

L波段发夹型微带滤波器的设计

苏永川, 何子述, 高瑜翔, 严济鸿

(电子科技大学电子工程学院 成都 610054)

【摘要】介绍了设计发夹型微带滤波器的基本原理和ADS在L波段发夹型微带滤波器设计中的应用, 提供了发夹型微带滤波器中发夹型微带谐振器的间距与耦合系数之关系曲线的求取方法, 呈现了模型仿真和EM仿真的两种效果, 最后给出了L波段5阶发夹型带通滤波器的设计实例和测试结果。

关键词 L波段; 发夹型; 带通滤波器; 微带滤波器; 耦合系数
中图分类号 TN713.5 **文献标识码** A

Design of Hairpin Microstrip Filter with Frequency in L-Band

Su Yongchuan, He Zishu, Gao Yuxiang, Yan Jihong

(School of Electronic Engineering, UEST of China Chengdu 610054)

Abstract The fundamental of designing hairpin microstrip filter and the application of ADS in the design of hairpin microstrip filter with frequency in the L-band is introduced. The approach of obtaining the relationship between microstrip resonator's spacing and microstrip resonator's coupling coefficient is given. The results of model simulation and EM simulation are shown. At last, the design example and measured result for a hairpin bandpass filter of fifth order with frequency in the L-band are given.

Key words L-band; hairpin; bandpass filter; microstrip filter; coupling coefficient

微带带通滤波器具有设计简单、制作方便、体积小、成本低且便于集成等优点。微带滤波器在MIC和MMIC中得到广泛的应用。和平行耦合线滤波器结构相比, 发夹型带通滤波器具有紧凑的电路结构, 在电路尺寸有较严格要求的场合发夹型滤波器得到了较为广泛的应用。

随着计算机和EDA技术的迅猛发展, EDA工具中熔入了广大科研工作者的理论研究成果和实践经验, EDA工具的应用在设计中占有十分重要的作用。

谐振器间距与谐振器耦合系数之关系曲线可通过做实验来求得, 从而确定滤波器中各谐振器之间的间距, 该方法实现起来较为复杂^[1]。本文根据微带滤波器设计的基本原理与谐振器间距的确定方法, 充分利用ADS在微带滤波器设计中的优化仿真功能, 介绍了一套完整的发夹型微带滤波器设计方法和步骤^[2~4]。按此步骤设计发夹型滤波器, 过程简单, 设计周期短, 且效果较好。本文也给出了一个L波段(1.15~1.48 GHz)带通滤波器的设计实例, 该滤波器的实测结果比较理想。

1 发夹型微带滤波器的设计方法

1.1 滤波器各参数初值的确定

发夹型滤波器是由发夹型谐振器并排排列耦合而成, 其信号输入输出方式可采用抽头式和平行耦合方

收稿日期: 2003-06-27

作者简介: 苏永川(1971-), 男, 硕士生, 主要从事接收信道电路设计、信号与信息处理等方面的研究。

式, 本文采用抽头方式输入输出。滤波器的性能由滤波器的各参数值确定, 参数包括: 发夹臂长、发夹间距、发夹线宽和抽头位置。

滤波器发夹臂长为 $I_g/4$, $I_g = I_0/\sqrt{e_{re}}$ 。 I_0 是滤波器中心频率的自由空间传播波长, 有效介电常数

$$e_{re} = \frac{e_r + 1}{2} + \frac{e_r - 1}{2} \frac{1}{\sqrt{1 + (12h/w)}} \quad (1)$$

式中 e_r 是基片的相对介电常数, h 是基片厚度, w 是微带线线宽。

臂间距较大则可忽略臂间耦合, 否则应考虑臂间耦合。发夹微带线线宽一般取 1 mm。滤波器设计的关键是确定发夹之间的间距(space: s)和抽头位置(tapping point: t)。

发夹间距(s)的确定: 发夹间距(s)和发夹间耦合系数(coupling coefficients: k)有对应关系。其关系可作实验求取, 这里通过full-wave EM仿真求得。当耦合系数大于 $1/Q_0$ (Q_0 为发夹谐振回路的品质因数)时, full-wave EM仿真的谐振频率响应曲线上出现两个明显的谐振尖峰, 峰值高出低谷 10 dB 以上。其峰值频率分别记为 f_{p1} 和 f_{p2} ($f_{p1} < f_{p2}$), 则耦合系数 k 用下式计算

$$k = (f_{p2}^2 - f_{p1}^2)/(f_{p2}^2 + f_{p1}^2) \quad (2)$$

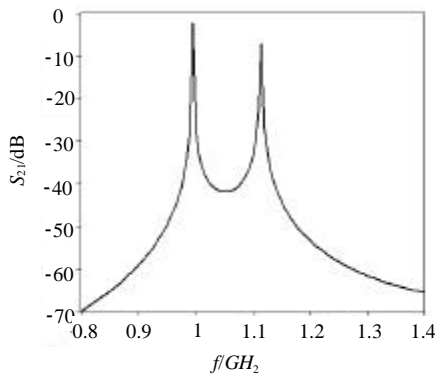


图 1 谐振频率响应曲线

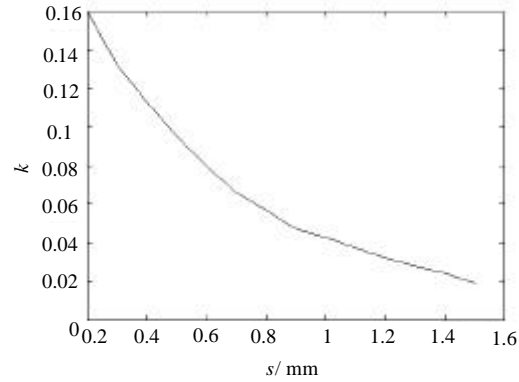


图 2 耦合系数与耦合间距的关系曲线

图1是用Sonnet lite进行full-wave EM仿真的谐振频率响应曲线, 图中发夹间距 $s = 0.4$ mm, 由图可见两个明显的谐振尖峰。图2是full-wave simulation得到的耦合系数与间距的关系曲线, 耦合系数 k 随着发夹间距的增加而减小。图1和图2的仿真条件为: 介电系数为4, 板厚1 mm, 线宽1 mm, 臂间距2 mm, 臂长33.8 mm。待设计滤波器的耦合系数由下式计算

$$k_{i,i+1} = \frac{FBW}{\sqrt{g_i g_{i+1}}} \quad i=1,2,\dots,n-1 \quad (3)$$

式中 n 是滤波器的阶数, i 是发夹序号, FBW 是相对中心频率的归一化带宽, g_i 是滤波器低通原型中的第 i 个归一化元件值。由上式计算的值可在图2中确定发夹间的间距(s)。

抽头位置(tapping point)的确定: 抽头位置 t 可由外部耦合系数

$$k_{en} = \frac{g_n g_{n+1}}{FBW} \quad k_{e1} = \frac{g_0 g_1}{FBW} \quad (4)$$

结合full-wave EM simulation来确定。抽头位置 t 也可用下式来估计

$$t = \frac{2L}{\pi} \sin^{-1} \sqrt{\frac{\pi z_0}{2z_r k_e}} \quad (5)$$

式中 $L = I_g/4$, z_0 是抽头线的特性阻抗, z_r 是发夹线的特性阻抗, k_e 是发夹的外部耦合系数。

1.2 应用EDA工具对滤波器进行优化仿真

由以上基本原理和公式可以初步设计出滤波器的雏型, 此时滤波器性能具有大致的预期形状, 离理想

的带通性能还差得远。利用EDA工具的强大功能对初步设计进行优化后，滤波器的性能比较理想，且仿真结果与实际吻合较好。EDA的利用能大大缩短设计周期，改善设计效果。下面举例介绍ADS(Advanced Design System)在滤波器优化、仿真方面的应用。

2 滤波器设计举例

设计一个通带为1.15 GHz到1.48 GHz的带通滤波器。选用5阶通带纹波为0.1 dB的Chebyshev滤波器，其

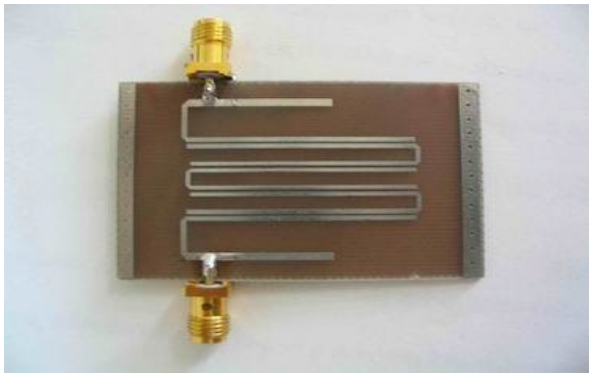
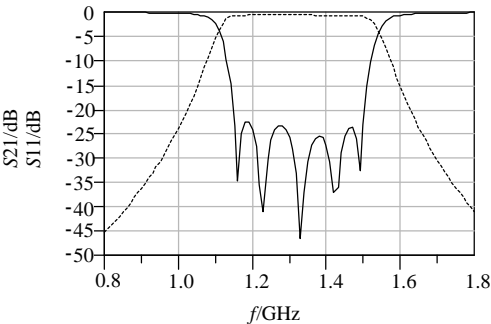


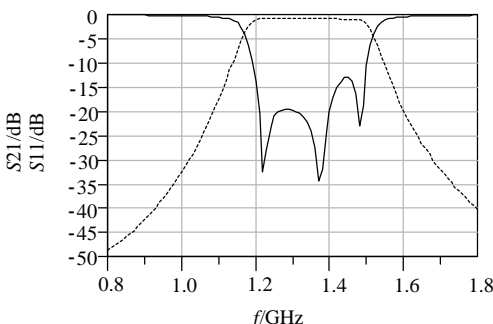
图 3 滤波器实物照像

低通原型参数为： $g_0 = g_6 = 1.0$ ； $g_2 = g_4 = 1.3712$ ； $g_3 = 1.9750$ ； $g_1 = g_5 = 1.1468$ 。印制板材料的介电常数为4.0，厚度为1.0 mm。用式(3)求得耦合系数为： $k_{12} = k_{45} = 0.12$ ； $k_{23} = k_{45} = 0.09$ 。由耦合系数根据图2求得发夹间距 $s_1 = 0.25$ mm， $s_2 = 0.4$ mm。用式(5)求得抽头位置 $t = 3.8$ mm。由以上数据构成ADS中滤波器结构参数的初值，然后进行优化，优化目标设置为： $S_{11} < -22$ dB(1 150~1 500 MHz)； $S_{21} < -40$ dB(800~950 MHz)； $S_{21} < -40$ dB(1 700~1 800 MHz)。基片是FR-4，厚1 mm，介电常数4.0。按优化后的尺寸加工出滤波器，实物如图3所示。

图4a是滤波器优化后的模型仿真曲线，图中虚线为 S_{21} 曲线，实线为 S_{11} 曲线。由图4a可见在通带内回波损耗 >20 dB，插入损耗 <1 dB，平坦度 ± 0.2 dB，过度带较为陡峭。仿真结果满足设置指标。图4b是滤波器的EM仿真曲线，图中虚线为 S_{21} 曲线，实线为 S_{11} 曲线。图4b与图4a相比通带略窄，反射略大，特别是高频端反射较大。



(a) 优化后的滤波器模型仿真结果



(b) 滤波器的 EM 仿真结果

图 4 滤波器的仿真结果

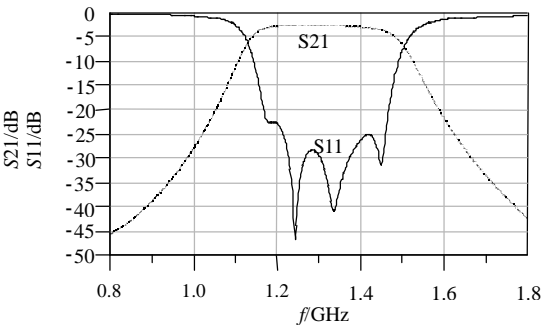


图 5 滤波器性能实测曲线

3 滤波器的性能测试

图5是用HP8753D网络分析仪测试上述滤波器所得的响应曲线。由图可见测试结果与模型仿真(图4a)比较吻合，但是通带略窄，插损略大(<3 dB)，反射损耗均 >20 dB。该滤波器实测结果较理想。

(下转第62页)

组成。孪晶在压痕附近呈二次对称分布，孪生过程与形变过程中扩展层错的产生密切相关。组成层错的不全位错塞积于Lomer-Cottrell位错锁导致局部应力集中而引发裂纹萌生。

本工作所用GaAs样品由中国科学院半导体研究所陆大成研究员提供，特此致谢。

参 考 文 献

- [1] Gerthsen D, Ponce F A, Anedron G B. Hing-resolution transmission electron microscopy of 60 degrees dislocations in Si-GaAs[J]. Phil Mag A, 1989, 59(5): 1 045-1 058
- [2] Rabier J, Boivin P. Dislocation mobilities and low-temperature macroscopic plasticity of III-V-Compound semiconductors[J]. Phil Mag A, 1990, 61 (4): 673-683
- [3] Pirouz P. On twinning and polymorphic transformations in compound semiconductors[J]. Scripta Metall Mater, 1989, 23(3): 401-406
- [4] Siethoff H, Volkl J, Gerthsen D, *et al.* The lower yield-point of INP and GaAs[J]. Phys Stat Solidi A, 1987, 101 (1): 13-18
- [5] Ning X J, Perez T, Pirouz P. Indentation induced dislocations and microtwins GaSb and GaAs[J]. Phil Mag A, 1995, 72(4): 837-859
- [6] Levade C, Vanderschaeve G. Rosette microstructure in indented (001) GaAs single crystals and the alpha/beta asymmetry[J]. Phys Stat Solidi A, 1999, 171(1): 83-88
- [7] Hirsch P B, Pirouz P, Roberts S G, *et al.* Indentation plasticity and polarity of hardness on (111) faces of GaAs[J]. Phil Mag B, 1985, 52(3): 759-784
- [8] Li Z C, Liu L, He L L, *et al.* Shear-activated indentation crack in GaAs single crystal[J]. J Mater Res, 2001, 16(10): 2 845-2 849
- [9] Mahajan S, Wernick J H, Chin G Y, *et al.* Plastic-deformation of V3Si Single-crystals at elevated temperatures[J]. Phys Lett, 1978, 33(11): 972-974
- [10] Lefbvre A, Androussi Y, Vanderschaeve G. A TEM Investigation of the dislocation rosettes around Vickers indentations in GaAs[J]. Phys Stat Solidi A, 1987, 99(2): 405-412

编 辑 王 燕

(上接第18页)

4 结 束 语

微带滤波器制作成本低，使用方便。利用ADS仿真工具设计微带滤波器，能缩短设计周期，且设计出的滤波器性能较好。ADS的模型仿真结果能较好地与实际相符。上面介绍的滤波器设计方法简便，实用性强，适合工程应用。

参 考 文 献

- [1] 吴世杰. 微带抽头线交指滤波器的设计[J]. 无线电通信技术, 1992, 18, (1): 39-44
- [2] Hong J S, Lancaster M J. Couplings of microstrip square open-loop resonators for cross-coupled planar microwave filters[J]. IEEE Trans.Microwave Theory Tech., 1996, 44 (12): 2 099-2 109
- [3] Brady D. The design, fabrication and measurement of microstrip filter and coupler circuits[J]. High Frequency Electronics, 2002, (4): 22-26
- [4] Hong Jia-sheng, Lancaster M J. Microstrip filters for RF/microwave applications[M]. New York: John Wiley&Sons.Inc., 2001. 29-160

编 辑 王 燕

微波滤波器设计培训——视频课程

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, 致力和专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养, 是国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地。客户遍布中兴通讯、研通高频、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。

我们推出的微波滤波器设计培训专题, 有资深工程师领衔主讲, 课程既有微波滤波器设计原理的详细解释, 也有各种仿真分析工具的实际设计应用讲解, 设计原理和设计仿真实践相结合, 向大家呈现各种结构的微波滤波器的完整设计流程。旨在帮助大家透彻地理解并实际的掌握各种微波滤波器的设计。



微波滤波器设计培训专题视频课程

高清视频, 专家授课, 中文讲解, 直观易学; 既有微波滤波器设计原理的详细解释, 也有像 ADS、CST、HFSS 各种仿真分析工具的实际设计应用讲解, 旨在帮助大家透彻地理解并实际的掌握各种微波滤波器的设计。

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/filter/>

更多专业培训课程:

- **HFSS 视频培训课程**

网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/>

- **CST 视频培训课程**

网址: <http://www.edatop.com/peixun/cst/>

- **天线设计专业培训课程**

网址: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/>