

文章编号: 2095-4980(2018)05-0825-04

具有寄生通带抑制的 E 波段双工器

周 游, 李晨雨, 霍新平, 曹 煜

(电子科技大学 泰格微波毫米波技术联合实验室, 四川 成都 611731)

摘 要: 通过精密机加工技术制造了一种具有寄生通带抑制的 E 波段波导双工器。其仿真性能在 71~76 GHz, 81~86 GHz 通带内插入损耗小于 1 dB, 通带隔离度大于 60 dB; 在 142~152 GHz, 162~172 GHz 二倍频通带内抑制大于 20 dB。实测结果显示该双工器通带内插入损耗最差为 0.7 dB; 通带隔离度优于 60 dB; 二倍频处抑制大于 20 dB。仿真设计与实测结果高度吻合。该双工器的优异性能确保其适用于 5 G 通信 E 波段回传网络中。

关键词: 波导双工器; E 波段; 寄生通带抑制

中图分类号: TN631.2

文献标志码: A

doi: 10.11805/TKYDA201805.0825

An E-band diplexer with harmonic suppression

ZHOU You, LI Chenyu, HUO Xinping, CAO Yu

(UESTC-Tiger Microwave Joint Lab of Millimeter Wave Technology, Chengdu Sichuan 611731, China)

Abstract: An E-band waveguide diplexer fabricated by precision machining with harmonic suppression is presented. The simulation result shows the insert loss in 71~76 GHz and 81~86 GHz pass-band is better than 1 dB. The isolation is greater than 60 dB. In the second harmonic pass-band 142~152 GHz and 162~172 GHz, the suppression is greater than 20 dB. The measured results show the insert loss is less than 0.7 dB in pass-band and the isolation is greater than 60 dB, the suppression of harmonic is 20 dB. Simulation and measurement results match very well. The excellent performance of the diplexer ensures that it is suitable for 5G E-band communication backhaul networks and has a good prospect of engineering applications.

Keywords: waveguide diplexer; E-band; harmonic suppression

毫米波频段由于其丰富的频谱资源, 相较于现有通信频段, 能够实现更高速率的传输、更小的尺寸和较高的安全性和抗干扰能力, 因而被广泛关注。E 波段频率范围为 60~90 GHz, 其中的 71~76 GHz, 81~86 GHz 频段因为拥有 10 GHz 的收发间隔, 以及 5 GHz 的绝对带宽, 比传统微波频段具有更宽的信道间隔, 即使采用传统的正交相移键控(Quadrature Phase Shift Keying, QPSK)调制方式将信号直接调制于该波段, 亦可轻易实现高达 10 Gbps 的数据传输率^[1]。基于此, 在目前移动通信面临超大业务容量挑战的情况下, E 波段频谱更符合下一代无线通信对带宽和速率的要求, 成为微波回传的重要解决方案。

毫米波双工器作为回传收发机关键器件, 在毫米波通信系统中有着广泛应用, 对收发机的整机性能有很大影响。通信系统也对双工器的寄生通带抑制提出了很高要求。波导双工器具有低损耗、高 Q 值、大容量等优点, 但其在二倍频处会形成寄生通带^[2]。1964 年, RIBLRT H J 提出改变波导宽边来抑制寄生通带的想法^[3]。2002 年, MORELLI Marco 提出一种计算谐振器宽度的方法, 利用该方法可实现对寄生通带抑制的功能^[4], 并成功研制了一款 10 GHz 六阶滤波器, 其抑制效果比传统形式提升了 20%。2013 年, 电子科技大学的李玉萃等应用偏移排列的矩形谐振腔设计了一款 28 GHz 带通滤波器^[5], 其在 35~60 GHz 频段内具有 30 dB 的抑制。随着频率的上升, 谐振腔尺寸对性能的影响越来越突出, 因此国内外将寄生通带抑制技术应用在毫米波频段的成果尚不多见。仿真和实验结果证明, 本文设计双工器成功实现了在二倍频处大于 20 dB 的抑制效果, 并且通带内插入损耗小于 1 dB, 通道隔离度大于 60 dB。实测结果与仿真吻合度高, 实现毫米波双工器的快速、准确设计。

1 E 波段波导双工器设计仿真

此款 E 波段双工器采用 WR-12 波导口 (3.099 mm×1.5494 mm)，通带内性能指标要求如表 1 所示，带外抑制如表 2 所示。其中 f_c 为 1 通道或 2 通道的中心频率，BW 为通带带宽。

双工器采用波导腔体结构。首先仿真单边滤波器，依照技术指标，确定单边滤波器的响应曲线。综合考虑采用直线 H 面倒角谐振腔滤波器结构^[6-8]，如图 1 所示。谐振腔由耦合膜片相连，呈直线依次排列，两端为标准波导 WR-12。谐振腔长宽尺寸及耦合膜片尺寸均不相同，从而达到抑制谐波的功效。由通带隔离和带外抑制指标，使用 CoupleFil 计算至少需要 7 阶谐振腔，综合设计过程，采用 7 阶和 8 阶滤波器。

在谐振器中，谐振频率由腔体尺寸决定，即：

$$f_{mnl} = \sqrt{\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2 + \left(\frac{l\pi}{d}\right)^2} \quad (1)$$

式中： f_{mnl} 为截止频率； a, b, d 为腔体尺寸。由于滤波器工作频段位于波导单模工作区，可知其工作模式应为 TE_{10} 模式，谐振频率只与谐振腔宽边尺寸相关。在固定谐振腔高度的情况下，改变腔体宽度，使每个腔体谐振频率不同，原本在二倍频处激起的谐波响应将得到一定抑制^[9]。

基于模式匹配法和有限元法分别设计仿真单边滤波器。在设计时控制谐振腔宽边的大小，利用每个谐振器谐振频率的细微差别抑制二倍频寄生通带。L 通道 8 阶带通滤波器的仿真结果如图 2 所示。其在通带 71~76 GHz 频段内回波损耗优于 20 dB，在 91~106.5 GHz 频段内抑制大于 40 dB。

H 通道 7 阶带通滤波器的仿真结果如图 3 所示。其在通带 81~86 GHz 频段内回波损耗优于 20 dB，在 91~121.5 GHz 频段内抑制大于 40 dB，在二倍频处抑制大于 30 dB。

双工器使用一个 H 面波导 T 型结将两滤波器连接，T 型结波导型号为 WR-12，结构如图 4 所示。通过优化 T 型结中心膜片的位置及尺寸，使其在 60~90 GHz 频带范围内回波损耗优于 25 dB，两输出端口等幅输出。将双工器整体尺寸仿真优化。其优化结果如图 5 所示。在两通道内回波损耗均优于 23 dB，每个通带 2 个边带均保留了 400 MHz 保护带，从而使得该双工器在高低温环境下工作带宽仍能覆盖整个 E 波段。

表 1 E 波段双工器带内性能指标

Table1 E-band diplexer in-band specifications

	working band/GHz	insert loss/dB	return loss/dB	isolation/dB
L band	71~76			
H band	81~86	<1	>16	>60

表 2 E 波段双工器带外抑制指标

Table2 E-band diplexer out of band specifications

$0 < f < 66$ GHz	$91 \text{ GHz} < f < 1.5(f_c - BW/2)$	$2(f_c - BW/2) < f < 2(f_c + BW/2)$
>60 dB	30 dB	>10 dB



Fig.1 Filter structure
图 1 滤波器结构

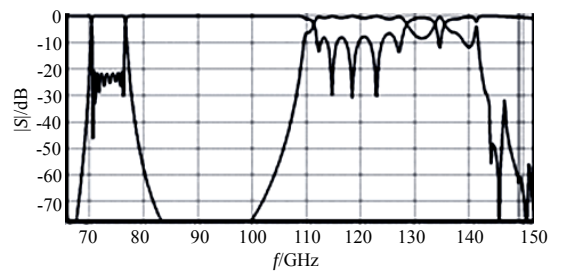


Fig.2 L band 8-order band-pass filter
图 2 L 通道 8 阶带通滤波器

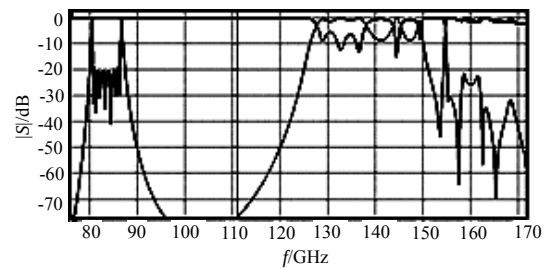


Fig.3 H band 7-order band-pass filter
图 3 H 通道 7 阶带通滤波器



Fig.4 H-plane T-junction
图 4 H 面 T 型结

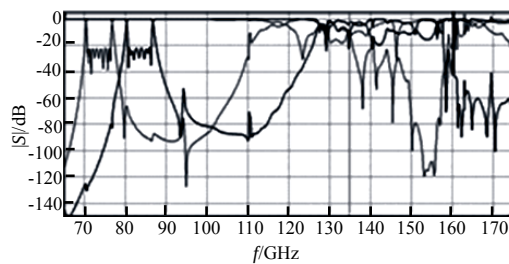


Fig.5 Diplexer simulation results
图 5 双工器仿真结果

带外抑制方面：1 通道在 91~106.5 GHz 抑制大于 50 dB；2 通道在 91~121.5 GHz 抑制大于 50 dB。两通道在 2 倍频处谐波抑制均大于 20 dB，两通道之间的隔离度优于 60 dB。整个仿真结果表明：该双工器的 2 个通道带内、带外性能都能很好地满足设计指标，并留有较大余量。

2 E 波段双工器测试

此款双工器采用精密机械加工技术(相对精确度达到 $\pm 10\text{ }\mu\text{m}$),由波导 H 面剖分,装配使用金属焊接工艺,产品表面镀铜并进行镀层的铜保护防氧化处理,双工器实物照片如图 6 所示。

该双工器的带内性能测试平台为 Agilent N5244A,搭配优化建模语言 E-band 扩频组件。最终的带内测试结果见图 7 和表 3。

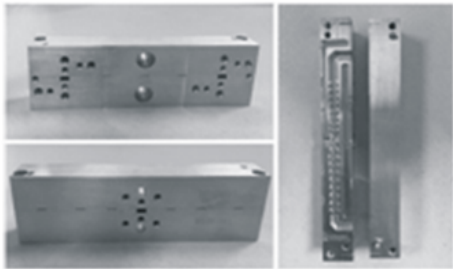


Fig.6 Photo of the diplexer
图 6 双工器实物图

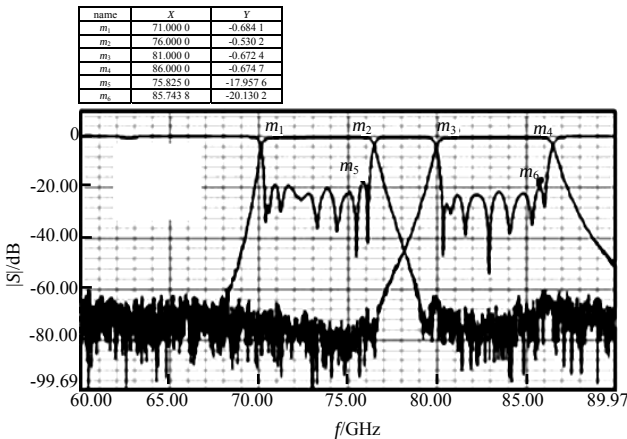


Fig.7 Diplexer in-band performance
图 7 双工器带内性能实测

可见,两通道由于加工误差均有一定频偏,但由于保护带的存在性能仍然满足设计指标。1 通道回波损耗最差值为 17.95 dB;2 通道回波损耗最差值为 20.13 dB。

带外性能测试平台为 Agilent N5244A 搭配虚拟桌面基础架构扩频组件,带外性能测试见图 8~图 9。

表 3 带内实测性能

Table3 In-band measured performance

	pass band/GHz	insert loss/dB	return loss/dB
L band	70.50~76.20	<1	>17.95
H band	80.33~86.19	<1	>20.00

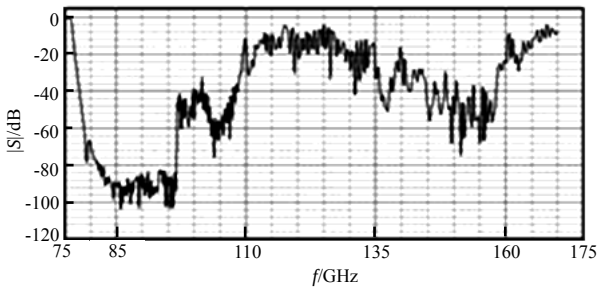


Fig.8 L band out-of-band measured performance
图 8 L 通道带外性能实测

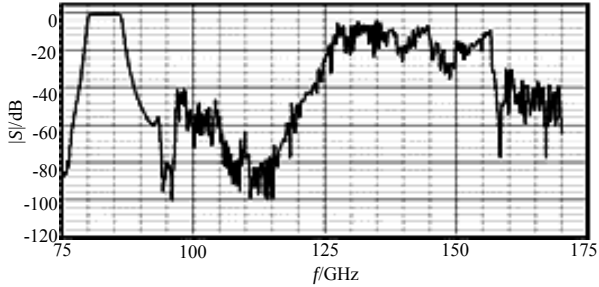


Fig.9 H band out-of-band measured performance
图 9 H 通道带外性能实测

可见此双工器在 $91\sim 1.5(f_c-BW/2)$ 频段内抑制均大于 40 dB;且在二倍频处抑制优于 20 dB。抑制性能十分突出,具有很强的工程应用价值。

3 结论

本文研制实现了一款 E 波段双工器,通过改变波导宽边的形式,实现了该双工器的寄生通带抑制性能,为同类型处在较高频率,且需要寄生通带抑制功能的毫米波腔体无源器件的快速准确设计,提供了较好的设计思路与方法。研制的 E 波段双工器在通带内插损小于 1 dB,二倍频处抑制大于 20 dB,通带隔离度大于 60 dB。该双工器性能优异,抑制度高,体积小,质量轻,特别适用于 5G 通信微波回传网络,具有非常好的工程实用价值和广阔的市场前景。

参考文献:

- [1] RAPPAPORT T S. Wireless communications principles and practice[M]. Beijing:Publishing House of Electronics Industry, 2012.
- [2] DAVID M POZAR. Microwave engineering[M]. Beijing:Publishing House of Electronics Industry, 2006.
- [3] RIBLET H J. Waveguide filter having nonidentical sections resonant at same fundamental frequency and different harmonic frequencies:U S, 3153208[P]. 1964-10-01.
- [4] MORELLI M,HUNTER I,PARR Y,et al. Stop-band improvement of rectangular waveguide filters using different width resonators:selection of resonator widths[J]. Microwave Symposium Digest, 2001(3):1623-1626.
- [5] 李玉萃. 谐波抑制滤波器的研究[D]. 成都:电子科技大学, 2014. (LI Yucui. Research on harmonic suppression filters[D]. Chengdu,China:University of Electronic Science and Technology of China, 2014.)
- [6] SKAIK T,ABUHUSSAIN M. Design of diplexers for E-band communication systems[C]// Microwave Symposium. Saida, Lebanon:IEEE, 2013:1-4.
- [7] NOCELLA V,PELLICCIA L,FARINELLI P,et al. E-band cavity diplexer based on micromachined technology[J]. International Journal of Microwave & Wireless Technologies, 2016,8(2):179-184.
- [8] 陆彬,周邦华,吕立明. 带倒角的波导 H 面阶梯滤波器分析及设计[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2011,9(6):718-721. (LU Bin,ZHOU Banghua,LYU Liming. Analysis and design of milled H-plane waveguide filter[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2011,9(6):718-721.)
- [9] ARNDT Fritz,BORNEMANN Jens. E-plane integrated circuit filters with improved stopband attenuation[J]. IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, 1984,32(10):1391-1394.

作者简介:



周 游(1990-), 男, 重庆市人, 硕士,
主要研究方向为微波毫米波电路.email:
specialyp2006@163.com.

李晨雨(1989-), 男, 昆明市人, 硕士, 主要研究
方向为毫米波电路.

霍新平(1989-), 男, 郑州市人, 硕士, 主要研究
方向为微波毫米波无源器件.

曹 煜(1984-), 男, 西安市人, 硕士, 主要研究
方向为毫米波电路与系统.

第二届强激光材料与元器件学术研讨会——暨激光破坏学术研讨会

2018 年 11 月末, 成都, <http://www.csoe.org.cn/meeting/LDS2018/>

主办单位: 中国光学工程学会 承办单位: 中国光学学会光学材料专业委员会

联办单位: 中国科学院上海光学精密机械研究所 中国工程物理研究院激光聚变研究中心

大会主席: 邵建达(中国科学院上海光学精密机械研究所)

重点研讨议题/征文方向: 大会每年将根据来稿情况, 组织专题研讨会, 为根据应用背景与需求牵引凝练出本领域的重大科技任务:

专题一: 激光损伤机理

专题二: 激光光学检测技术

专题三: 低缺陷光学表面加工装备、工艺与技术

专题四: 激光材料

专题五: 激光元器件

专题六: 微纳光子学材料与器件在激光系统中的应用

Workshop: 智能制造所有稿件务必做好保密审查工作。请作者登录网站提交论文全文
<http://events.kjtxw.com/tougao/LDS2018.html>

支持期刊: 中文稿件合作期刊:《红外与激光工程》(EI) 《光学精密工程》(EI)《光子学报》(EI) 英文稿件, 推荐至 SPIE 会议论文集(EI 检索)收录。

全文截稿时间: 11 月 10 日

联系人: 蔡方方, 中国光学工程学会, 022-58168541, cai_ff@csoe.org.cn