

# 一种中心枝节折叠的新型超宽带滤波器

张友俊,秦家峰

(上海海事大学 信息工程学院,上海 201306)

**摘要:**为了改善超宽带滤波器存在插入损耗较大,带外抑制特性较差等问题。采用中心加载折叠枝节多模谐振器结构,设计了一种新型超宽带滤波器。改变该滤波器多模谐振器的参数,可调节谐振器的谐振频率。该滤波器整体性能良好,具有结构紧凑,尺寸小,插入损耗小及带外抑制特性好等优点。仿真结果表明,该滤波器的中心频率为 6.85 GHz,通带为 3~10.7 GHz,实现相对带宽 112%。实物测试结果与仿真结果基本一致。

**关键词:**折叠枝节;多模谐振器;超宽带;滤波器

**中图分类号:**TN713 **文献标识码:**A

## A Novel Ultra-wideband Filter with the Center-minor Folded

ZHANG Youjun, QIN Jiafeng

(Information Engineering College, Shanghai maritime university, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** A novel ultra-wideband(UWB) filter with the center-loaded folded multiple-mode resonator structure is designed to improve the problem of large insertion loss and bad rejection features outside of the pass band. Different resonance frequency of the resonator can be adjusted by changing different parameters of the multi-mode resonator structure of the filter. The filter has better performance with some merits, such as compact structure, small size, low insertion loss and better rejection features outside of the pass band, and so on. Simulation results show that the pass band of the filter is from 3 GHz to 10.7 GHz at 6.85 GHz center frequency, achieving 112% relative bandwidth. The tests results are approximately conform to the simulation results.

**Key words:** folded minor; multiple-mode resonator; UWB; filter

### 0 引言

根据美国联邦通信委员会(FCC)的定义,超宽带是指通带为 3.1~10.6 GHz,以 6.85 GHz 为中心频率,相对带宽为 110%<sup>[1]</sup>。作为超宽带(UWB)系统内的重要器件,UWB 滤波器需具有超宽的带宽,较低的插入损耗和良好的群时延特性<sup>[2]</sup>。2005年,Zhu L. 等提出了将一个三模阶梯阻抗谐振器(SIR)结构用于超宽带滤波器的设计,这种基于多模谐振器结构设计的超宽带滤波器,结构简单且通带性良好<sup>[3]</sup>。虽然此后大量学者对基于多模谐振器结构的超宽带滤波器进行了扩展性的研究,也设计了许多改进的多模谐振器结构超宽带滤波器,但大部分滤波器的边带选择性较差,特别是在低频边带的衰减速度较慢,且高频端阻带抑制特性也有待改善<sup>[4-8]</sup>。折叠多模谐振器结构<sup>[9]</sup>用于实现双通带带

通滤波器,该滤波器具有结构紧凑,插入损耗小及带外抑制好等优点。本文基于文献[9]中的折叠多模谐振器结构改进后设计了一种新型超宽带滤波器,其通带为 3~10.7 GHz。该滤波器具有插入损耗小,结构简单紧凑,易加工等优点;同时该滤波器的边带衰减速度较快,带外有两个传输零点,具有较好的带外抑制特性,整体性能良好。

### 1 超宽带滤波器的设计

#### 1.1 新型超宽带滤波器的介绍

图 1、2 分别为传统超宽带滤波器和本文设计的新型超宽带滤波器的结构示意图。

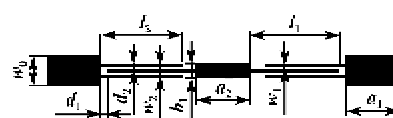


图 1 传统超宽带滤波器的结构示意图

收稿日期:2013-11-13

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61131002)

作者简介:张友俊(1961-),男,江苏扬州人,教授,博士,中国电子学会高级会员,主要从事微波技术的研究。E-mail: yjzhang@cie.shmtu.edu.cn.

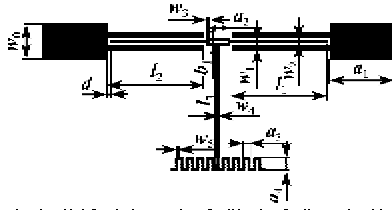


图 2 本文设计的新型超宽带滤波器的结构示意图

从图 1、2 可看出，与传统超宽带滤波器相比，本文设计的新型超宽带滤波器增加了一个折叠阶梯阻抗枝节，该折叠阶梯阻抗枝节能产生一对带外传输零点，使滤波器具有较好的带外抑制特性。为了增强多模谐振器与输入、输出间的耦合，在新型超宽带滤波器的地板上刻蚀了一个尺寸为  $7.5 \text{ mm} \times 1.4 \text{ mm}$  的缺陷地 (DGS) 结构；同时为了微调新型超宽带滤波器的杂散谐振频率，在该滤波器的谐振器里面开了一个小槽，这对改善超宽带滤波器的性能有一定的作用<sup>[10]</sup>。

图 3、4 分别为传统超宽带滤波器和新型超宽带滤波器在强耦合 ( $l_2 = 7.5 \text{ mm}$ ) 和弱耦合 ( $l_2 = 1 \text{ mm}$  和  $0.7 \text{ mm}$ ) 情况下的  $S_{21}$  曲线。由图 3、4 可见，新型超宽带滤波器比传统超宽带滤波器在通带内多了一个调节自由度，为三模结构<sup>[11]</sup>，同时该滤波器过渡带较窄，边带衰减速度较快，带外有两个传输零点，阻带抑制特性较好。

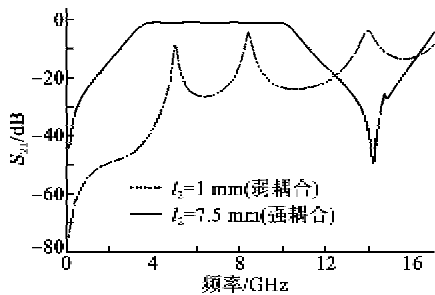


图 3 传统超宽带滤波器强、弱耦合的  $S_{21}$  曲线

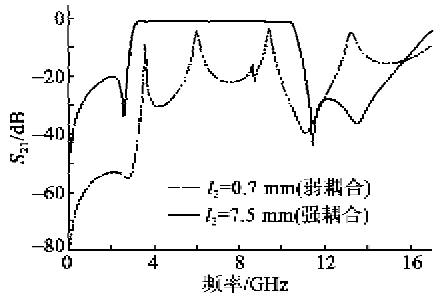


图 4 新型超宽带滤波器强、弱耦合的  $S_{21}$  曲线

### 1.2 新型超宽带滤波器结构分析

图 5 为新型超宽带滤波器采用的折叠多模谐振器结构示意图。

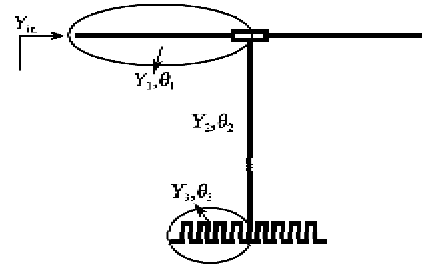


图 5 折叠多模谐振器结构示意图

由图 5 可知，该折叠多模谐振器的谐振腔是一个阶梯阻抗谐振器。由等效特性导纳为  $Y_1$ ，电长度为  $\theta_1$  的均匀半波长谐振器和一个中心加载的折叠阶梯阻抗枝节构成。该折叠阶梯阻抗枝节的两段传输线等效特性导纳和电长度分别为  $Y_2, \theta_2, Y_3, \theta_3$ 。

对其谐振特性进行分析，则

$$Y_{in} = \frac{Y_1 \left[ Y_2 \frac{jY_3 \tan \theta_3 + jY_2 \tan \theta_2}{Y_2 + j(jY_3 \tan \theta_3) \tan \theta_2} \right] + jY_1 \tan \theta_1}{Y_1 + j \left[ Y_2 \frac{jY_3 \tan \theta_3 + jY_2 \tan \theta_2}{Y_2 + j(jY_3 \tan \theta_3) \tan \theta_2} \right] \tan \theta_1} \quad (1)$$

由谐振条件  $Y_{in} = 0$ ，可得

$$\frac{Y_1}{Y_2} \tan \theta_1 + \tan \theta_2 = -\frac{Y_3}{Y_2} \frac{\tan \theta_3}{1 - \tan \theta_1 \tan \theta_2} \quad (2)$$

对于特殊情况  $Y_1 = Y_2$ ，则有

$$\tan(\theta_1 + \theta_2) Y_2 + Y_3 \tan \theta_3 = 0 \quad (3)$$

所以，假定  $\theta = \theta_1 = \theta_2$ ，通过适当调节参数  $Y_1, Y_2, Y_3$ ，可很好地控制谐振器的几个谐振频率<sup>[11]</sup>。

### 1.3 主要参数对滤波器性能的影响

图 6 为不同  $l$  下的  $S_{21}$  曲线。图中，取  $l = l_1 = l_2$ 。由图可知， $l = 7.5 \text{ mm}$  时， $S_{21}$  曲线较良好，通带为  $3 \sim 10.7 \text{ GHz}$ ； $l = 6 \text{ mm}$  时， $S_{21}$  曲线左端传输零点的位置基本不变，右端传输零点右移，带宽增大，同时通带左端出现凹陷； $l = 9 \text{ mm}$  时， $S_{21}$  曲线左端传输零点的位置基本不变，右端传输零点左移，带宽减小，同时通带右端出现凹陷。因此， $l$  主要影响滤波器的带宽及通带内的耦合。

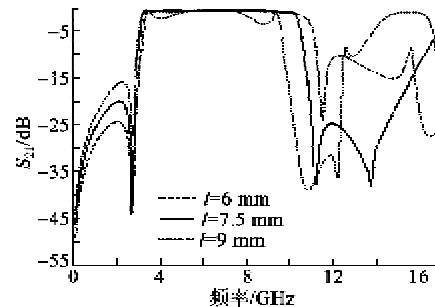


图 6 不同  $l$  下的  $S_{21}$  曲线

图 7 为不同  $l_3$  下的  $S_{21}$  曲线。由图可知， $l_3 = 9.5 \text{ mm}$  时， $S_{21}$  曲线较好，通带为  $3 \sim 10.7 \text{ GHz}$ ；

$l_3 = 7.5 \text{ mm}$  时,  $S_{21}$  曲线整体右移, 且右端比左端变化的多, 通带右端出现凹陷;  $l_3 = 11.5 \text{ mm}$  时,  $S_{21}$  曲线整体左移, 且左端比右端变化的少, 通带左端出现凹陷。因此,  $l_3$  主要影响滤波器通带的位置、带宽及通带内的耦合。

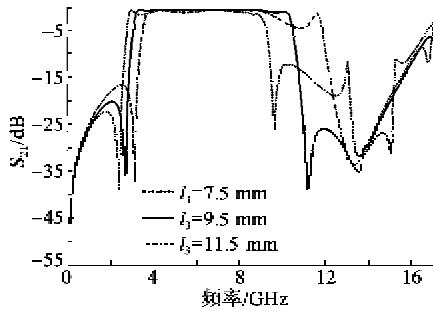


图7 不同  $l_3$  下的  $S_{21}$  曲线

图8为不同  $a_3$  下的  $S_{21}$  曲线。由图可知,  $a_3 = 0.6 \text{ mm}$  时,  $S_{21}$  曲线较好, 通带为  $3 \sim 10.7 \text{ GHz}$ ;  $a_3 = 0.5 \text{ mm}$  时,  $S_{21}$  曲线整体右移;  $a_3 = 0.7 \text{ mm}$  时,  $S_{21}$  曲线整体左移。图9为不同  $a_4$  下的  $S_{21}$  曲线。由图9可知,  $a_4 = 1.1 \text{ mm}$  时,  $S_{21}$  曲线较好, 通带为  $3 \sim 10.7 \text{ GHz}$ ;  $a_4 = 0.6 \text{ mm}$  时,  $S_{21}$  曲线整体右移;  $a_4 = 1.6 \text{ mm}$  时,  $S_{21}$  曲线整体左移。因此,  $a_3$ 、 $a_4$  主要影响滤波器通带的位置。

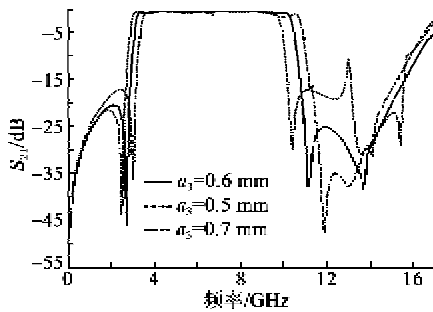


图8 不同  $a_3$  下的  $S_{21}$  曲线

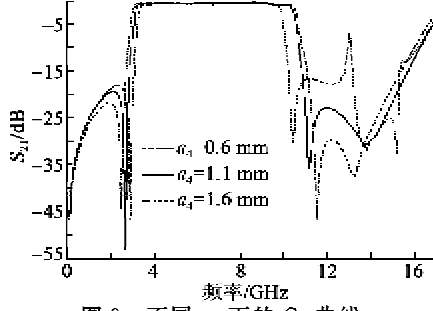


图9 不同  $a_4$  下的  $S_{21}$  曲线

## 2 滤波器的仿真与测试

在本文设计中, 滤波器的输入、输出端口采用  $50 \Omega$  的馈电方式, 以实现与外接电路的阻抗匹配; 采用介电常数  $\epsilon_r = 2.65$ , 介质厚度  $h = 1 \text{ mm}$  的微带

基片进行仿真和实物加工。

通过 Ansoft 公司的高频电磁仿真软件 HFSS13.0 进行仿真, 最终确定  $w_0 = 2.8 \text{ mm}$ ,  $a_1 = 5 \text{ mm}$ ,  $l_1 = 7.5 \text{ mm}$ ,  $l_2 = 7.5 \text{ mm}$ ,  $w_1 = 0.4 \text{ mm}$ ,  $w_2 = 0.2 \text{ mm}$ ,  $d = 0.2 \text{ mm}$ ,  $a_2 = 1.8 \text{ mm}$ ,  $b_1 = 0.6 \text{ mm}$ ,  $w_3 = 0.2 \text{ mm}$ ,  $w_4 = 0.2 \text{ mm}$ ,  $l_3 = 9.5 \text{ mm}$ ,  $a_3 = 0.6 \text{ mm}$ ,  $a_4 = 1.1 \text{ mm}$ ,  $w_5 = 0.2 \text{ mm}$ 。图10为加工实物的正面图和背面图, 由图可知, 整个滤波器的面积约为  $27.2 \text{ mm} \times 12 \text{ mm}$ , 满足小型化要求。

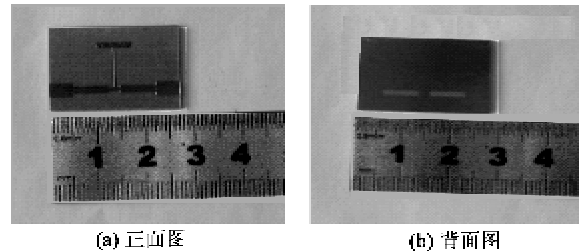


图10 实物图

利用矢量网络分析仪对实物进行了测量。图11为滤波器仿真测试结果, 由图可知, 滤波器的中心频率为  $6.9 \text{ GHz}$ , 通带为  $3.1 \sim 10.7 \text{ GHz}$ , 实现了相对带宽  $110\%$ ; 通带内回波损耗优于  $-13 \text{ dB}$ , 下阻带为  $0 \sim 2.8 \text{ GHz}$ , 插入损耗均在  $-20 \text{ dB}$  以下, 上阻带为  $11 \sim 15 \text{ GHz}$ , 插入损耗均在  $-20 \text{ dB}$  以下, 滤波器的带外抑制特性较好。测量结果和仿真结果吻合较好, 实测的插入损耗值比仿真的插入损耗值稍大, 中心频率也有微小偏移, 这些主要是由于基片的介电常数不均匀、加工误差、SMA 接头损耗等引起。

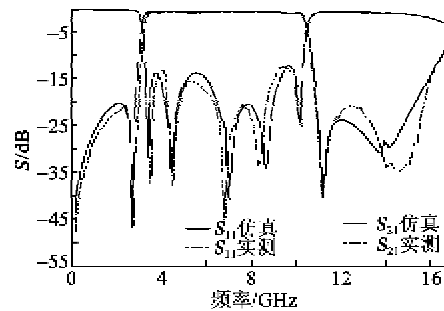


图11 滤波器仿真、测试结果

## 3 结束语

本文基于折叠多模谐振器结构, 设计了一种新型超宽带滤波器。该滤波器通带为  $3 \sim 10.7 \text{ GHz}$ , 具有结构简单紧凑, 插入损耗小, 带外抑制特性较好等优点。实物测量结果与仿真结果基本一致, 验证了本设计的正确性和有效性。

(下转第726页)