

具有宽杂波抑制特性的U型DGS低通滤波器

冯文杰 邓宽 车文荃

(南京理工大学通信工程系, 南京 210094)

yeeren_che@yahoo.com.cn

摘要: 本文提出了一种新型低通滤波器, 采用由三个紧耦合 U-型槽组成的 DGS (defected ground structure) 单元结构, 并引入矩形和扇形开路支节来产生传输零点, 由此获得宽阻带特性。这种新型低通滤波器结构具有良好的低通和宽阻带特性。设计出的一个样品验证了设计思路的可行性。仿真和测试的结果均表明: 在整个通带内回波损耗小于-16.7dB, 插入损耗小于0.25dB。另外, 阻带特性的改善十分明显, 阻带带宽 (衰减大于 25dB) 约为 105% (2.6GHz~8.4GHz)。

关键词: 低通滤波器, 蚀刻接地结构 (DGS), U 型, 传输零点

U-Shaped Defected Ground Structure (DGS) Lowpass Filter with Good Harmonic Rejection Characteristics

Wenjie Feng, Kuan Deng, Wenquan Che

(Department of Communication Engineering, Nanjing University of Science & Technology, 210094 Nanjing)

Abstract: One novel microstrip lowpass filter employing a new compact defected ground structure (DGS) formed by triple U-shaped slots is presented in this paper. A rectangular open stub and a radius stub are used to produce transmission zeros and thus result in wide stopband. Good lowpass performance and wide stopband characteristics can be achieved by this new structure. One prototype is fabricated to demonstrate the validity of the design strategies. The simulated and measured results indicate that the insertion loss is less than 0.25dB and the return loss is less than -16.7dB in the whole passband. In addition, significant improvement on rejection band can be observed also, the stopband bandwidth better than -25dB is about 105% (from 2.6GHz to 8.4GHz).

Keywords: Lowpass filter, defected ground structure (DGS), U-shaped, transmission zero

1 引言

众所周知, DGS (defected ground structure) 是一种典型的EBG (electromagnetic band gap) 结构, 这种结构可以通过一个或者多个单元结构在某些频段产生能带隙特性。由于DGS具有本征的谐振和带阻特性, 它被广泛应用于滤波器的电路设计中来改善通带和阻带的特性^[1-4]。此外, 应用接地板上的蚀刻缝隙结构, 可以有选择地产生阻带特性。选择合适的缝隙尺寸, 可以很容易地控制隔离度和阻带宽度^[5]。通常, 由开路线或者扇形线构成的滤波器结构能够在阻带提供一个传输零点并且具有良好的阻带特性^[6,7]。基于这些考虑, 为了获得具有宽阻带特性的DGS低通滤波器, 本文设计了一种由三个U型槽紧密耦合的新型DGS低通滤波器, 并且采用开路

线和扇形支节来增加传输零点。实际样品测得的阻带相对带宽为105% (杂波抑制大于25dB), 表明该结构具有很好的谐波抑制能力, 通带内的回波损耗小于0.25dB, 与仿真结果吻合很好。

2 U-型DGS低通滤波器的设计与分析

2.1 U-型DGS低通滤波器的设计

图1(a)所示为U-型DGS低通滤波器的结构图。上层结构由一个含有开路线和扇形线50-Ω的微带线组成, 在介质板的底层蚀刻出一对紧耦合对称的单元, 每个单元由3个U-型槽结构构成。

图1(b)为低通滤波器的上层结构。由开路线的结构特性, 可以根据开路线的长度把传输零点调节到所需要的频率点; 带内的阻抗匹配可以通过调节扇形线的尺寸来实现, 尺寸参数包括它的半径、角度和圆心位置。不仅如此, 阻带特性也可以通过改变扇形线尺寸来进行调节。为了实现低于良好的阻带谐波抑制特性, 经过计算分析和优化设计, 选

基金项目: 江苏省自然科学基金, 项目编号 BK2008402.

取开路线的长度 $L_2 = 7\text{mm}$ ，此时的传输线零点位置正好在 7.2GHz 处。

图1(c)为蚀刻在介质板底端的两个U型DGS结构单元，每个单元都由三个U型槽构成，它们具有相同的宽度和间隔，但长度不同。值得指出的是，这种相同宽度和间隔的槽型结构具有设计和调节方便的特点，可以很方便地应用于其他结构的设计之中。

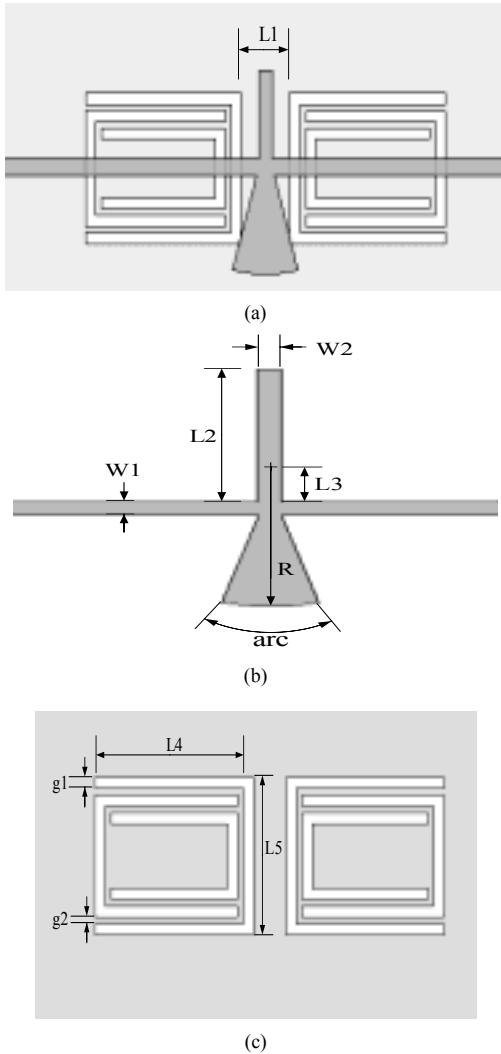


图1 (a) U型DGS低通滤波器结构图; (b) 低通滤波器结构顶视图; (c) 低通滤波器底面结构

2.2 U型DGS低通滤波器的性能分析

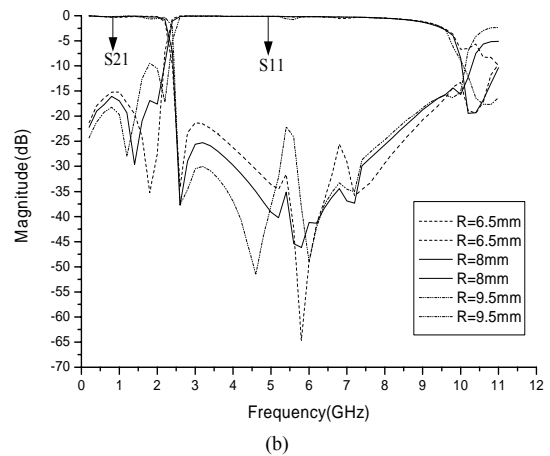
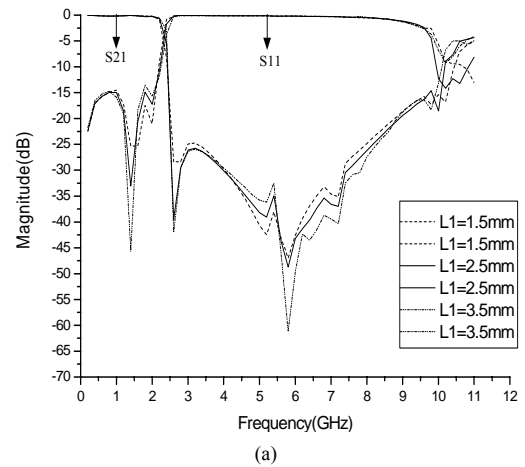
我们采用HFSS进行DGS低通滤波器的设计仿真。该低通滤波器设计在厚度为 0.508mm 的介质板上，其介电常数为 $\epsilon_r = 2.65$ 。在确定最后的优化尺寸之前，我们研究分析了一些结构尺寸对滤波器性能的影响。图2(a)表示的是两U型槽单元间距 L_1 对低通滤波器性能的影响。我们选择了三种单元间距，分别为 1.5mm 、 2.5mm 和 3.5mm ，并给出了三种

单元间距情况下的特性仿真结果。从仿真结果中可以看出，在一定的尺寸范围内 L_1 的变化对低通滤波器性能影响不大，低通滤波器主要的性能还是由U型槽单元自身的谐振特性来决定的。

另外，我们还研究了扇形支节的半径对该低通滤波器的性能的影响。图2(b)给出了三种半径值时的仿真特性，分别为 6.5mm 、 8mm 和 9.5mm 。半径 R 的改变主要影响通带内的阻抗匹配，对阻带内性能也有一定的影响。仿真结果表明， R 在 8mm 附近时阻抗匹配较好，滤波器的综合性能较好。

图2(c)为扇形角度对滤波器性能的影响。显然，角度的变化会引起扇形支节阻抗发生较大的变化，虽然角度越大阻带内的特性越好，但是通带内反射在 $1.5\text{GHz} \sim 2\text{GHz}$ 内则较大，在 30° 左右通带和阻带的综合特性较好。

通过上述分析，并经过软件优化，最终确定的尺寸如下： $L_1 = 2\text{mm}$ ，开路线长 $L_2 = 7\text{mm}$ ， $L_3 = 0.65\text{mm}$ ， $L_4 = 8.8\text{mm}$ ， $L_5 = 8.55\text{mm}$ ， $R = 8\text{mm}$ ，扇形支节的角度 $\text{arc} = 25^\circ$ ， 50Ω 微带线的宽度 $W_1 = 1.37\text{mm}$ ， $W_2 = 0.9\text{mm}$ ， $g_1 = 0.7\text{mm}$ ， $g_2 = 0.35\text{mm}$ 。



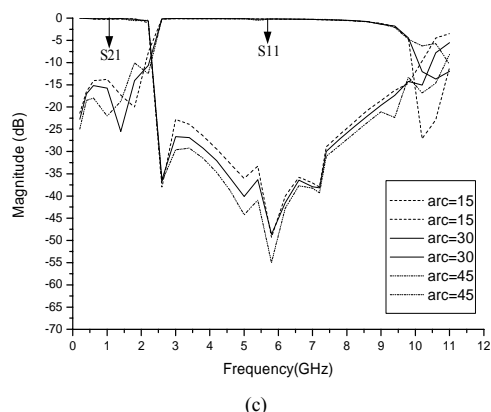


图 2 (a)两 U-型槽单元间距 $L1$ 对低通滤波器性能的影响;
(b)扇形线半径 R 对低通滤波器性能的影响;
(c)扇形线角度 arc 对低通滤波器性能的影响

用HFSS仿真的滤波器特性如图3的虚线所示,不难看出,在阻带有四个传输零点,分别为2.6GHz, 4.7GHz, 5.7GHz 和 7.2GHz,大致对应三个U-型槽和开路线的谐振频率点。对于外侧的U-型槽,由于紧邻开路线和扇形线结构,因而产生了额外的容性加载,所以外侧U-型槽的谐振点要比理论计算的结果偏低一些。

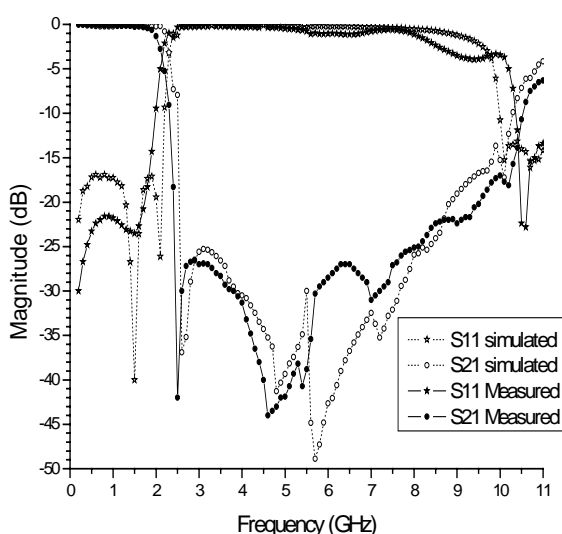


图 3 U-型 DGS 低通滤波器仿真和实验测试结果

3 实验结果和讨论

在上述设计分析的基础上,我们加工了一个实际的DGS低通滤波器,如图4所示。采用的介质板厚度为0.508mm,其介电常数为 $\epsilon_r = 2.65$ 。测试结果也一并画在图3中,如实线显示。显然,实验结果和测试结果吻合较好。由测试结果和仿真结果,我们都可以看到,这种低通滤波器具有良好的通带特性,其带内插入损耗小于0.25dB,回波损耗小于-20

dB,表明了良好的通带阻抗匹配特性。另外,该DGS低通滤波器具有很宽的阻带,带外衰减大于25dB的阻带相对带宽约为105%(2.6GHz~8.4GHz)。不过,由于加工精度的影响,测试的零点和极点的位置略有偏移,小于0.2GHz。



(a)



(b)

图 4 (a) U-型 DGS 低通滤波器顶视图照片;

(b) U-型 DGS 低通滤波器底视图照片

4 结论

本文设计和讨论了一种新型的U-型DGS低通滤波器。采用3个U型槽组成的DGS单元结构可以产生良好的阻带特性,而引入的两个开路线结构又增加了阻带传输零点的个数,因此设计出的低通滤波器具有良好的通带和阻带特性。这种具有相同宽度和间隔的U-型槽DGS结构具有设计和调节方便的优点,可以比较灵活地应用到其他结构的设计中。仿真分析和实验测试都验证了这种低通滤波器优良的性能及其可行性。

参考文献

- [1] D. Ahn, J. S. Park, C. S. Kim, J. Kim, Y. Qian, and T. Itoh, A design of the low-pass filter using the novel microstrip defected ground structure, *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 49, no. 1, pp.86-93, Jan. 2001.
- [2] A. B. A. Rahman, A. K. Verma, A. Boutejdar, and A. S. Omar, Control of band stop response of Hi-Lo microstrip low-pass filter using slot in ground plane, *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 52, no. 3, pp.1008-1013, Mar. 2004.
- [3] M. K. Mandal and S. Sanyal, A Novel Defected Ground Structure for Planar Circuits, *IEEE Microwave and Wireless Comp. Letters*, vol. 15, no. 2, pp.93-95, 2006.

- [4] H. W. Liu, Z. F. Li, X. W. Sun, and J. F. Mao, An improved 1-D periodic defected ground structure for microstrip line, IEEE Microw.Wireless Compon. Lett., vol. 14, no. 4, pp. 180–182, Apr. 2004.
- [5] R. Zhang and R. R. Mansour, A novel lowpass microstrip filter using metal-loaded slots in the ground plane, in IEEE MTT-S. Int. Dig, pp.1311–1314, Jun .2004.
- [6] C. Quendo, E. Rius, and C. Person, Narrow Bandpass Filters Using Dual-Behavior Resonators, IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol. 51, no. 3, pp.734-743, Mar. 2003
- [7] C. Quendo, E. Rius, C. Person, An Original Topology of Dual-Band Filter with Transmission Zeros, Microwave Symposium Digest, 2003 IEEE MTT-S International, vol.2, 8-13, pp.1093 – 1096, June. 2003

作者简介：冯文杰，男，硕士研究生，主要研究波导与微带电路的设计；邓宽，男，博士研究生，主要研究微带电路的设计与分析；车文荃，女，教授，主要研究射频/微波电路及系统的理论分析及工程设计。

微波滤波器设计培训——视频课程

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立, 致力和专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养, 是国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地。客户遍布中兴通讯、研通高频、国人通信等多家国内知名公司, 以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们推出的微波滤波器设计培训专题, 有资深工程师领衔主讲, 课程既有微波滤波器设计原理的详细解释, 也有各种仿真分析工具的实际设计应用讲解, 设计原理和设计仿真实践相结合, 向大家呈现各种结构的微波滤波器的完整设计流程。旨在帮助大家透彻地理解并实际的掌握各种微波滤波器的设计。



微波滤波器设计培训专题视频课程

高清视频, 专家授课, 中文讲解, 直观易学; 既有微波滤波器设计原理的详细解释, 也有像 ADS、CST、HFSS 各种仿真分析工具的实际设计应用讲解, 旨在帮助大家透彻地理解并实际的掌握各种微波滤波器的设计。

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/filter/>

更多专业培训课程:

- **HFSS 视频培训课程**

网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/>

- **CST 视频培训课程**

网址: <http://www.edatop.com/peixun/cst/>

- **天线设计专业培训课程**

网址: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/>