

基于槽线结构的信号干涉带阻滤波器仿真研究

刘 刚,李 霖,肖 阳,杨俊秀

(浙江理工大学信息学院,杭州 310018)

摘 要: 为了实现更高的特征阻抗和良好的宽带滤波特性,提出了一种基于槽线结构的信号干涉带阻滤波器设计。相比于传统微带线结构的滤波器,在阻抗比一定时,槽线结构可以实现更高的特征阻抗。为了验证这一结论,分别设计了微带线结构与槽线结构的信号干涉带阻滤波器进行仿真对比。两种结构滤波器的仿真结果显示,槽线结构的通带性能及品质因数等指标明显优于微带线结构,且阻带抑制提高了约 15.5%。因此,基于槽线结构的信号干涉带阻滤波器的滤波性能具有更大的优势。

关键词: 槽线;信号干涉;带阻滤波器;阻抗比

中图分类号: TN713.5

文献标志码: A

0 引 言

信号干涉技术最早由 Mandal 等^[1]于 2008 年提出,用来实现常规滤波结构难以获得的宽带滤波特性。该技术的基本原理是构建多条从源端到负载端的信号传输路径,通过多条传输路径信号的相互作用,产生由传输零点和传输极点构成的滤波响应。相比传统的滤波器技术,基于信号干涉技术实现的滤波器不需要引入谐振器,因此具有结构简单和设计方便的优点,也便于实现各种宽带滤波器的结构,所以这种技术从提出以来便受到了许多业内人士的关注。

Mamdal 等^[2]提出了一种带阻滤波器设计,设计中使用两根不同的传输线并联来实现带阻和传输零点,且易于制造;sánchez-Soniano 等^[3]提出了一种低通滤波器设计,其结构是采用三根不同的传输线并联,表现出了良好的抑制水平;文献^[4-7]给出了几种不同的带通滤波器设计,均实现了超宽频通带响应,且电路面积较小,易于集成。上述文献中的滤波器均是基于信号干涉技术进行设计的,采用这种方法设计的滤波器结构简单,表现出了良好的滤波性能。

然而,迄今为止,这些文献中的设计采用的传输线都是微带线。尽管微带线具有结构简单、易于集成的优点,但它难以实现较高的特征阻抗。而在信号干涉滤波器的设计中,在传输线的特征阻抗比相同时,高特征阻抗通常会获得阻带抑制加大、通带损耗减小等优异性能。这就使得微带线结构难以充分发挥信号干涉滤波器的性能优势。

相比微带线,槽线既可平面集成,又可实现较高的特征阻抗。理论上讲,采用槽线构建信号干涉滤波器,既可充分发挥槽线高特征阻抗的优点,又能有效实现信号干涉滤波器的性能。基于这一思想,本文利用经典的信号干涉拓扑,对槽线结构的信号干涉滤波器进行了研究。理论分析和设计结果均表明,相比微带线结构,槽线结构的信号干涉滤波器的阻带抑制、通带匹配等多项性能得到了明显改善。

1 信号干涉带阻滤波器分析

图 1 是信号干涉滤波器的经典拓扑。该结构由两根不同参数的微带线并联而成,其特征阻抗分别为 Z_1 、 Z_2 ;对应中心频率 f_0 处的电长度分别为 $\theta_1 = 90^\circ$ 、 $\theta_2 = 270^\circ$ 。

收稿日期: 2014-12-30

基金项目: 国家自然科学基金项目(61101052)

作者简介: 刘 刚(1990-),男,安徽安庆人,硕士研究生,主要从事微波电路设计、天线技术方面的研究。

通信作者: 李 霖, E-mail: lilin_door@hotmail.com

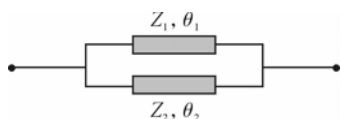


图1 信号干涉滤波器的经典拓扑

假设整个传输线模型的损耗为零,基于图1的并联结构,可推导出该结构的导纳矩阵:

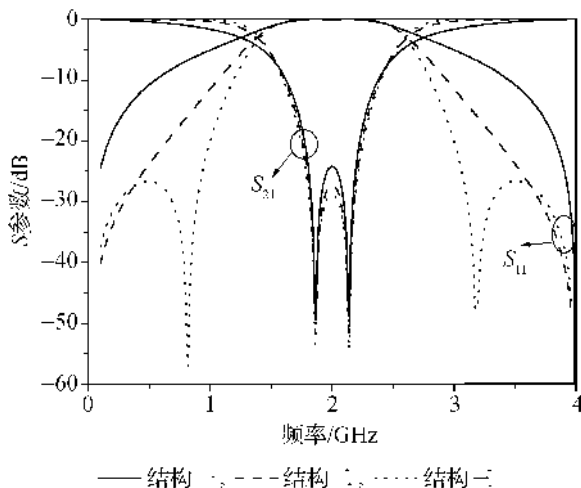
$$S_{21} = \frac{-j2Z_0(Z_2 \csc\theta_1 + Z_1 \csc\theta_2)}{Z_1 Z_2 + Z_0^2[Z_1/Z_2 + (Z_2/Z_1) + 2(\csc\theta_1 \csc\theta_2 - \cot\theta_1 \cot\theta_2)] - j2Z_0(Z_2 \cot\theta_1 + Z_1 \cot\theta_2)} \quad (3)$$

其中: Z_0 为端口的参考阻抗。由式(3)可以求出当阻抗比 $K = \frac{z_2}{z_1} > 1$ 时,图1的结构将出现两个传输零点。令 $S_{21} = 0$,化简后在传输零点频率点 f_z 处有:

$$\frac{\sin((f_z/f_0)\theta_1)}{\sin((f_z/f_0)\theta_2)} = \frac{\sin((f_z/f_0)\theta_1)}{\sin(3(f_z/f_0)\theta_1)} = -\frac{z_2}{z_1} \quad (4)$$

信号干涉的基本思想,就是利用传输零点引入的带阻,实现常规滤波器无法实现的宽带带阻。而宽带带阻的性能则取决于传输零点的位置和零点间的抑制。由式(4)可知,传输零点的位置由传输线的特征阻抗比 K 决定。若 K 一定,则传输零点的分布不变。而在 K 确定后,选择合适的阻抗分配则会对滤波器的其他性能产生影响。

图2给出了 K 值相同的三组信号干涉结构的响应曲线对比。三组滤波器的结构模型如图1所示,在中心频率 2 GHz 处,每组所用的传输线电长度均为 90° 和 270° 。分别以实线、带状线、点状线代表了3种结构的仿真结果。图2中所标注的 S_{11} 表示回波损耗, S_{21} 表示插入损耗。结构一的特征阻抗分别为 $73.5\Omega(90^\circ)$ 、 $77\Omega(270^\circ)$;结构二的特征阻抗分别为 $105\Omega(90^\circ)$ 、 $110\Omega(270^\circ)$;结构三的特征阻抗分别为 $125\Omega(90^\circ)$ 、 $131\Omega(270^\circ)$ 。

图2 K 固定,3种结构滤波器仿真结果对比

$$Y = Y_1 + Y_2 \quad (1)$$

根据导纳矩阵和散射矩阵之间的转换可得:

$$S_{21} = \frac{-2Y_{21}Y_0}{(Y_{11} + Y_0)(Y_{22} + Y_0) - Y_{12}Y_{21}} \quad (2)$$

其中: Y_0 为端口的特征导纳。

进而可求出并联传输线结构的散射参数 S_{21} 为:

由图2中的3种结构仿真对比可以得出以下结论:

a) 如图2所示,结构三的阻带抑制比结构二和结构一分别提高了 5.1%、18.8%,这表明高特征阻抗可有效提高阻带抑制;

b) 在通带特性上,可以看出高特征阻抗可有效降低 S_{11} ,改善匹配,并减小通带损耗。

因此,在阻抗比相同的情况下,提高特征阻抗可以有效的改善滤波器的性能。

2 槽线结构的优点分析

不同于常规的微带线,槽线也是一种可平面集成的传输线;它由介质板底部金属层蚀刻出的槽缝构成^[8]。

槽线的电磁场集中分布在槽口处,同等条件下,槽线的电力线与磁力线要比微带线多。对于有效介电常数,槽线比传统的微带传输线要低 15% 左右。使用相同的介质板,槽线可实现的特征阻抗要比微带线大。而且槽缝越宽,槽线的特征阻抗会越大。

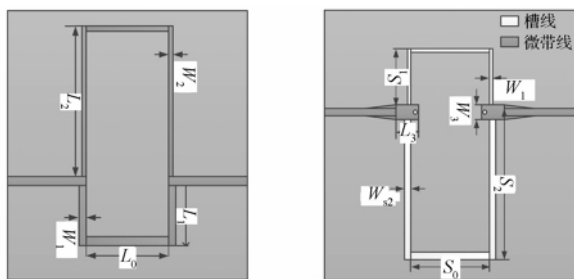
基于以上分析,若将槽线结构与信号干涉技术相结合,既能保证信号干涉滤波器的实现,又可充分发挥槽线的高特征阻抗的优点,以改善滤波器的整体性能。此外,槽线还可以有效的阻止直流信号的通过。

3 信号干涉带阻滤波器的设计

根据上述分析,本文在厚度为 0.635 mm,介电常数为 10.2 的介质板上,以 3 GHz 为中心频率,分别设计了微带线结构和槽线结构的信号干涉带阻滤波器。两种电路的设计采用的特征阻抗比均为 1.045。在微带线结构滤波器的设计中,给出的最大特征阻抗为 94 Ω ,对应的线宽为 0.1 mm,这已经是目前国内 PCB 行业所能提供的最小线宽。而槽线的最大特征阻抗为 115 Ω ,对应的槽宽为 0.61 mm,而这还远没达到槽线特征阻抗的极限。

如图3(a)所示,微带线结构的信号干涉滤波器模型由两根微带传输线并联构成,并通过两根 $50\ \Omega$ 传输线实现馈电。本次设计使用的微带线参数为: $Z_{11}=90\ \Omega(90^\circ)$, $Z_{12}=94\ \Omega(270^\circ)$ 。最终电路的物理尺寸为: $L_0=5\ \text{mm}$, $L_1=2.5\ \text{mm}$, $W_{11}=0.12\ \text{mm}$, $L_2=12.5\ \text{mm}$, $W_{12}=0.1\ \text{mm}$ 。

图3(b)给出了槽线结构的信号干涉滤波器模型。介质板反面的两根并联槽线的特征阻抗分别为 $Z_{21}=110\ \Omega(90^\circ)$, $Z_{22}=115\ \Omega(270^\circ)$ 。介质板正面同样采用两条 $50\ \Omega$ 传输线实现馈电,并通过打孔实现与底部槽线的过渡。需要注意的是,在过渡带附近,引入了梯形结构以改善两种传输线的过渡性能。最终电路的物理尺寸为: $S_0=6\ \text{mm}$, $S_1=4.6\ \text{mm}$, $W_{s1}=0.55\ \text{mm}$, $S_2=18.5\ \text{mm}$, $W_{s2}=0.61\ \text{mm}$, $L_3=2.6\ \text{mm}$, $W_3=1.6\ \text{mm}$ 。



(a) 微带线型信号干涉带阻滤波器 (b) 槽线结构信号干涉带阻滤波器

图3 微带线与槽线结构对比

HFSS 仿真结果如图4所示,实线表示微带线结构的仿真结果,虚线表示槽线结构的仿真结果。两种结构具有相同的阻抗比,且槽线结构的阻抗分配较高。由图4中的曲线可知:两组仿真结果所产生的零点的频率相似,微带线结构阻带内零点频率分别为 $2.73\ \text{GHz}$, $3.32\ \text{GHz}$;槽线结构阻带内零点频率分别为 $2.66\ \text{GHz}$, $3.25\ \text{GHz}$ 。两组零点频率均关于中心频率 f_0 对称;阻带衰减均超过了 $20\ \text{dB}$ 。但在性能上,槽线结构明显优于微带线结构,首先就阻带性能而言,相比微带线结构,槽线滤波器的阻带抑制提高约 15.5% ,槽线结构的过渡带的陡峭程度相比微带线结构也有所改善。其次从通带性能也可看出,槽线结构的通带匹配性能明显优于微带线结构,具有更小的通带波纹。最后通过计算可以发现,槽线结构的 Q 值(品质因数)为 1.8 要大于微带线结构的 Q 值(1.5)。仿真结果表明:信号干涉带阻滤波器可通过槽线结构来实现;并且槽线结构的信号干涉带阻滤波器相比微带线结构具有更大的性能改善空间。

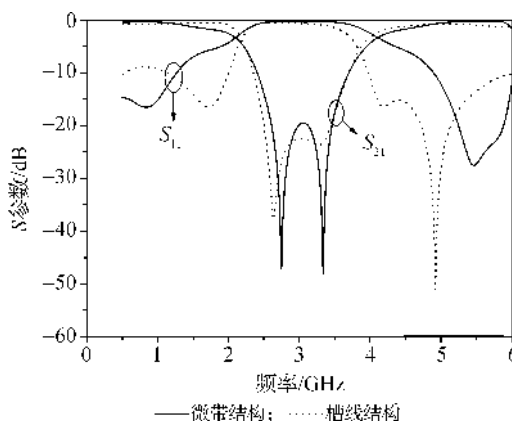


图4 微带线结构与槽线结构信号干涉带阻滤波器仿真对比

4 结 语

本文对槽线结构的信号干涉带阻滤波器进行了仿真研究,并将其与微带线结构信号干涉带阻滤波器进行对比。理论分析和仿真结果表明:采用槽线结构构建的信号干涉滤波器,充分发挥了其高特征阻抗的优点,滤波器的通带匹配、阻带抑制、通带波纹、品质因数等多项性能得到了明显的改善,并有效的实现了信号干涉滤波器的性能。

参考文献:

- [1] Mandal M K, Mondal P. Design of sharp-rejection, compact, wideband bandstop filters [J]. IET Microwaves, Antennas & Propagation, 2008, 2(4): 389-393.
- [2] Mandal M K, Sanyal S. Compact bandstop filter using signal interference technique [J]. Electronics Letters, 2007, 43(2): 110-111.
- [3] Sánchez-Soriano M A, Hong J S. Reconfigurable lowpass filter based on signal interference techniques [C]//Microwave Symposium Digest (MTT), 2011 IEEE MTT-S International. IEEE, 2011: 1-4.
- [4] Gomez-Garcia R, Sanchez-Renedo M, Jarry B, et al. A class of microwave transversal signal-interference dual-passband planar filters [J]. Microwave and Wireless Components Letters, IEEE, 2009, 19(3): 158-160.
- [5] Sun S, Zhu L, Tan H H. A compact wideband bandpass filter using transversal resonator and asymmetrical interdigital coupled lines [J]. Microwave and Wireless Components Letters, IEEE, 2008, 18(3): 173-175.
- [6] Sanchez-Soriano M A, Bronchalo E, Torregrosa-Penalva G. Compact UWB bandpass filter based on signal interference techniques [J]. Microwave and Wireless

- Components Letters, IEEE, 2009, 19(11): 692-694.
- [7] Feng W, Che W, Shi S, et al. High selectivity wideband bandpass filter based on transversal signal-interaction concepts and T-shaped structure [J]. Microwave and Wireless Components Letters, IEEE, 2012, 22(11): 562-564.
- [8] 许文渊. 基于槽线结构的小型化微波无源元件研究 [D]. 南昌: 华东交通大学, 2013.

Simulation Study on Signal Interference Band-stop Filter Based on Slotline Structure

LIU Gang, LI Lin, XIAO Yang, YANG Jun-xiu

(School of Information Science and Technology,
Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: To realize higher characteristic impedance and good broadband filtering property, this paper proposes a signal interference band-stop filter based on slotline structure. Compared with the conventional filter with microstrip structure, the slotline structure can achieve higher characteristic impedance when the fixed impedance ratio is certain. To verify this conclusion, the signal interference band-stop filters based on microstrip line and slotline structure are designed respectively for simulated comparison. The simulation results indicate passband property of slotline structure and quality factor are significantly superior to those of microstrip structure; besides, stop-band inhibition improves by about 15.5%. Thus, filtering property of signal interference band-stop filter based on slotline structure has larger advantage.

Key words: slotline; signal interference; band-stop filter; impedance ratio

(责任编辑: 陈和榜)