

DOI: 10.11991/yykj.201904011

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/23.1191.U.20200323.1249.004.html>

一种新型的悬置带状线带阻滤波器设计

余泽, 和历阳, 许立强, 刘长军

四川大学电子信息学院, 四川 成都 610064

摘 要: 为了构造高性能带阻滤波器, 本文提出了在悬置带状线(SSL)的金属外壳中构造矩形腔谐振腔的方法, 形成具有带阻特性的悬置带状线传输线。通过在悬置带状线的上方引入深度为 $\lambda_g/4$ 的矩形腔谐振腔, 可以产生特定频率的传输零点, 并且不影响 SSL 的传输特性。本文设计了一款 Ku 波段的悬置带状线带阻滤波器, 阻带中心频率为 12.5 GHz, 阻带带宽为 1.35 GHz, 阻带衰减大于 25 dB。通过调节矩形腔谐振腔的尺寸, 滤波器可以灵活地抑制对应的干扰信号。矩形腔谐振腔结构紧凑, 不额外占用悬置带状线贴片上的空间, 谐振频点易于控制。该悬置带状线滤波器具有良好的工程应用前景。

关键词: 悬置带状线; 矩形腔谐振腔; 带阻特性; 传输零点; 谐振结构; 带阻滤波器; Ku 波段; 结构紧凑

中图分类号: TN815

文献标志码: A

文章编号: 1009-671X(2020)01-0037-04

A novel design of bandstop filter using a suspended stripline

YU Ze, HE Liyang, XU Liqiang, LIU Changjun

School of Electronics and Information Engineering, Sichuan University, Chengdu 610064, China

Abstract: In order to realize high performance band-stop filter, a rectangular cavity resonator is built in the metal grounded shell of a suspended stripline to present the band-stop characteristic. A $\lambda_g/4$ rectangular cavity resonator above the suspended stripline produces a transmission zero at a specific frequency without affecting the transmission characteristics at other frequencies. Based on the purposed resonator, a bandstop filter using the suspended stripline is designed in Ku band. The filter owns a stopband with a center frequency at 12.5 GHz and a bandwidth of 1.35 GHz. The stopband attenuation is more than 25 dB. By varying the dimension of rectangular cavity resonator, the bandstop filter may suppress interfering signals in corresponding frequency band. The rectangular cavity resonator is compact, saves space for the suspended stripline patch. It is easy to control the resonance frequency. It owns a good engineering application prospect in the suspended stripline filters.

Keywords: suspended stripline; rectangular cavity resonator; band-stop characteristic; transmission zero; resonator; bandstop filter; Ku-band; compacted structure

微波滤波器广泛应用于无线通信系统, 传输有用信号并抑制干扰信号^[1-2]。如果某频段有较强干扰信号, 通常采用带阻滤波器进行抑制^[3]。与传统微带线和共面波导相比, 悬置带状线(suspended strip-line, SSL)具有许多优点, 比如低介质损耗、低辐射损耗、稳定性好等^[4-7]。因此, SSL 传输线常被用于设计低插损滤波器^[8-10]。文献[8]提出了一种基于带状线具有宽阻带的超宽带低插损带通滤波器, 但是带状线加工难、成本

高。文献[9]提出了一种结构紧凑的 SSL 谐振器, 实现谐振器尺寸的小型化。文献[10]提出了在谐振器开路端进行电容加载实现谐振器的小型化, 设计了一种具有可控传输零点的 SSL 带通滤波器。这些原谐振器改进在一定程度上影响了滤波器的性能。

在这些传统的 SSL 滤波器设计中, 支撑 SSL 的金属外壳通常有一定厚度, 兼具接地和电磁屏蔽功能^[11-14]。本文提出了在 SSL 的金属外壳中构造矩形腔谐振腔, 形成具有带阻特性的 SSL 传输线。基于该谐振器, 设计了一款 Ku 波段的 SSL 带阻滤波器。该滤波器结构紧凑, 阻带中心频率为 12.5 GHz, 带宽为 1.35 GHz, 阻带衰减大于 25 dB。

收稿日期: 2019-04-15. 网络出版日期: 2020-03-23.

基金项目: 国家自然科学基金项目(61271074).

作者简介: 余泽, 男, 硕士研究生;
刘长军, 男, 教授.

通信作者: 刘长军, E-mail: cjliu@scu.edu.cn.

1 矩形腔谐振腔

悬置带状线是一种具有独特优势的传输线, 具有损耗低、稳定性好等优点。SSL 传输线的结构如图 1 所示, 金属外壳用斜线填充, 中心空白区域为空气腔。网格填充部分为介质基板 R05880 (ϵ_r 为 2.2), 竖线填充部分为基板上的敷铜贴片。由于 SSL 两端要固定同轴接头, 金属外壳一般具有一定厚度。金属外壳占据了器件绝大部分的重量和体积。

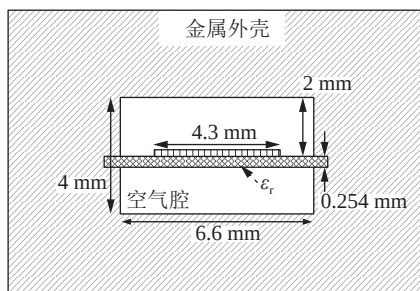


图1 SSL 传输线横截面

微带线中的缺陷地结构 (defected ground structure, DGS) 是通过在微带接地板上开槽, 形成具有带阻特性的微带传输线^[15-19]。类比于该原理, 本文提出了在 SSL 的金属外壳中构造矩形腔谐振腔, 形成带阻特性的 SSL 传输线。具有矩形腔谐振腔的 SSL 传输线模型如图 2 所示, 具体尺寸如表 1 所示。

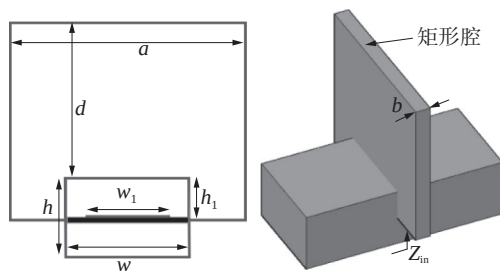


图2 具有矩形腔谐振腔的 SSL 传输线

表 1 具有矩形腔谐振腔的 SSL 传输线 mm

a	b	d	h	h_1	w	w_1
12.0	1.0	8.0	4.0	2.0	6.6	4.6

在 SSL 传输线空气腔上方构造矩形腔, SSL 两端通过端口加激励, 四周均设为金属。SSL 传输线上方的矩形腔可以看作是一个终端短路的理想波导传输线, 其输入阻抗 Z_{in} 与矩形谐振腔深度 d 的关系为

$$Z_{in} = jZ_b \tan(\beta d)$$

式中: Z_b 为矩形波导的特征阻抗; β 为传播常数。当深度 d 为 $\lambda_g/4$ 时, 即 βd 为 $\pi/2$, 矩形腔的输入阻

抗 Z_{in} 呈现无穷大, 等效于在 SSL 传输线上串联了一个 LC 并联谐振电路^[20], 如图 3 所示。因此, 该矩形腔谐振腔在 SSL 传输线上引入带阻特性。根据导波波长公式, 矩形腔谐振腔的谐振角频率与深度 d 的关系为

$$\lambda_g = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega_0^2 \mu_0 \epsilon_0 - [(m\pi/a)^2 + (n\pi/b)^2]}} = 4d$$

式中: a 和 b 分别为波导的宽边和窄边; ω_0 为谐振角频率; m 和 n 代表谐振模式。对于 TE_{10} 模式, 随着谐振腔长度 a 和深度 d 的增加, 谐振频率将减小。

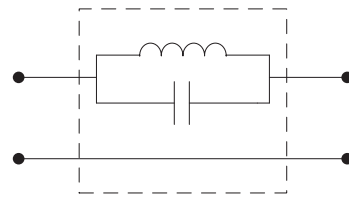


图3 矩形腔谐振腔的等效电路

对图 2 提出的结构进行仿真, S 参数如图 4 所示: 矩形腔谐振腔在 SSL 上呈现带阻特性, 并在 17.19 GHz 产生谐振。谐振器的谐振频率与长度 a 和深度 d 的关系, 分别如图 5 和图 6 所示。当保持 $d=8$ mm 不变, 谐振频率随着 a 的增大而向低频偏移; 当保持 $a=12$ mm 不变, 谐振频率随着 d 的增大也向低频偏移。因此, 通过改变谐振腔的尺寸, 可以抑制 Ku 波段内的任意频率的干扰信号。

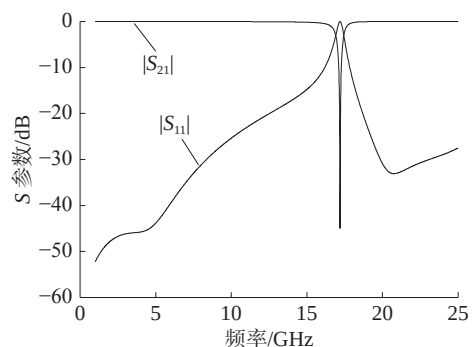


图4 矩形腔谐振腔的 SSL 传输线的 S 参数

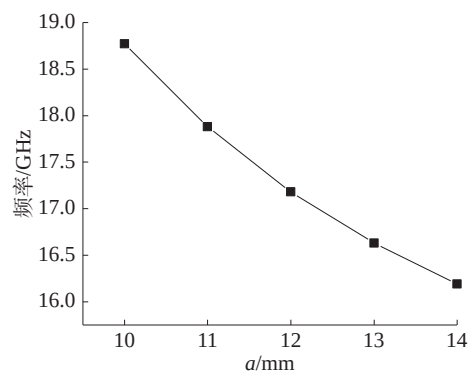
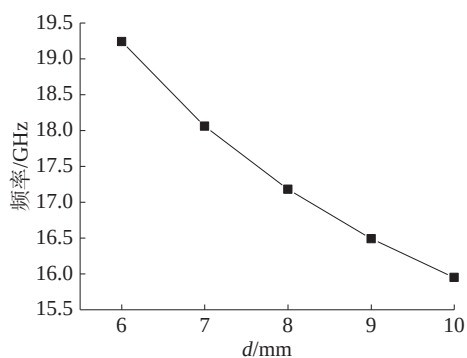
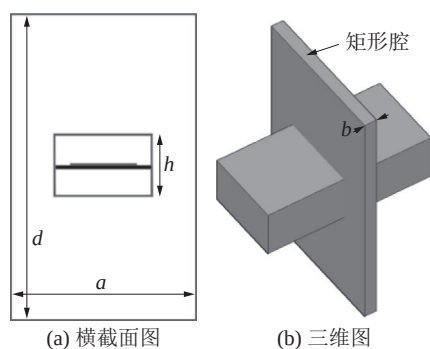
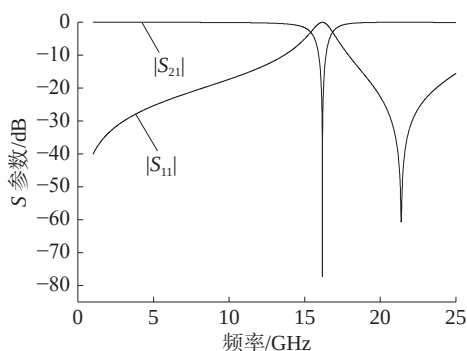


图5 腔体长度 a 与谐振频率关系

图6 腔体深度 d 与谐振频率关系

一般 SSL 滤波器的谐振单元都是沿着传输线依次排列,导致 SSL 较长,增加了滤波器的体积和重量。本文提出的谐振结构垂直于带状线排列,减少了 SSL 传输线的长度,使得 SSL 滤波器的结构更加紧凑。

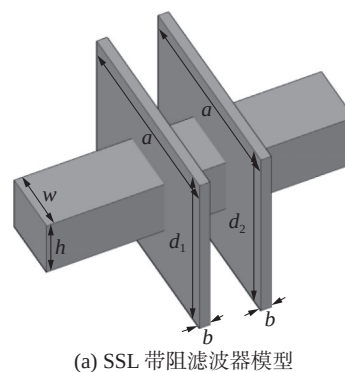
具有单个矩形腔谐振腔的 SSL 传输线阻带窄,带宽仅为 180 MHz,如图 4 所示。为了增加阻带带宽,在 SSL 的上方和下方引入了 2 个相同的 $\lambda_g/4$ 的矩形腔谐振腔,组成一个 $\lambda_g/2$ 的矩形腔谐振腔,结构如图 7 所示。仿真的结果如图 8 所示。该结构的阻带增加到了 600 MHz,阻带中心频率偏移到了 16.17 GHz。

图7 $\lambda_g/2$ 的矩形腔谐振腔结构图8 $\lambda_g/2$ 的矩形腔谐振腔的 S 参数

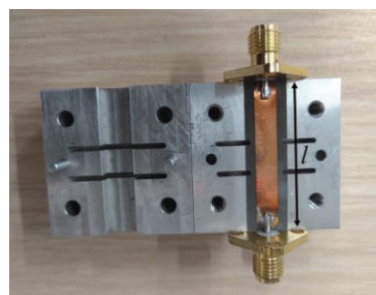
2 带阻滤波器设计

基于上述矩形腔谐振腔,设计了一款 Ku 波段

的 SSL 带阻滤波器,结构如图 9 所示。其尺寸如表 2 所示。滤波器由 4 个 $\lambda_g/4$ 的矩形腔谐振腔组成,其中每 2 个组成一个 $\lambda_g/2$ 的矩形腔谐振腔。2 个 $\lambda_g/2$ 的矩形腔谐振腔产生 2 个相邻的谐振点,组成一个位于 Ku 波段的阻带。



(a) SSL 带阻滤波器模型



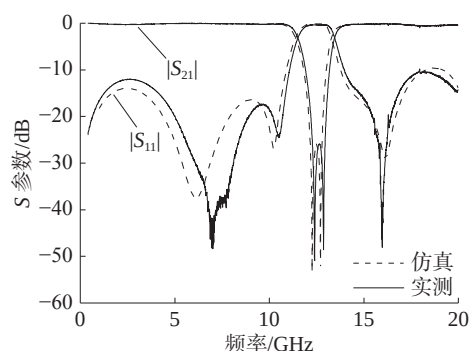
(b) SSL 带阻滤波器加工实物

图9 SSL 带阻滤波器结构

表 2 SSL 带阻滤波器结构尺寸 mm

a	b	d_1	d_2	w	h	l
20.0	1.0	18.0	19.0	6.3	5.8	30.0

仿真结果和实测结果如图 10 所示,从图中可以看出,仿真和实测结果吻合良好。阻带的中心频率从 12.5 GHz 偏移到了 12.6 GHz,偏移了 100 MHz,阻带衰减大于 25 dB,其中衰减 10 dB 的带宽为 1.35 GHz。通带内反射损耗 RL 大于 10 dB,通带插入损耗 IL 小于 0.3 dB。

图10 SSL 带阻滤波器仿真与实测 S 参数

3 结 论

区别于传统的 SSL 带阻滤波器设计, 本文提出了在 SSL 传输线的金属外壳中构造矩形腔谐振腔, 实现 Ku 波段的 SSL 带阻滤波器。

1) 具有矩形腔谐振腔的 SSL 等效为在传输线上串联一个并联的 LC 谐振电路, 呈现带阻特性。该阻带可以独立调节, 不影响 SSL 的传输特性。

2) 在 SSL 上引入矩形腔谐振腔, 设计了一款 Ku 波段的 SSL 带阻滤波器。测试表明, 该滤波器具有阻带衰减大、通带插入损耗小、结构紧凑等特点。对于抑制 Ku 波段的强干扰信号具有良好的应用价值。

参考文献:

- [1] 杨跃东, 姜弢. 一种高性能微带三通带滤波器设计 [J]. 应用科技, 2013, 40(4): 35–37.
- [2] 吴昕, 黄文, 童帆, 等. 基于人工传输线结构的小型化低通滤波器 [J]. 强激光与粒子束, 2013, 25(11): 2919–2921.
- [3] 石立雄, 官伯然. 基于枝节加载开环谐振器的带阻滤波器设计 [J]. 微波学报, 2014, 30(5): 72–75.
- [4] GLANCE B, TRAMBARULO R. A waveguide to suspended stripline transition[J]. IEEE transactions on microwave theory and techniques, 1973, 21(2): 117–118.
- [5] YAMASHITA E, NAKAJIMA M, ATSUKI K. Analysis method for generalized suspended striplines[J]. IEEE transactions on microwave theory and techniques, 1986, 34(12): 1457–1463.
- [6] MENZEL W, TITO M S R, ZHU L. Low-loss ultra-wideband (UWB) filters using suspended stripline[C]//2005 Asia-Pacific Microwave Conference. Suzhou, China, IEEE, 2005: 2148–2151.
- [7] MENZEL W, BALALEM A. Quasi-lumped suspended stripline filters and diplexers[J]. IEEE transactions on microwave theory and techniques, 2005, 53(10): 3230–3237.
- [8] BALALEM A, MENZEL W, MACHAC J, et al. A simple ultra-wideband suspended stripline bandpass filter with very wide stop-band[J]. IEEE microwave and wireless components letters, 2008, 18(3): 170–172.
- [9] RUF R, MENZEL W. A novel compact suspended stripline resonator[J]. IEEE microwave and wireless components letters, 2012, 22(9): 444–446.
- [10] XU Z X, YU X, CHEN Y P, et al. Suspended stripline bandpass filter using HTLSIR with controllable tz[J]. Electronics letters, 2017, 54(1): 29–31.
- [11] MENZEL W, BERRY M. Quasi-lumped suspended stripline filters with adjustable transmission zeroes[C]//2004 IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest (IEEE Cat. No. 04CH37535). IEEE, 2004, 3: 1601–1604.
- [12] ZAKARIA Z, MUTALIB M A, OTHMAN A R, et al. Suspended stripline structure (SSS) microwave bandpass filter with defected stripline structure (DSS)[J]. Advanced science letters, 2014, 20(2): 469–472.
- [13] LIN L J, HO M H, XU W Q. Design of compact suspended stripline bandpass filters with wide stopband[J]. Microwave and optical technology letters, 2008, 50(4): 865–868.
- [14] XU Z X, YU X, LIU J Q, et al. Suspended stripline UWB bandpass filter with adjustable transmission zero[C]//2014 Asia-Pacific Microwave Conference. Sendai, Japan, IEEE, 2014: 929–931.
- [15] MIN X, ZHANG H. Design of dual-band bandstop filter based on dumbbell-shaped resonators and U-shaped slot[J]. Progress in electromagnetics research letters, 2017, 71: 133–140.
- [16] WENG L H, GUO Y C, SHI X W, et al. An overview on defected ground structure[J]. Progress in electromagnetics research, 2008, 7: 173–189.
- [17] 王会, 杨晓冬, 谭小花. 应用 DGS 设计低通滤波器 [J]. 应用科技, 2012, 39(6): 58–61.
- [18] AHN D, PARK J S, KIM C S, et al. A design of the low-pass filter using the novel microstrip defected ground structure[J]. IEEE transactions on microwave theory and techniques, 2001, 49(1): 86–93.
- [19] LI Y, LUO S, YU W. A compact tunable triple stop-band filter based on different defected microstrip structures[J]. Appl comput electromagn soc J, 2018, 33: 752–757.
- [20] 刘长军, 黄卡玛, 朱铎丞. 射频通信电路设计 [M]. 第 2 版. 北京: 科学出版社, 2017: 159–160.

本文引用格式:

余泽, 和历阳, 许立强, 等. 一种新型的悬置带状线带阻滤波器设计 [J]. 应用科技, 2020, 47(1): 37–40.

YU Ze, HE Liyang, XU Liqiang, et al. A novel design of bandstop filter using a suspended stripline[J]. Applied science and technology, 2020, 47(1): 37–40.