文章编号:1004-2474(2022)02-0187-04

DOI:10.11977/j.issn.1004-2474.2022.02.004

基于层次级联模型的声表面波 COM 参数提取方法

李桦林,谭发曾,伍 平

(中国电子科技集团公司 第二十六研究所,重庆 400060)

摘 要:该文研究了基于层次级联模型的耦合模(COM)参数提取方法。通过仿真 42°Y-X LiTaO₃ 衬底的有限 长声表面波(SAW)单端谐振器,提取 COM 参数及建立 COM 参数数据库,研制了一款 1 200 MHz 的三换能器混合 结构的 SAW 滤波器。结果表明,实际制作器件响应和仿真幅频响应符合性好,验证了该文提取 COM 参数方法的 可行性,可用于指导 SAW 滤波器设计。

关键词:声表面波滤波器;层次级联;耦合模(COM)参数 中图分类号:TN65 文献标志码:A

A Method for Extracting COM Parameters of Surface Acoustic Wave Based on Hierarchical Cascading Technique

LI Hualin, TAN Fazeng, WU Ping

(The 26th Institute of China Electronic Technology Group Corporation, Chongqing 400060, China)

Abstract: This paper studied the COM parameters extraction method based on the hierarchical cascading technique. By simulating on a finite-length SAW single port resonator on 42° rotated Y-X LiTaO₃ substrate, the COM parameters were extracted and the COM parameters datasets was established. A 1 200 MHz SAW filter with 3-IDT CRF hybrid structure has been developed. The results show that the amplitude-frequency response of the actual device is in good agreement with that of the simulated one, which verifies the feasibility of the method of extracting COM parameters in this article, and can be used to guide the design of SAW filters.

Key words: SAW filter; hierarchical cascading; COM parameter

0 引言

近年来,因移动通信的快速发展和武器装备小型化、轻量化的发展趋势,声表面波(SAW)滤波器 被广泛应用于军民用领域^[1-2]。SAW滤波器设计技 术提升的关键在于精确模拟和快速仿真优化。层次 级联技术(HCT)模型^[3]是一种可实现任意结构及 材料的 SAW 器件精确仿真模型,其计算速度快,仿 真精度高。将图形处理器(GPU)并行计算加速技 术和 HCT 相结合^[4-5],可以大幅提升仿真速度,使 整个 SAW 器件的仿真时间达到分钟级别。在实际 SAW 器件设计中,需不断调整指条周期及指对数 等结构参数,使用 HCT 需要频繁建模,耗时长,即 使采用通用图形处理器(GPGPU)加速技术也难以 满足 SAW 器件设计对于快速优化的要求。

传统耦合模(COM)模型优化速度达到秒级,被 大量应用于 SAW 器件设计优化^[6]。COM 模型作 为唯象模型,COM 参数决定了 SAW 器件仿真的准确度。获得 COM 参数的常用方法是通过实验制作 SAW 谐振器提取,但是利用实验方式提取 COM 参数需工艺上多次制版、多次流片,成本高,耗时长。

本文利用 HCT 模型计算有限长 SAW 同步单 端谐振器的导纳,利用 COM 模型和 P 矩阵方程提 取 COM 参数,建立 COM 参数数据库;并利用 COM 数据库设计了一种三换能器混合结构的 SAW 滤波 器进行实验验证,实验和仿真结果基本吻合,验证了 基于 HCT 模型提取 COM 参数数据库的有效性。

1 COM 参数提取

1.1 HCT 模型

有限元法因其灵活性和便利性,可实现对任意 材料及结构的 SAW 器件建模,被大量应用于 SAW 器件仿真。传统的有限元法计算有限长 SAW 器件 最主要问题是模型具有百万级的自由度,导致计算

收稿日期:2021-09-28

作者简介:李桦林(1992-),男,四川省自贡市人,工程师,硕士,主要从事声表面波器件技术的研究。

内存消耗大,计算速度慢。

HCT 模型是一种基于有限元的 SAW 器件精确仿真模型,利用 SAW 器件的周期性结构特点,大幅压缩计算自由度,在降低计算时间的同时不影响仿真精度。

HCT 模型计算有限长 SAW 器件的主要步骤 (见图 1):

1) 将有限长 SAW 器件划分为可重复的基本 指条单元。

2) 通过有限元法对不同基本单元建模。

3) 提取出每个基本单元的系统矩阵。

4) 对系统矩阵采用有限元自由度压缩算法实现自由度消除,实现基本单元系统矩阵简化。

5)利用基本单元左右边界物理场连续性的边 界条件,通过单元矩阵不断级联计算出完整 SAW 器件的简化矩阵。

6) 根据完整 SAW 器件的简化矩阵求解出整 个 SAW 器件响应,实现有限长 SAW 器件快速精确 仿真。





1.2 COM 参数提取流程

COM 模型是 SAW 器件分析的近似唯象模型, COM 参数的可信度决定了 COM 模型分析 SAW 器件的准确度。HCT 模型可以成功实现 SAW 滤 波器的建模和仿真,根据仿真结果可得 SAW 波速 和机电耦合系数,是一种能理论提取 COM 参数的 有效手段。 提取 COM 参数的流程如图 2 所示。通过 HCT 模型计算特定压电材料和叉指换能器(IDT) 结构的谐振器模型的声场分布和 SAW 器件响应 (HCT 模型),根据 SAW 器件响应(HCT 模型)推 导出初始 COM 参数,利用初始 COM 参数结合 COM 方程和 **P** 矩阵方程计算 SAW 器件响应 (COM 模型),对比两种模型计算的 SAW 器件响应 应,修正 COM 参数,完成 COM 参数提取。



图 2 COM 参数提取流程

以 42°Y-X LiTaO₃材料,Al 金属膜的同步单端 谐振器为例,谐振器结构参数如表 1 所示。

表1 谐振器结构参数

周期/μm	金属化比	金属膜厚/nm
3.25	0.6	300
孔径长度/μm	IDT 对数/对	反射栅对数/对
90	50	20

根据 HCT 模型仿真结果,得到表 1 谐振器结构的导纳曲线,如图 3 所示。图中, |Y|为导纳 Y 的模, Re(Y)为 Y 的实部。



利用 COM 模型和 **P** 矩阵方程,根据 HCT 模型 计算的单端谐振器导纳曲线提取上述谐振器结构对 应的 COM 参数,提取出的 COM 参数如表 2 所示。 两种模型计算的 SAW 器件响应对比情况如图 4 所示。

表 2	早端谐振	器 COM 参数 打	定取值
吉浦 ~/	山山山古	归一化声	归一化
$(\mathbf{m} \cdot \mathbf{a}^{-1})$	<u>」</u> 一化户	转换系数 α _n /	静电容 $C_n/$
(111•5) 村村日尔致	柄 日 示 奴 Kp	$\Omega^{-rac{1}{2}}$	$(\mathbf{F} \cdot \mathbf{m}^{-1})$
4 023	0.223	9.21 \times 10 ⁻⁴	2.80 $\times 10^{-10}$





利用 HCT 模型进一步仿真了 42°Y-X LiTaO。 材料的占空比为 0.35~0.60、相对膜厚为 5.5%~ 12%的同步谐振器,最终提取出对应结构下的 COM 参数,并制作了 COM 参数数据库,如图 5 所示。





2 实验

为验证提取 COM 参数数据库的准确性,根据 建立的 42°Y-X LiTaO3压电材料的 COM 参数数据 库,仿真设计了一款标称频率为 1 200 MHz 的三换 能器混合结构 SAW 滤波器并进行了实验,实验器 件及测试响应曲线如图 6、7 所示。实验结果与仿真 结果相比,实验结果的频率相差了 4 MHz,主要是 由于工艺制作的 IDT 指条的线宽、膜厚与设计值存 在偏差。将仿真响应频移4 MHz后,实验与仿真幅 频响应对比如图 8 所示,实验的幅频响应和滤波器 仿真结果基本重合,证明了 COM 参数数据库的准 确性,可利用本文所述方法提取 COM 参数后指导 SAW 滤波器设计。



图 6 实验器件



3 结束语

本文利用了 HCT 模型计算 SAW 器件的便 捷性,提出了基于HCT模型理论提取COM参数的 方法,通过仿真建立了 42°Y-X LiTaO₃ 材料 COM 参数数据库,经实验对比验证,该方法能有效提取 COM 参数指导 SAW 滤波器设计。本文所述方法 具有通用性和灵活性,能满足当前 SAW 器件的设 计需求,可用于各种压电材料的 COM 参数提取,对 新结构、新材料的 SAW 滤波器设计起到重要作用。

参考文献:

- [1] BAUER T, EGGS C, WAGNER K, et al. A bright outlook for acoustic filtering: A new generation of very low-profile SAW, TC SAW, and BAW devices for module integration [J]. IEEE Microwave Magazine, 2015,16(7):73-81.
- [2] RUPPEL C C W. Acoustic wave filter technology-a review[J]. IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, 2017, 64(9):1390-1400.
- [3] KOSKELA J, MANIADIS P, WILLEMSEN B A, et al. Hierarchical cascading in 2D FEM simulation of finite SAW devices with periodic block structure[C]// Tours, France: 2016 IEEE International Ultrasonics Symposium (IUS), IEEE, 2016:1-4.
- [4] LI X, BAO J, HUANG Y, et al. Use of hierarchical cascading technique for FEM analysis of transverse-mode behaviors in surface acoustic-wave devices [J]. IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, 2019, 66(12): 1920-1926.
- [5] KOSKELA J, PLESSKY V P, WILLEMSEN B A, et al. Fast GPU-assisted FEM simulations of 3D periodic TCSAW, IHP, and XBAR devices [C]//Glasgow, Scotland:2019 IEEE International Ultrasonics Symposium (IUS). IEEE,2019:181-184.
- [6] PLESSKY V, KOSKELA J. Coupling-of-modes analysis of SAW devices[J]. International Journal of High Speed Electronics and Systems, 2000, 10(4):867-947.