

# A Research of Bandpass Filter with Miniaturization and High Performance Based on Stripline Configuration

Yi Liu, Yongsheng Dai\*

School of Electronic and Optical Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing Jiangsu  
Email: 1473828087@qq.com, daiyongsheng1005@126.com

Received: Jan. 8<sup>th</sup>, 2016; accepted: Jan. 25<sup>th</sup>, 2016; published: Jan. 29<sup>th</sup>, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

---

## Abstract

With the continuous progress of technology, modern communication technology has increasingly demand for high-level equipment; the situation of the microwave filter as one of the essential components in microwave module is the same case. Multilayer microwave filter which is based on the LTCC technology meets these requirements and is becoming one of the hot research fields. A method for the section of stripline configuration bandpass filter with miniaturization and high performance is proposed. In order to ensure its miniaturization, this filter is based on the LTCC technology which is advance in the world. Using the circuit simulation and 3D simulation software to optimize and simulate, the measured results of the filter satisfy its performance requirement. The centre frequency of the BPF is at 2800 MHz and its bandwidth is 200 MHz; at 2600 MHz the stop-band attenuation needs to be more than 33 dB and at 3020 MHz is more than 20 dB. Its size of the fabricated filter is only 4.8 mm × 4.2 mm × 1.5 mm.

## Keywords

Bandpass Filter, Stripline Configuration, Low Temperature Co-Fired Ceramic, Miniaturization, Transmission Zeros

---

# 小型化高性能带状线型滤波器的研究

刘毅, 戴永胜\*

南京理工大学电子工程与光电技术学院, 江苏 南京

\*通讯作者。

文章引用: 刘毅, 戴永胜. 小型化高性能带状线型滤波器的研究[J]. 应用物理, 2016, 6(1): 7-14.

<http://dx.doi.org/10.12677/app.2016.61002>

## 摘要

随着科技的不断进步, 现代通信技术对设备的要求愈来愈高, 对于微波滤波器这一重要的射频元器件在小型化与高性能方面的要求也越来越严格。而基于LTCC技术的带状线型微波滤波器正好满足了这些需求, 逐渐成为了微波元器件研究的热点之一。本文实现了一种基于LTCC技术的小型化高性能带状线滤波器设计的实现方法, 工艺上采取的LTCC技术大大缩小了滤波器的尺寸。借助电路仿真并在电磁场三维仿真软件上进行优化, 实物测试结果与仿真结果很好的吻合, 中心频率为2800 MHz, 带宽为200 MHz, 在2600 MHz频率上的衰减优于33 dB, 在3020 MHz频率上的衰减优于25 dB, 尺寸仅为4.8 mm × 4.2 mm × 1.5 mm。

## 关键词

带通滤波器, 带状线结构, LTCC, 小型化, 传输零点

## 1. 引言

在经济腾飞、科技腾飞的今天, 无论是现代通信技术理论亦或是移动通信设备器件均有了日新月异的变化, 武器军用、商业民用、航空航天等诸多领域均对微波射频器件的性能有着越来越高的要求。特别是在移动通信应用方面, 设计出小型化、轻量化、低成本、低生产周期、高度集成、高质量的微波射频器件, 已然成为市场竞争最大战场之一[1]。微波滤波器作为微波射频器件中不可或缺的元器件之一, 广泛应用于航空航天、军事卫星、民用通信等多个行业, 由于其性能的优劣对整个系统都有着巨大的影响, 加上频段资源非常有限, 拥挤问题严重, 在设计系统性器件时, 会对所需的滤波器给予十分严格的技术指标。

LTCC (low temperature co-fired ceramic)即低温共烧陶瓷[2], 与其他材料相比, 其高频性能与高速传输特性均十分的优良而且其通带非常的宽裕。在大电流且高温的特定情况下, 具有相对较小的热膨胀系数和介电常数温度系数, 热传导性优良。制作成本与减少体积方面, LTCC 技术采用了多层堆叠技术, 组装密度大大提高, 更有利于故障的排查, 且大大的减少了器件的体积。同时 LTCC 技术的兼容性非常好, 同时大大降低废料的产生。

此款基于 LTCC 技术的带通滤波器采用带状线结构的方式设计而成, 具有体积小、性能高、结构简单、易生产等诸多优点[3]。此滤波器的设计指标如下: 中心频率为 2800 MHz, 带宽为 200 MHz, 带内插入损耗小于 3.5 dB, 在 2600 MHz 处带外抑制  $\geq 33$  dB, 在 3020 MHz 处带外抑制  $\geq 25$  dB, 电压驻波比  $\leq 1.5$ 。在引入 Z 字型结构添加带外传输零点后, 阻带得以有效抑制, 最终产品尺寸为 4.8 mm × 4.2 mm × 1.5 mm。

## 2. 滤波器理论设计

要实现滤波效应, 必须有构成谐振的组合电路, 这也就意味着谐振电路是构成滤波器的基础。带状线型滤波器的谐振单元不再是集总模式下的电感电容, 而是一段传输线。其等效电路图如图 1 所示。

此款带通滤波器由六个谐振级[4] [5]构成, 电路理论图如图 2 所示, L7、L8、L9、L10、L11 是由两

个谐振单元之间构成耦合磁场传递能量的磁耦合等效而成的串联电感。

此电路虽有带通滤波的作用, 但性能较差, 边带陡峭度不够, 无法满足技术指标。因此, 引入 Z 字型结构, 以交叉耦合的方式来引入传输零点[6]以期改善其不良的带外衰减抑制制度问题。图 3 为添加 Z 字型结构后的电路图, C16 是加入 Z 字型结构后而引入零点所增加的交叉耦合电容。

为了优化滤波器性能, 考虑引入 U 型结构, 以加强谐振级之间的磁耦合效应[7], 如图 4。

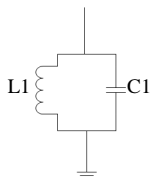


Figure 1. Resonant circuit

图 1. 谐振单元电路

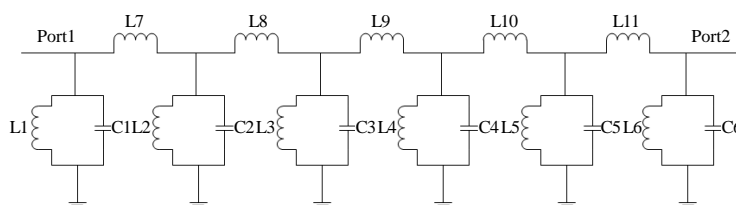


Figure 2. Six-order bandpass filter circuit

图 2. 六阶带通滤波器电路

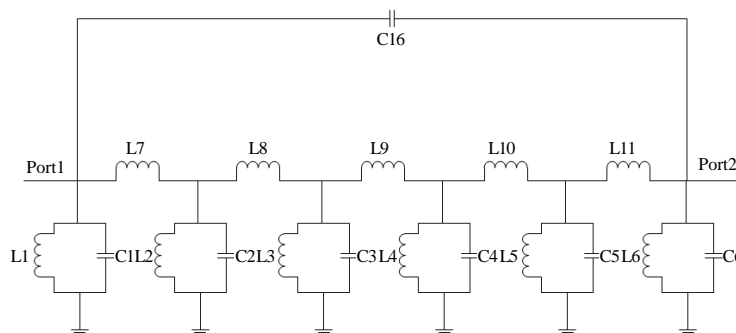


Figure 3. Bandpass filter circuit with the Z

图 3. 添加 Z 字型结构的带通滤波器电路

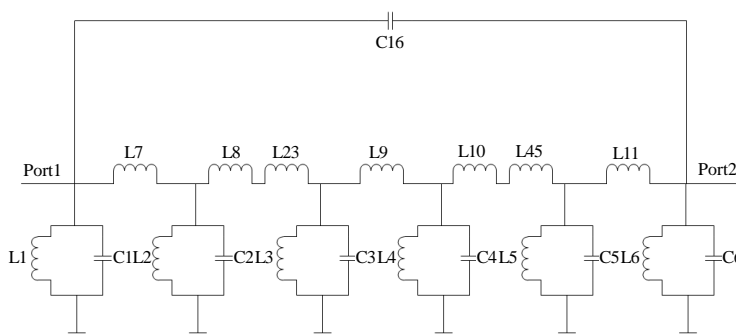


Figure 4. An improved bandpass filter circuit

图 4. 完善后的带通滤波器电路

### 3. LTCC 三维实现

#### 3.1. 谐振单元的三维实现

本设计的中心频率是 2800 MHz, 采用分布参数的并联谐振单元, 带状线型 LTCC 滤波器不再以通孔来连接不同空间的传输线, 而是通过将带状线的一侧接在已经包裹上金属面的介质盒的前后面, 此前面为滤波器的接地[8]。如图 5 所示, 图为并联谐振单元。由主谐振单元带状线提供等效电路中的电感, 自电容和所有接地耦合电容共同组成等效电路中的电容。

#### 3.2. 六个谐振单元的三维实现

此款带通滤波器由六个谐振单元组合而成, 介质采用相对介电常数为 13.3 的陶瓷材料, 介质损耗角为  $\tan\theta = 0.00058$ , 金属导体材料采用了银, 厚度均为 0.01 mm。六个谐振单元组合的三维模型如图 6 所示, 六个谐振单元组合在 HFSS 中的仿真曲线如图 7 所示。

由图可知, 中心频率 2800 MHz 处的插损为 2 dB, 带宽 2700 MHz 以及 2900 MHz 处的插损分别为 2.3 dB 和 2.7 dB, 电压驻波比  $\leq 1.4$ , 频率在 2600 MHz 时, 带外衰减为 12.5 dB, 频率在 3020 MHz 时, 带外衰减为 21.2 dB。

#### 3.3. 添加 Z 字型结构插入零点

虽然通带以及驻波基本满足了设计指标, 但是阻带抑制度非常差, 为了有效提高边带抑制, 选择插入一个 Z 字型结构, 用以添加可控的传输零点。上下两个湖青色面板是屏蔽层, 前后两块灰色包面是接地, 分别连接不同的带状线一端。器件的四周加上了金属屏蔽盒, 不仅可以防止外界的电磁干扰和内部能量的外向辐射, 而且可以保护电路, 便于安装插头以及与其他器、部件固定。红色模块的作用是显示出器件的上下层, 红色一面为上。

三维模型图如图 8 所示。图 9 为该滤波器在 HFSS 中的仿真曲线。

由图可知, 中心频率 2800 MHz 处的插损为 1.9 dB, 带宽 2700 MHz 以及 2900 MHz 处的插损分别为 2.7 dB 和 2.6 dB, 电压驻波比  $\leq 1.4$ , 频率在 2600 MHz 时, 带外衰减为 36 dB, 频率在 3020 MHz 时, 带外衰减为 39 dB。插入传输零点后, 边带明显陡峭, 驻波也有优化。

#### 3.4. 添加 U 字型结构进行优化

加入 Z 字型结构的带状线型滤波器已基本满足所要求的技术指标, 然而理论仿真必须保证足够的余量, 便于生产, 投入使用。可选用 U 型结构加强级间的磁耦合效应, 微调参数后, 得出最后仿真图形。

三维模型图如图 10 所示。图 11 为优化后滤波器在 HFSS 中的仿真曲线。

由图可知, 中心频率 2800 MHz 处的插损为 1.9 dB, 带宽 2700 MHz 以及 2900 MHz 处的插损分别为 2.7 dB 和 2.8 dB, 电压驻波比  $\leq 1.2$ , 频率在 2600 MHz 时, 带外衰减为 34 dB, 频率在 3020 MHz 时, 带外衰减为 41 dB。添加 U 型结构后, 边带更加陡峭, 驻波更加趋于 1。优化后的滤波器性能有了极大的改善, 留有了足够余量, 可投入生产加工, 进行实物测试。

## 4. 仿真测试结果

本款半集总结构小型化带通滤波器产品体积为  $4.8 \text{ mm} \times 4.2 \text{ mm} \times 1.5 \text{ mm}$ , 介质采用相对介电常数为 13.3 的材料, 其损耗角为  $\tan\theta = 0.00058$ , 加工完成之后的滤波器实物如图 12 所示。

如图 13 所示为带状线型带通滤波器的实测结果图。测试结果如下: 带内插损最大值为 3.5 dB; 频率在 2600 MHz 时, 带外衰减优于 33 dB, 频率在 3020 MHz 时, 带外衰减优于 25 dB。驻波优于 1.5。由实物生产与测试结果可知, 此款滤波器在满足小型化的同时, 性能上也完全符合了设计指标。

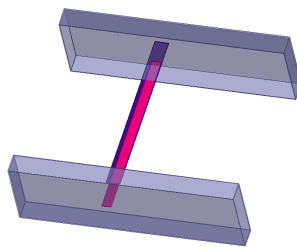


Figure 5. 3D model of parallel resonant  
图 5. 并联谐振单元的三维模型图

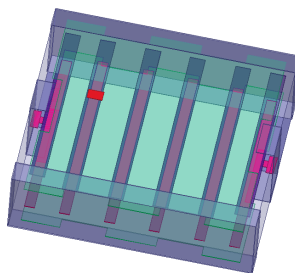


Figure 6. 3D model of six-order parallel resonants  
图 6. 六个谐振单元组合的三维实现

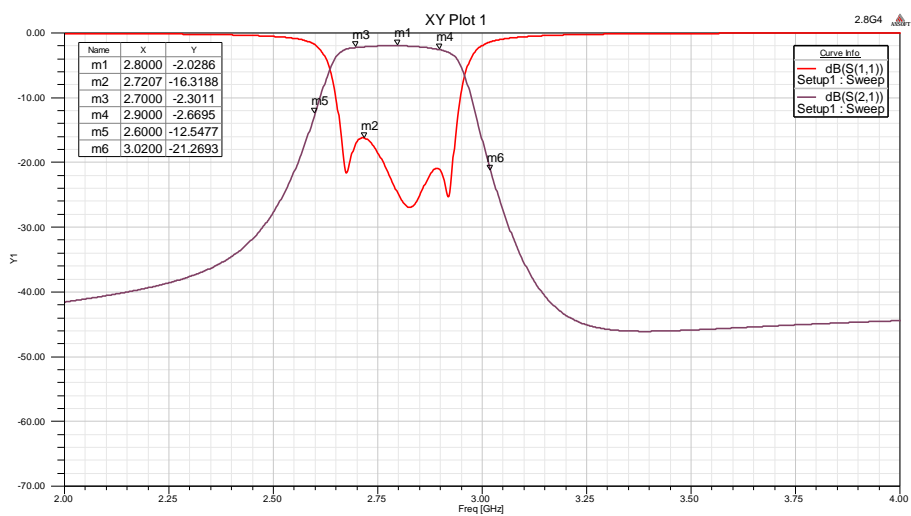


Figure 7. Simulated results of six-order parallel resonants  
图 7. 六个谐振单元组合仿真波形图

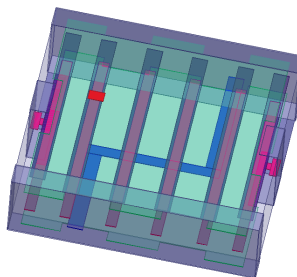


Figure 8. 3D model of the LTCC filter  
图 8. LTCC 滤波器级联的三维模型图

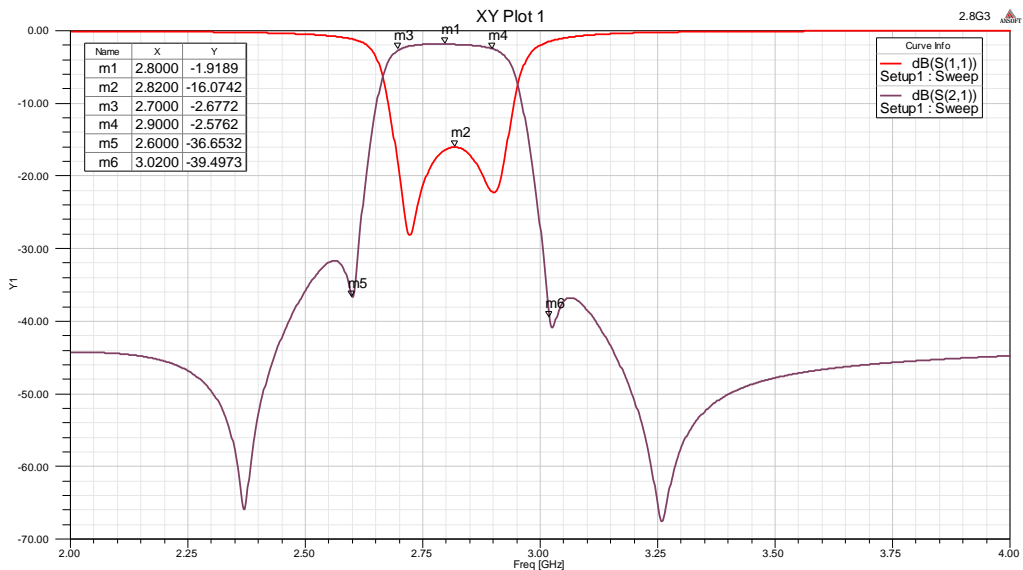


Figure 9. Simulated results of the LTCC filter

图 9. LTCC 滤波器仿真波形图

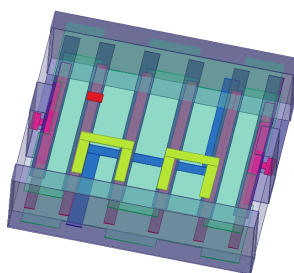


Figure 10. 3D model of the improved filter

图 10. 滤波器优化后的三维模型图

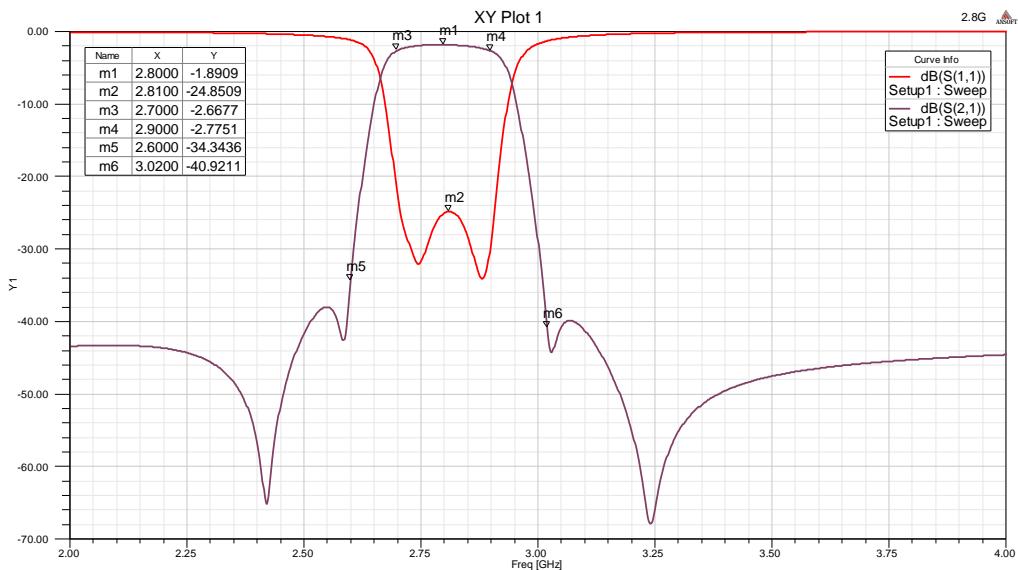


Figure 11. Simulated results of the improved filter

图 11. 滤波器优化后的仿真波形图

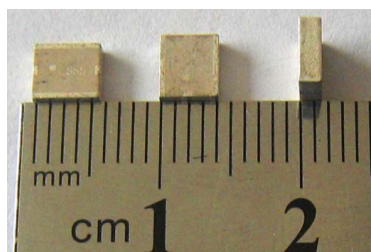


Figure 12. Physical map of the LTCC filter

图 12. LTCC 滤波器实物图

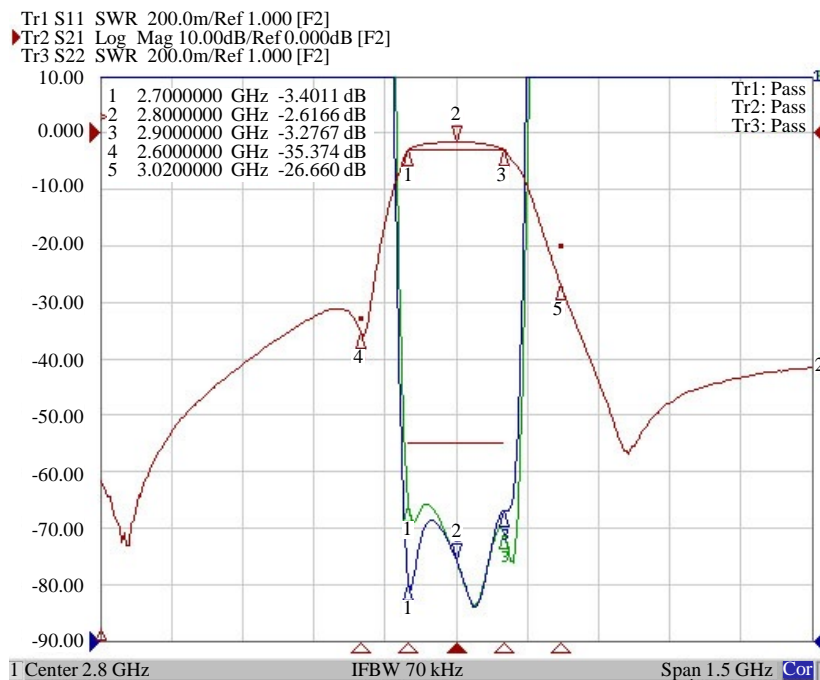


Figure 13. Measured results of the LTCC filter

图 13. LTCC 滤波器测试波形图

## 5. 结论

本款基于 LTCC 技术的带状线型带通滤波器, 选择六级谐振, 中心频率在 2800 MHz, 带宽 200 MHz, 驻波优于 1.5, 插损小于 3.5 dB。为了显著提升边带陡峭度, 以插入 Z 字型结构的方式添加传输零点。优化过程中, 添加两个 U 型结构, 以加强谐振单元间的磁耦合, 软件仿真结果大大优于设计指标, 允许投入实际生产加工。实际生产后对其实物性能进一步加以测试验证, 各项参数均优于设计指标, 圆满完成此款滤波器的设计与加工。

本款带状线型小型化高性能带通滤波器产品体积仅为 4.8 mm × 4.2 mm × 1.5 mm, 满足小型化需求的同时, 实际测试结果性能优良, 达到了预先既定的设计指标并留有了一定的余量, 是一款非常实用而且性能优良、易于生产加工的带通滤波器。

## 基金项目

国家重点基础研究发展“973”计划项目资助(No. 2009CB320201); 国家国防重点实验室基金项目资助(No. 9140C1402021102)。

### 参考文献 (References)

- [1] Pozar, D.M., *et al.* (2006) Microwave Engineering. 2nd Edition, Publishing House of Electronics Industry, Beijing.
- [2] 钟慧, 张怀武. 低温共烧结陶瓷(LTCC): 特点、应用及问题[J]. 磁性材料及器件, 2003(8): 33-35.
- [3] Hu, X.J. (2005) The Technology Prospect of LTCC. *Modern Ceram*, **25**, 21-33.
- [4] Marti, J. and Griol, A. (1998) Harmonic Suppressed Microstrip Multistage Coupled Ring Band Pass Filters. *Electronics Letters*, **34**, 2140. <http://dx.doi.org/10.1049/el:19981506>
- [5] 李宝山. 边带陡峭 LTCC 滤波器的研究与设计[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京理工大学, 2009.
- [6] Jeng, Y.-H., Chang, S.-F.R. and Lin, H.-K. (2006) A High Stopband-Rejection LTCC Filter with Multiple Transmission Zeros. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, **54**, 633-638. <http://dx.doi.org/10.1109/TMTT.2005.862669>
- [7] 李章涛. 双传输零点 LTCC 带通滤波器的设计与仿真[J]. 中国电子科学研究院学报, 2010(2): 209-212.
- [8] 夏红, 徐自强, 王浩勤. LTCC 带通滤波器的设计[J]. 电子科技大学报, 2008(S1): 47-49.