

文章编号: 2095-4980(2016)06-0914-03

微带交叉耦合滤波器的简化设计

周 辉¹, 钟兴建², 周钰鑫², 屈德新², 李 坤²

(1.解放军 61081 部队 技术保障中心, 北京 100080; 2.解放军理工大学 通信工程学院, 江苏 南京 210007)

摘 要: 主要研究微带交叉耦合滤波器的简化设计。通过约束传输零点之间的关系, 简化了带通滤波器交差耦合的拓扑结构, 同时又较好保持了带通滤波器带外的抑制能力。在利用微带结构实现时, 采用了谐振器顺序耦合的结构, 降低了滤波器微调的难度。同时在第一和第四谐振器间增加一段传输线以引入交叉耦合, 通过调整引入传输线的位置等可调整相应传输零点的位置, 增加了滤波器设计的灵活性。仿真结果验证了相关方法的有效性。

关键词: 微带滤波器; 交叉耦合; 传输线; 传输零点

中图分类号: TN713

文献标志码: A

doi: 10.11805/TKYDA201606.0914

Simplified design of microstrip cross coupled filter

ZHOU Hui¹, ZHONG Xingjian², ZHOU Yuxin², QU Dexin², LI Kun²

(1.Technique Support Center, Troops 61081 of PLA, Beijing 100080, China;

2.College of Communications Engineering, PLA University of Science and Technology, Nanjing Jiangsu 210007, China)

Abstract: Simplified design of microstrip cross coupled filter is studied. Cross coupling topology of bandpass filter is simplified through suitable constraints on its transmission zeros, while keeping the good stopband performance at the same time. Microstrip structure is considered here to realize cross coupled bandpass filter. Series coupling structure is adopted to minimize the difficulty of tuning the filter. Cross coupling is realized by adding transmission line between the first and the forth resonators. Transmission zeros could be altered by changing the positions of the transmission line, thus additional design flexibility could be obtained. Simulated results validate the proposed methods.

Keywords: microstrip filter; cross coupling; transmission line; transmission zeros

现代通信系统对高性能滤波器的要求和需求都非常高。作为雷达、电子、通信等系统中广泛使用的元件, 滤波器性能的优劣往往决定了系统性能的好坏, 因此对其要求越来越高, 不仅需要具备更小的尺寸, 更低的插入损耗, 还需要更好的选择性能^[1-9]。有限传输零点是提高滤波器选择特性的有效方法之一, 而交叉耦合结构可以实现有限传输零点, 因此很多学者针对交叉耦合滤波器的综合及实现展开了大量研究^[3-6]。利用广义切比雪夫函数, 可以非常灵活地设置传输零点, 但是一般情况下, 为实现给定传输零点需要颇为复杂的耦合拓扑结构, 这会给滤波器的实现带来较大困难。在滤波器的实现中, 要实现交叉耦合往往需要将各谐振器按照非线性结构排列, 这也会增加滤波器调试的难度, 而谐振器线性结构排列的滤波器虽设计和调试难度相对较低, 一般却难以产生传输零点。本文通过对常见由四谐振器耦合产生的传输零点施加一定的约束条件, 使得滤波器不仅能产生相应传输零点, 而且谐振器间的耦合拓扑结构可以简化, 便于滤波器的实现。而在利用微带线实现滤波器时, 谐振器仍采用线性耦合结构排列, 为了产生传输零点, 在第一和第四谐振器间引入传输线实现其间的耦合, 通过调整传输线的位置与物理尺寸等可以实现对传输零点位置的调整, 增加了滤波实现的灵活性。

1 交叉耦合拓扑结构的简化

对一个含四谐振器的带通滤波器而言, 如果不考虑源与负载额外引入的传输零点, 它最多能产生 2 个传输零点。在设计滤波器参数时, 可以根据对带外抑制能力的要求, 灵活调整这 2 个传输零点。

收稿日期: 2015-10-30; 修回日期: 2015-12-22

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61271105; 61271103)

图 1 给出了 2 组传输零点对应的 S_{21} 曲线。曲线 1 (curve 1) 在 2.7 GHz 和 3.3 GHz 处引入传输零点, 可以看到滤波器在通带近端具有较高的抑制能力; curve 2 则在 2.5 GHz 和 3.5 GHz 处引入传输零点, 由于传输零点离通带较远, 其近端的抑制能力较弱, 但远端的抑制能力却高于 curve 1。实际中可根据对滤波器的要求灵活调整传输零点的位置。

图 2 示出上述传输零点对应的一个经简化后的耦合拓扑结构, 其中 S, L 分别代表源与负载, 数字代表各谐振器的序号, 实线代表耦合关系, 虚线代表交叉耦合关系。从图中可见, 这种拓扑结构中除了顺序耦合存在外, 在 1,4 谐振器间和 1,3 谐振器间都存在交叉耦合。这种结构在利用微带等平面电路实现时会较困难。

为了简化耦合拓扑结构, 使之仅存在 1,4 间的交叉耦合, 消除 1,3 或 2,4 间的交叉耦合, 可以对传输零点进行微调, 并使其满足如下约束关系:

$$\left| \frac{f_{z1} - f_0}{f_0} - \frac{f_{z2} - f_0}{f_{z1}} \right| = \left| \frac{f_{z2} - f_0}{f_0} - \frac{f_{z1} - f_0}{f_{z2}} \right| \quad (1)$$

式中: f_0 , f_{z1} 和 f_{z2} 分别表示滤波器的中心频率、第 1 个传输零点和第 2 个传输零点, 在此约束关系下, 可使谐振器的耦合拓扑结构得以化简。如在图 1 的 curve 1 中, 原来的两传输零点为 2.7 GHz 和 3.3 GHz, 这 2 个零点不满足式(1)。令 $f_{z1} = 2.7$ GHz, 由式(1)可得到 $f_{z2} = 3.333$ GHz。这时滤波器的耦合拓扑可以得到化简, 如图 3 所示, 虽然这里求得的第 2 个传输零点与原传输零点略有差异, 但差异不大, 对滤波器带外抑制能力的改变也不明显, 如图 4 所示。

从图 4 可见, 虽然传输零点位置略有不同, 但滤波器带外抑制性能大体一致。需要说明的是, 这种处理方式对于传输零点分布对称性较差的滤波器并不太适用。在应用中也需根据实际性能评估来决定是否采用这种处理方式。

2 基于线性结构的微带交叉耦合滤波器的实现

交叉耦合滤波器可以用腔体、微带等结构实现。其中微带交叉耦合滤波器具有体积小、重量轻等优点, 尤其在低功率系统中应用非常广泛。在利用微带实现的交叉耦合滤波器中, 用于产生传输零点的谐振器往往不是线性排列, 这种排列方式不仅可能会使最终的滤波器调试复杂, 也降低了滤波器结构设计的灵活性。

通过在不相邻谐振器间引入额外的传输线段, 也可以实现交叉耦合, 图 5 示意了一个 5 阶交叉耦合带通滤波器, 该滤波器使用罗杰斯 6010 (介电常数 10.2, 厚度 0.635 mm) 板材。从图中可见, 谐振器 1~4 用于产生传输零点, 虽然谐振器都是按线性方式排列, 但在第 1 个谐振器和第 4 个谐振器间引入了传输线段, 该传输线段使得第 1,4 谐振器虽然距离较远, 仍能相互耦合。另外通过调整传输线段的尺寸及位置等, 还可以较独立和方便地对传输零点的位置进行调整。

图 6 中给出了一种较简单情况, 即传输线物理尺寸不变, 距离谐振器的距离 d_1 变化时传输零点的变化情况。从图中可见, 虽然各谐振器按线性位置排列, 但由于有了传输线的耦合, 还是产生了传输零点, 且传输线距离谐振器的距离越近, 谐振器 1,4 间耦合越强, 通带低端传输零点越靠近通带, 滤波器近端抑制能力越强, 但伴随的是远端抑制能力的降低。因此传输零点的具体位置应考虑实际性能要求再予以确定。图 6 中通

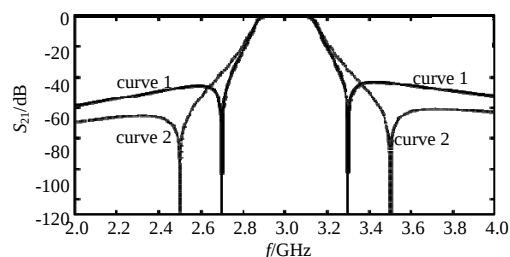


Fig.1 Two S_{21} curves of different transmission zeros
图 1 两组不同传输零点对应的滤波器 S_{21} 曲线

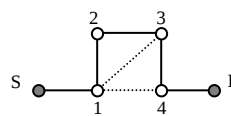


Fig.2 Coupling topologies of two different transmission zeros
图 2 两组传输零点对应的耦合拓扑结构

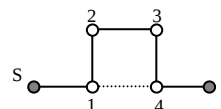


Fig.3 Coupling topology with constrained transmission zeros
图 3 带约束传输零点对应的耦合拓扑结构

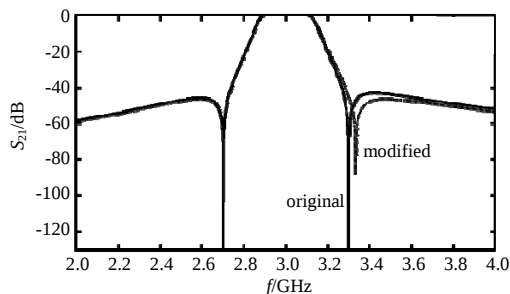


Fig.4 S_{21} curves of constrained transmission zeros and original transmission zeros
图 4 带约束传输零点和原始传输零点对应的 S_{21} 频响特性

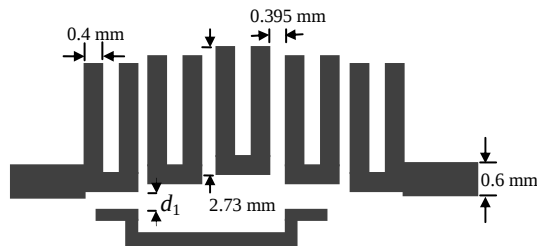


Fig.5 Diagram of a 5-order microstrip cross coupled filter with resonators linearly placed
图 5 线性排列的 5 阶微带交叉耦合滤波器示意图

带高端一般也应有传输零点,且一般随传输线的调整,零点位置通常也是会变的。但图中显示的通带高端的传输零点应是由馈电位置确定,因此看不出类似通带低端的传输零点的移动。

3 结论

本文主要研究了基于 4 个谐振器的传输零点生成拓扑结构的简化及微带实现。通过约束通带两侧传输零点的关系,可以仅保留第 1,4 谐振器间的交叉耦合,消除第 1,3 谐振器及第 2,4 谐振器间的交叉耦合,由此简化了耦合拓扑,便于实现和调试。在利用微带电路实现滤波器时,仍将各谐振器线性排列,通过在第 1,4 谐振器间引入传输线来引入交叉耦合,调整传输线的尺寸、位置即可实现传输零点的改变。这种实现方式结构更简单,调试起来也更方便。仿真结果显示了其对于传输零点控制的有效性。

参考文献:

- [1] CHU P, HONG W, DAI L L, et al. Wide stopband bandpass filter implemented with spur stepped impedance resonator and substrate integrated coaxial line technology[J]. IEEE Microwave and Wireless Components Letters, 2014, 24(4): 218–220.
- [2] MA K X, MA J G, YEO K S, et al. A compact size coupling controllable filter with separate electric and magnetic coupling paths[J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2006, 54(3): 1113–1119.
- [3] YASSINI B, YU M, KEATS B. A Ka-band fully tunable cavity filter[J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2012, 60(12): 4002–4012.
- [4] TAMIAZZO S, MACCHIARELLA G. Synthesis of cross-coupled prototype filters including resonant and non-resonant nodes[J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2015, 63(10): 3408–3415.
- [5] HE J, JIN L, TANG W. A novel cross coupled filter through mixed coupling path with multiple tunable transmission zeros[J]. Electromagnetics, 2014, 34(8): 608–616.
- [6] LIAO C K, CHI P L, CHANG C Y. Microstrip realization of generalized Chebyshev filters with box-like coupling schemes[J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2007, 55(1): 147–153.
- [7] CHU Qingxin, WANG Huan. A compact open-loop filter with mixed electric and magnetic coupling[J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2008, 56(2): 431–439.
- [8] WEI F, CHEN L, SHI X W. Compact dual-mode dual-band bandpass filter with wide stopband[J]. Journal of Electromagnetic Waves and Applications, 2012, 26(11-12): 1441–1447.
- [9] ATHUKORALA L, BUDIMIR D. Compact filter configurations using concentric microstrip open-loop resonators[J]. IEEE Transactions on Microwave and Wireless Components Letters, 2012, 22(5): 245–247.

作者简介:



李 坤(1992–), 男, 江苏省淮阴市人, 在读硕士研究生, 主要研究方向为微波无源器件。

周 辉(1977–), 男, 江苏省泰州市人, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为射频前端、卫星导航等。email:zxjcd00001@126.com.

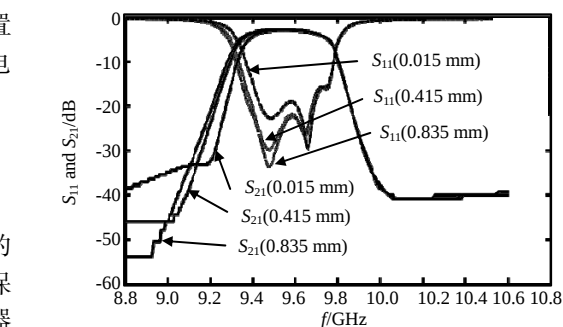


Fig.6 Examples of transmission zeros' changes with d_1 tuned

图 6 传输线调整 d_1 时传输零点的改变(d_1 取值: 0.015 mm, 0.415 mm, 0.835 mm)

钟兴建(1975–), 男, 成都市人, 博士, 讲师, 主要研究方向为微波无源器件、天线及电波传播等。

周钰鑫(1991–), 男, 浙江省桐乡市人, 在读硕士研究生, 主要研究方向为微波无源器件。

屈德新(1966–), 男, 江苏省常熟市人, 博士, 副教授, 主要研究方向为微波器件、系统。