

新方法实现双传输零点 LTCC 带通滤波器

甘立云,刘颖力,王雨,贵鹏,杨凯

(电子科技大学 微电子与固体电子学院,四川 成都 610054)

摘要:采用新型方法设计了一个具有两个有限传输零点的集总参数二阶小型化低温共烧陶瓷(LTCC)带通滤波器。滤波器是基于电容耦合谐振带通滤波器的基础上进行设计的。两个谐振腔之间的共同接地电感使滤波器产生了两个有限传输零点,通过调节接地电感的大小可以改变高频处传输零点的位置,致使滤波器具有优良的带外抑制性能。滤波器设计紧凑,整个封装尺寸仅为 $2.5\text{ mm} \times 2.0\text{ mm} \times 0.9\text{ mm}$,满足 1008 型号封装要求。

关键词:带通滤波器;低温共烧陶瓷;高阻带抑制;插入损耗;传输零点

中图分类号:TN603.5

文献标识码:A

Novel Method Achieving LTCC Band-pass Filter with Two Transmission Zeros

GAN Liyun, LIU Yingli, WANG Yu, GUI Peng, YANG Kai

(School of Microelectronics and Solid-state Electronics, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China)

Abstract: A novel method was proposed to design a compact low-temperature co-fired ceramics (LTCC) lumped-element second-order bandpass filter with two finite transmission zeros. The filter model was established according to the structure of capacitor coupled resonate band-pass filter. Two transmission zeros were produced by the grounded inductance between two resonators. The location of the transmission zeros at a high-side skirt could be adjusted by properly controlling the value of inductors, so that the filter was with excellent out-of-band attenuation performance. This band-pass filter had a compact structure and occupied an area of only $2.5\text{ mm} \times 2.0\text{ mm} \times 0.9\text{ mm}$, meeting the requirement of packaging size of 1008.

Key words: band-pass filter; low temperature co-fired ceramic (LTCC); high stopband rejection; insertion loss; transmission zero

0 引言

滤波器作为射频前端的关键性器件,在发射和接受信号过程中起着移除杂波和高次谐波分量的重要作用,直接决定着整个通信系统的性能好坏。但随着无线通信系统和个人手持消费电子产品的高速发展,射频产品也朝着多功能化和小型化发展。经典的平面耦合滤波器由于其过大的体积已不再适应科技的发展^[1-3]。低温共烧陶瓷(LTCC)是一种广泛使用的多层技术,由于其卓越的三维集成能力,高精密度,高载品质因子而备受学者关注。利用 LTCC 的多层技术,有源器件可以安装在陶瓷的表面层,而不同类型的无源元件则可嵌入到内层从而形成紧凑的射频模块,还能显著较低成本。截至目前,各种射频器件已成功使用 LTCC 技术进行加工

制造^[4-5]。本文设计了一个中心频率为 2.45 GHz 的微型带通滤波器,它的两个谐振器之间的共同接地电感使滤波器在带外产生了两个有限传输零点,并通过 HFSS 进行了具体优化。

1 电路模型设计

为了使设计的 LTCC 带通滤波器具备在通带内插入损耗小,带外抑制高,有多种方法可以实现。其中最典型的两种方法:增加滤波器的阶数^[6]和在带外引入传输零点^[7]。但是滤波器阶数的增加是以牺牲增大滤波器的体积、设计难度和高频产生的寄生效应为代价,因此更好的方法是在阻带引入传输零点。图 1 为常见的几种可以引入两个传输零点的电路原理图,他们均可在上、下阻带分别引入一个有限传输零点。

收稿日期:2013-08-10

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61371053),中电集团校企合作基金资助项目(JJ120304)

作者简介:甘立云(1989-),男,四川广安人,硕士生,主要从事基于 LTCC 技术的蓝牙模块的研究。刘颖力(1968-),男,教授,博士生导师,主要从事 LTCC 技术与片式小型化电子元器件以及无源集成技术的研究。

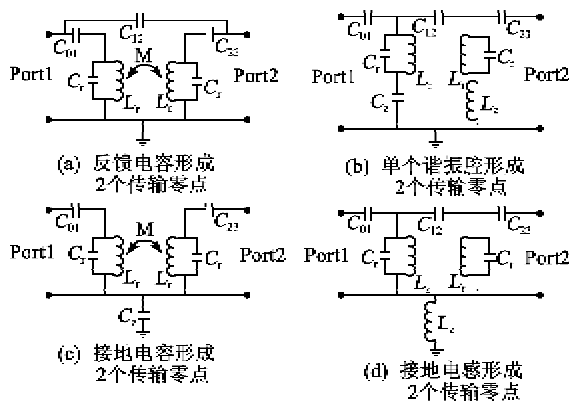


图1 具有2个传输零点的滤波器原理图

图1(a)设计的缺点是设计复杂,计算难^[1];图1(b)是调节复杂^[8];图1(c)是电容所需值大,不利于加工^[2];本文提出了一种新颖产生传输零点的方法,采取在两个谐振腔之间加入一个耦合接地电感,其相应的电路结构如图1(d)所示。这里采用Y-参数来分析该带通滤波器的传输零点^[10]。考虑到 C_{01} 、 C_{23} 对传输零点的引入没有影响,我们可将图1(d)简化为图2所示的电路图。

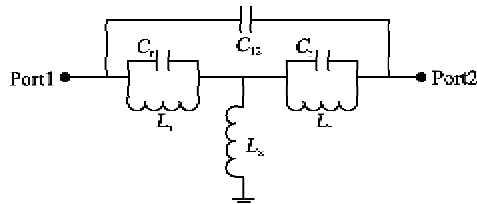


图2 滤波器简化原理图

根据图2,简化原理图的Y矩阵可通过以下步骤得到。

- 1) 通过级联两个谐振器和耦合电容的ABCD矩阵计算出2个耦合谐振器的Z矩阵。
- 2) 将其与接地电感 L_x 串联得到总Z矩阵。
- 3) 再通过矩阵求逆,就可得到简化电路的Y矩阵表达式:

$$Y_{12}=Y_{21}=\frac{1}{2X_1+X_1^2B}-\frac{1}{X} \quad (1)$$

其中

$$X_1=\omega L_r/(1-\omega^2 L_r C_r) \quad (2)$$

$$X=1/(\omega C_2) \quad (3)$$

$$B=1/(\omega L_x) \quad (4)$$

当 Y_{21} (或者 Y_{12})=0时,2个有限传输零点位置可得到

$$\omega_{z,3}=\sqrt{\frac{P\pm\sqrt{Q}}{S}} \quad (5)$$

$$P=L_r[2L_xC_r+C_{12}(L_r+2L_x)] \quad (6)$$

$$Q=L_r^2C_{12}[4L_rL_xC_r+C_{12}(L_r+2L_x)^2] \quad (7)$$

$$S=2L_r^2L_xC_r(C_r+2C_{12}) \quad (8)$$

在仿真过程中,首先在安捷伦公司的ADS软件中微调图1(d)中的每个元件值。滤波器的中心频率由 L_r 和 C_r 决定,调节 C_{01} 、 C_{23} 可实现器件最佳阻抗匹配。通过微调图1(d)中各个元件得到具体数值如下: $C_{01}=C_{23}=0.7$ pF, $C_{11}=C_{23}=0.7$ pF, $C_r=5.15$ pF, $C_{12}=0.34$ pF, $L_r=0.7$ nH, $L_x=0.04$ nH。电路仿真结果如图3所示,图中与没有加接地耦合电感的电路仿真图进行了对比,由图可以看出,2个传输零点在预计的频率出现了,使滤波器阻带衰减特性远高于未加接地电感时,同时接地电感的添加基本不对其通带内插损产生影响。

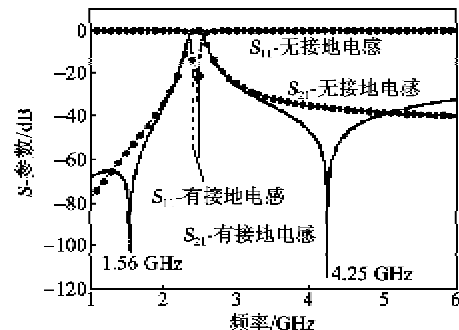
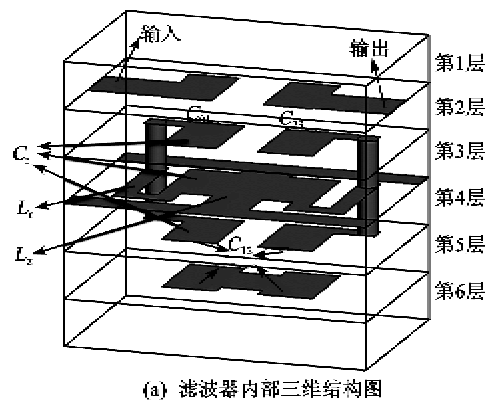


图3 滤波器电路仿真结果图

2 滤波器模型设计仿真

ADS电路仿真得到具体元件数值后,再把集总参数的元件转换成LTCC结构,最终滤波器电路总共在5层LTCC基板材料上进行布局实现,再通过高频电路仿真软件HFSS进行仿真得到具体模型大小,最后合理进行空间布局拼接得到最后的滤波器三维结构。本次滤波器设计中所用陶瓷材料是美国Ferro公司生产的ULF140, $\epsilon_r=14$, $\tan\delta=0.0015$,每层厚为29 μm ,金属厚为6 μm ,最小线宽为0.2 mm。滤波器的三维结构图和封装效果图如图4所示,滤波器的左、右两端是输入、输出端,两侧封银引出接地。



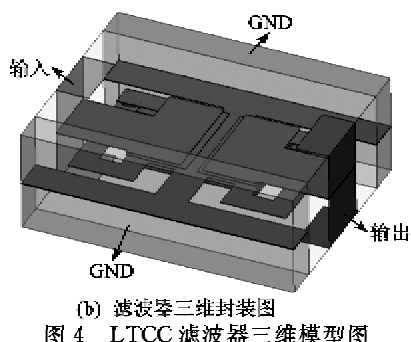
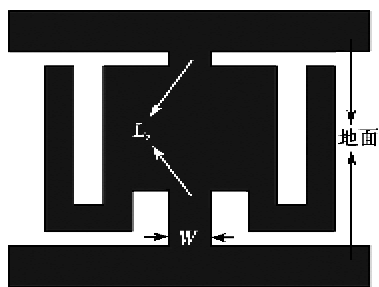
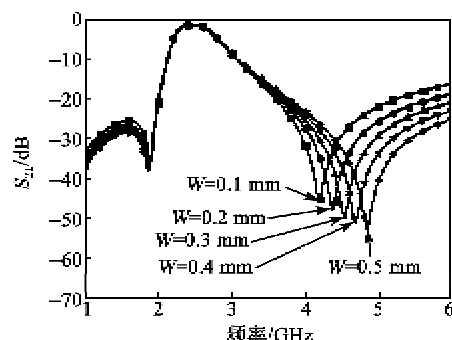


图4中的LTCC滤波器结构和图1(d)中的电路原理图有紧密的联系。由图4(a)可见,本设计中的两个谐振腔都是由U型电感和VIC型多层电容组成,对这些电感电容元件合理布局可有效地减小滤波器整体尺寸。但是由于不同元件之间间隔很小,在高频情况下常会在结构内部产生一些不希望的相互耦合和寄生效应。整体滤波器结构布局采取左、右完全对称的结构,这样更有利于设计和加工,同时可以节约成本。由前面电路仿真得到接地电感 L_z 是小值电感,所以 L_z 可用一段很短的接地传输微带线实现,如图5所示。在本次仿真设计中, L_z 并不是使用传统的通孔连接一块大接地板与地相连接,而是直接与侧面接地端相连^[11]。通过这种独特接地设计,可有效减少器件各部分对地产生的寄生电容而减少其对滤波器性能的恶化,还能减少通孔的使用更有利于三维结构设计和加工。



滤波器高频部分的传输零点可通过调节 L_z 的宽度 W (见图5)实现。 L_z 的 W 越宽,其电感值也就越小, L_z 的减小导致高频部分的传输零点往更高频部分移动,如图6所示。由图可看出,传输零点位置的改变,基本不会改变滤波器通带内的性质。选取 $W=0.2\text{ mm}$ 的滤波器进行分析可见,滤波器中心频率在 2.45 GHz ,带宽约 200 MHz ,与预先设计的中心频率吻合。通带损耗 $S_{21} \leq 1.55\text{ dB}$,中心频率处回波损耗 $S_{11} \leq -25\text{ dB}$,驻波比 ≤ 1.25 ,在 1.8 GHz 和 4.3 GHz 各有一个传输零点,使滤波器

在阻带具有很好的衰减特性,和电路仿真相吻合。



3 结束语

本文使用HFSS电磁场仿真软件,采用LTCC工艺,设计出带有2个传输零点的叠层式带通滤波器结构模型。该滤波器是在传统无传输零点的二阶切比雪夫滤波器的两个谐振腔之间加入一个小值耦合接地电感构成。通过调整接地电感的宽度可方便地调整高频处传输零点的位置来加强阻带抑制能力,器件整体尺寸仅为 $2.5\text{ mm} \times 2.0\text{ mm} \times 0.9\text{ mm}$,满足1008型号封装要求。该滤波器具有结构简单,便于设计,性能优良和小型化的特点,能满足小型化手持电子设备和无线通讯射频电路的需求。

参考文献:

- [1] CHEN Daming, LIU Yingli, LI Yianxm, et al. Design and fabrication of 2.45 GHz miniaturized band-pass filter by LTCC technology[C]// Xi'an: IEEE, 2010: 1321-1323.
- [2] REINHARD K, MATTHIAS R, PETER U, et al. LTCC-multilayer ceramic for sensor and wireless application[M]. Germany: Kamp-Lieftort, 2001.
- [3] LUCCRO R, QUTTENCH W, PAVIO A, et al. Design of an LTCC switch diplexer front-end module for GSM/DCS/PCS applications[J]. Radio Frequency Integrated Circuits (RFIC) Symposium, 2001: 213-216.
- [4] DAI Y S, ZHOU W K, LI B S, et al. Design and implementation of a miniaturized LTCC filter with high stopband rejection[C]//Chengdu: IEEE, 2010: 1584-1587.
- [5] YEUNG L K, WU K L. A compact second-order LTCC bandpass filter with two finite transmission zeros[J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2003, 51(2): 337-341.

- [6] MATTHAEI G L, YOUNG L, JONES E M T. Microwave filter, impedance-matching networks, and coupling structures[M]. New York: McGraw-Hill, 1964.
- [7] LIMAND J S, PARK D C. A modified chebyshev bandpass filter with attenuation poles in the stopband[J]. IEEE Trans Microwave Theory Tech, 1997, 45(6): 898-904.
- [8] LEUNG W Y, CHENG K K M, WU K L. Multilayer LTCC bandpass filter design with enhanced stopband characteristics[J]. Microwave and Wireless Components Letters, 2002, 12(7): 240-242.
- [9] DING S M, TIAN H. Bandpass filter with two transmission zeros using LTCC technology[J]. Electronic Sci & Tech, 2010, 23(8): 65-67.
- [10] TANG Chingwen, LIN Yincheng, CHANG Chiyang. Realization of transmission zeros in combline filters using an auxiliary inductively coupled ground plane[J]. Microwave Theory and Techniques, 2003, 51(10): 2112-2118.
- [11] LI Yuanxun, LIU Yingli, ZHANG Huaiwu, et al. The design and fabrication of RF band pass filter by LTCC technology [C]//Shanghai: Technology & High Density Packaging, 2008.

(上接第 338 页)

参考文献:

- [1] OMAR A F B, MATJAFRI M Z B. Turbidimeter design and analysis: a review on optical fiber sensors for the measurement of water turbidity [J]. Sensors, 2009, 9: 8311-8335.
- [2] GARCÍA A, PÉREZ M A, ORTEGA G J G, et al. A new design of low-cost four-beam turbidimeter by using optical fibers[J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2007, 56(3): 907-912.
- [3] KONTTURI V, TURUNEN P, UOZUMI J, et al. Robust sensor for turbidity measurement from light scattering and absorbing liquids[J]. Optics Letters, 2009, 34(23): 3743-3745.
- [4] REIF R, A'AMAR O, BIGIO I J. Analytical model of light reflectance for extraction of the optical properties in small volumes of turbid media[J]. Applied Optics, 2007, 46(29): 7317-7328.
- [5] WOLFBEIS O S. Fiber-optic chemical sensors and biosensors[J]. Anal Chem, 2008, 80: 4269-4283.
- [6] BOSCH M E, SÁNCHEZ A J R, ROJAS F S, et al. Recent development in optical fiber biosensors[J]. Sensors, 2007, 7: 797-859.
- [7] UTZINGER U, KORTUM R R R. Fiber optic probes for biomedical optical spectroscopy[J]. Journal of Biomedical Optics, 2003, 8(1): 121-147.
- [8] YUN Tianliang, ZENG Nan, LI Wei, et al. Monte Carlo simulation of polarized photon scattering in anisotropic media [J]. Opt Express, 2009, 17(19): 16590-16602.
- [9] WANG L, JACQUES S L, ZHENQ L. MCML-monte Carlo modeling of light transport in multi-layered tissues[J]. Comput Meth Prog Biomed, 1995, 47(2): 131-146.
- [10] PRERANA, SHENOY M R, PAI B P. Method to determine the optical properties of turbid media[J]. Applied Optics, 2008, 47(17): 3216-3220.
- [11] 雷桂媛. 关于蒙特卡罗及拟蒙特卡罗方法的若干研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2003.
- [12] HENY EY L G, GREENSTEIN J L. Diffuse radiation in galaxy[J]. Astrophys J, 1941, 93: 70-83.