

滤波器耦合槽直径对其性能的影响仿真

吕文中, 梁 飞, 汪小红, 焦 芸

(华中科技大学 电子科学与技术系, 湖北 武汉 430074)

摘 要:采用高频结构模拟软件模拟 $1/4\lambda$ 同轴型带通微波陶瓷滤波器结构, 讨论了耦合槽直径对滤波器的性能如带宽、插损、带内波动、阻带抑制等的影响。结果表明, 随着耦合槽直径的增大, 滤波器中心频率、插入损耗和阻带抑制减小, 3 dB 带宽增大。讨论结果表明, 可通过调整滤波器耦合槽直径的大小, 得到理想性能的介质滤波器。

关键词:高频结构模拟; 介质谐振器; 同轴型带通滤波器

中图分类号: TN713+.3

文献标识码: A

Simulation of Coupling Aperture Diameter and Its Influence to Filter Properties

LV Wen-zhong, LIANG Fei, WANG Xiao-hong, JIAO Yun

(Dept. of Electronics Science and Technology, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: In this study the relation between the structure parameter (such as coupling aperture diameter d) of $1/4\lambda$ microwave band-pass dielectric filter and its final microwave properties (such as bandwidth, passband ripple, insertion loss and stop-band attenuation) is discussed. The results show that with the increasing of coupling aperture diameter, center frequency, insertion loss and stop-band attenuation decrease while 3 dB band width increase. According to the results discussed above, an ideal dielectric filter can be acquired by changing the coupling aperture diameter.

Key words: high frequency structure simulation; dielectric resonator; coaxial band-pass filter

近年来, 现代通信技术的发展促进了微波陶瓷滤波器的飞速发展, 微波介质滤波器因具有体积小、插损低、稳定性好和承受功率高的特点, 已广泛用于移动通信系统、卫星通信系统、有线电视系统以及军用通信工程中。在 UHF 波段, 微波陶瓷滤波器大多采用 $1/4\lambda$ (λ 为波长) 同轴型结构, 滤波器的高度 H 与中心频率 f_0 和材料的相对介电常数 ϵ_r 间的关系为^[1]

$$H = c / 4 f_0 \epsilon_r \quad (1)$$

式中 c 为光速。通过式(1)可基本确定滤波器谐振腔的高度。一般一个滤波器需至少两个谐振腔, 通过一定的耦合方式耦合。图 1 为典型的同轴型微波介质滤波器的结构图, 内含 2 个圆柱孔的通孔, 每个圆柱孔内涂覆金属电极(如银, 铜等)构成 $1/4\lambda$ 横电磁波(TEM)模式传输线谐振器。由于金属电极的涂覆, 电磁场能量大部分集中于陶瓷体内部。两谐振腔之

间有一金属化的耦合槽。在滤波器的左右侧设计有长方形的输入输出端口电极。除耦合槽所在一面以及端口电极周围区域外, 陶瓷介质其余表面全部金属化。

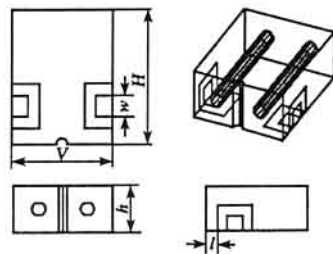


图 1 同轴型微波介质滤波器的结构图

Fig. 1 Coaxial microwave filter structure figure

在这种形式的滤波器结构中, 滤波器的结构参数(谐振孔直径等)对器件的滤波性能如带宽、插损、

带内波动、阻带抑制等均有较大程度的影响。但以前由于国内条件的限制,滤波器的结构都是采用手工设计。即首先根据电磁场和微波网络理论计算出所需性能滤波器的尺寸,然后根据此尺寸制作初样,并测量其特性参数,再根据测得参数与设计要求性能指标之间的差距,进一步改进器件的尺寸或结构,如此反复,直至实际器件性能符合设计要求为止。该方法周期长、成本高,还不能从结果上直观地表现出滤波器结构参数对其性能的影响。故本文用三维电磁场仿真软件对陶瓷滤波器的结构及性能关系进行了模拟仿真。

1 滤波器工作原理

采用图1所示的滤波器结构。该滤波器由两个谐振器构成,每个谐振器谐振孔的长度约为谐振频率处的 $1/4\lambda$,即构成一个 $1/4\lambda$ 谐振器。在此结构中,未金属化的端面为开路面,此处电场强度最大。与开路面相对的另一个端面为短路面,此处磁场强度最大^[2]。两个 $1/4\lambda$ 同轴谐振器间通过耦合槽相互耦合。当输入信号经金属电极由电容耦合到一个近似于终端短路的同轴谐振器中时,在谐振频率点产生谐振,能量将由两谐振器间的耦合槽耦合到输出端的同轴谐振器,然后再经过输出端电极与陶瓷块周围电极的电容耦合输出^[3]。输入输出的耦合强弱可通过调节输入输出电容的大小(即调节输入输出电极大小)来控制;而级间耦合强弱则可通过调整耦合孔直径 d 来调节。

图2为该滤波器的等效电路图, C_{01}, C_{12} 分别对应于外电路耦合电容和级间耦合电容。 C_r, L_r 组成的回路对应于单个介质谐振器。

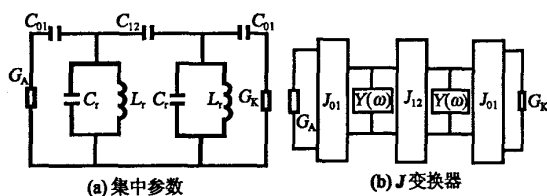


图2 二级带通滤波器等效电路图

Fig. 2 Two grade passband filter equivalent circuit diagram

在讨论滤波器的结构与其性能两者间的关系时发现,滤波器级间耦合强弱对滤波器性能产生很大的影响,即介质滤波器耦合槽直径的大小对其最终性能有很大的影响。讨论滤波器级间耦合特性时,涉及复杂理论计算。为简化讨论过程,利用高频结构模拟软件对滤波器结构进行仿真,以此分析滤波器耦合槽直径大小与其性能间的对应关系。

万方数据

讨论滤波器的耦合特性,常用到级间耦合系数 k 和频率漂移系数 η 两个重要参数,且^[3]

$$k = (BW/f_0)/g_1g_2 \quad (2)$$

$$\eta = (f_1 - f_0)/f_0 \quad (3)$$

其中 f_0 和 BW 分别代表中心频率和 3 dB 带宽; g_i ($i=0,1,2,3,\dots$) 是滤波器低通原型参数; f_1 为谐振器加载后谐振频率; f_0 代表谐振器未加载时的谐振频率。

2 结果与分析

图3为 k, η 与耦合孔直径 d 间的关系。两谐振器间的耦合等效电路如图4所示。在图4中 L_r 和 C_r 分别是两个 $1/4\lambda$ 谐振器的等效电容和电感,大小由谐振孔直径确定。图4中 J_{12} 为导纳变化器, C'_{12} 代表由两个谐振器相互耦合时使滤波器中心频率 f_0 产生漂移的等效电容,其值可以是正也可以是负,根据 η 的符号来确定。整个虚线区域代表耦合区域。

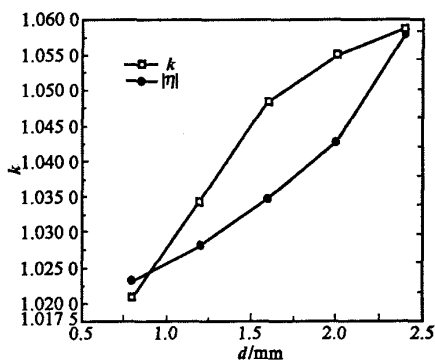


图3 k, η 与 d 间的关系

Fig. 3 The relation curve between k, η and d

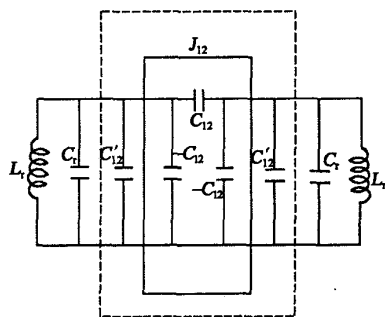


图4 两谐振器间耦合等效电路图

Fig. 4 Coupling equivalent circuit diagram between two resonators

若假定 $J_{12} = \omega C_{12}$, 则 k , 加载后的谐振频率 f_1 及 η 为^[4]

$$K = C_{12}/(C_r + C'_{12}) \approx C_{12}/C_r \quad (4)$$

$$f_1 = f_0 / [1 + (C'_{12}/C_r)] \approx f_0 [1 - (C'_{12}/C_r)] \quad (5)$$

$$\eta = -C'12/2C_r \quad (6)$$

由此可知,随 d 逐渐增大,耦合电容有效面积增大, C_{12} 也相应增大,故 k 及 η 随之增加。

滤波器中心频率 f_0 , 3 dB 带宽, 插入损耗及阻带抑制随 d 的变化关系如图 5~8 所示。从图 5 可知, 随着 d 增大, f_0 减小。这主要是因为在这种结构的滤波器中, 由于 C_{12} 加载的影响, 使得 f_0 小于单个

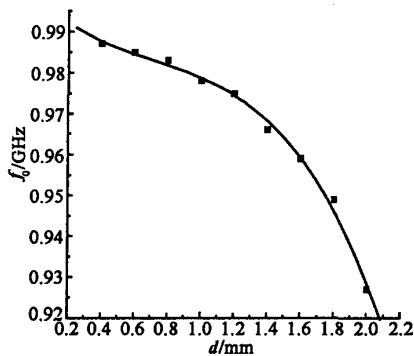


图 5 中心频率与耦合槽直径关系图

Fig. 5 The relation curve between resonating frequency f_0 and coupling aperture diameter d

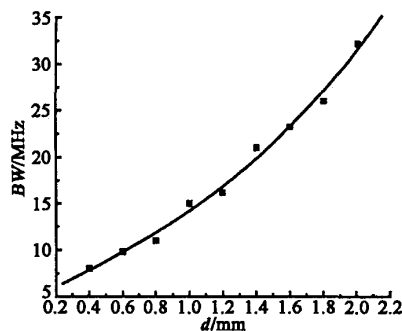


图 6 通带宽度与耦合槽直径关系图

Fig. 6 The relation curve between passband width and coupling aperture diameter

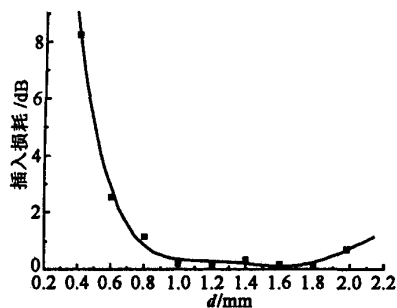


图 7 插入损耗与耦合槽直径关系图

Fig. 7 The relation curve between insertion loss and coupling aperture diameter

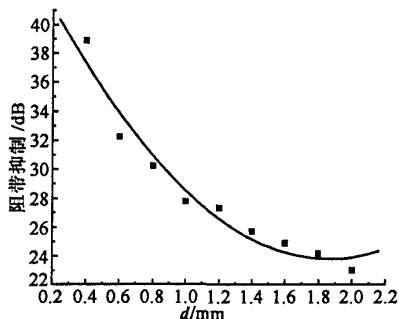


图 8 阻带抑制与耦合槽直径关系图

Fig. 8 The relation curve between stop-band attenuation and coupling aperture diameter

谐振器的谐振频率。由式(3)和(6)可知, 随耦合槽直径的增大, η 的值增大, 故滤波器谐振频率减小。此外, 由于随 d 的增大, k 增大, 两谐振器间的耦合增强, 由谐振器间相互耦合所损失的能量减少, 故滤波器带宽增大, 介电损耗及阻带抑制均减小, 这与图(6)~(8)所示结果一致。

3 结束语

利用高频结构模拟软件, 对微波介质滤波器结构进行仿真, 可以准确讨论微波介质滤波器的结构参数与其性能间的相互关系。讨论结果表明, 随耦合槽直径的增大, 频率漂移系数的值增大, 滤波器谐振频率减小; 随着耦合槽直径增大, 耦合系数增大, 相应滤波器带宽增大, 介电损耗以及阻带抑制均减小。根据此讨论结果可通过调整耦合槽直径的大小来获得所需的滤波器的性能。

参考文献:

- [1] KUNDA A C. Broadband TEM-mode planar-rectangular dielectric waveguide bandpass filter and its miniaturization [J]. Microwave Symposium Digest, IEEE MTT-S, 2002, 1: 381-384.
- [2] KUNDA A C, ENDOU K. TEM-mode planar dielectric waveguide resonator BPF for W-CDMA [J]. Microwave Symposium Digest, 2000 IEEE MTT-S International 2000, 1: 191-194.
- [3] FUKASAWA A. Analysis and composition of a new microwave filter configuration with inhomogeneous dielectric medium [J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniqued, 1982, MTT-30 (9): 1 367-1 375.
- [4] HANO K. A direct-coupled $\lambda/4$ -coaxial resonator bandpass filter for land mobile communications [J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniqued, 1986, MTT-34(9): 972-976.

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/>