

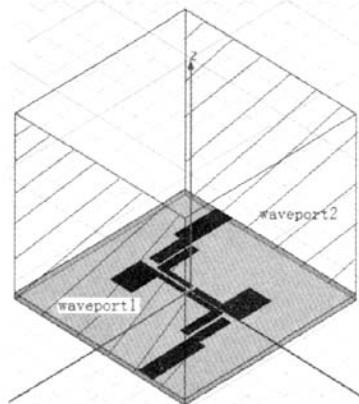


图 4 HFSS 建模及波导端口的定义

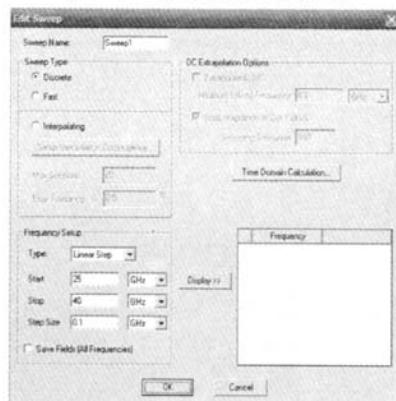


图 5 扫描设置

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 Step1,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。

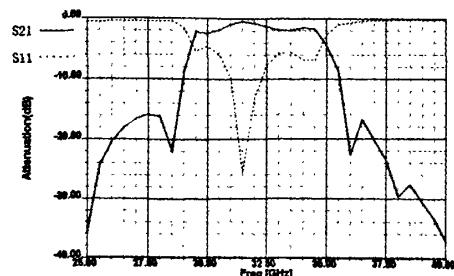


图 6 HFSS 仿真结果

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。

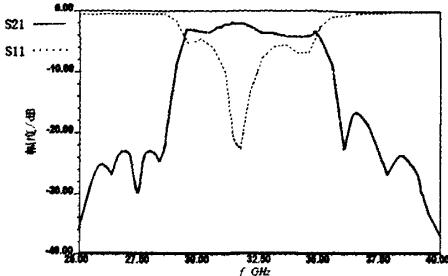


图 7 实物测试图

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)

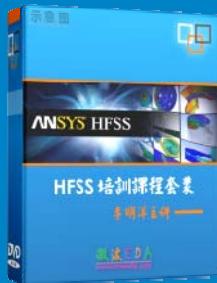
Abstract: A new Ka-band microstrip band-pass filter is introduced in this paper. The reasons of how the slow-wave effect is produced are also analyzed and deduced. The filter produces slow-wave effect through loading capacitance. The size of this filter is greatly reduced without changing the performance 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>