

双模方形带通滤波器的分析、建模及设计

周春霞,夏侯海,季 鲁,何 明,方 兰,阎少林

(南开大学信息技术科学学院电子系,天津 300071)

摘 要: 本文报道一种利用谐振器中缺口位置设计双模带通滤波器的新方法.用这种方法既可以实现具有一对传输零点的双模带通滤波器,也可以实现无传输零点的双模带通滤波器.通过分析缺口位置对谐振器内电场模式分布的影响,建立了双模滤波器的拓扑结构图.利用全波仿真软件,基于不同的缺口位置设计了中心频率为 2.05GHz,带宽为 100MHz 的两种滤波器.实验测试结果和滤波器理论仿真结果相一致.

关键词: 带通滤波器; 双模谐振器; 耦合矩阵

中图分类号: TN713 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2011) 06-1364-04

Analysis, Modeling and Design of Quadrate Dual-Mode Bandpass Filters

ZHOU Chun-xia, XIAHOU Hai, JI Lu, HE Ming, FANG Lan, YAN Shao-lin

(Department of Electronics, Nankai University, Tianjin 300071, China)

Abstract: A new method is introduced for designing microstrip dual-mode bandpass filters by using different notch positions. By using this method, dual-mode bandpass filter with a pair of transmission zeros or with no transmission zeros can be realized. After analyzing the influence of the notch position to the dual modes in the resonator, the topology structure of the dual mode filter is established. Using full-wave EM software, two kinds of filters with center frequency of 2.05GHz and bandwidth of 100MHz are designed based on different notch positions. Both simulated and measured results are in good agreement.

Key words: bandpass filter; dual mode resonator; coupling matrix

1 引言

现代微波通信尤其是卫星通信系统需要高性能的低损耗、高选择性的窄带带通滤波器.滤波器的小型化也很重要,这使得滤波器可以和其它器件组成一个单芯片系统.双模微带谐振器具有很广阔的应用前景,首先由于每个双模谐振器相当于两个谐振电路,因此对于给定阶数的滤波器,谐振器的数目会减少一半,滤波器总尺寸也相应减小.另外与常规微带滤波器相比,本文提出的这种方形双模滤波器具有较高的功率承载能力,这对受功率承载能力限制的高温超导滤波器的广泛应用具有重要意义. Wolff 于 1972 年利用双模环形谐振器首次提出了双模带通滤波器^[1]. 从此以后,双模微带滤波器得到广泛研究^[2~9]. 为了设计出性能良好的双模带通滤波器,需要分析谐振器中的谐振模式及与端口之间的耦合,确定双模滤波器的拓扑结构示意图,然而较少文献涉及到这方面的研究. Adnan Gorur 描述了双模微带环型谐振器消逝模之间的耦合以及可以通过改变贴片大小来产生和消除传输零点^[8]. Jia-Sheng Hong 分析了双模微带三角形谐

振器内的两个模式以及在制作双模滤波器方面的应用^[9].

本文报道一种利用谐振器中缺口位置设计双模带通滤波器的新方法,分析了缺口位置对这种谐振器中两个模式的影响.对于不同的缺口位置,输入输出端口与两个模式之间的耦合极性不同,据此建立了双模带通滤波器的耦合拓扑结构.最后利用不同缺口位置分别实现了一个具有一对传输零点的双模带通滤波器和一个没有传输零点的双模带通滤波器,中心频率和带宽分别为 2.05GHz, 100MHz.

2 谐振器内模式分析

图 1 是缺口位于不同位置时,两种双模微带方形谐振器的结构图,介质基片采用相对介电常数为 2.65,厚度为 0.5mm 的聚四氟乙烯.为了方便下面的叙述,建立如图 1 所示的坐标系,坐标原点位于谐振器中心,把 X 轴正方向定为 0 度方向.端口 1 位于 X 轴负方向,端口 2 位于 Y 轴负方向.则图 1(a)的缺口位于 135°位置,图 1(b)的缺口位于 45°位置.设谐振器边长为 a mm,缺口

边长为 b mm. 可将双模方形谐振器看成一个腔体谐振器, 上下两个金属面为电壁, 腔体四周的面为磁壁, 腔内存在 TM_{100}^z 与 TM_{010}^z 两个简并基模.

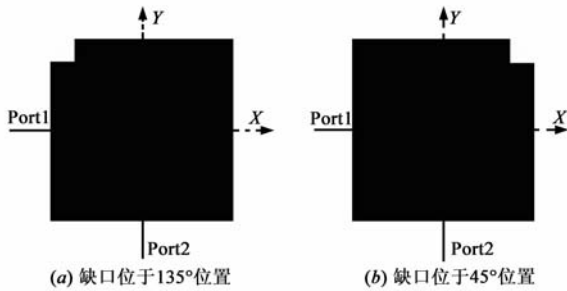


图1 双模微带方形滤波器的版图

图 2 给出了当 $a = 48\text{mm}$, $b = 6.5\text{mm}$ 时, 方形金属薄片与地之间的电场分布. 图 2(a)、2(b) 分别为缺口在 135° 位置时, 模式 1 与模式 2 的电场分布, 图 2(c)、2(d) 分别为缺口在 45° 位置时, 模式 1 与模式 2 的电场分布. 从电场分布我们可以看到方形缺口对图 2(a)、2(c) 中的电场几乎没有影响, 因而这两个模式的谐振频率与方形缺口几乎无关. 而方形缺口对图 2(b)、2(d) 中的电场有较大影响, 因此在很大程度上影响该模式的谐振频率. 图 2(a)、2(d) 中的模式与输入输出端口的耦合极性相

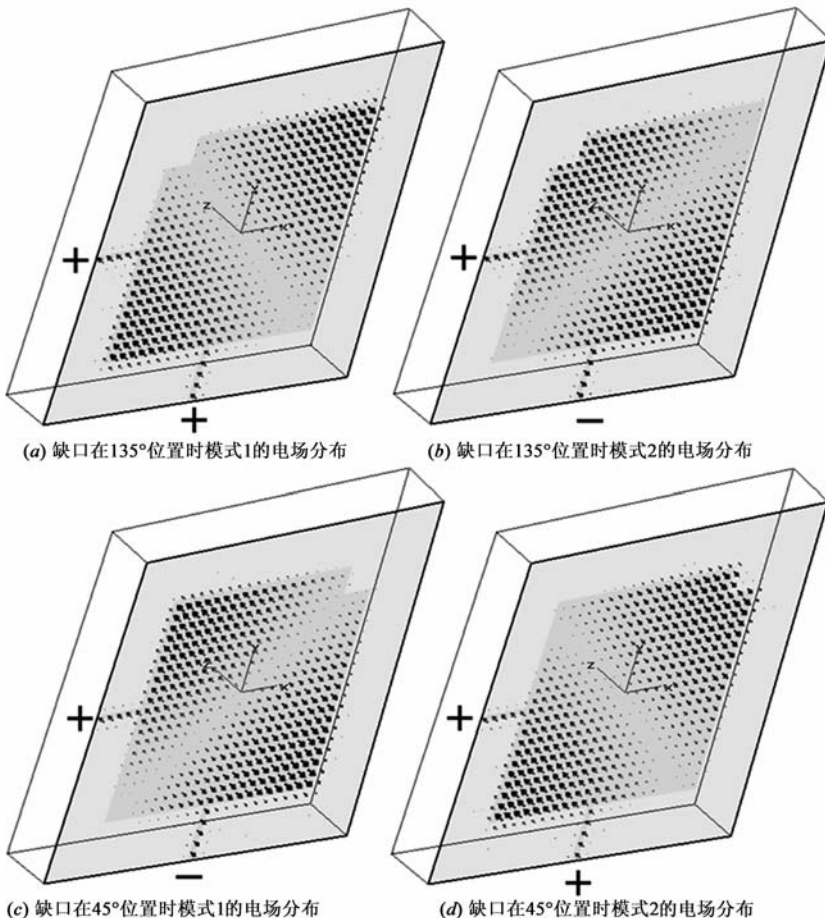


图2 当 $a=48\text{ mm}$, $b=6.5\text{ mm}$ 双模微带方形谐振器内两个模式的电场分布

同, 图 2(b)、2(c) 中的模式与输入输出端口的耦合极性相反.

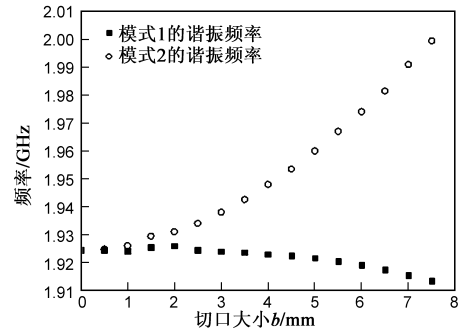


图3 谐振器模式 1、2 的谐振频率与缺口边长 b 的关系

图 3 为当 $a = 48\text{mm}$ 时, 方形谐振器的两个模式的谐振频率与方形缺口边长 b 的关系图. 双模谐振器的谐振频率与缺口位置无关, 而与缺口大小有关. 由图 3 可知, 当缺口边长 b 由 0 增加到 7.5mm 时, 模式 2 的谐振频率逐渐增加, 由 1924MHz 增加到 2000MHz . 而模式 1 的谐振频率变化不显著, 当缺口边长 b 小于 4mm 时, 模式 1 的谐振频率几乎不变. 这是由于缺口较小, 以至于对模式 1 的电场分布几乎没有影响. 而当缺口边长 b 大于 4mm 时, 模式 1 谐振频率开始缓慢下降, 这是由于缺口边长 b 已经增加到足以影响模式 1 的电场分布.

3 滤波器拓扑结构建立

根据以上分析可以得到双模滤波器的拓扑结构, 如图 4 所示. 图 4(a) 表示的是缺口在 135° 位置时的拓扑结构, 图 4(b) 表示的是缺口在 45° 位置时的拓扑结构. 数字 1 表示模式 1, 数字 2 表示模式 2. 字母 S 为输入端口, 字母 L 为输出端口. 输入端口、输出端口与模式 1、2 的耦合用实线表示. 输入、输出端口之间微弱的耦合用虚线表示. 两个模式之间没有耦合. 则双模带通滤波器的耦合矩阵 M 都可以表示为:

$$M = \begin{bmatrix} 0 & M_{S1} & M_{S2} & M_{SL} \\ M_{S1} & M_{11} & 0 & M_{1L} \\ M_{S2} & 0 & M_{22} & M_{2L} \\ M_{SL} & M_{1L} & M_{2L} & 0 \end{bmatrix}$$

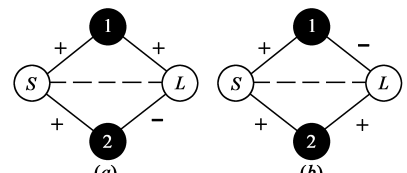


图4 滤波器的拓扑结构

4 双模带通滤波器的设计

根据谐振器内两个模式的电场分布分析,可以确定对于不同的缺口位置双模滤波器的拓扑结构中两个模式与输入输出端口的耦合极性.当缺口位于 135° 位置时,模式 1 与输入、输出端口的耦合极性相同,模式 2 与输入、输出端口的耦合极性相反,即 $M_{S1} > 0, M_{1L} > 0, M_{S2} < 0, M_{2L} < 0$.由滤波器理论^[10]可知图 1(a)实现的是具有一对传输零点的带通滤波器,通过优化 $N+2$ 阶耦合矩阵^[11]得到耦合矩阵系数为

$$M = \begin{bmatrix} 0 & 0.668 & 0.668 & 0.025 \\ 0.668 & -0.978 & 0 & 0.668 \\ 0.668 & 0 & 1.047 & -0.668 \\ 0.025 & 0.668 & -0.668 & 0 \end{bmatrix}$$

当缺口位于 45° 位置时,模式 1 与输入、输出端口的耦合极性相反,模式 2 与输入、输出端口的耦合极性相同,即 $M_{S1} > 0, M_{1L} < 0, M_{S2} > 0, M_{2L} > 0$.图 1(b)实现的是没有传输零点的带通滤波器,通过优化得到耦合矩阵系数为

$$M = \begin{bmatrix} 0 & 0.688 & 0.688 & 0.022 \\ 0.688 & -0.978 & 0 & -0.688 \\ 0.688 & 0 & 1.047 & 0.688 \\ 0.022 & -0.688 & 0.688 & 0 \end{bmatrix}$$

基于不同的缺口位置,本文设计了一个具有一对传输零点的双模带通滤波器和一个没有传输零点的双模带通滤波器.滤波器版图如图 1 所示,输入输出端口分别为端口 1 与端口 2.在图 1(a)结构中,谐振器边长 a 为 48mm,切口边长 b 为 6.5mm,可实现具有一对传输零点的双模带通滤波器;在图 1(b)结构中,谐振器边长 a 为 48mm,切口边长 b 为 6.1mm,可实现没有传输零点的双模带通滤波器.设计中心频率为 2.05GHz,带宽为 100MHz 的两种滤波器.这两种滤波器 S 参数的仿真结果与测试结果分别如图 5、图 6 所示.图 5 是图 1(a)的测试与仿真的传输特性 S21 以及反射特性 S11 曲线.图 6 是图 1(b)的测试与仿真的传输特性 S21 以及反射特性 S11 曲线,其中实线为测试结果,虚线为仿真结果.本实验使用 Agilent 矢量网络分析仪对滤波器进行测试,选用 SMA 接头连接滤波器的输入输出端口.图 5 中的测试结果显示中心频率为 2.06GHz,3dB 带宽为 120MHz,在 1.81GHz 与 2.3GHz 处有一对传输零点,带内插损为 -3dB.图 6 中的测试结果显示中心频率为 2.06GHz,3dB 带宽为 120MHz,带内插损为 -3.5dB.可以通过选用损耗角较小的介质,电导率较高的金属或者选用超导材料来减小带内插损.另外由于制作工艺的偏差以及介质基片参数的误差使得测得的中心频率及带宽略大于设计值.

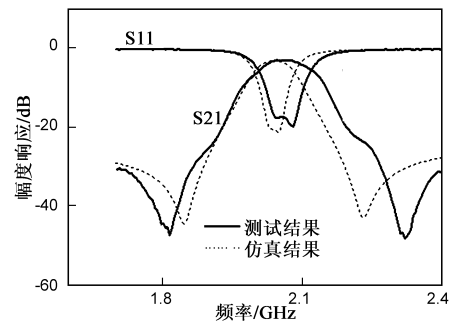


图5 具有一对传输零点的带通滤波器的仿真与测试结果

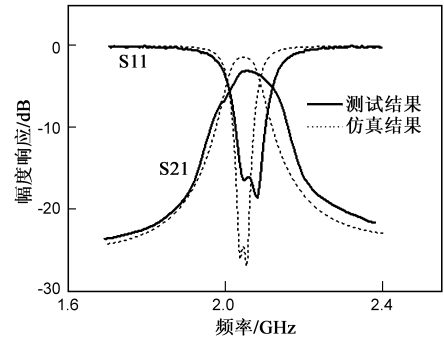


图6 无传输零点的带通滤波器的仿真与测试结果

5 结论

本文研究了双模微带方形谐振器以及该谐振器在实现双模微波滤波器上的应用.对于缺口出现在谐振器的不同位置,输入输出端口与双模谐振器内两个模式的耦合极性不同,建立了双模滤波器的耦合拓扑结构图,并设计了两种类型的双模带通滤波器.当谐振器缺口位于 135° 位置时,可以实现具有一对传输零点的带通滤波器;当谐振器缺口位于 45° 位置时,得到的是没有传输零点的带通滤波器.本文首次分析了不同的谐振器缺口位置对滤波器响应特性的影响,利用不同缺口位置分别实现了两种不同类型的双模带通滤波器.测试结果与仿真结果相吻合,表明本文提出的这种结构以及设计方法的有效性.

参考文献

- [1] I Wolff. Microstrip bandpass filter using degenerate modes of a microstrip ring resonator[J]. Electron Lett, 1972, 8(12): 302 - 303.
- [2] J A Curtis. Miniature dual mode microstrip filters[A]. 1991 IEEE MTT-S International[C]. Boston, USA: IEEE, 1991. 443 - 446.
- [3] Kaijun Song, Quan Xue. Novel broadband bandpass filters using Y-shaped dual-mode microstrip resonators[J]. IEEE Microwave and Wireless Components Letters, 2009, 19(9): 548 - 550.
- [4] Ching-Ku Liao, Pei-Ling Chi, Chi-Yang Chang. Microstrip realization of generalized chebyshev filters with box-like coupling

- schemes[J]. IEEE Trans Microwave Theory Tech, 2007, 55(1): 147 – 153.
- [5] Boon Tiong Tan, Jong Jen Yu, et al. A miniaturized dual-mode ring bandpass filter with a new perturbation[J]. IEEE Trans Microwave Theory Tech, 2005, 53(1): 343 – 348.
- [6] Akasegawa, Akihiko, et al. Power handling improvement by an upper conducting layer for 4 GHz-band HTS microstrip-disk filters with dual-mode[J]. Physica C, 2006, 445(Sp. Iss. SI): 990 – 993.
- [7] Falk Hettstedt, Thomas Lehmann. Novel dual mode microstrip bandpass-filter[J]. IEEE Microwave Magazine, 2009, 10(1): 155 – 157.
- [8] Adnan Gorur. Description of coupling between degenerate modes of a dual-mode microstrip loop resonator using a novel perturbation arrangement and its dual-mode bandpass filter application [J]. IEEE Trans Microwave Theory Tech, 2004, 52(9): 671 – 677.
- [9] Jia-Sheng Hong, Shuzhou Li, Theory and experiment of dual-mode microstrip triangular patch resonators and filters[J]. IEEE Trans Microwave Theory Tech, 2004, 52(4): 1237 – 1243.
- [10] J S Hong, M J Lancaster. Microstrip Filters for RF/Microwave Applications[M]. New York: John Wiley & Sons, INC, USA, 2001.
- [11] Richard J Cameron. Advanced coupling matrix synthesis techniques for microwave filters[J]. IEEE Trans Microwave Theory Tech, 2003, 51(1): 1 – 10.

作者简介

周春霞 女, 1985年10月出生于江苏南通. 2007年毕业于南开大学电子信息科学与技术系, 获学士学位, 同年9月保送南开大学物理电子专业, 攻读博士学位, 主要从事高温超导薄膜及应用技术, 微波和射频技术. E-mail: zhouchx@mail.nankai.edu.cn

夏侯海 男, 1984年6月出生于江苏淮安. 2006年7月毕业于天津大学, 同年9月保送至南开大学信息技术科学学院, 硕博连读, 主要从事高温超导微波电路和低温电子器件方面的研究.