

一种新型小型化窄带腔体滤波器的设计

刘元昆,杨青慧,张怀武

(电子科技大学 电子薄膜与集成器件国家重点实验室,四川 成都 610054)

摘要:该文设计实现了一种高抑制、小型化结构的窄带腔体滤波器,利用加载电容的原理,在盖板一侧添加矩形金属柱,增大了耦合电容,缩小了相邻谐振腔之间的距离,从而实现了滤波器的小型化。通过 CST 仿真,设计了中心频率为 7.325 GHz、带宽为 0.25 GHz 的窄带腔体滤波器。最终经过实物测试表明,频带内驻波比良好,带外抑制高,实物体积减小。

关键词:小型化;高抑制;窄带滤波器;加载电容;驻波比

中图分类号:TN713

文献标识码:A

DOI:10.11977/j.issn.1004-2474.2018.06.001

Design of a Novel Miniature Narrowband Cavity Filter

LIU Yuankun, YANG Qinghui, ZHANG Huaiwu

(State Key Lab. of Electronic Thin Films and Integrated Devices, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China)

Abstract: A narrowband cavity filter with high suppression and miniature structure is designed and realized. By using the principle of loading capacitance, a rectangular metal column is added to one side of the cover plate, which increases the coupling capacitance and reduces the distance between adjacent resonant cavities, thereby realizing miniaturization of the filter. By CST simulation, a narrowband cavity filter with a center frequency of 7.325 GHz and a bandwidth of 0.25 GHz is designed. The final physical test shows that the standing wave ratio in the band is good, the out-of-band rejection is high, and the physical size is also significantly reduced.

Key words: miniaturization; high rejection; narrowband filter; loading capacitor; standing wave ratio

0 引言

随着现代微波技术的发展,即要求滤波器等微波无源器件体积更小,又要求其性能更佳。因此,在小型化的基础上,还要求提高滤波器的性能。如今,无线电通信频率资源日益紧张,分配到各类通信系统的频率间隔必然越来越窄,这要求滤波器具有高带外抑制,以提高其频率选择能力;通带内低插损,以减少有用信号的传输损耗,提高灵敏度;同时保持一个宽的阻带抑制杂散信号。因此需要设计小尺寸、高性能的滤波器^[1]。

1 滤波器设计原理

1.1 电容加载原理

电容加载是指在微波谐振腔内加载适当的等效电容,以减小原来谐振腔的固有谐振频率。微波谐

振腔的种类很多,但大多数都能等效为传输线谐振器。传输线谐振器由不同的电长度 TEM(一种电场和磁场垂直于传播方向平面上的电磁波)传输线和端接类型构成。传输线谐振器的结构形式多样,常采用短路 $\lambda/4$ (λ 为波长)线型、 $\lambda/2$ 线型和开路 $\lambda/2$ 线型。因为传输线谐振器引入了波导波长的概念,所以,它不仅适用于一般 TEM 波传输线滤波器,也适用于腔体滤波器^[2]。

1.2 切比雪夫滤波器

切比雪夫滤波器是在通带或阻带上频率响应幅度等波纹波动的滤波器。根据频率响应曲线波动位置不同可分为两种:

1) I 型切比雪夫滤波器。在通带(或称“通频带”)上频率响应幅度等波纹波动的滤波器称为“I 型切比雪夫滤波器”^[3]。“ n ”阶第一类切比雪夫滤波

收稿日期:2018-01-04

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61021061,51272036 和 51002021,61131005);国际合作项目(2012DFR10730,2013HH0003 和 2012CB933104);111 项目(B13042)

作者简介:刘元昆(1993-),男,黑龙江尚志人,硕士生,主要从事微波器件设计的研究。通信作者:杨青慧(1979-),教授,主要从事液相外延及微波毫米波器件研究。

器的幅度与频率的关系为

$$G_n(\omega) = |H_n(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1 + \varepsilon^2 T_n^2\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)}} \quad (1)$$

式中: $|H_n(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1 + \varepsilon^2}}$ 为滤波器在截止频率 ω_0 的放大率; $|\varepsilon| < 1$ 为通带波动系数; $T_n^2\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)$ 为 n 阶切比雪夫多项式; ω 为通带频率。

2) II型切比雪夫滤波器。在阻带(或称“阻频带”)上频率响应幅度等波纹波动的滤波器称为“II型切比雪夫滤波器”,也称“倒数切比雪夫滤波器”。但其频率截止速度不如I型快,且需要用更多的电子元件。II型切比雪夫滤波器在通频带内幅度无波动,只在阻频带内有幅度波动^[4]。

II型切比雪夫滤波器的转移函数为

$$|H(\omega)|^2 = \frac{1}{1 + \frac{1}{\varepsilon^2 T_n^2(\omega_0/\omega)}} \quad (2)$$

$$\varepsilon = \frac{1}{\sqrt{10^{0.1\gamma} - 1}} \quad (3)$$

式中 γ 为阻频带的衰减度。

2 新型小型化腔体滤波器的设计

2.1 设计步骤

1) 首先利用 Couplefil 计算机辅助设计软件确定仿真模型,腔体滤波器的阶数,以及腔与腔之间的耦合系数。

2) 利用 CST 软件建立腔体滤波器的仿真模型,设置好变量,进行仿真。

3) 调节相应的腔体滤波器的参数,使其仿真结果达到 Couplefil 设计的预期值,完成整个仿真设计。

2.2 设计实例

1) 滤波器仿真频率范围为 7.20~7.45 GHz,通带内插入损耗小于 2 dB,回波损耗大于 15 dB,带外在 4.8 GHz 处的抑制大于 100 dB。

2) 利用 Couplefil 计算机辅助设计软件,设置预期指标,设计的腔体阶数为 9 阶。计算各个腔的耦合系数(CBW),得到结果如下:

$$CBW_{1,2} = CBW_{8,9} = 0.225 \quad (4)$$

$$CBW_{2,3} = CBW_{7,8} = 0.153 \quad (5)$$

$$CBW_{3,4} = CBW_{6,7} = 0.140 \quad (6)$$

$$CBW_{4,5} = CBW_{5,6} = 0.137 \quad (7)$$

3 利用 CST 建立仿真模型

一般设计滤波器有两种基本结构:交趾结构和梳状结构。交趾结构滤波器结构紧凑,易加工,体积小,可靠性和一致性好,被广泛应用在微波系统中。在保证性能一致的前提下,与交趾结构相比,梳状结构更紧凑,体积更小,但在加工上超出了加工精度范围,难以实现^[5]。

针对背景技术存在的缺陷,设计了一种新型的滤波器结构,在盖板一侧生长矩形金属柱,置于谐振柱之间。这使得矩形金属柱与谐振柱之间产生加载电容,从而增大两个谐振柱之间的耦合电容,进而使两端谐振柱之间的间距适当增大(满足加工精度)的同时满足了耦合度要求。当腔体之间的耦合度达到要求,且构成该腔体的两个谐振柱之间的间距已能加工,则无需设置矩形金属柱,更大程度上实现小型化^[6-7]。

单腔耦合仿真模型如图 1 所示。滤波器单腔内介质为空气,通过仿真可得空气腔内谐振柱长为 2.5 mm,宽为 2.5 mm,高为 8.74 mm。调谐螺钉半径为 1 mm,长度为 2 mm。



图 1 单腔耦合仿真模型

图 2 为双腔耦合仿真模型。模型里为左、右排列的金属谐振柱,调谐螺钉和金属小方块。通过仿真优化使双腔耦合系数达到预期值,最终确定小方块位置高度为 4.35 mm,小方块长(c)为 1.96 mm,宽(a)为 1.13 mm,高(b)为 1.13 mm; x 、 y 、 z 分别代表谐振柱的长度、宽度和高度。

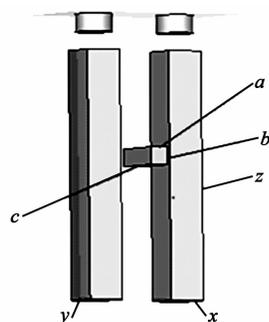


图 2 双腔耦合仿真模型

确定后的整体仿真模型如图 3 所示。

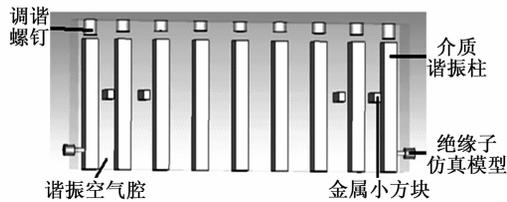


图 3 整体仿真模型

将以上所得参数模型进行总体仿真,设计的滤波器为 9 阶模型。小方块的位置在腔体的前两腔和后两腔,然后微调谐振柱间的间距及小方块的高度,调谐螺钉的长度及绝缘子模型的位置,最终得到仿真结果如图 4 所示。由图可见,通带范围为 7.16 ~ 7.50 GHz,回波损耗小于 -19 dB。

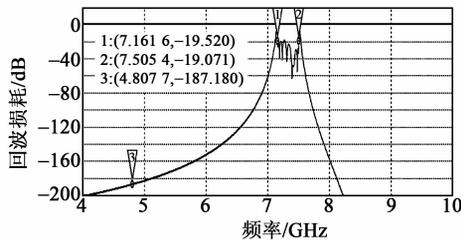


图 4 整体仿真结果图

利用调谐螺钉对装配好的腔体滤波器进行反复调节,使其达到我们理想的指标。利用 Agilent 矢量网络分析仪,得到最终的测试结果如图 5 所示。由图可看出,所得滤波器的中心频率为 7.325 GHz,带宽为 0.25 GHz,插入损耗绝对值小于 2.15 dB (略微偏大),这可能是由于机械加工中,谐振柱尺寸加工有误差,盖板未加工好,拧上螺钉后有缝隙。带内平坦度好,回波损耗大于 15 dB。最终的滤波器实物图如图 6 所示。

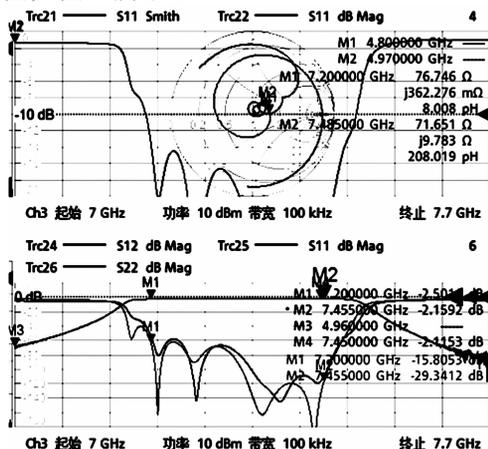


图 5 测试结果图

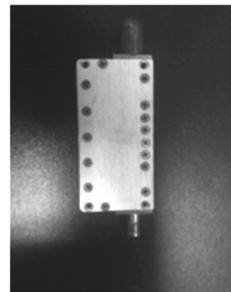


图 6 滤波器实物图

与未加矩形金属块的腔体滤波器相比,本文滤波器在体积上有明显减小,从而在保证高性能的前提下,实现了体积的小型化。效果对比图如图 7 所示。

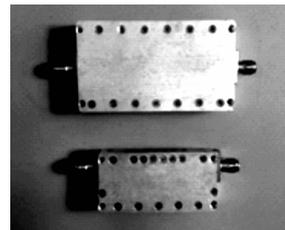


图 7 效果对比图

4 结束语

本文介绍了一种新型小型化腔体滤波器的设计方法,经过设计、仿真、加工、测试及调试过程,实现了一个中心频率为 7.325 GHz,带宽为 0.25 GHz 的窄带腔体滤波器。其满足设计需求,同时验证了本文滤波器的可行性。

参考文献:

- [1] 谢牟宽. 小型腔体滤波器设计技术研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2011.
- [2] 吴国建. 腔体滤波器的小型化研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2013.
- [3] 苏涛, 梁昌洪, 谢拥军. 广义 Chebyshev 最优滤波器设计[J]. 电子学报, 2003, 31(12A): 2018-2020.
- [4] 甘本祯, 吴万春. 现代微波滤波器的结构与设计[M]. 北京: 科学出版社, 1973.
- [5] 莫坤山. 电容加载腔体滤波器的小型化技术[D]. 成都: 电子科技大学, 2013.
- [6] 胡雅洁. 一种混合滤波器组 ADC 对时序误差的敏感度研究[J]. 重庆理工大学学报(自然科学), 2016(3): 99-103.
- [7] HU Yajie. Sensitivity of a hybrid filters banks ADC to jitter[J]. Journal of Chongqing University of Technology(Natural Science), 2016(3): 99-103.
- [8] 柏顺陈樵, 范文涛. 基于多尺度分解的双边滤波图像增强[J]. 重庆理工大学学报(自然科学), 2017(5): 133-136.
- [9] BAISHUN Chenqiao, FAN Wentao. Image enhancement based on multi-scale decomposition of bilateral filtering[J]. Journal of Chongqing University of Technology (Natural Science), 2017(5): 133-136.