

陷波低通滤波器设计

冯立营, 郑宏兴

(天津职业技术师范大学天线与微波技术研究所, 天津 300222)

摘要:提出了一种寄生陷波频带的方法,用于低通滤波器通带内,可以实现部分阻带功能。该方法在传统切比雪夫 I 型低通滤波器上寄生一对完全对称的 L 形开路枝节,实现了一种陷波功能,进而对该枝节的几何参数与陷波特性之间的关系进行了研究。结果表明:改变 L 形开路枝节的几何尺寸,可以灵活调节陷波频带的中心频率和带宽。实验结果对该设计进行了验证。

关键词:陷波;微带低通滤波器;L 形开路枝节

中图分类号: TN 713.4 文献标识码: B 文章编号: 2095-0926(2012)04-0009-04

Design of lowpass filter with notch band

FENG Li-ying, ZHENG Hong-xing

(Institute of Antenna and Microwave Techniques, Tianjin University of Technology and Education, Tianjin 300222, China)

Abstract: A low-pass filter with notched band is proposed and implemented. Inside the passband of filter, stop-band function is realized by inserting a pair of L-type stubs into the Chebyshev I filter. These stubs are with symmetrical structure. Therefore, the notched band can be easily generated and set at any desired frequency by changing parameters. Relationship between the parameters of L-stubs and characteristics of notch-bands is also discussed. Finally, the design is verified by full-wave EM simulation and the experiments.

Key words: notch band; micro-strip low-pass filter; L-type open stub

在有线电视、移动电话、超宽带通信等微波电子系统中,经常存在窄带强干扰信号,影响系统正常运行,甚至会造成系统瘫痪。工程中,人们通常采用陷波方法滤除这些干扰。为了设计出实用的微波陷波滤波器,人们提出了许多结构,包括开槽^[1-2]、缺陷地^[3-4]、寄生开路枝节^[5]和阶梯阻抗线^[6]等。但这些技术均限于在带通滤波器的通带内寄生一个或几个陷波频带,而对于如何在低通滤波器的通带内寄生陷波频带的研究尚未见诸文献报道。由于低频系统如车载电视等技术的需要,在低通滤波器通带内寄生一个陷波频带显得更加重要,本文提出了一种解决方法,通过对相关电路参数进行仿真和实验研究,能够实现这个目标。

1 切比雪夫 I 型低通滤波器

设计一个输入、输出阻抗为 $50\ \Omega$ 的切比雪夫 I 型低通滤波器,其主要参数为:通带边频 $f_c = 2.5\ \text{GHz}$,通带最大衰减 $L_p = 0.5\ \text{dB}$,阻带边频 $f_s = 3.5\ \text{GHz}$,阻带最小衰减 $L_s > 20\ \text{dB}$ 。满足如上要求的滤波器须为 5 阶^[7],其归一化电路如图 1 所示。

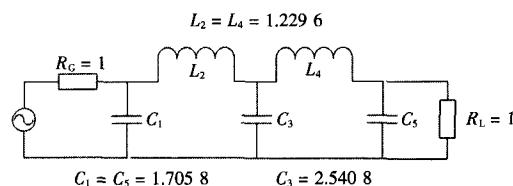


图1 归一化5阶低通滤波器

收稿日期: 2012-06-23

基金项目: 国家自然科学基金(60871026);天津市应用基础及前沿技术研究计划(12JCYBJC10500)。

作者简介: 冯立营(1978—),男,讲师,硕士,研究方向为电磁场与微波技术。

万方数据

应用Richard变换、Kuroda法则和反归一化^[7],可以将图1所示的归一化5阶低通滤波器变换成如图2所示的微带低通滤波器。介质基板采用Taconic公司的TLC32型覆铜板,相对介电常数 $\epsilon_r = 3.2$,介质厚度1.14 mm。应用ansoft HFSS软件^[8],得到滤波器的回波损耗(S_{11})与电压传输系数(S_{21})曲线如图3所示。通带内回波损耗优于10 dB,通带边频 $f_c = 2.5$ GHz处,通带最大衰减 $L_P = -S_{21} = 0.50$ dB;在阻带边频 $f_s = 3.5$ GHz处,阻带最小衰减 $L_S = 25$ dB,可见该滤波器的设计达到了技术指标($L_s > 20$ dB)要求。

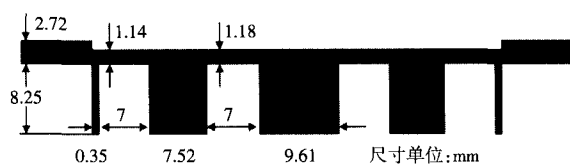
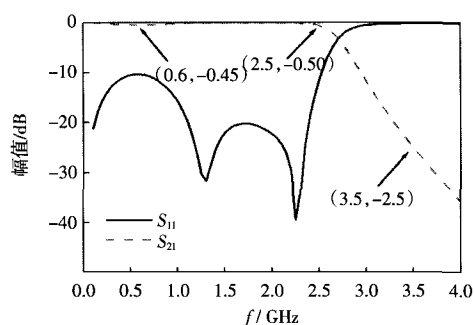


图2 常规微带低通滤波器

图3 常规微带低通滤波器的回波损耗(S_{11})与电压传输系数(S_{21})

2 附加的陷波结构

具有陷波的功能是在图2所示的低通滤波器上寄生一对完全对称的L形开路微带枝节,如图4所示。其初始参数为:线宽 $b = b' = W = 1.18$ mm,每段开路线的垂直段长度 $L_1 = 6$ mm,水平段长度 $L_2 = 19.4$ mm,两开路线的间距定义为垂直段的中心距离,取 $D = 16.6$ mm,此时开路线的垂直部分恰好位于滤波器 b 及 b' 段的中心。这样做减少了加工定位的难度。

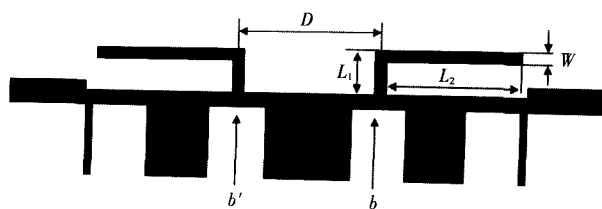


图4 陷波低通滤波器

为了验证设计效果,将图2与图4所示的滤波器进行对比,电压传输系数如图5所示。由图5可以看出:在1.96 GHz附近,图4所示滤波器有一个明显阻带,在其余频点两者具有良好的一致性。说明附加的L形枝节只增加了需要的阻带,对原滤波器的其余宽带传输性能几乎没有影响。

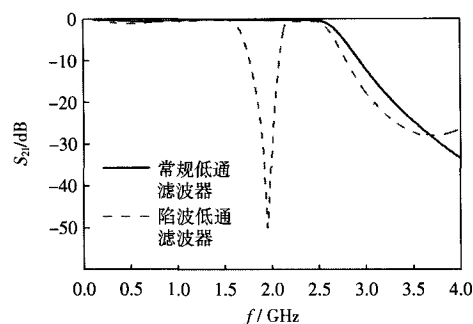


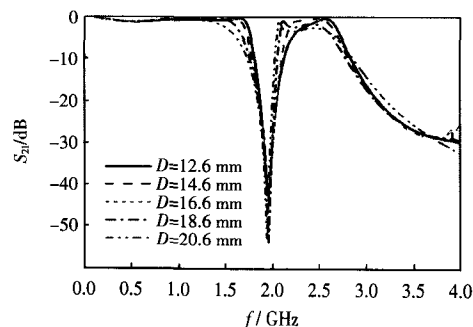
图5 常规低通滤波器与陷波低通滤波器的电压传输对比

3 L形开路枝节的参数研究

附加的L形开路枝节对滤波器陷波特性的影响具有可控性能,调节它的各个参数,对滤波器的陷波性能有着密切的关系,改变这些参数可以实现符合特定要求的陷波特性。为了寻找尺寸参数变化时,陷波性能的变化规律,本研究用HFSS软件对电路进行仿真,给出 S_{21} 曲线,然后进行分析。

3.1 间距D的变化

首先研究开路线间距 D 对滤波器陷波性能的影响。固定其他参数,为了使开路线的垂直部分始终落在滤波器 b 及 b' 段上,间距 D 在12.6 mm和20.6 mm之间变化。所得 S_{21} 曲线如图6所示。

图6 间距 D 对陷波性能的影响

结果表明: D 取不同值时,阻带中心频率及带宽均未发生明显变化,只是当 $D=16.6$ mm时滤波器在2.15~2.5 GHz的带通部分的插入损耗比较低而且起伏小,于是将开路线的垂直部分置于滤波器 b 及 b' 段中心部分是一个理想选择。

3.2 线宽 W 的变化

在保持其他参数不变条件下,改变开路线宽度 W ,观察陷波性能的变化。图7显示了 W 取0.71 mm、1.18 mm和2.02 mm (分别对应特征阻抗为100 Ω 、80 Ω 和60 Ω 的微带线)时阻带变化情况。从图7中可以看到,阻带中心频率并未发生偏移,但带宽随着 W 的增加而增加,在 $S_{21}=-20$ dB处分别为160、183和217 MHz,因此开路线宽度影响了阻带的带宽。

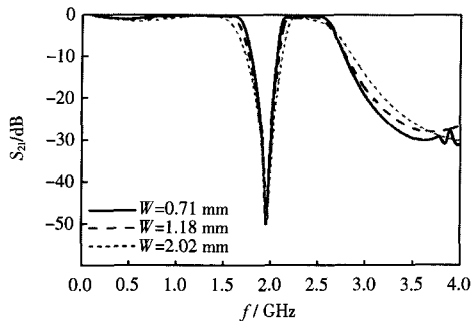


图7 线宽 W 对陷波性能的影响

3.3 垂直段 L_1 和水平段 L_2 的变化

由垂直段 L_1 和水平段 L_2 组成的L形开路枝节线,其长度 $L = L_1 + L_2$,如果保持 $L = 25.43$ mm不变,分别取 L_1 为4.0、6.0和8.0 mm,同时 L_2 作相应调整,观察这种变化对滤波器陷波特性的影响。仿真结果表明,在0~4 GHz的整个频段上,通带特性的一致性良好,即垂直段 L_1 和水平段 L_2 之间相对长度变化对滤波器陷波特性的影响基本无影响。

如果保持垂直段长度 L_1 不变,改变 L_2 的尺寸,使总长 L 分别为24.16、25.43和26.84 mm,仿真得到 S_{21} 曲线如图8和图9所示。结果表明, L 取值不同,阻带的中心频率 f_0 各不相同。与上述3个长度对应的中心频率分别为2.06、1.95和1.85 GHz,可见总长度 L 决定了阻带的中心频率,随 L 的增大,中心频率降低。而上述 L 的3个长度值分别对应2.00、1.90和1.80 GHz在介质基板上的1/4波长。由此可见,这里的L形开路枝节线为1/4波长

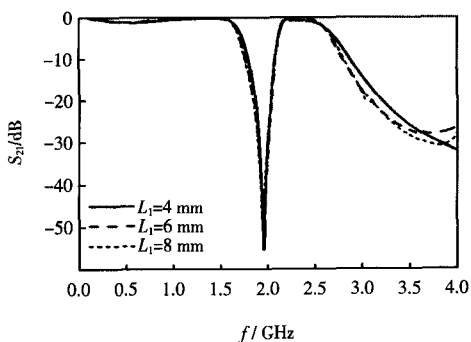


图8 垂直段 L_1 对滤波器陷波性能的影响

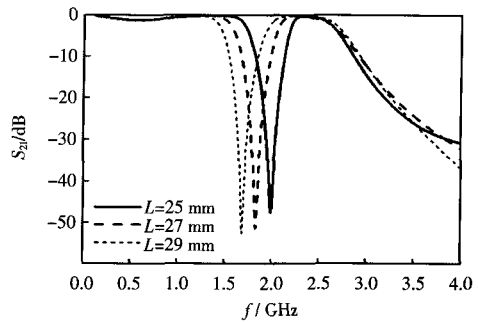


图9 开路线总长 L 对滤波器陷波性能的影响

开路线,需要注意的是在实际应用时需要在理论长度基础上,再加长3%左右,通过下面的实验,可以进一步证实这一结论。

4 实验结果

为了验证上述设计,根据图4所示滤波器的初始尺寸制作实物如图10所示,图11给出了常规低通滤波器和陷波低通滤波器仿真与测量结果的对比,从图中可以看出,2种滤波器的测量结果与仿真结果一致,只是在通带的高频端,2类滤波器的测量结果都比仿真结果低2 dB左右,这主要是因为实验室采用的测量馈线在高频段损耗较大造成的。

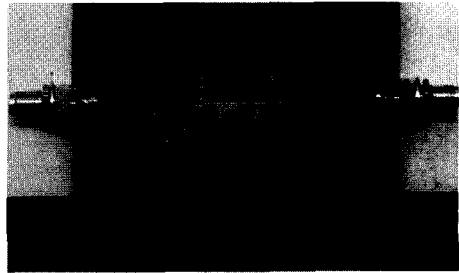


图10 陷波低通滤波器实物图

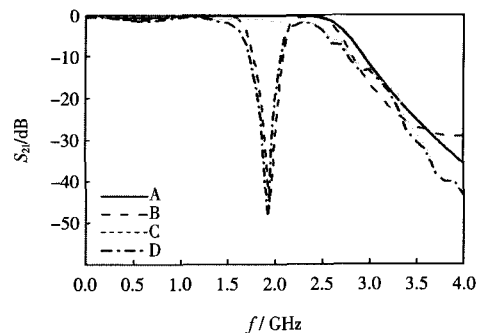


图11 常规低通滤波器与陷波低通滤波器测量结果与仿真结果的对比

5 结束语

本文采用添加对称1/4波长L形开路枝节的方法,在5阶的切比雪夫I型低通滤波器上实现了陷波功能。调节枝节的几何尺寸,阻带(即陷波)的中心频率和带宽可以调节,在设计陷波滤波器时,本文的方法具有一定的指导意义。

参考文献:

- [1] SHAMAN H, HONG J S. Asymmetric parallel-coupled lines for notch implementation in UWB filters[J]. IEEE Microwave and Wireless Components Letter, 2007, 17(7): 516-518.
- [2] MENZEL W, FEIL P. Ultra-wideband (UWB) filters with notched band [C]//Proceedings of the 36th European Microwave Conference. 2006:595-598.
- [3] CHEN L, SHANG Y, ZHANG Y L. Design of a UWB band-pass filter with a notched band and wide stopband [J]. Microwave Journal, 2009, 52(11): 96-105.
- [4] LEE C H, HSU C I G, CHEN L Y. Band-notched ultra-wide band bandpass filter design using combined modified quarter-wavelength tri-section stepped-impedance resonator [J]. IET Microwave, Antennas and Propagation, 2009, 3(8): 1232-1236.
- [5] SHAMAN H, HONG J S. Ultra-wideband (UWB) bandpass filter with embedded band notch structures [J]. IEEE Microwave and Wireless Components Letter, 2007, 17(3): 193-195.
- [6] SHAMAN H, HONG J S. Ultra-wideband (UWB) microstrip bandpass filter with narrow notched band [C]//Proceedings of the 38th European Microwave Conference. 2008:857-860.
- [7] POZAR D M. Microwave Engineering [M]. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, 1998.
- [8] Ansoft Corporation. HFSS User's Guide [Z]. Version 10, 2005.

·会议简讯·

中国职教学会职教期刊编辑专业委员会 2012 年年会暨

《职业教育研究》杂志创刊 30 周年纪念会在津举行

2012年11月17日,由天津职业技术师范大学《职业教育研究》杂志承办的“中国职教学会职教期刊编辑专业委员会 2012 年年会暨《职业教育研究》杂志创刊 30 周年纪念会”在天津海景花园酒店召开,来自全国的 25 家职业教育领域的杂志社、期刊编辑部主编、专家、学者等 40 余位代表参加了会议。天津职业技术师范大学副校长苗德华教授、科技产业处处长何文章教授以及《职业教育研究》杂志编辑部编辑参加了会议。会议由中国职教学会职教期刊编辑专业委员会于志晶主任主持。在开幕式上,苗德华副校长代表天津职业技术师范大学校长、《职业教育研究》杂志主编孟庆国向大会致欢迎辞,并向与会代表简要介绍了天津职业技术师范大学的发展历程以及《职业教育研究》杂志创刊、成长、发展的历史。此次会议传达了教育部新近出台的有关文件精神,简要介绍了新闻出版署关于期刊转企改制目标、步骤、路径等要点,学习了中国职业技术教育学会有关会议精神,总结了 2012 年度期刊编辑专业委员会的工作,讨论了下一年度期刊编委会工作安排。与会专家作了“近十年我国职业教育发展形势分析”与“职教期刊发展形势分析”报告。会上,各地参会的职教期刊还交流了期刊管理及编辑工作创新经验。

11月18日上午,与会代表参观了天津职业技术师范大学工程实训中心、汽车交通学院以及《职业教育研究》杂志编辑部,听取了教育部职成司办公室主任刘宝民关于我国当前职业教育工作安排及加强职业教育宣传工作的讲话。之后,来宾们参加了天津职业技术师范大学《职业教育研究》杂志创刊 30 周年纪念酒会。天津职业技术师范大学校长、《职业教育研究》杂志主编孟庆国致祝酒词。孟校长介绍了《职业教育研究》杂志的成长与取得的荣誉,提出了杂志未来发展的方向。与会专家对《职业教育研究》杂志取得的成绩一致赞许,对其未来成长为核心期刊、争取更大的成绩深怀期待。中国职教学会职教期刊编辑专业委员会于志晶主任在讲话中对《职业教育研究》杂志 30 年来所取得的成绩给予了肯定,特别提出杂志的各项指标一直向好,名列职教期刊前茅。教育部职成司办公室主任刘宝民也对《职业教育研究》杂志创刊 30 周年表示了诚挚的祝贺。

会议取得了圆满成功。

(《职业教育研究》杂志编辑部)

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/>