

文章编号: 2095-4980(2018)06-1062-04

一种双频滤波器及其圆柱共形设计

王同同, 王志刚

(电子科技大学 极高频复杂系统国防重点学科实验室, 四川 成都 611731)

摘要: 基于无线局域网(WLAN)的应用背景, 设计并加工了一款用于 WLAN 的双频滤波器。滤波器的主体部分采用两阶的阶跃阻抗滤波器(SIR), 馈电方式采用 0° 平行耦合线馈电方式。测试结果跟仿真结果有很好的的一致性, 滤波器在两谐振频点 2.4 GHz 和 5.2 GHz 处的插入损耗为 0.85 dB 和 1.3 dB。在上述平面滤波器的基础上, 进一步分析了圆柱共形对 SIR 结构谐振特性的影响, 利用共形器件的仿真与实际加工装配相一致的准确建模方法, 设计了一款圆柱共形双频滤波器, 其有更好的赋形性能和选择性。该设计可用于共形通信系统中, 具有广阔的应用前景。

关键词: 无线局域网; 圆柱共形; 双频滤波器; 低插损

中图分类号: TN713⁺.1

文献标志码: A

doi: 10.11805/TKYDA201806.1062

A dual-band filter and cylindrical conformal design

WANG Tongtong, WANG Zhigang

(Fundamental Science on EHF Laboratory, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu Sichuan 611731, China)

Abstract: A dual-band filter designed for Wireless Local Area Networks(WLAN) is introduced and fabricated. Two-order Stepped Impedance Resonator(SIR) and parallel coupled-line are utilized to design it. Experimental results agree well with simulations, thus validating our design. The insertion losses of two resonant frequencies 2.4 GHz and 5.2 GHz, are 0.85 dB and 1.3 dB respectively. Based on this plane filter, a cylindrical conformal filter is designed through analyzing the influence of conformal cylinder on the resonant characteristic of SIR structure and an accurate modeling method which is consistent with the real fabrication is adopted. The insertion loss is a little bit larger, but the conformal performance and the selectivity become better. This conformal filter can be used in conformal communication system with a broad application prospects.

Keywords: Wireless Local Area Networks(WLAN); cylindrical conformal; dual-band filter; low insertion loss

滤波器作为收发机的前端, 在频率选择、隔离干扰、信号放大、倍频、混频等方面充当着不可替代的角色。但是双频收发机的尺寸问题一直是设计过程中的一个难点, 而双频滤波器可以使两个工作频段共用一个收发电路, 极大地减小电路尺寸。另外, 随着新型材料的提出和制作工艺的进步, 共形器件因其更容易与飞行器等弯曲的表面相匹配的优势, 在医疗、个人穿戴电子设备、军事等领域有着广泛的应用。双频滤波器的设计方法有很多种^[1], 阶跃阻抗谐振器(SIR)^[2-4]因其不仅可以产生双频点, 并且可以自由地控制谐振频率的大小而备受关注。文献[1]中使用多模谐振器实现了一个双频带的带通滤波器, 两个谐振频率分别位于 WLAN 的常用频段: 2.4 GHz 和 5.2 GHz, 但是其选择性不好。文献[5-8]中提出一种基于 LCP 基板的宽带柔性滤波器, 该滤波器可实现很高的带外抑制, 但由于采用基板较薄, 插损过大。

基于 SIR 结构设计并加工双频滤波器后, 采用 0° 平行耦合线方式馈电, 产生的两谐振频率分别为 2.4 GHz 和 5.2 GHz, 测试结果中两谐振频点的 3 dB 相对带宽分别为 10%和 5.8%, 插入损耗分别为 0.85 dB 和 1.3 dB, 回波损耗均在-20 dB 以下。然后通过分析共形圆柱对 SIR 结构谐振特性的影响, 利用共形器件的仿真与实际加工装配相一致的准确建模方法, 设计了一款圆柱共形双频滤波器。与平面滤波器相比, 其 3 dB 带宽变小, 因此, 选择性变得更好。此滤波器可用于共形通信系统中, 有利于载体复用, 尤其用于飞行器中, 有利于提高系

统的空气动力学性能，具有很好的应用前景。

1 平面双频滤波器理论分析

双频滤波器的理论分析主要包括微带阶跃阻抗谐振器的理论分析和 0° 平行耦合线馈电的分析。

微带 SIR 的基本结构分为 $1/4$ 波长型、 $1/2$ 波长型和全波长型。在平面电路中， $1/2$ 波长型 SIR 的基本电路结构如图 1 所示。SIR 结构的理论分析已相当成熟，此处不再赘述。

由理论分析可知，SIR 的谐振条件如式(1)所示，其中 R_z 为两端微带线的特性阻抗比值。

$$R_z = \frac{Z_2}{Z_1} = \tan \theta_1 \tan \theta_2 \quad (1)$$

一般情况下取 $\theta_1 = \theta_2$ ，此时谐振条件可变为式(2)：

$$\begin{cases} \theta_1 = \theta_2 = \arctan(\sqrt{R_z}) \\ \frac{f_{\text{SBI}}}{f_0} = \frac{\pi}{2\arctan(\sqrt{R_z})} \end{cases} \quad (2)$$

式中 f_{SBI} 和 f_0 为 SIR 的 2 个谐振频率。式(2)为阶跃阻抗谐振器的参数确定式，由式(2)可知，选择合适的微带线特性阻抗比值和长度比值就能得到理想的谐振频率点。

另外，滤波器的馈电方式对滤波器的性能有很大的影响。而基本的馈电方式主要分为两种：抽头式馈电方式和平行耦合线式馈电方式。后者可以产生多个传输零点，改变平行耦合线的长度可以改变传输零点的位置，有利于提高带外抑制功能，因此本文采用 0° 平行耦合线方式为滤波器馈电。

2 平面双频滤波器的仿真设计

根据理论分析，设计了一款谐振频率为 2.4 GHz 和 5.2 GHz 的滤波器，采用的基板是 0.508 mm 的 Rogers 5880。金属为铜，铜厚为 0.017 5 mm。

图 2 为平面滤波器结构尺寸示意图。第一段微带线宽度为 w_1 ，长度为 l_1 ；第二段微带线宽度为 w_2 ，长度为 $(l_2 + l_3 + l_4 + l_5 + l_6 + l_7 + l_8)/2$ 。改变宽度和长度的比值就能调整 2 个相对频率。耦合缝隙 s_1 和 s_2 对滤波器性能的影响很大。设计时，要选择合适的 s_1 和 s_2 。优化过后具体的尺寸如表 1 所示。

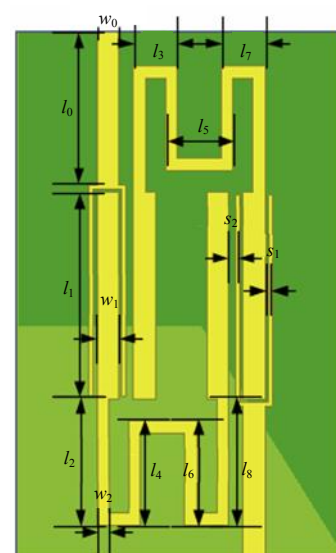


Fig.2 Size of the filter
图 2 滤波器尺寸图

表 1 具体尺寸数值(mm)

Table1 Specific size values(mm)

w_0	w_1	w_2	s_1	s_2	l_0	l_1	l_2	l_3	l_4	l_5	l_6	l_7
1	1	0.55	0.15	0.32	2	9.5	5.2	2	4.2	2	4.2	2

3 圆柱共形滤波器的设计

圆柱共形滤波器的结构示意图如图 3 所示，通过平面电路贴合曲面共形底座的方式来实现。由式(2)可知，SIR 的 2 个谐振频率 f_{SBI} 和 f_0 的比值，与微带线特性阻抗和微带线长度密切相关。对于圆柱共形 SIR，当其共形到圆柱面上时，横截面会发生显著变化，这些形变将会影响微带线的传输特性，进而会影响 SIR 的谐振特性。分析圆柱共形对 SIR 滤波器的谐振特性的影响是设计圆柱共形滤波器的重要基础。

通过计算相同物理参数，不同的圆柱底座半径对应的微带线特性阻抗，再结合式(2)可得到图 4。从图中可以看出，当圆柱半径在 8~30 mm 范围变化时，谐振频率比值在 2.13~2.15 之间波动，当半径变化更大时，谐振频率将出现更大的变化。

另外,与平面滤波器相似,耦合缝隙 s_1 和 s_2 对滤波器性能影响很大,对于共形器件而言,平面上的宽度对应到圆柱面的弧度之后,就数值而言变为很小的数,因此误差的影响就会变大,所以圆柱共形滤波器对尺寸精度的要求相较平面滤波器变得更高。

共形器件的仿真与实际加工装配相一致的准确建模方法一直是共形设计中的一大难点,本文在设计共形滤波器时,首先考虑圆柱共形的形变影响,在确定所共形圆柱尺寸后,可得到参数弧度值,然后进行精确建模,最终通过将圆柱展开成平面准确计算出平面加工的具体参数。

分析了圆柱共形对 SIR 滤波器谐振特性的影响之后,通过实际加工装配相一致的准确建模方法,设计了一款圆柱共形双频滤波器,仍旧采用 SIR 结构和平行耦合线馈电形式产生双频点,示意图如图 5 所示。考虑到共形设计选用厚度为 0.254 mm 的基板。表 2 是经优化之后,圆柱共形滤波器对应的电路尺寸图。

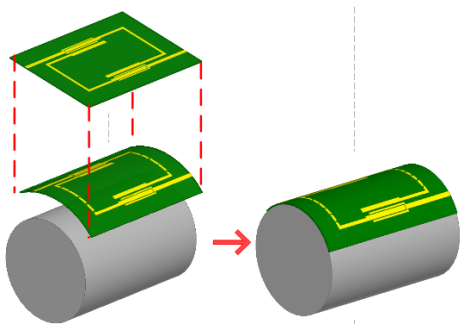


Fig.3 Assembly diagram of the cylinder conformal filter
图 3 圆柱共形滤波器装配示意图

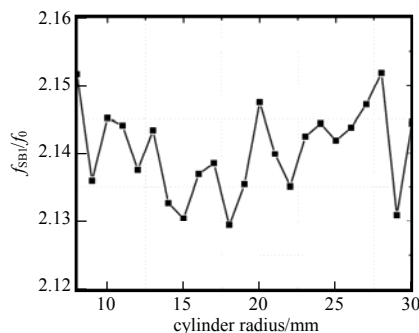


Fig.4 Value of f_{SB1}/f_0 with cylinder radius
图 4 谐振频率比值随圆柱半径的变化



Fig.5 Picture of the cylinder conformal filter
图 5 圆柱共形双频滤波器示意图

表 2 圆柱共形滤波器具体尺寸数值

Table2 Specific values of parameters of the cylinder conformal filter

$\theta_{a0}/(^{\circ})$	$\theta_{a1}/(^{\circ})$	$\theta_{a2}/(^{\circ})$	$\theta_{a3}/(^{\circ})$	$\theta_{a4}/(^{\circ})$	l_0/mm	l_1/mm	l_2/mm	l_3/mm
4.36	4.41	3.15	0.57	1.72	5.00	9.00	6.00	10.80

仿真结果如图 6 所示,2 个谐振点的中心频率分别为 2.4 GHz 和 5.2 GHz,两频点插损分别为 1.0 dB 和 1.2 dB,相对带宽分别为 2.5% 和 3.06%,回波损耗均大于 20 dB。相较于平面滤波器,因形变及基板变薄影响,插损有所增加,但相对带宽变小,获得了更好的选择性。

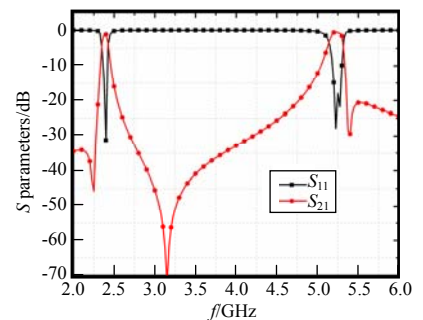


Fig.6 Simulation S parameters of the cylinder conformal filter
图 6 圆柱共形滤波器的仿真 S 参数

4 双频滤波器的加工与测试

图 7 是平面滤波器的加工实物图和测试现场图。测试时,使用夹具系统,不需要安装标准的同轴接头。

图 8 是双频滤波器的仿真和实测结果对比图。由图 8 可知,本文设计的双频滤波器的仿真结果和测试结果有良好的一致性。测试结果中,两谐振频点处的 3 dB 相对带宽为 10%和 5.8%,插入损耗为 0.85 dB 和 1.3 dB,回波损耗均在 -20 dB 以下。

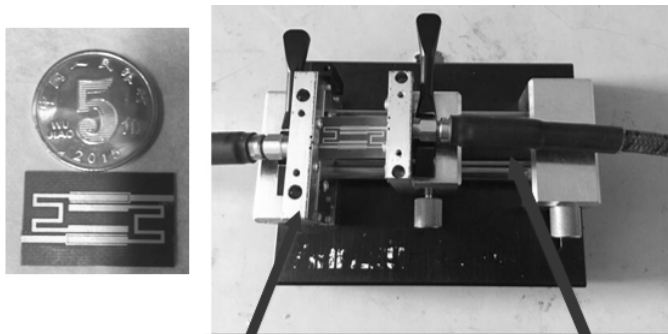


Fig.7 Picture of the fabricated filter
图 7 加工实物测试图

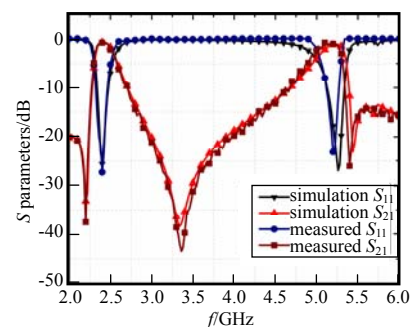


Fig.8 Simulated and measured results
图 8 仿真结果和测试结果对比图

5 结论

采用 SIR 形式设计双频点滤波器, 该滤波器产生的双频点均位于 WLAN 的应用频段, 分别为 2.4 GHz 和 5.2 GHz。测试表明, 滤波器在两谐振频点处的 3 dB 带宽分别为 10% 和 5.8%, 插入损耗为 0.85 dB 和 1.3 dB。然后通过分析圆柱共形对 SIR 结构谐振特性影响, 设计了一款圆柱共形滤波器, 两谐振频率不变, 插损有所增加, 其选择性变好。该设计可用于共形通信系统中, 具有广阔的应用前景。

参考文献:

- [1] HAYATI M, NOORI L, ADINEHVAND A. Compact dual-band bandpass filter using open loop resonator for multimode WLANs[J]. Electronics Letters, 2012, 48(10): 573–574.
- [2] 陈建忠. 滤波微波器件的研究与设计[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2013. (CHEN Jianzhong. Study and design of microwave filtering components[D]. Xi'an, China: Xidian University, 2013.)
- [3] 李奇. 无线通信中微带滤波器的研究与设计[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2011. (LI Qi. Study and design of microstrip filters in wireless communications[D]. Xi'an, China: Xidian University, 2011.)
- [4] KRONGKITSIRI W. A folded SIR filter with embedded feed slot for wide spurious suppression[C]// The 20th Asia-Pacific Conference on Communication (APCC2014). Pattaya, Thailand: IEEE, 2014: 170–174.
- [5] 赵孟娟, 张勇. 基于 LCP 基板的宽带柔性滤波器研究[J]. 微波学报, 2016, 32(2): 213–215. (ZHAO Mengjuan, ZHANG Yong. A study of wideband flexible filter based on liquid crystal polymer substrate[J]. Journal of Microwaves, 2016, 32(2): 213–215.)
- [6] ZHAO M, ZHANG Y, LIU S, et al. UWB flexible filter with low loss and excellent stopband performance[J]. Microwave & Optical Technology Letters, 2017, 59(1): 194–197.
- [7] ZHAO Mengjuan, ZHANG Yong. Compact wearable 5-GHz flexible filter[J]. Electronics Letters, 2017, 53(10): 661–663.
- [8] ZHAO Mengjuan, ZHANG Yong, LIU Shuang. 0.22 THz waveguide bandpass filter with high stopband suppression[J]. Journal of Electronic Science and Technology, 2017, 15(3): 263–266.

作者简介:



王同同(1994–), 女, 成都市人, 在读硕士研究生, 主要研究方向为微波毫米波模块设计. email: 1264425637@qq.com.

王志刚(1972–), 男, 成都市人, 硕士, 研究员, 主要研究方向为微波毫米波技术.