

基于七换能器结构的 Band3-Rx 滤波器产品设计

史向龙,陈晓阳,张俊茜,苏波,于倩至,孙伟彬

(北京无线电测量研究所,北京 100854)

摘要:该文介绍了一种用于 Band3 频段接收端的声表面波滤波器的研制过程。为满足滤波器的大宽带性能及阻带低端的高选择性要求,采用七阶叉指换能器混合结构的耦合模式模型进行自动优化设计和多次优化迭代,并利用有限元法/边界元法(FEM/BEM)软件进行精确的声学验证,最后通过实验验证了仿真结果的有效性。

关键词:声表面波(SAW)滤波器; Band3 频段; 七阶换能器; 谐振器; 有限元法/边界元法(FEM/BEM)

中图分类号: TN713; TN65 **文献标志码:** A

Design of Band3-Rx Filter Based on 7-IDT Structure

SHI Xianglong, CHEN Xiaoyang, ZHANG Junxi, SU Bo, YU Qianzhi, SUN Weibin

(Beijing Institute of Radio Measurement, Beijing 100854, China)

Abstract: This paper introduces the development process of a surface acoustic wave(SAW) filter for Band3 receiver. In order to satisfy the large-bandwidth performance of the filter and the high selectivity at the low end of the stopband, a 7-interdigital transducer(7-IDT) hybrid structure is used, and the coupling of mode model is used for automatic optimization design and multiple optimization iterations. And use finite element method/boundary element method(FEM/BEM) software to carry out accurate acoustic verification, and finally through the test to verify the effectiveness of the simulation results.

Key words: surface acoustic wave(SAW) filter; Band3; 7-interdigital transducer(7-IDT); resonator; finite element method/boundary element method(FEM/BEM)

0 引言

声表面波(SAW)射频滤波器以其低损耗,小体积及高矩形度等特点而被广泛应用在民用智能终端、军用雷达、电子对抗及卫星通信技术中^[1]。

Band3 为智能手机通信频段,通带频率为 1 805~1 880 MHz,在通信领域有很大的应用范围 and 市场需求。根据我国目前频谱规划,行业在授权连续频谱建设无线宽带专网唯一可使用 1 785~1 805 MHz 频段,多数行业专网承载业务和安全生产直接相关^[2],而此频段与 Band3 接收频段相邻,为提高市场竞争力,需提高 Band3-Rx 滤波器左侧的矩形度及抑制。目前手机声表面波(SAW)滤波器以日本的 MuRata 综合性能最优,因此,本文设计了以 MuRata 规格书为设计目标,以期达到甚至超越其指标要求。

有限元法/边界元法(FEM/BEM)作为一种通用且最精准的 SAW 器件分析方法已被广泛应用,

但 FEM/BEM 法计算量大^[3],目前大多应用于产品投板前的设计验证,无法直接用于产品设计及优化。与 FEM/BEM 法不同,耦合模式模型(COM)采用类似于等效电路模型的唯象模型^[4],用几个参数表征表面波的传播、反射、激发及衰减等性能,其仿真速度极快,并通过提取随频率变化的 COM 参量及部分参数修正^[5],可得到与 FEM/BEM 法接近的结果,能更好地实现快速仿真全自动计算机优化设计。本产品使用自主研发的 COM 优化设计平台进行优化设计,使用 FEM/BEM 软件实现声学性能的精确验证。

1 纵向耦合多模 SAW 滤波器设计原理

SAW 的基本原理是 SAW 通过叉指换能器(IDT)将电信号转化为声信号,并在声学端滤波的过程。纵向耦合多模 SAW(MMS)滤波器一般由反射栅、,传播空隙和多个 IDT 等组成,如图 1 所示。

收稿日期:2022-02-28

作者简介:史向龙(1984-),男,内蒙古省巴彦淖尔市人,高级工程师,主要从事声表面波器件的研究。

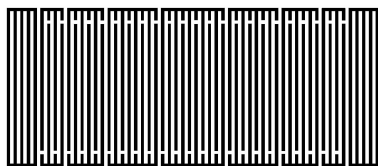


图1 MMS滤波器结构

MMS 滤波器的设计主要采用 COM 分析法。COM 模型的基本思想为栅格内同时存在多个传播声波模式,通过栅格阵内指间反射相互耦合,同时外加电压通过栅格的换能作用又激发出向多个方向传播的声波模式。而这些声波模式间存在一定的线性关系,这一线性关系可用 COM 方程表征^[6],并以此作为设计依据。

2 材料、结构及封装的选取

2.1 材料选取

综合考虑设计带宽和抑制要求,芯片衬底材料选用 42°-钽酸锂,金属电极材料层为铝膜。

2.2 结构选取

针对 Band3-Rx SAW 滤波器带宽大(设计相对带宽可达 4.5%),通带插入损耗小,左侧矩形度及抑制带抑制要求较高的特点,以 MMS 结构来实现大带宽和左侧高矩形度。与通常的三阶换能器(3-IDT)的纵向耦合结构(DMS)相比,MMS 结构带宽较宽,插损较小^[7]。多个 MMS 级联会导致插入损耗增大,考虑封装及体积问题,本设计只加入一个纵向耦合 MMS。

如图 2 所示,单独的 MMS 无法实现左侧高矩形度特性,右侧矩形度较差。因此,选择加入 1 个串联谐振器(见图 3),使其反谐振点提升右侧矩形度及抑制水平。Band3 产品指标对左侧矩形度要求极高,本文在现有结构上加入 2 个并联谐振器(见图 4),提升了矩形度和左侧的整体抑制。

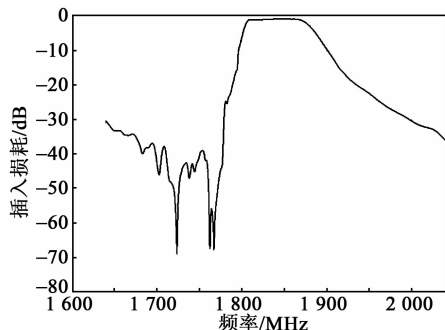


图2 单独的 MMS 仿真曲线

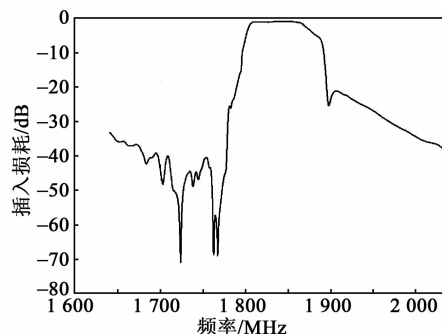


图3 1个 MMS+1个串联谐振器仿真曲线

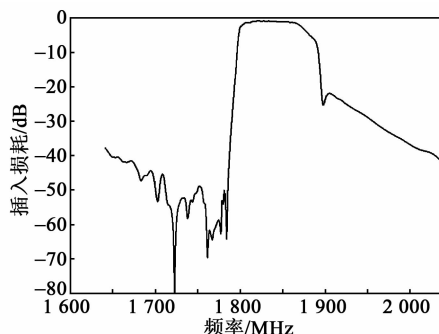


图4 1个 MMS+1个串联谐振器+2个并联谐振器仿真曲线

综上所述,本文设计选用 MMS 加阻抗元谐振器的结构,并以此结构为设计基础进行优化调整,本文选用七阶换能器(7-IDT)结构,其优势在于插入损耗更小,带宽更大。

3 优化过程及仿真结果

本文采用 COM 优化设计平台进行非线性全局优化设计,其中指条的周期、数量、占空比及孔径作为待优化变量,通过不断更改待优化参量取值,从而逼近目标要求结果。

3.1 优化过程

优化前,需先根据 MuRata 规格书给出目标函数的要求,然后确定给出待优化参量的初始结果,绘制电磁版图,通过 HFSS 软件计算包含所有封装电磁效应的散射参数(S 参数),通过 COM 仿真设计平台软件中声电协同仿真接口代入电磁效应 S 参数,可计算包含叉指声学响应,版图、基板、封装及测试版等总的电磁效应在内的声电协同全波仿真结果。然后使用优化设计功能,从而得到最接近目标参数的仿真曲线。最后通过 FEM/BEM 精确声学验证及 HFSS 得到的电磁仿真参数,最终得到准确的验证结果,而 COM 优化设计平台的优化仿真结果与 FEM/BEM 验证结果基本一致,图 5 为 COM

优化仿真结果与 FEM/BEM 验证结果对比。

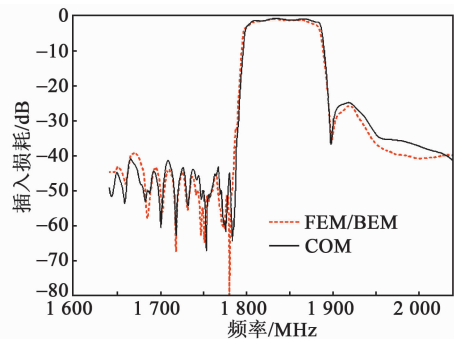


图 5 COM 优化仿真结果与 FEM/BEM 验证结果对比

3.2 仿真结果

优化中采用多参量离散变量模拟退火全局优化算法,给出优化变量的初始值及优化步进,从初始温度开始退火,经过 3 次退火可得稳定的结果。

通过设计初始值及目标值的调整,多次进行优化迭代后经 FEM/BEM 验证,最终得到符合要求的仿真曲线,如图 6 所示。

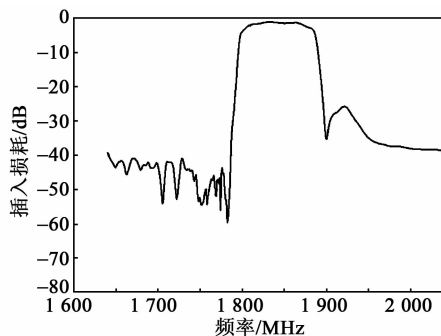


图 6 仿真结果图

4 实测结果分析

本文设计首次采用 7-IDT 纵向耦合结构,实测结果可满足指标要求。图 7、8 为 7-IDT 通带与远带实测仿真对比结果。由图可知,仿真与实测差异较小,能精确表达出实测结果插入损耗及带外抑制度。实测结果中最小插损为 1.04,左侧带外抑制小于 40 dB。

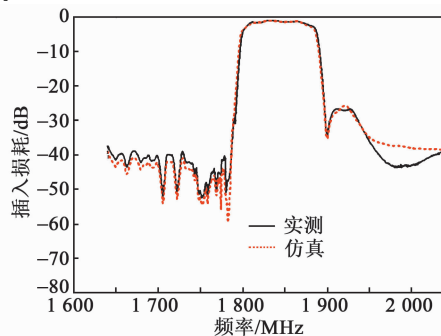


图 7 7-IDT 实测与仿真结果近阻带对比

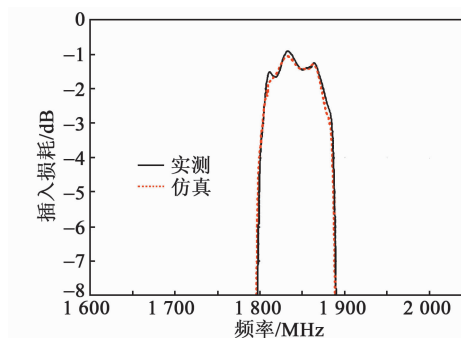


图 8 7-IDT 实测与仿真结果通带对比

本设计实测满足 Murata 规格书指标,与 Murata 规格书指标相比,实测远带抑制较优,除通带两端略有差异外(主要原因是 Murata 的工艺更好,器件品质因数 Q 值较高),两者通带插入损耗相差很小,如图 9、10 所示。

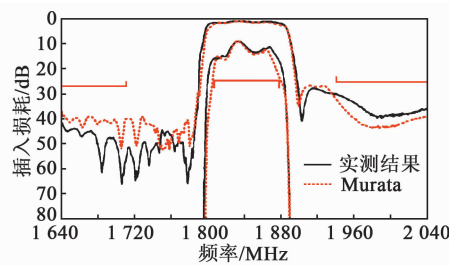


图 9 实测结果与 Murata 规格书近阻带指标对比

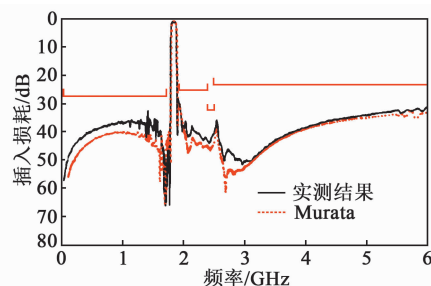


图 10 实测结果与 Murata 规格书远带指标对比

5 结束语

本文设计与 MuRata 规格书指标相当,在整体的带外抑制上,明显优于 Murata 产品结果。完全满足市场需求。WISOL 和 TAIYO YUDEN 公司的 Band3-Rx 产品,都采用外加调谐方式实现,与其产品相比,本文所研制产品性能更加优越。

参考文献:

- [1] 毛世平,曾庆高,陈彦光,等.高阻带抑制宽带低损耗声表面波滤波器研究[J].压电与声光,2018,40(3): 337-339.
- MAO Shipping, ZENG Qinggao, CHEN Yanguang, et al. Study on broadband and low loss SAW filter with

- high stop-band rejection[J]. *Piezoelectrics & Acousto-optics*, 2018, 40(3):337-339.
- [2] 虞启亮. 1 785 MHz~1 805 MHz 频段无线接入系统发展与特点[J]. *上海信息化*, 2018(6):60-62.
- [3] 李红浪 柯亚兵 何世堂. 色散纵向耦合声表面波滤波器的 FEM/BEM 模拟[C]//哈尔滨:中国声学学会 2010 年全国会员代表大会暨学术会议, 2010.
- [4] SVESHNIKOV B V, SHITVOV A P, BHATTACHARJEE K K. Evaluation of dispersion in COM-parameters. In: *Proceedings of IEEE Ultrasonics Symposium [C]* // Honolulu; IEEE, 2003:715-719.
- [5] CHEN Dongpei, HAUS H A. Analysis of metal-strip SAW gratings and transducers[J]. *IEEE Transactions*, 1985, 32(3):395-408.
- [6] PLESSKY V P, KOSKELA J. Coupling-of-modes analysis of SAW devices [J]. *Int J High Speed Electron Syst*, 2000, 10(4):867-947.
- [7] WRIGHT P V. Low-cost high-performance resonator and coupled-resonator design; NSPUDT and other innovative structures[C]//USA; 43rd Annual Symposium on Frequency Control, IEEE, 2002.
-
- (上接第 229 页)
- [18] LU Ruochen, YANG Yansong, GONG Songbin, et al. A1 resonators in 128°Y-cut lithium niobate with electromechanical coupling of 46.4% [J]. *Journal of Microelectromechanical Systems*, 2020, 29(3):313-319.
- [19] Resonant Inc. High frequency resonator is foundation for high throughput 5G services—and much more[R]. www.resonant.com, 2020, 4:14.
- [20] PLESSKY V, YANDRAPALLI S, TURNER P J, et al. 5 GHz laterally-excited bulk-wave resonators (XBARs) based on thin platelets of lithium niobate [J]. *Electronics Letters*, 2019, 55(2):98-100.
- [21] YANDRAPALLI S, KÜÇÜK S E, PLESSKY V, et al. Fabrication and analysis of thin film lithium niobate resonators for 5 GHz frequency and large K_t^2 applications[C]//Gainesville, USA; IEEE 34th International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS), 2021:967-969.
- [22] GAO Liuqing, YANG Yansong, GONG Songbin. A 14.7 GHz lithium niobate acoustic filter with fractional bandwidth of 2.93% [C]//Las Vegas, USA; IEEE International Ultrasonics Symposium (IUS), 2020:1-4.
- [23] YANG Yansong, GAO Liuqing, GONG Songbin. X-band miniature filters using lithium niobate acoustic resonators and bandwidth widening technique[J]. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 2021, 69(3):1602-1610.
- [24] GAO Liuqing, YANG Yansong, GONG Songbin. A 19 GHz lithium niobate acoustic filter with FBW of 2.4% [C]//Los Angeles, USA; IEEE/MTT-S International Microwave Symposium (IMS), 2020:241-244.
- [25] YANG Yansong, LU Ruochen, GONG Songbin, et al. 10~60 GHz electromechanical resonators using thin-film lithium niobate [J]. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 2020, 68(12):5211-5220.
- [26] FAIZAN M, VILLANUEVA L G. Frequency-scalable fabrication process flow for lithium niobate based Lamb wave resonators[J]. *Journal of Micromechanics and Microengineering*, 2020, 30(1):015008.
- [27] JIANG D, HU G, QI G, et al. A fully convolutional neural network-based regression approach for effective chemical composition analysis using near-infrared spectroscopy in cloud[J]. *Journal of Artificial Intelligence and Technology*, 2021, 1(1):74-82.
- [28] LIU J, LIU Z, SUN C, et al. A data transmission approach based on ant colony optimization and threshold proxy re-encryption in WSNs[J]. *Journal of Artificial Intelligence and Technology*, 2021, 2(1):23-31.
- [29] GAO Liuqing, YANG Yansong, GONG Songbin. Wideband hybrid monolithic lithium niobate acoustic filter in the K-band[J]. *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control*, 2021, 68(4):1408-1417.
- [30] LEE J, TEJEDOR E, WANG H, et al. Spectrum for 5G; Global status, challenges, and enabling technologies[J]. *IEEE Communications Magazine*, 2018, 56(3):12-18.