

一种新型交指-发夹型多层带状线带通滤波器

牟亚妮¹, 马哲旺^{1,2}

(1. 上海大学通信工程系, 上海 200072; 2. Saitama University, Saitama, Japan)

摘 要: 提出了一种新型交指-发夹型多层带状线带通滤波器结构, 并设计加工了一个中心频率为 2.25 GHz, 分数带宽为 31% 的四级带通滤波器, 测试值与仿真值吻合得较好。通过仿真结果比较以及实验结果证明, 与传统交指型带通滤波器相比, 新型交指-发夹型滤波器不但体积减小了约一半, 而且能够方便地引入交叉耦合, 从而在阻带内产生传输零点, 很好地改善滤波器的频率选择特性。

关键词: 交指型滤波器; 发夹型滤波器; 带状线; 多层结构; 交叉耦合; 传输零点

中图分类号: TN713 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2006) 12-2238-04

A Novel Interdigital-Hairpin Bandpass Filter Using Multilayered Stripline Structure

MU Ya-ni¹, MA Zhe-wang^{1,2}

(1. Department of Communication Engineering, Shanghai University, Shanghai 200072, China; 2. Saitama University, Saitama, Japan)

Abstract: A novel interdigital-hairpin bandpass filter using multilayered stripline structure is proposed. The new structure can not only reduce the size of the filter, but also provide transmission zeros to improve its stopband characteristics. As an example, a four-pole bandpass filter centered at 2.25 GHz with a fractional bandwidth of 31% using the proposed structure is designed, fabricated and measured. The simulated and experimental results show an excellent agreement.

Key words: interdigital filter; hairpin filter; stripline; multilayered structure; cross coupling; transmission zero

1 引言

近年来, 随着移动通信的迅速发展, 研制高性能、小型化的微波滤波器逐渐成为一项紧迫的技术课题和市场需求, 这使得传统微波滤波器结构与设计方法面临着新的挑战。交指型带通滤波器是微波滤波器的传统结构之一, 它具有分数带宽适应范围大、体积小、重量轻、结构紧凑、成本低等优点^[1~4]。然而, 在实际设计过程中发现, 在射频和微波的一些低频段, 如 VHF 频段、UHF 频段和 L 频段等, 用交指型滤波器设计的带通滤波器尺寸相对较大, 仍然无法满足当前小型化的需求。针对这一现状, 本文对传统交指型滤波器结构进行了一些改进, 提出了一种结构更加紧凑、性能更加优越的新型带通滤波器结构。

新型滤波器将传统交指型滤波器^[1]中的每一个四分之一波长谐振器折成发夹型, 并将它们分布在不同的介质层上, 这样就使滤波器体积减小了一半。特别值得指出的是, 新型滤波器采用了多层结构, 这样不但可使滤波器的结构更加紧凑, 而且还形成了一个多维的设计空间, 可以很容易地在不同介质层之间引入交叉耦合, 从而在阻带内产生传输零点, 极大地改善滤波器的频率选择特性。另外, 新型滤波器输入输出采用抽头式结构, 而非传统的耦合结构^[2], 这也进一步降低了对电

路加工精度的要求, 减小了滤波器的体积和成本。因此, 本文提出的新型滤波器不但体积远远小于传统滤波器, 而且性能也更加优越。

2 新型滤波器结构

图 1 所示为传统四级交指型带状线带通滤波器。它由四个一端开路、一端短路, 长约四分之一波长的谐振器相互交错组成, 输入端与输出端分别采用抽头形式。为了进一步减小滤波器的体积, 本设计对此传统结构进行了一些改进, 提出了一种新型四级交指-发夹型多层带状线带通滤波器, 如图 2 所

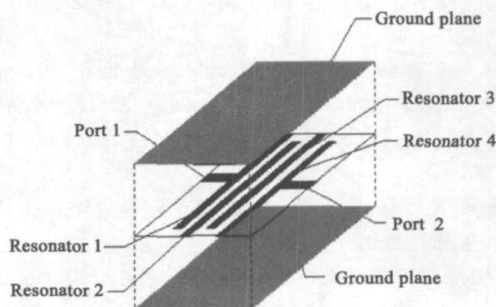


图 1 传统四级交指型带状线带通滤波器

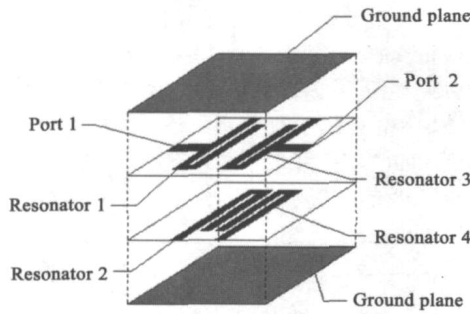


图 2 新型四级交指-发夹型多层带状线带通滤波器

示. 它由三层介质组成. 四分之一波长谐振器分别分布在第二层介质的上下两个面上, 输入端与输出端仍然采用抽头形式. 整个滤波器密闭在一个理想金属腔内. 从图中可以看到, 每个四分之一波长谐振器都折成了“U”字形, 这样至少可使滤波器的体积减小约一半. 值得注意的是, 折后的新型谐振器有点类似于传统发夹型谐振器^[3]. 图 3 分别列出了传统的交指型谐振器、发夹型谐振器和本文提出的新型交指-发夹型谐振器. 由比较可知, 交指-发夹型谐振器结构最紧凑, 它的体积是三者中最小的. 新型谐振器结合了交指型谐振器和发夹型谐振器的各自特点, 因此, 本文将它称为交指-发夹型谐振器. 此外, 考虑到曲折后的谐振器间耦合量比原来减少, 故新型滤波器还采用了多层结构设计. 在传统的交指型滤波器结构中, 如图 1 所示, 各谐振器被放置在同一平面上, 谐振器间依靠金属带侧面靠近来实现耦合. 而在本文提出的新型多层滤波器结构中, 如图 2 所示, 谐振器 1, 4 和谐振器 2, 3 分别被放置在不同的两个平面上, 上下谐振器间可以做到金属带宽面与宽面相对, 这样不但可以增大谐振器间的耦合量, 而且也可以使滤波器的结构更加紧凑. 同时, 利用多层结构设计的灵活性, 可以非常方便地在不相邻的两个谐振器间引入交叉耦合, 并可以通过调节谐振器间距来改变交叉耦合的强弱, 产生位置可调的传输零点. 例如, 图 2 中所示的新型四级交指-发夹型多层带状线带通滤波器结构就可以很容易地在谐振器 1 和 4 之间引入交叉耦合, 从而在通带的两侧分别产生一个传输零点, 使滤波器的频率选择特性进一步改善.

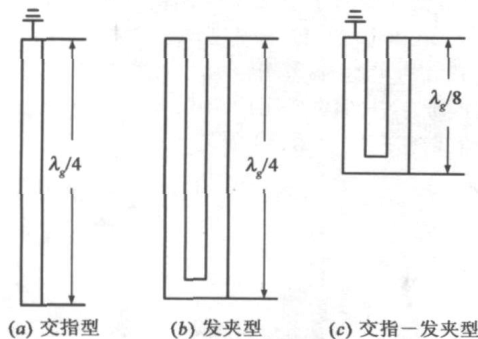


图 3 三种谐振器的比较

3 设计实例

本文将分别采用图 1 和图 2 所示的传统交指型滤波器结构和新型交指-发夹型滤波器结构, 设计一个四级带通滤波器.

器. 它的中心频率 $f_0 = 2.25 \text{ GHz}$, 相对带宽 $\text{FBW} = 31\%$, 带内波纹为 0.01 dB . 所选用的材料为基板厚度为 0.8 mm , 相对介电常数为 2.55 的带状线.

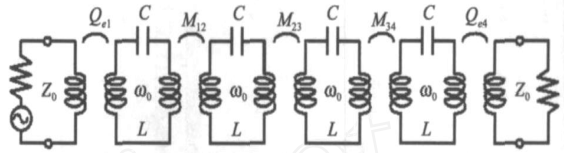


图 4 切比雪夫四级带通滤波器的等效电路图

图 4 表示在不考虑交叉耦合时, 切比雪夫四级带通滤波器的等效电路图. Q_{e1} 和 Q_{e4} 分别为输入和输出端的外部 Q 值, M_{ij} 为谐振器间的耦合系数. 在不考虑交叉耦合的情况下, 由切比雪夫低通原型得到所要设计的滤波器的耦合矩阵 M 与外部 Q 值 Q_e 分别为^[4]:

$$M = \begin{bmatrix} 0 & 0.2585 & 0 & 0 \\ 0.2585 & 0 & 0.2046 & 0 \\ 0 & 0.2046 & 0 & 0.2585 \\ 0 & 0 & 0.2585 & 0 \end{bmatrix}$$

$$Q_{e1} = Q_{e4} = 3.564$$

为了设计与加工的方便, 本文将滤波器设计成左右对称的结构, 即 $M_{12} = M_{34}$, $Q_{e1} = Q_{e4}$.

采用文献[4]中滤波器的设计方法, 进一步用电磁场仿真软件 Sonnet em 计算滤波器的物理尺寸与电路参数的关系. 图 5 (a) 和 (b) 分别表示由计算得到的耦合系数 M 与谐振器间距 S 和 D 的关系曲线, 由此可确定参数 S 和 D 的值. 我们将输入输出抽头的线宽定为 1.2 mm 的 50Ω 传输线, 通过改变抽

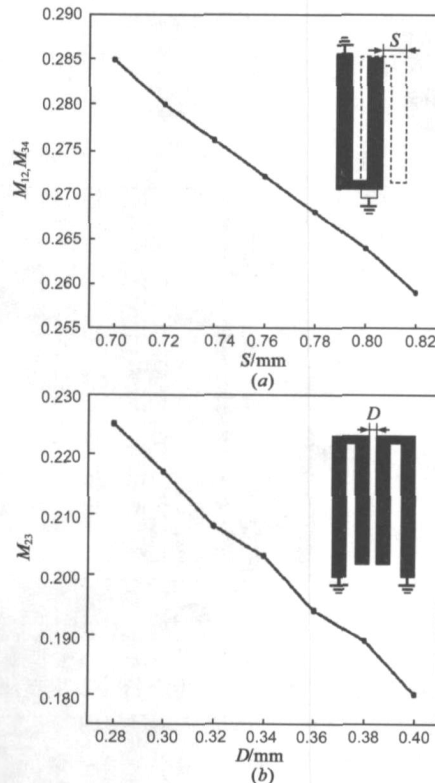


图 5 耦合系数 M 与谐振器间距 S 、 D 的关系

头的位置 L_t 可控制外部 Q 值 Q_e . 图 6 表示计算得到的 Q_e 与 L_t 的关系曲线, 由此可确定 L_t 的值.

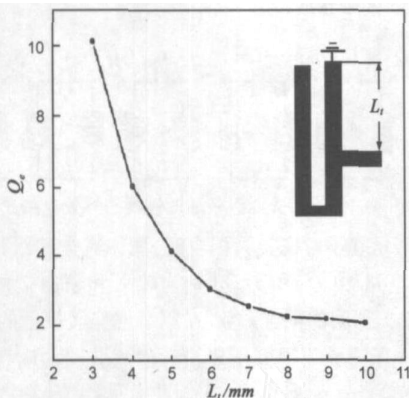


图 6 外部 Q 值 Q_e 与抽头位置 L_t 的关系

最终设计完成的新型滤波器的尺寸为 $10 \times 13\text{mm}^2$. 图 7(a) 和 (b) 分别给出了上下两层谐振器各部分的尺寸(单位: mm).

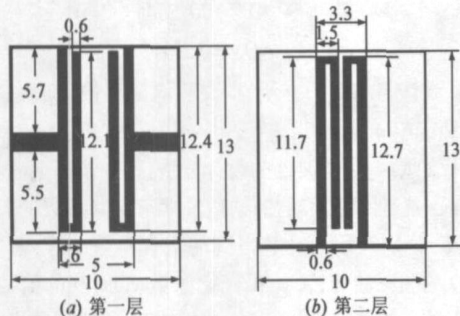


图 7 新型滤波器的电路尺寸

利用相同的方法设计完成的传统四级交指型带通滤波器的最终尺寸为 $11 \times 22.5\text{mm}^2$, 图 8 给出了传统滤波器各部分的尺寸(单位: mm).

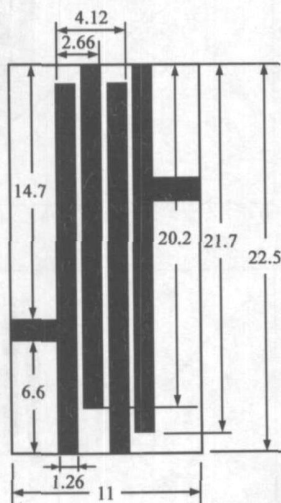


图 8 传统滤波器的电路尺寸

由最终电路尺寸对比可见, 新型交指 - 发夹型滤波器的尺寸明显减小, 仅为传统交指型滤波器尺寸的一半左右.

4 仿真与实验结果分析

利用电磁场仿真软件 Sonnet em 可得到上文设计的新型

四级交指 - 发夹型带通滤波器和传统四级交指型带通滤波器的频率响应仿真曲线, 图 9 将它们进行了比较. 从图中可以清楚地看到, 由于引入了交叉耦合, 新型滤波器的频率响应仿真曲线在 1.2GHz 和 3.7GHz 处分别出现一个传输零点, 且最大衰减可达到 70dB 以上. 由此可见, 新型滤波器在减小体积的同时也获得了比传统滤波器更佳的频率选择特性.

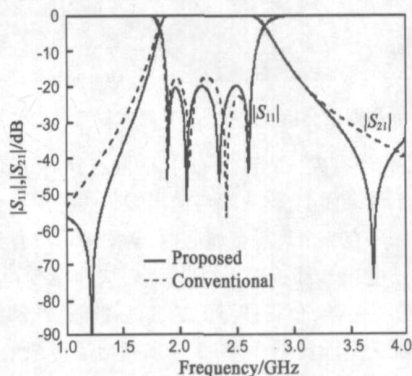


图 9 新型滤波器与传统滤波器的仿真结果比较

图 10 为新型四级带通滤波器的测试结果与仿真结果的比较曲线. 由图 10 可见, 测试结果与仿真结果吻合得非常好, 传输零点的位置也很接近. 测试结果表明, 滤波器通带内的插入损耗小于 1.0dB, 这是由于金属损耗所造成的. 在阻带内由

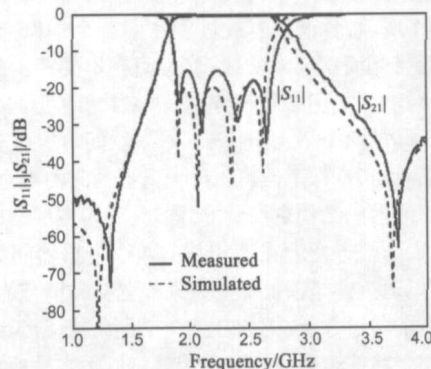


图 10 新型四级带通滤波器仿真值与测试值的比较

于产生了两个传输零点, 使滤波器的阻带特性大大地改善. 可以看到, 滤波器在频率小于 1.48GHz 和大于 3.64GHz 处的衰减可达到 40dB 以上. 图 11 为新型四级交指 - 发夹型带通滤波器加工完成的实物图. 虽然在本文加工测试中, 滤波器被放置在金属屏蔽盒中, 但在实际应用中, 完全可以将带状线结构的滤波器实现在多层 PCB 内, 而不需要屏蔽盒, 从而更便于

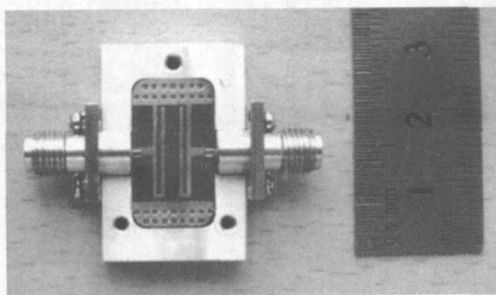


图 11 新型四级交指 - 发夹型带通滤波器的实物图

集成在高密度的现代通信系统中,如手机、无线互联网终端等设备中。

5 结论

本文提出了一种新型交指-发夹型多层带状线带通滤波器,并设计加工了一个四级带通滤波器,仿真结果和实验结果吻合良好。新型滤波器在有效减小滤波器体积的同时,由于采用多层结构引入交叉耦合在通带两侧各产生一个传输零点,获得了更加优越的频率选择特性。新型滤波器无论在体积上、还是在性能上都远远优于传统滤波器,因此可望广泛应用于多种移动通信系统中。

参考文献:

- [1] E G Cristal. Tapped-line coupled transmission lines with applications to interdigital and combline filters [J]. IEEE Trans Microwave Theory Tech, 1975, 23: 1007 - 1012.
- [2] Joseph S WONG. Microstrip tapped-line filter design [J]. IEEE Trans Microwave Theory Tech, 1979, 27: 44 - 50.
- [3] Yingjie Di, Peter Gardner, Jiafeng Zhou. Multiple-coupled mi-

crostrip hairpin-resonator filter [J]. IEEE Microwave and Wireless Components Lett, 2003, 13(12): 532 - 534.

- [4] J S Hong, M J Lancaster. Microstrip Filters for RF/Microwave Applications [M]. New York: John Wiley & Sons, USA, 2001. 235 - 272.

作者简介:

牟亚妮 女, 1980 年生于上海, 2003 年毕业于上海大学通信与信息工程学院电子通信专业, 获工学学士学位; 同年进入上海大学通信与信息工程学院电磁场与微波技术专业攻读硕士学位, 目前主要从事微波电路, 特别是微波滤波器小型化方面的研究。

E-mail: crystal_1126@163.com

马哲旺 男, 1964 年生于安徽安庆, 1986、1989 年先后于中国科学技术大学获学士、硕士学位, 1995 获日本国立电气通信大学博士学位, 1997 年起先后在日本国立电气通信大学和国立筑波大学任副教授等职。2003 任上海大学教授, 多年来一直从事计算电磁学、微波毫米波电路特别是微波毫米波滤波器的研究与开发, 以及微波毫米波介质材料和高温超导测量方法的研究。历任 IEEE Transactions on MTT Editorial Board Member, 日本电子信息通信学会微波专业委员会委员, 日本微波仿真专业委员会委员, 2002 APMC 以及 2006 APMC Steering Committee 委员等职。