

文章编号：1673-9965(2008)01-040-04

左手材料微波带通滤波器的滤波特性分析*

顾林喻¹, 韩俊霞¹, 黄伟钢², 梁工英²

(1. 西安工业大学 材料与化工学院, 西安 710032; 2. 西安交通大学 理学院, 西安 710049)

摘要：研究了多层复合左右手传输线结构微波滤波器的滤波特性。用有限域差分法对结构滤波特性进行了数值模拟和优化, 结果表明结构的几何参数得到优化匹配时, 在带内衰减-10 dB 处左手指带宽 0.46 GHz, 插入损耗-0.38 dB, 带内没有波纹等滤波特性。表明结构的几何参数得到优化匹配时, 可得到通带带宽更宽, 插入损耗降低, 带内平坦度提高的滤波特性。

关键词：多层复合左右手传输线; 有限域差分法; 几何参数; 滤波特性

中图号: TN103

文献标志码: A

左手材料的概念最初是在 1968 年被 Veselage 提出, 在理论上研究了介电常数和磁导率为负值的电磁性质。之后, Caloz, Itoh 等人提出一种等效电路的方法, 使复合左/右手材料的概念延伸, 把实际中左手结构中出现的右手寄生效应考虑进去, 广泛应用于微波领域。为了满足在移动通讯系统中小型化元器件要求, 文献[1]提出了多层(ML)复合左右手(CRLH)传输线(TL)结构由垂直于基板平面的左手元件垂直堆叠而成, 波的传播方向是沿着垂直于基板平面传播的, 减小了面向小型化的微波器件的尺寸^[2]。本文对多层复波特性进行数值模拟和优化, 结构的几何参数进行优化匹配后, 在带内损耗-10 dB 处能实现通带带宽 0.46 GHz, 插入损耗-0.38 dB, 带内没有波纹的滤波特性。

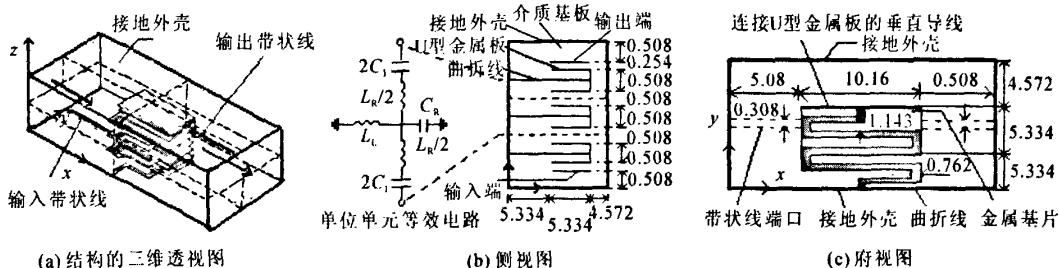


图 1 多层复合左右手传输线路结构模型

Fig. 1 Structure model of ML CRLH TL

* 收稿日期: 2007-09-03

作者简介: 顾林喻(1957-), 女, 西安工业大学教授, 主要研究方向为表面工程。E-Mail: gulinyu@126.com

了一个串联的右手电感 L_R 和一个右手并联电容 C_R , 相应的等效电路如图 2 所示。

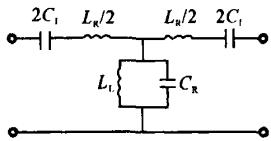


图 2 左手单元等效电路

Fig. 2 Equivalent circuit of left hand unit

2 滤波特性仿真计算及优化

求解电磁场问题的有限时域差分法(FDTD)是基于在时间和空间域中对 Maxwell 旋度方程的有限差分离散化——以具有两阶精度的中心有限差分格式近似地代替原来微分方程。利用 FDTD 方法研究了介质基板厚度 h , 曲折线长度 l 和 U 型金属基片面积 A 等结构参数对结构的通带带宽, 插入损耗, 带内波动等滤波特性的影响。

2.1 介质基板厚度

设计空介质基板的面积 $15.24 \text{ mm} \times 20.32 \text{ mm}$, 厚度分别为 0.508 mm , 0.635 mm , 0.762 mm , 对相应传输的频率特性进行仿真计算如图 3 所示。基板厚度的增加降低了带内波动, 基板增厚 0.254 mm 时, 通带最大与最小波纹之差由 2.7 dB 降到 1.8 dB , 因为结构中空基板起了隔离的作用, 基板的增厚使周期重复单元之间的耦合效应减弱^[3]。

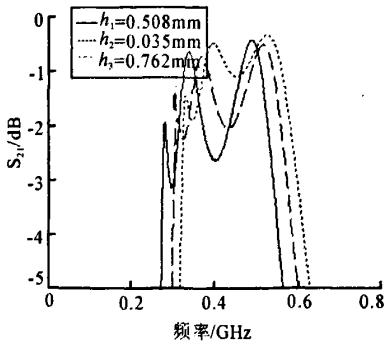


图 3 不同厚度介质基板的传输特性

Fig. 3 Transfer characteristic of different thick dielectric

2.2 曲折线的总长度

调整结构中曲折线的总长度 l 得到一系列结构, 数值模拟了相应的传输频率特性, 滤波特性的通带带宽随左手材料结构中曲折线长度的变化的关系如图 4 所示。

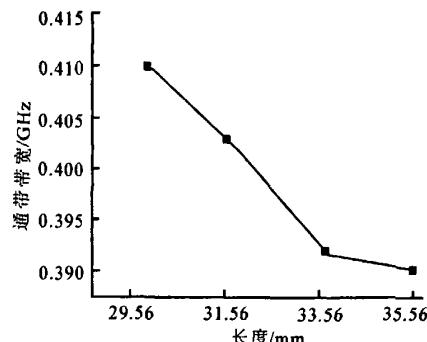


图 4 曲线长度与通带带宽

Fig. 4 Meander line length and pass band width

当折线由 35.56 mm 以 2 mm 为步长减少到 29.56 mm 时, 最小边频率 0.25879 GHz 增大到 0.28435 GHz , 带宽由 0.39 增加到 0.41 GHz , 左手通带的最小边界频率和最大边界频率^[4]分别为

$$\omega_{L_L} = \frac{1}{2\sqrt{C_L L_L}} \quad (1)$$

$$\omega_{R_1} = \min\left(\frac{1}{\sqrt{L_R C_L}}, \frac{1}{\sqrt{L_L C_R}}\right) \quad (2)$$

其中 ω_{C_L} 和 ω_{R_1} 相对应的分别是左手通带的最小边界频率和最大边界频率, 由于

$$\omega_{C_L} \propto l \quad (3)$$

故 $\omega_{C_L} \propto 1/l$ $\quad (4)$

根据式(2)和式(3)可知, 通带的最大边界频率也向高频移动且移动幅度较大致使通带变宽; 由式(4)可知, 随着长度的减小左手通带的最小边界频率增大, 导致通带向高频移动。

2.3 U型平行板金属基片的面积

U型平行板金属基片的面积 A 由 $10.16 \text{ mm} \times 5.334 \text{ mm}$ 减小到 $9.78 \text{ mm} \times 5.334 \text{ mm}$, U型金属板基片的面积变化对滤波器的带宽的影响如图 5 所示, 当金属板的面积减小 3.75% 时, 带宽由 0.39 GHz 增加 0.43 GHz , 变化了 10.3% 。带内插入损耗与金属板面积的关系如图 6 所示, 随着金属板基片面积的减小损耗值由 -0.45 dB 增大到 -0.33 dB , 可以得出面积的减少插入损耗降低。

根据上述结构参数与滤波特性的关系, 对表 1 中结构参数进行优化分析, 同时折线形状改进成 S 状避免了折角处复杂的电磁场^[5], 减少能量损耗, 如图 7 所示。优化后的结构参数见表 2, 结构参数优化后整体体积由 $20.32 \text{ mm} \times 15.24 \text{ mm} \times 4.064 \text{ mm}$ 减小到 $20.32 \text{ mm} \times 15.24 \text{ mm} \times 3.068 \text{ mm}$, 体积缩小 7.5% 提高了器件的紧凑性。

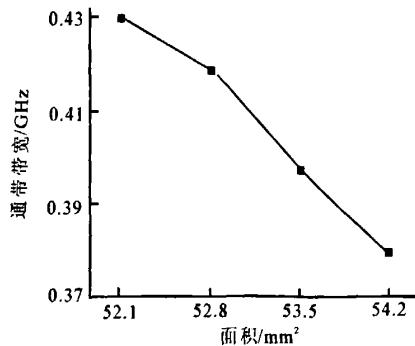


图5 金属基片面积与带宽的关系

Fig. 5 Metal patches area and passband width

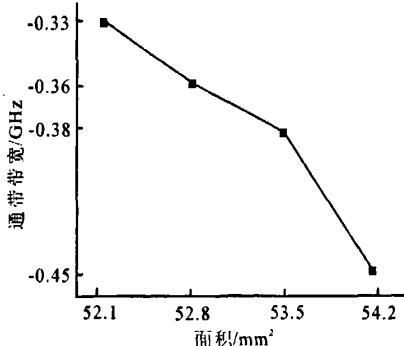


图6 金属基板面积与插入损耗的关系

Fig. 6 Metal patches area and insert loss

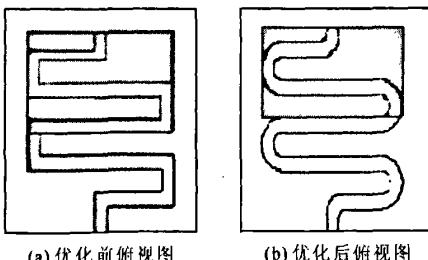


图7 结构对比

Fig. 7 Structure comparison

表1 基本参数表

Tab. 1 Basic parameters table

参数	l /mm	A /mm ²	h /mm
初值	35.56	10.16×5.334	0.508

注： h 代表 U 形平行板间的距离

表2 优化的结构参数

Tab. 2 Structure parameters of optimization

参数	l /mm	A /mm ²	h /mm
初值	32.27	9.02×5.08	0.254

结构优化前和优化后的传输特性如图8所示，在带内衰减-10 dB 处优化前的结构存在 0.26~

0.65 GHz 的通带，中心频率大约为 0.4 GHz，带内有大的波纹起伏和一定的插入损耗；优化后通带位置在 0.36~0.82 GHz，中心频率为 0.6 GHz，通带内波纹起伏较小，插入损耗降低，带宽增宽。从表3可知，结构参数进行优化后，结构的带宽变宽 15%，插入损耗降低 12.7%，带内波动降低 39.3%，可见结构参数进行优化后，结构的通带带宽，插入损耗，带内波动等滤波特性得到了明显的改善。

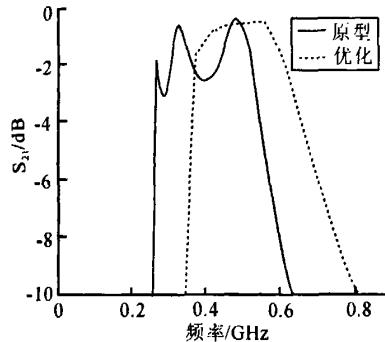


图8 优化前和优化后传输特性比较

Fig. 8 Transfer characteristic comparison between before and after optimization

表3 优化的滤波特性参数

Tab. 3 Filter characteristic parameter of optimization

	通带带宽/GHz	插入损耗/dB	带内波动/dB
优化前	0.39	-0.42	2.8
优化后	0.46	-0.38	1.7

如图9所示，虚线表示的是计算机仿真软件得出的 S_{21} 曲线^[6]，实线表示的是实验室测定的 S_{21} 曲线。我们可以看到两线走向基本相同。都在 -10 dB 衰减处出现左手通带，带宽也基本相同大约为 0.7 GHz，带内插入损耗基本在 -1.43 dB 左右，误差较小，但两者之间通带位置有较大的不一致性，这

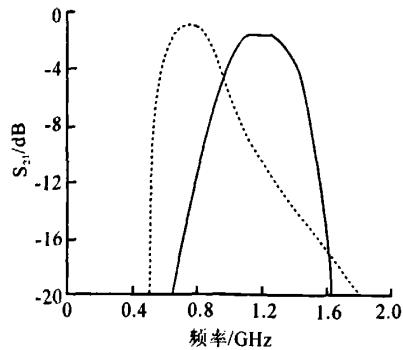


图9 测试结果与模拟结果对比

Fig. 9 Comparison between measured result and simulated result

是由于实验样品是手工制作,层与层之间粘结不紧密存在空隙,以及在垂直方向上层之间的错位导致性能不能很好的体现,尽管存在误差,但还是足以证明结构设计的正确性,如果应用于实际中的话,这些误差可以随着制作工艺水平的提高尽可能的减小。

3 结论

根据对多层复合左右手传输线结构微带通滤波器的介质基板厚度,曲折线长度 l 和U金属板基片面积A等结构参数对通带带宽,插入损耗,带内波动等滤波特性的影响。对结构参数进行优化后,结构体积 $20.32\text{ mm} \times 15.24\text{ mm} \times 3.068\text{ mm}$,在带内损耗 -10 dB 处实现通带带宽 0.46 GHz ,插入损耗 -0.38 dB ,带内没有波纹的滤波特性,表明结构参数的优化提高了结构的紧凑性,使滤波特性中通带带宽加宽,插入损耗降低,带内平坦度提高,为结构进一步精确设计提供了理论依据。

参考文献:

- [1] Horii Y, Caloz C, Itoh C. Super-compact Multilayered Left-handed Transmission Line and Diplexer Application[J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2005, 53(4):1527.
- [2] Okabe H, Caloz C, Itoh C. A Compact Enhanced-bandwidth Hybrid Ring Using a Left-handed Transmission Line[J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2004, 52(3):798.
- [3] Horii Y, Caloz C, Itoh T. Vertical Multi-layered Implementation of a Purely left-handed Transmission Line for Super-compact and Dual Band Devices[J]. in Europe. Microwave Conference. Amsterdam. The Netherlands, 2004:471.
- [4] Guy J S, Dong H Y, Bruce K. Equivalent Circuit Design of Multilayer Parallel Coupled Line Filter[J]. Radio and Wireless Conference, 2004:18(11), 239.
- [5] 甘本波,吴万春.现代滤波器结构与设计[M].北京:科学出版社,1973.
GAN Ben-bo, WU Wan-chun. Structure and Design of Modern Filter[M]. Beijing: Science Press, 1973.
(in Chinese)
- [6] 牛忠霞,雷雪,张德伟.微波技术与天线[M].北京:国防工业出版社,2005.
NIU Zhong-xia, LEI Xue, ZHANG De-wei. Microwave Technique and Antenna[M]. Beijing: National Defence Industrial Publishing House, 2005.
(in Chinese)

Filter Characteristic Analysis of Materials Microwave Band-Pass Filter by Left-Handed

GU Lin-yu¹, HAN Jun-xia¹, HUANG Wei-gang², LIANG Gong-ying²

(1. School of Materials and Chemical Engineering, Xi'an Technological University, Xi'an 710032, China;

2. School of Science, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: To study the filter characteristic of the microwave band-pass filter by multilayered (ML) composite-right/left-handed (CRLH) transmission line (TL) structure, the structural filter characteristic was optimized, and numerical simulations were made by the finite-difference time-domain (FDTD) method. The results showed that: When the structural design parameter were well matched, as in-bandpass loss was -10 dB , passband width became 0.46 GHz , if insertloss is -0.38 dB , wave filter characteristics were not showed inside band width. This means that the better design parameters were set the better filter characteristics such as broader pass band, lower insert loss, better flatness could get.

Key words: multilayered compact right and left handed transmission line(ML CRLH TL); finite difference time domain method(FDTD); design parameter; filter characteristic

(责任编辑、校对 张立新)

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，致力于专注于微波、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/>

专注于微波、射频、天线设计人才的培养

易迪拓培训

官方网址: <http://www.edatop.com>

淘宝网店: <http://shop36920890.taobao.com>