

第二类椭圆型声表面波滤波器的设计

王华磊¹, 钟 慧², 石 玉², 李利平¹, 周林生¹

(1. 成都燎原星光电子有限责任公司, 四川 成都 610100; 2. 电子科技大学 电子薄膜与集成器件国家重点实验室, 四川 成都 610054)

摘 要: 梯形滤波器的带宽由基片的机电耦合系数决定, 当基片选择后, 相对带宽基本固定。该文提出了一种椭圆型声表面波滤波器, 在同一基片上特别是压电性强的基片上, 可灵活控制滤波器的相对带宽。由于电容比的存在, 声表面波谐振器取代椭圆 LC 滤波器中的谐振单元后, 额外的零点和极点出现在通带两侧。引入模拟退火法对各个谐振器的静态电容进行优化, 得到了窄带低损耗高矩形度的滤波器。实验证明了该方法的有效性。

关键词: 椭圆滤波器; 声表面波谐振器; 15°YX-LiNbO₃

中图分类号: TN384; TN65

文献标识码: A

Design of Narrow Bandwidth Elliptic-type II SAW Filters

WANG Hualei¹, ZHONG Hui², SHI Yu², LI Liping¹, ZHOU Linsheng¹

(1. Chengdu Liaoyuan Xingguang Electronics Co., Ltd., Chengdu 610100, China; 2. State Key Lab. of Electronic Thin Films and Integrated Devices, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China)

Abstract: The passband width obtained in the SAW ladder filter is inherently limited by the electromechanical coupling factor of piezoelectric substrate. A kind of elliptic SAW filter is proposed in this paper. The relative bandwidth of the attainable filter can be controlled flexibly on the same substrate, especially on the strong piezoelectric substrate. Due to the capacitance ratio γ , the additional zero-point and pole-point are appeared at the two sides of the passband after the resonators in the elliptic LC filter are replaced by SAW resonators. The static capacitor of each resonator are optimized by introducing the simulation annealing, thus the narrow-band, low loss filter with high shape factor has been realized. The effect of the design technique is verified by the experiment

Key words: elliptic-type filter; SAWR; 15°YX-LiNbO₃

0 引言

梯形声表面波滤波器因插入损耗低, 带外抑制高及平坦通带而广泛用于射频前端^[1]。通常的梯形滤波器的带宽由基片的机电耦合系数决定, 当基片选择后, 相对带宽基本固定^[2]。并联臂与串联臂上的静态电容比 $\gamma = C_p/C_s$, 可降低滤波器的通带带宽。但随着 γ 的增大, 滤波器的矩形系数变差。Cu/15°YX-LiNbO₃ 结构机电耦合系数高达 30%, 可实现相对带宽接近 20% 的梯形滤波器^[3]。如何降低该结构上可实现滤波器的相对带宽, 成为一研究热点。Komatsu 等^[4] 提出在并联臂上增加一串谐振单元, 以增加滤波器的零点来提高矩形系数, 但带外抑制恶化。同时, 该方法中并联臂上的电容过大, 造成整个器件达到 1 800 $\mu\text{m} \times 1\,000\, \mu\text{m}$ ^[4]。

本文提出了一种椭圆型声表面波滤波器, 在同一基片上特别是压电性强的基片上, 可灵活设计不同带宽的滤波器。由于电容比 γ 的存在, 声表面波谐振器取代椭圆 LC 滤波器中的谐振单元后, 额外

的零点和极点出现在通带两侧, 同时通带内阻抗失配, 造成通带内反射增大, 纹波恶化。引入模拟退火法对各个谐振器的静态电容进行优化, 实现了窄带低损耗高矩形度的滤波器。

1 设计

1.1 第二类椭圆滤波器的设计

椭圆滤波器相比其他类型的滤波器, 在阶数相同的条件下有着最小的通带和阻带波动^[4]。它在通带和阻带的波动相同, 这一点区别于在通带和阻带都平坦的巴特沃斯滤波器, 以及通带平坦、阻带等波纹或阻带平坦、通带等波纹的切比雪夫滤波器。椭圆滤波器比其他滤波器更陡, 因此在选择滤波器时, 椭圆滤波器能以较低的阶数获得较窄的过渡带宽, 但其在通带和阻带上都有波动。一个低通椭圆滤波器的频率响应的幅度为

$$G_n(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + \epsilon^2 R_n^2(\xi, \omega/\omega_0)}} \quad (1)$$

式中: R_n 为 n 阶雅可比椭圆函数; ω_0 为低通滤波器

收稿日期: 2013-05-21

作者简介: 王华磊(1981-), 男, 河南驻马店人, 博士生, 主要从事梯形及多模耦合声表面波滤波器的研究。

的截止频率; ϵ 为纹波系数; ξ 为选择因子。通过频率变换,将低通滤波器转化为带通滤波器,第二类LC椭圆带通滤波器的典型电路如图1所示。由图可见,在拓扑结构上,相对于第一类椭圆型LC滤波器^[5],该滤波器在最右侧多了一个并联谐振子。

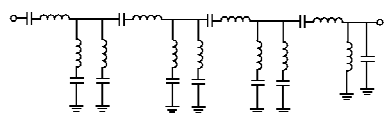


图1 第二类椭圆型LC滤波器

1.2 声表面波谐振器等效电路

图2为声表面波谐振器的等效电路。电路中的元件值可通过频率及 Q 值确定。图(a)、(b)中的静电容值间的关系为

$$C'_r/C_r = \gamma + 1 \quad (2)$$

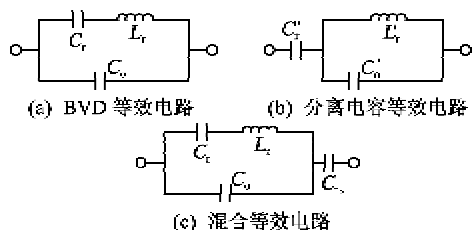


图2 声表面波谐振器的等效电路

1.3 第二类椭圆型声表面滤波器

为保持并联臂上并联谐振频率(图1中最右边的谐振器)和其他谐振器串联谐振频率不变,第二类椭圆滤波器中的谐振单元分别被图2(a)、(b)取代,如图3所示。

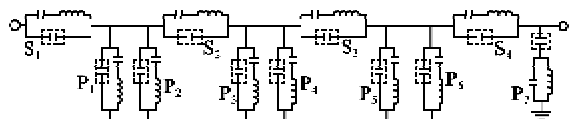


图3 第二类椭圆型声表面滤波器

2 设计结果与讨论

2.1 第二类椭圆型声表面滤波器

2.1.1 γ 对滤波器特性的影响

当增加并联及串联电容后,即 $\gamma=3.3$ 引入后,滤波器的损耗增加,器件的频率响应如图4所示。

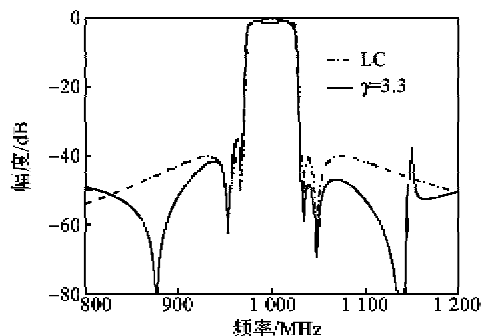
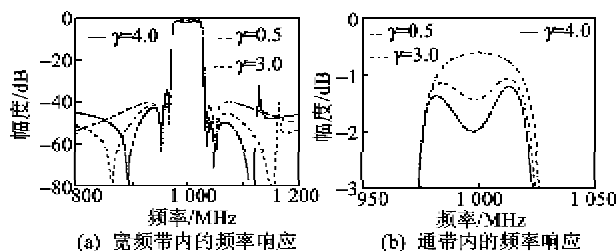


图4 滤波器的频率响应

这里的 γ 由Cu/15°YX-LiNbO₃决定^[9]。此时,由于反谐振点的引入,造成通带内阻抗失配。在通带外出现一个传输极点,这是由并联臂上的反谐振频率引起的。

以 γ 为变量,滤波器的频率响应如图5所示。随着 γ 的增加,滤波器的通带内波动急剧增大,损耗迅速恶化。这是由于 γ 越大,并联谐振点越靠近通带内,引起的阻抗失配越大。当一个电感与电容并联时,可认为并联谐振点在无限远处。

图5 γ 对滤波器特性的影响

2.1.2 Simulating Annealing (SA)优化

当声表面波谐振器取代LC谐振器后,滤波器的通带纹波增大,无法满足射频前端要求驻波小的要求。此时引入SA优化法,对各个谐振器的电参数进行优化。这里直接引用Advanced Design System(ADS)的优化模块。

图6为优化后的滤波器性能对比。采用Cu/15°YX-LiNbO₃压电基片,实现了相对带宽为5%的第二类椭圆型声表面波滤波器。与LC滤波器性能对比,滤波器的插入损耗并未随相对带宽的变化而变化,矩形系数仅取决于滤波器的阶数。

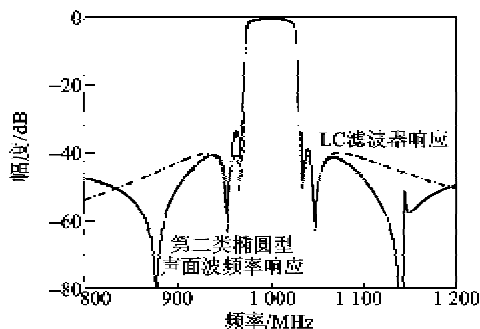


图6 优化后的频率响应

本文并未完成该滤波器的制作,但是文献[5]、[8]可有效证明,滤波器的拓扑结构确定后,根据各个谐振器的电参数,设计结构参数,进而可在Cu/15°YX-LiNbO₃实现滤波器性能。

3 结束语

本文提出了一种椭圆型声表面波滤波器,在同一基片上特别是压电性强的基片上,可灵活设计不

(下转第791页)