

文章编号: 1007-2861(2009)05-0461-03

· 研究简报 ·

# 双模谐振器设计超宽带滤波器

胡红虹, 肖中银, 高山

(上海大学 通信与信息工程学院, 上海 200072)

**摘要:** 利用双模谐振器设计一个结构新颖紧凑的超宽带(UWB)滤波器, 该滤波器的通带为 3.9 ~ 11.6 GHz, 通带最低频率(FBW)达 99%。两个衰减极点分别产生在靠近通带的两边, 提高了通带频率的选择性。另外两个衰减极点产生在通带高频端的阻带内, 抑制双模谐振器二次谐振产生的谐振模式, 很好地改进了阻带性能。仿真和测量结果表明, 通带内插入损耗低于 1.0 dB(3.9 ~ 11.6 GHz), 高阻带内插入损耗大于 15.0 dB(12.0 ~ 19.5 GHz), 整个通带内群延迟小于 0.5 ns。仿真和测量结果很好地吻合, 表明此超宽带滤波器的有效性。

**关键词:** 双模谐振器; 超宽带(UWB); 衰减极点; 滤波器

中图分类号: TN 822.4

文献标志码: A

## Design of Ultra-Wideband Filter with Dual-Mode Resonator

HU Hong-hong, XIAO Zhong-yin, GAO Shan

(School of Communication and Information Engineering, Shanghai University, Shanghai 200072, China)

**Abstract:** An ultra-wideband (UWB) filter with a novel compact structure using dual-mode resonators is proposed. The passband ranges from 3.9 ~ 11.6 GHz, achieving about 99% fractional bandwidth (FBW). Two sharp attenuation poles can be located close to either side of the desired pass-band to improve the frequency selectivity. The other two attenuation poles can be set in the stopband of upper frequencies so as to reject the third resonant modes of dual-mode resonators. The measured results demonstrate that the insertion loss is below 1.0 dB in the passband, and higher than 15.0 dB in the upper-stopband (12.0 ~ 19.5 GHz). Group delay variation in the passband is less than 0.5 ns. The measured result agrees well with the electromagnetic (EM) simulated result, demonstrating validity of the filter.

**Key words:** dual-mode resonator; ultra-wideband (UWB); attenuation pole; filter

2002年,美国通信委员会(FCC)颁布了超宽带的频率范围 3.1 ~ 10.6 GHz 作为商业通讯应用,掀起了人们研究各种超宽带(UWB)滤波器的热潮。在文献[1-2]中,以平行耦合微带线结构为基础设计了一些宽带的带通滤波器,然而这些滤波器的带宽只有 40% ~ 70%,不能满足 FCC 颁布的带宽的要求。在文

献[3-7]中设计的滤波器虽然带宽满足了 FCC 的要求,而且通带内具有比较低的插入损耗,但是这些滤波器也具有一些缺点,如阻带效果不是很好、尺寸比较大、加工精度要求比较高、不容易加工等。

本研究以谐振器的双模理论为基础设计了一个结构新颖紧凑的 UWB 滤波器,该滤波器由两根平行

放置的双模谐振器和两根耦合馈线构成. 通过调节双模谐振器的开路枝节和短路枝节, 可控制双模谐振器一次谐振产生的偶模和奇模之间的距离, 因此能很好地控制通带带宽. 而且调节双模谐振器的开路枝节和短路枝节, 还能很好地控制阻带内 4 个衰减极点的位置, 因此能很好地改进通带选择性, 提高阻带性能.

## 1 双模谐振器的特点

图 1 是一根长  $L$  宽  $W$  的谐振器, 中间加载一根长  $L_1$  宽  $W_1$  的开路枝节构成的双模谐振器. 图 2 是一根长  $L$  宽  $W$  的谐振器, 中间加载一根长  $L_2$  宽  $W_2$  的短路枝节构成的双模谐振器. 在文献 [8] 中已经给出了双模谐振器一次谐振产生的偶模和奇模与开路枝节和短路枝节长度之间的关系式:

$$f_{\text{odd}} = \frac{(2n-1)c}{2L\sqrt{\epsilon_{\text{eff}}}}, \quad (1)$$

$$f_{\text{even}} = \frac{nc}{(L+2L_1)\sqrt{\epsilon_{\text{eff}}}}, \quad (2)$$

$$f_{\text{even}} = \frac{nc}{2(L+2L_2)\sqrt{\epsilon_{\text{eff}}}}, \quad (3)$$

式中,  $c$  为光在真空中的传播速度,  $\epsilon_{\text{eff}}$  为微带线的介质常数,  $n = 1, 2, 3, \dots$ . 从式 (1) ~ (3) 中可看出,  $f_{\text{odd}}$  只与谐振器的长度  $L$  有关,  $f_{\text{even}}$  不仅与谐振器的长度  $L$  有关, 还与加载的开路枝节和短路枝节的长度  $L_1$  和  $L_2$  有关.

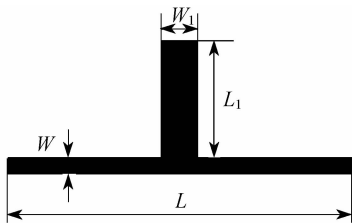


图 1 加载开路枝节的双模谐振器

Fig. 1 Open stub-loaded dual-mode resonator

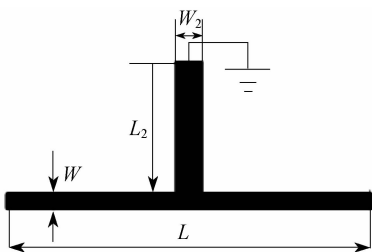


图 2 加载短路枝节的双模谐振器

Fig. 2 Short stub-loaded dual-mode resonator

为了证明上面的结果, 我们通过 Sonnet em 仿真了双模谐振器的偶模和奇模随加载的开路枝节和短路枝节取不同长度时改变的情况. 图 3 和图 4 为仿真结果. 可以看出,  $f_{\text{odd}}$  不随开路枝节和短路枝节长度的改变而改变,  $f_{\text{even}}$  随开路枝节和短路枝节长度的改变而改变. 因此可通过调节开路枝节和短路枝节长度来控制  $f_{\text{even}}$  的位置.

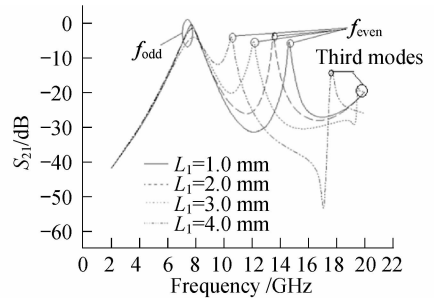


图 3 加载开路枝节的双模谐振器取  $L_1 = 1, 2, 3, 4$  mm 的仿真结果

Fig. 3 Simulations of open stub-load dual-mode resonator with  $L_1 = 1, 2, 3, 4$  mm

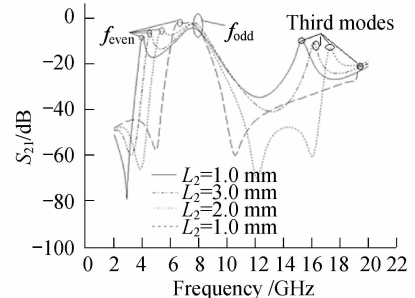


图 4 加载短路枝节的双模谐振器取  $L_2 = 1, 2, 3, 4$  mm 的仿真结果

Fig. 4 Simulations of short stub-load dual-mode resonator with  $L_2 = 1, 2, 3, 4$  mm

从图 3 和图 4 以及式 (1) ~ (3) 中可看出, 当开路枝节和短路枝节的长度为 0 时,  $f_{\text{even}}/f_{\text{odd}}$  或  $f_{\text{odd}}/f_{\text{even}}$  的比值最多是 2, 因此只用一个双模谐振器产生的通带不能满足宽带的要求.

## 2 滤波器设计与测量

为了增加通带的带宽和改进阻带的性能, 我们提出了一个结构新颖紧凑的 UWB 滤波器 (见图 5), 两根双模谐振器平行放置, 中间嵌入两根馈线. 通过优化和综合滤波器的尺寸如下:  $L = 13.2$  mm,  $W = 0.35$  mm,  $L_1 = 4.0$  mm,  $W_1 = 0.6$  mm,  $L_2 = 3.1$  mm,

$W_2 = 0.7 \text{ mm}$ ,  $L_1 = 7.0 \text{ mm}$ ,  $S = 0.7 \text{ mm}$ ,  $S_1 = 0.2 \text{ mm}$ . 所用介质板的厚度  $h = 0.8 \text{ mm}$ , 相对介质常数  $\epsilon_r = 2.8$ . 图6为滤波器实物图, 图7为滤波器仿真和测量结果. 从测量和仿真的结果可看出, 我们设计的滤波器的通带从  $3.95 \sim 11.6 \text{ GHz}$ , FBW 带宽达  $98\%$ . 通带中产生5个谐振模式, 其中3个是两个双模谐振器产生的, 另外2个是耦合馈线产生的. 在靠近通带的两边分别产生两个衰减极点, 提高了通带的选择性. 在通带高频端的高阻带内产生两个衰减极点, 抑制双模谐振器产生的第三个谐振, 改善了阻带性能, 阻带内回波损耗在  $-15 \text{ dB}$  以下的频段可到  $19.5 \text{ GHz}$ . 在仿真结果中我们需要注意的是, a, b, c 这3个谐振模式是仿真软件 Sonnet 的盒子在  $17.48, 18.42, 19.30 \text{ GHz}$  的谐振, 并非滤波器本身的谐振. 图8是滤波器仿真的群时延, 在整个通带内滤波器的群时延小于  $0.5 \text{ ns}$ .

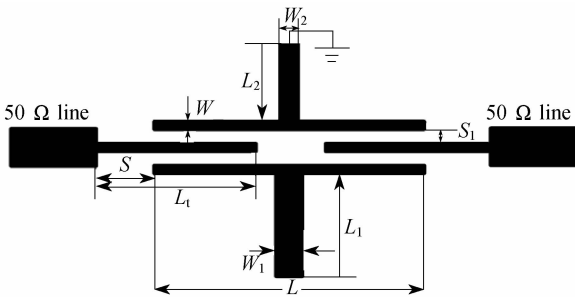


图5 UWB 滤波器的结构图

Fig.5 Proposed UWB bandpass filter

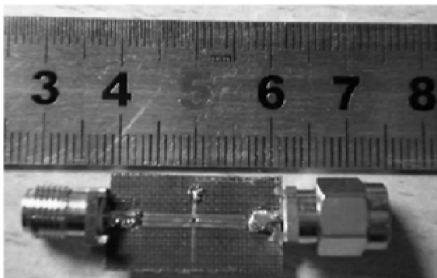


图6 UWB 滤波器的实物图

Fig.6 Photograph of the fabricated UWB filter

### 3 结束语

本研究利用双模谐振器设计了一个结构新颖紧凑的UWB滤波器, 具有好的频率选择性, 宽的阻带特性, 通带内具有比较低的群延迟特性. 通过调整开路枝节和短路枝节的长度和宽度, 可控制阻带内衰

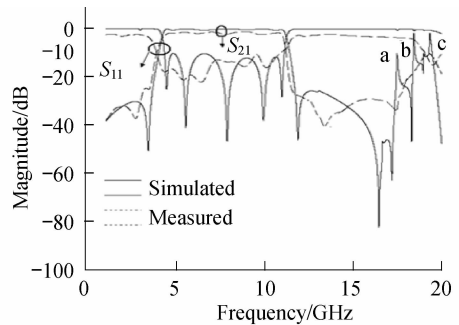


图7 UWB 滤波器 S 参数的测量与仿真结果

Fig.7 Simulated and measured S parameters of the proposed UWB filter

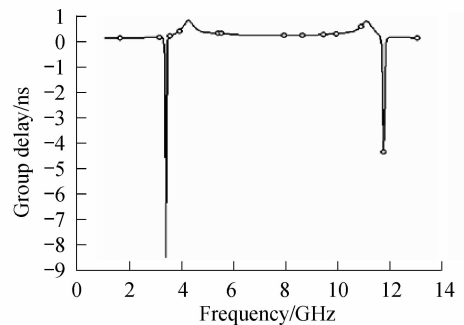


图8 UWB 滤波器的群延迟的仿真结果

Fig.8 Simulated group delay of UWB filter

减极点和通带内谐振模式的位置. 仿真结果和测试结果很好地吻合, 说明了用此方法设计 UWB 滤波器的有效性.

### 参考文献:

- [1] ZHU L, BU H, WU K, et al. Aperture compensation technique for innovative design of ultra-broadband microstrip bandpass filter [J]. IEEE MTT-S Int Microwave Symp Dig, Boston, MA. 1999:315-318.
- [2] ZHU L, WU K, BOGESACK F, et al. On the design of novel compact broad-band planar filters [J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2003, 51(2):364-370.
- [3] WANG H, ZHU L. Ultra-wideband bandpass filter using back-to-back microstrip-to-CPW transition structure [J]. Electronics Letters, 2005, 41(24):1337-1338.
- [4] WANG H, ZHU L, MENZEL W, et al. Ultra-wideband bandpass filter with hybrid microstrip/CPW structure [J]. IEEE Microwave Wireless Compon Letters, 2005, 15(12):844-846.