

开路边缘平行耦合微带带通滤波器的设计

张金¹, 廖同庆¹, 沈国浩^{1,2}, 陈新民¹

(1 安徽大学, 计算智能与信号处理教育部重点实验室, 合肥 230039; 2 蚌埠学院, 蚌埠 233000)

摘要: 本文首先对开路边缘平行耦合微带带通滤波器的滤波特性进行了分析, 接着使用微波仿真软件ADS对其进行了仿真。仿真时根据设计指标用ADS的优化功能对原理图进行多次优化, 优化时注重对多个参数实行逐个优化, 使得优化的速度更快。通过对一中心频率为3.05GHz带宽为3.3%的带通滤波器进行仿真, 结果很好地满足设计指标。基于ADS优化设计的滤波器克服了耦合微带滤波器的带宽偏离指定带宽和通带损耗过大的缺点。使用ADS软件设计还可以避免传统设计过程的繁琐, 需多次进行实验测试, 耗费原材料等缺点。

关键词: 微带带通滤波器; 边缘平行耦合; ADS

中图分类号: TN713+5 **文献标识码:** A

Design of open-circuit edge parallel coupled microstrip band-pass filter

Zhang Jin¹, Liao Tongqing¹, Shen Guohao^{1,2}, Chen Xinmin¹

(1 Ministry of Educational Key Laboratory of Intelligent Computing & Signal Processing Anhui Univ., Hefei 230039, China; 2 BengBu College, BengBu 233000, China)

Abstract: This paper analyses the filtering characteristic of an open-circuit edge parallel coupled microstrip band-pass filter, and then the filter is simulated by ADS. The filter's schematic can be optimized many times in ADS. Parameters need be optimized one by one, which make the optimization's speed more fast. A band-pass filter with the center frequency of 3.05GHz and bandwidth of 3.3% is optimized, whose conclusion meet the design index well. Several problems in conventional design means can be solved by ADS. Such as, coupled microstrip filter's bandwidth departure the target's easily, lose too much in the band-pass area, need too many experiments and waste lots of raw materials.

Keywords: microstrip band-pass filter; edge parallel coupled; ADS

0 引言

微波滤波器在微波通信、电子对抗、雷达技术及一些微波测量仪器中有着广泛的应用。通常设计分布参数微带滤波器^[1-3]的方法是通过已有的计算公式和图表来求所要得到满足设计目标的滤波器的结构参数^[4-5]。但耦合微带线的结构参数计算十分繁琐, 且计算精度不高。

本文首先根据设计指标利用简单的设计公式计算出所需滤波器的耦合节的节数和各耦合节的电参数, 然后利用微波仿真软件 ADS 来完成滤波器结构参数的计算并进行从原理图到版图的各级仿真。仿真时根据设计指标用 ADS 的优化功能对原理图进行多次优化克服了微带耦合滤波器的带宽偏离指定带宽和通带损耗过大的缺点, 最后使得仿真结果满意。

1 设计原理

在高频通信电路中,用黑田变换所设计出的非耦合带通滤波器要实现指定通带衰减、阻带衰减等一系列的性能指标时会出现如下问题:(1)实际制作出的实物伸展面积较大,不如耦合式带通滤波器较为紧凑。(2)寄生通带的中心频率为两倍带通滤波器中心频率处,而耦合微带线带通滤波器则为3倍带通滤波器中心频率处,更有利于对不需要的频率的抑制。(3)各分支微带线粗细悬殊,不易实现,而耦合微带线滤波器则还可以调节线间距离来满足综合设计要求。边缘平行耦合微带带通滤波器原理是由含一种电感元件的低通滤波器原型推导^[6],其对应方式见图1。

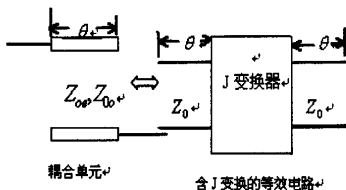


图1 开路耦合线等效电路

耦合节在带通滤波器的中心频率 f_0 上是 $\lambda_0/4$ 波长,所以电长度 θ 为90度。将一系列的如图1的耦合节级联后,形成长度为 $\lambda_0/2$ 传输谐振电路的级联,如图2所示。

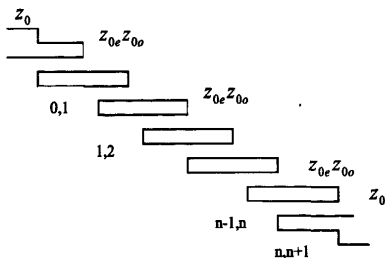


图2 两端开路边缘耦合带通滤波器设计图

2 设计方法

在带通滤波器的设计中是将低通原型的 $\omega' = 0$ 的点变换成 $\omega = \omega_0$ 的带通滤波器的中心频率点,把 $\omega' = \infty$ 的点变换成 $\omega = 0$ 和 $\omega = \infty$ 的点,对应低通到带通的

频率变换式见式(1):

$$\frac{\omega'}{\omega_1} = \frac{1}{W} \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right) \quad (1)$$

ω' 表示为低通原型的频率, ω_1 为低通原型的截止频率, ω_0 为带通滤波器的中心频率, ω 为带通滤波器的频率, W 为带通滤波器的相对带宽, $W = \frac{\omega_U - \omega_L}{(\omega_U + \omega_L)/2}$, ω_U, ω_L 分别为带通滤波器的上下边频。由式(1)与给定设计带通滤波器的参量算出低通原型归一化值,再通过查表确定要实现滤波器的阶数 n 。

要使用ADS仿真边缘平行耦合微带带通滤波器需要计算出各微带耦合节的宽度、长度和间距,计算步骤如下:

(a) 根据相对带宽 W 计算平行微带线各耦合节奇模和偶模的阻抗 Z_{0o}, Z_{0e} ^[4-5]

$$J_{0,1} = \frac{1}{Z_0} \sqrt{\frac{\pi W}{2g_0g_1}} \quad (i=1) \quad (2)$$

$$J_{i,i+1} = \frac{1}{Z_0} \sqrt{\frac{\pi W}{2g_i g_{i+1}}} \quad (2 \leq i \leq n-1) \quad (3)$$

$$J_{n,n+1} = \frac{1}{Z_0} \sqrt{\frac{\pi W}{2g_n g_{n+1}}} \quad (i=n) \quad (4)$$

得奇、偶模特性阻抗:

$$Z_{0o}|_{i,i+1} = Z_0 \left[1 - Z_0 J_{i,i+1} + (Z_0 J_{i,i+1})^2 \right] \quad (5)$$

$$Z_{0e}|_{i,i+1} = Z_0 \left[1 + Z_0 J_{i,i+1} + (Z_0 J_{i,i+1})^2 \right] \quad (6)$$

下标 i 为图2中的耦合段单元节数, Z_0 是滤波器输入输出端口的传输线特性阻抗。

(b) 求耦合微带线的尺寸

由步骤(a)中式(5)和式(6)计算的奇偶模特性阻抗后,可以利用已有的经验公式^[7-8]计算各耦合节的几何尺寸,但此种方法较为繁琐。本文用ADS软件自带的计算工具LineCalc来计算给定参数下的微带线的宽度、长度以及耦合线间距。

3 开路边缘平行耦合带通滤波器的设计实例

设计参数如下:中心频率3.05GHz,带宽3.00—3.10GHz。在2.8GHz以下和3.3GHz以上衰减分别不小于

40dB 和 35dB。通带内波纹为 0.01dB，衰减小于 2dB，起伏小于 1dB。端口反射系数小于 -15dB。传输线特性阻抗 $Z_0=50\ \Omega$ 。

首先算的相对带宽 $W' = \frac{0.1}{3.05} = 0.033$ ，再由公式 1 得频率变换 $\frac{\omega}{\omega_1} = \frac{1}{0.033} \left(\frac{3.05}{2.8} - \frac{2.8}{3.05} \right) = 5.2$ ，由 0.01dB 波纹的切比雪夫低通滤波器的衰减特性图查的在归一化频率 5.2 处要获得至少 40dB 的衰减，则滤波器的阶数至少为 $n=4$ 。再由具有波纹的 4 阶切比雪夫滤波器的元件参数可有数值表查的。

$$g_0 = 1, g_1 = 0.7128, g_2 = 1.2003, g_3 = 1.3212, \\ g_4 = 0.6476, g_5 = 1.1007$$

根据公式 (3)~(6) 得 $Z_0 J_{i,i+1}, Z_{0o}, Z_{0e}$ 。列在表 1 中。

表1 奇偶模阻抗

i	$Z_0 J_{i,i+1}$	$Z_{0o}(\Omega)$	$Z_{0e}(\Omega)$
0	0.2679	40.1935	66.9835
1	0.0560	47.3568	52.9568
2	0.0411	48.0295	52.1395
3	0.0560	47.3568	52.9568
4	0.2696	40.1542	67.1142

本文选用微带基片为 FR-4，即基片介电常数 $\epsilon_r=4.6$ ，基片厚度为 $h=20\text{mil}$ ，磁导率 $Mur=1$ ，金属带选用铜材料（电导率 $Cond=5.8e+7$ ），导带厚度 $T=0.01\text{mm}$ 封装高度 $Hu=3.9e+34\text{mm}$ 。利用 ADS 仿真

软件中自带的 LineCalc 来计算实现微带线的导带宽度 W ，长度 L 及耦合导带之间距离 S ，然后将计算后的值带入图 3 的原理图进行仿真。用 LineCalc 计算出来的值第一次仿真会出现中心频率偏离目标频率，通带的损耗大于设计值，这就需要对原理图进行优化仿真。这里设置 4 个优化 GOAL，OptimGoal、OptimGoal2、OptimGoal3、OptimGoal4，分别设定通带衰减不超过 2dB，小于 2.8GHz 时衰减不小于 40dB，大于 3.3GHz 时衰减不小于 35dB 和通带内反射系数小于 -15dB。

优化后得耦合线节的尺寸值见表 2。

表2 各耦合节尺寸

耦合节号	1	2	3	4	5
W (mm)	0.26	1.01	1.29	1.01	0.26
S(mm)	0.83	1.69	1.82	1.69	0.83
L(mm)	13.65	14.35	12.48	14.35	13.65

优化后仿真结果见图 4。

原理图的仿真是在非常理想的状态在进行的，而实际电路板的工作要考虑到干扰，耦合，表面波效应，空间辐射波等因素的影响，所以需要将原理图在 ADS 中生成版图再进一步的仿真。图 5 为生成的版图，图 6 是对版图的仿真结果。

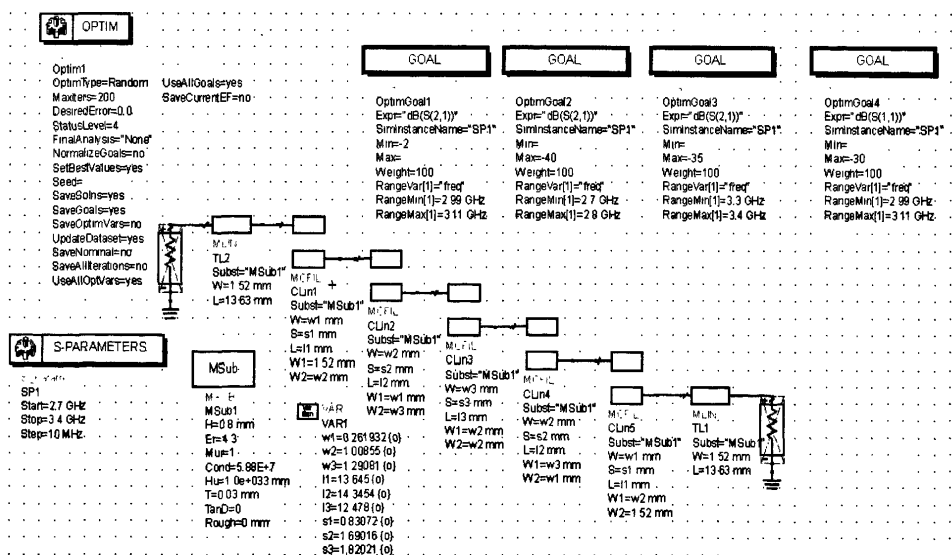


图3 仿真原理图

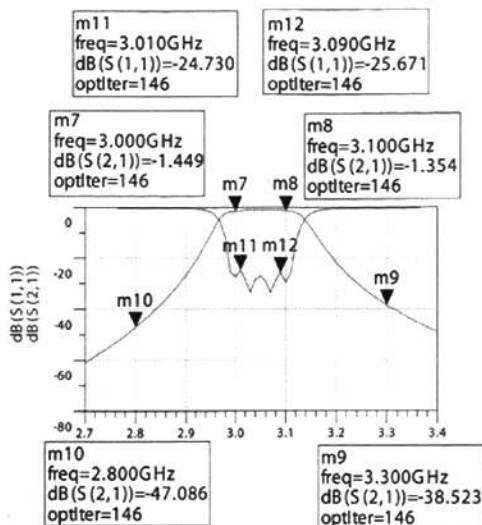


图4 原理图仿真结果

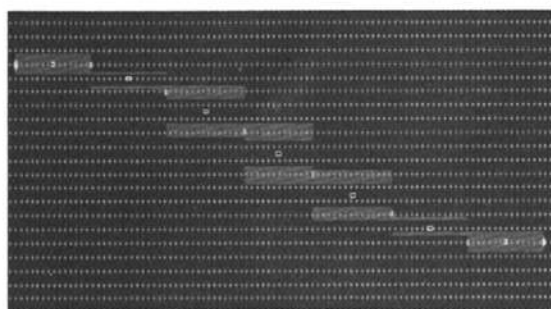


图5 开路耦合微带滤波器的版图

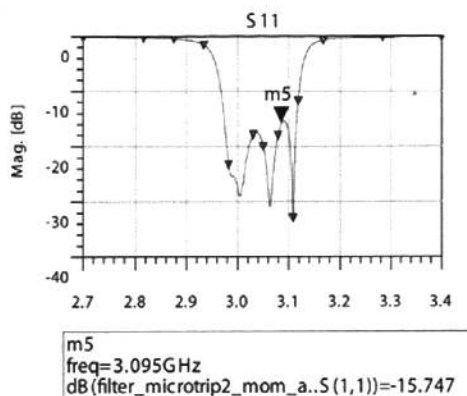
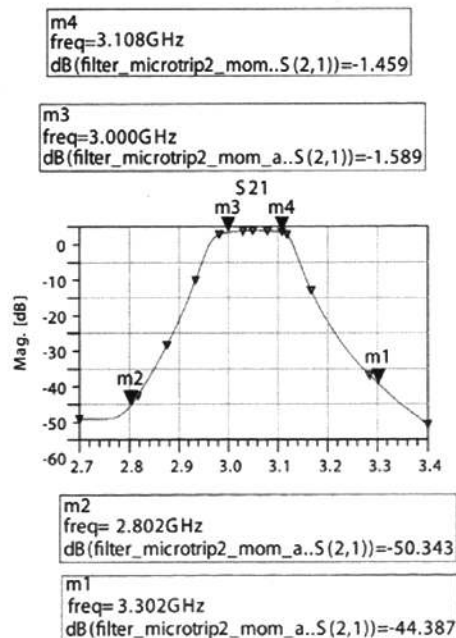


图6 版图仿真结果

从原理图 3 和版图 5 的仿真结果图 4 和图 6 知道在滤波器的带通损耗均小于 2dB, 阻带的衰减也都满足设计指标。比较图 4 与图 6 看出在考虑到实际因素对滤波器性能的影响后滤波器的通带损耗和反射损耗均有所增大, 但最终损耗满足设计损耗的指标。

4 结论

本文对开路边缘平行耦合微带带通滤波器的滤波特性进行了分析, 并使用微波仿真软件 ADS 对其进行了仿真。通过对比分析得知, 相对于传统设计方法, 克服了此类滤波器的带宽偏离指定带宽, 通带损耗过大和在截止频率附近通带内电压驻波比波动较大的缺点。利用 ADS 的优化功能还可以避免传统设计此类滤波器的繁杂的查表计算过程、简化设计周期、提高设计精度, 进而提高原材料的利用率、避免耗材的浪费、降低成本。

参考文献

- [1] Nestic D, Nestic A. Bandgap microstrip filter with sinusoidal variation of the characteristic impedance and without etching in the ground plane[J]. Microwave and Optical Technology. Lett., 2001, 29(6): 418-420.
- [2] Ahn Dal, Park Jun-Seok, Kin Chl-Soo, et al. A design of the low-pass filter using the novel microwave strip defected ground structure [J]. IEEE Transactions On Microwave Theory And Techniques. 2001, 49 (1): 86-93.

(下转 109 页)

实际项目的实验可以发现,由于 Spring 本身对代码良好的封装性,在以后产品功能变更的时候极大的降低了框架的修改复杂度,使得自动化测试系统的寿命得以延长,且 Spring 不但应用于普通软件产品的开发,其通过对测试的辅助也可以达到增强整个软件产品稳定性和高效性的作用。最重要的是引入了 Spring 的自动化测试框架其本身也达到了软件系统所要求的代码的良好的封装以及松耦合等特性,这使得系统在应对未来的功能上的更改甚至于其他项目上都能发挥其作用,这能大大降低公司的人力资源成本和无用的功能重复开发。

参考文献

- [1] 计文柯. Spring 技术内幕 - 深入解析 Spring 结构与设计原理 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2010.
- [2] 刘京华. Java web 整合开发王者归来 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2010.
- [3] 陈能技. 软件自动化测试成功之道: 典型工具、脚本开发、测试框架和项目实战 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2010.

出版社, 2010.

- [4] 王东刚. 软件测试与 junit 实践 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2004.
- [5] 刘双悦, 王培东. 一种基于改进遗传算法的面向路径测试用例自动生成方法 [J]. 自动化技术与应用, 2010(03).
- [6] 王小银. 软件自动化测试的研究与实现 [J]. 电脑知识与技术, 2010(25).
- [7] 谢经纬, 吴昊. 探索性方法在面向故障软件测试中的应用 [J]. 微计算机信息, 2010(25).
- [8] Seth Ladd. 深入解析 Spring MVC 与 Web Flow [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2008.



作者简介:

蔡昱星, 南京邮电大学硕士研究生, 主要研究方向为智能仪器与测试系统。

E-mail: yukim.2008@163.com

(上接 88 页)

- [3] 陈伟, 张绍洲. 慢波结构 SIR 双频带通滤波器设计 [J]. 电子测试, 2010 (6) 66-70.
- [4] 清华大学《微带电路》编写组. 微带电路 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 1976: 130-132.
- [5] Reinhold Ludwig and Pavel Bretchko. 射频电路设计——理论与应用 [M]. 王子宇译. 北京: 电子工业出版社, 2002: 169-173.
- [6] 甘本被, 吴万春. 现代微波滤波器的结构与设计 [M]. 北京: 科学技术出版社, 1973: 198-207.
- [7] 梁荣江, 曹栋. 基于 ADS 设计平行耦合微带线带通滤波器 [J]. 河海大学常州分校学报, 2007, 21 (4) 79-82.

- [8] 苏永川, 何子述, 高瑜翔, 等. L 波段发卡型微带滤波器的设计 [J]. 电子科技大学学报, 2004, 33 (1): 16-18.
- [9] 黄玉兰. ADS 射频电路设计基础与典型应用 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2010: 295-313.



作者简介:

张金, 硕士研究生电磁场与微波技术专业。研究方向为微波滤波器, RFID 技术。E-mail: zhangjin0655@126.com,

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/>