

腔体滤波器输入输出耦合结构的研究

周建梅 贾宝富

(电子科技大学 物理电子学院 成都610054)

摘要: 耦合结构在耦合谐振滤波器的设计中非常重要。耦合结构是否恰当, 主要取决于耦合的性质与耦合的强弱。本文基于Tamio Kawaguchi对耦合系数的定义, 对腔体滤波器设计中输入输出耦合结构进行了仔细的研究, 并用高频结构仿真软件HFSS 进行了仿真, 给出几种耦合结构的适用范围, 并比较了它们的耦合强弱。

关键词: 同轴腔滤波器 耦合结构 耦合系数

1 引言

同轴腔带通滤波器广泛应用于通信、雷达等系统, 它具有Q 值高、易于实现的特点, 特别适用于通带窄、带内插损小、带外抑制高的场合。近年来, 商用微波仿真、优化软件及电磁场分析软件迅速发展, 为微波元器件的设计起到很大的推动作用。本文应用三维全波分析软件HFSS进行了仿真, 对中心频率2.45GHz、单腔尺寸为20mm*20mm*36mm的同轴腔多种输入输出耦合结构滤波器进行了分析, 得出了滤波器的耦合和输入输出结构参数。这在同轴腔滤波器的实际设计中是很有实用价值的。

2 谐振频率与耦合系数

在微波频段用分布式线性谐振腔设计的带通滤波器很难实现单纯的电耦合或磁耦合。多数情况下, 两种耦合形式混合存在, JiaSheng Hong将其定义为混合耦合, 它的符号由占主导地位的耦合形式决定。并且有些耦合随着耦合结构相对位置的改变, 耦合系数的符号会发生变化, 即由电耦合(磁耦合)转变成磁耦合(电耦合)。

图1 (a) 所示为一开窗耦合的两个腔体的配置图, 此结构在腔体谐振频率附近的等效电路如图1 (b) 所示:

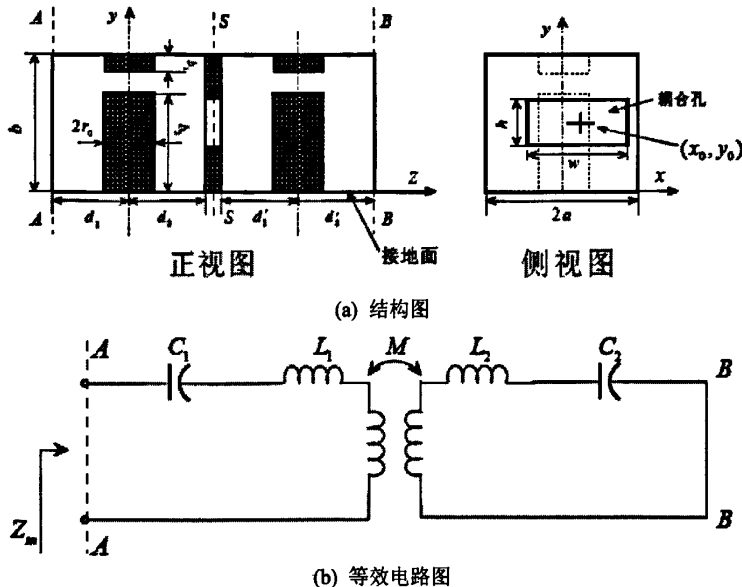


图1 利用窗口耦合的两个同轴腔

对于两个相同的腔体，其间耦合系数的计算可表示为：

$$k = \frac{f_m^2 - f_e^2}{f_e^2 + f_m^2} \quad (2-1)$$

其中： f_e 和 f_m 分别为在对称面上放置理想电壁(PEC)和理想磁壁(PMC)时腔体的本征谐振频率。根据Tamio Kawaguchi的定义，当 $k>0$ ，即 $f_m>f_e$ 时为磁耦合(感性耦合)，当 $k<0$ ，即 $f_m<f_e$ 时为电耦合(容性耦合)。

2 耦合系数的电磁仿真实现

同轴滤波器设计中几种主要的输入输出耦合结构如图2所示：

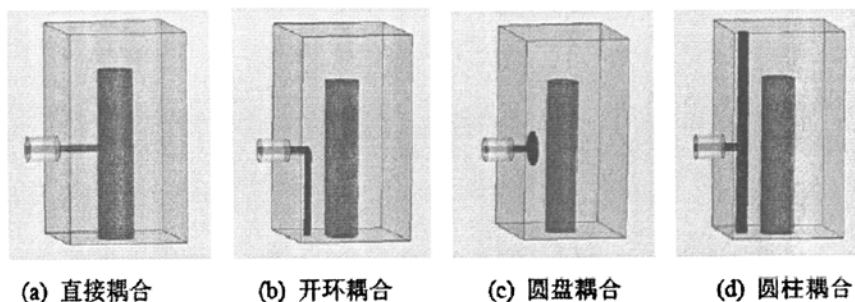


图2 腔体滤波器几种输入输出耦合结构

无论是对称谐振器还是非对称谐振器，耦合系数都与两个频率 f_e 和 f_m 有关，在实际的结构中只要能够正确的提取出这两个频率就可以计算出需要的耦合系数。

3 实例设计中的耦合仿真结果

采用在对称面上放置理想电壁磁壁的方法计算耦合系数，只需要考虑耦合结构的一半就可以了。下面以中心频率为2.45GHz，单腔尺寸为20mm*20mm*36mm的同轴腔多种输入输出耦合结构进行分析。

(1) 直接耦合结构：图3(a)显示了耦合系数随抽头纵向位置的变化，图3(b)显示了谐振

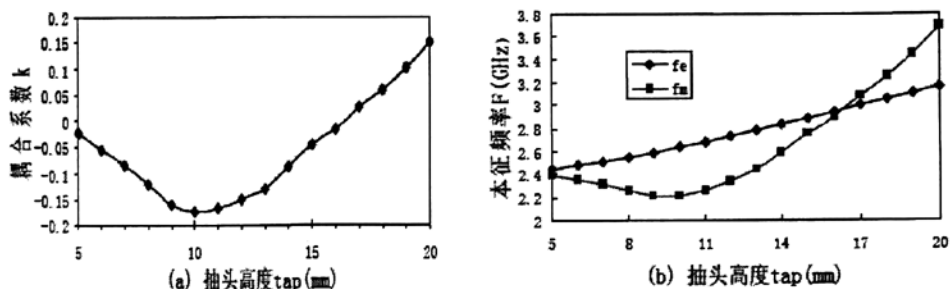
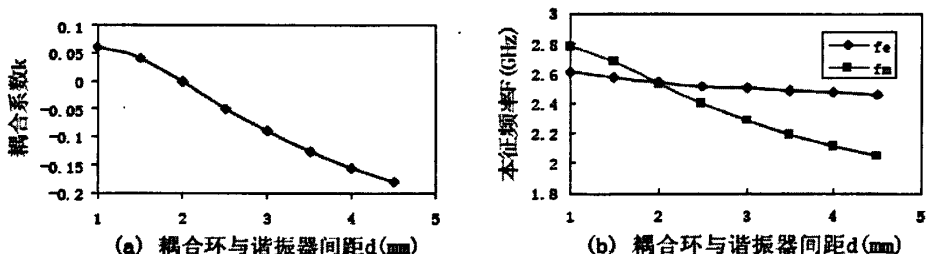
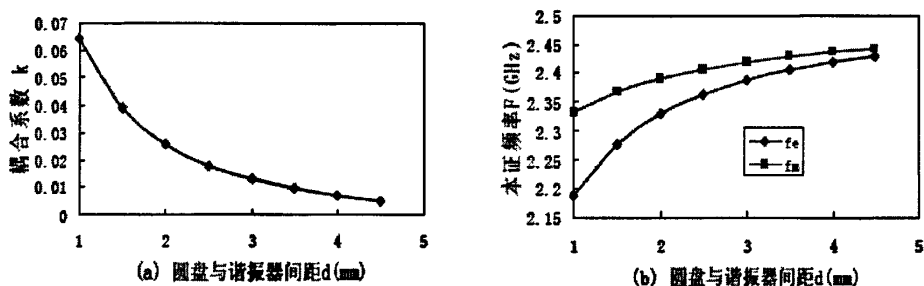
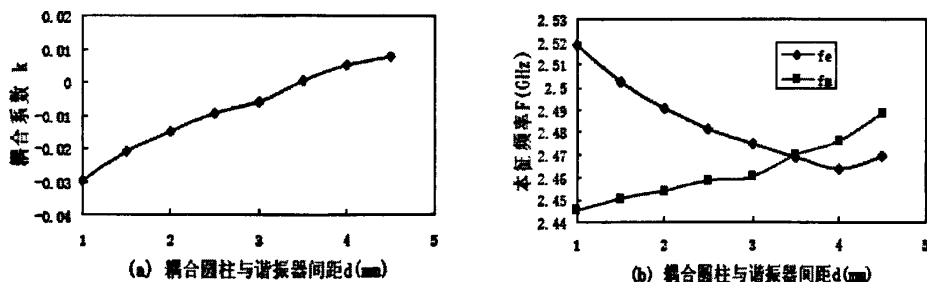


图3 抽头高度tap对 (a) 耦合系数和 (b) 本征频率的影响


 图4 耦合环与谐振器间距 d 对 (a) 耦合系数和 (b) 本征频率的影响

频率随抽头高度的变化情况。由图3(a)可以看出, 当 tap 为10mm的时候, 耦合系数 k 达到负最大, 也就是说此时电耦合达到最强0.18。当 tap 在5—16.4mm范围内变化时, 耦合系数均为负值, 即电耦合, 当超过16.4mm(约谐振腔高度的一半)后, 耦合性质将由电耦合转为磁耦合, 并随着距离的增大而增强。由图3(b)可以看出, 对称面为理想磁壁时, 频率随 tap 成线性变化, 而当对称面设为理想磁壁时, 频率随 tap 先降后升, 在 $tap=10$ mm时最小。

(2) 开环耦合结构: 图4(a),(b)分别显示了耦合环与谐振器间距 d 对耦合及本征频率的影响。由图4(a)可知, 在随 d 的增大过程中, 耦合系数线性下降, 并在约 $d=1.8$ mm时, 由正变负, 即是由磁耦合变为电耦合, 提醒设计者在设计过程中注意距离的变化引起耦合性质的变化。图4(b)表达了本征频率随间距 d 的变化, 它们都随 d 成线性变化, f_m 变化幅度较大, 而 f_e 相对变化较小, 在约 $d=1.8$ mm时相交。


 图5 圆盘与谐振器间距 d 对 (a) 耦合系数和 (b) 本征频率的影响

 图6 圆柱与谐振器间距 d 对 (a) 耦合系数和 (b) 本征频率的影响

(3) 圆盘耦合结构: 如图5(a)所示, 在圆盘与谐振器间距 d 在1~4.5mm范围内变化时, 耦合系数始终为正值, 且与 d 成反向变化。图5(b)显示了频率随间距 d 的变化, 均呈上升趋势, 但电壁对应的本征频率上升速度较快, 在 $d=4.5$ mm时几乎赶上磁壁对应的本征频率值, 预计如果继续增大 d 值, f_e 将超过 f_m , 而耦合系数将由正变负, 即耦合性质由磁耦合变为电耦合。

(4) 非谐振圆柱耦合结构: 图6(a),(b)分别显示了耦合系数与谐振频率随圆柱与谐振器间距 d 的变化趋势。由图可知, 耦合系数与 d 成正比, 在 $d=3.4$ mm以下耦合系数为负, 属于电耦

合, 当超过3.4mm时, 耦合系数为正值, 此时属于磁耦合。由图6(b)知, f_e 随 d 线性下降, 在 $d=4\text{mm}$ 后又有上升趋势, f_m 随 d 逐渐上升, 在 $d=3.4\text{mm}$ 时与 f_e 相交, 后超过 f_e , 使得耦合系数符号产生变化, 耦合的性质改变了。

4 结束语

本文通过对四种典型输入输出耦合结构的仿真研究, 分析可得, 在相同条件下, 直接耦合与开环耦合结构的耦合强度较大, 适用于所需要的耦合强度较大, 尺寸要求小的设计中, 同时此种输入输出耦合结构将引起本征频率偏高, 设计时应注意。相反, 圆盘与圆柱耦合结构所得到的耦合系数相对较小, 适用于所需要的耦合系数较小, 尺寸要求较小的场合, 此种耦合结构将使本征频率稍微降低, 设计时应注意调节。另外, 随着耦合间距的变化, 耦合系数都会发生符号的变化, 只是变化时所对应的间距值不一样, 这就提醒设计者在设计时要考虑到这一点, 防止需要的耦合性质向相反的方向改变。

参考文献

- [1] 甘本祓, 吴万春. 现代滤波器的结构与设计. 北京: 科学出版社. 1974
- [2] Jia-Sheng Hong, M. J. Lancaster. Microstrip Filters for RF/Microwave Application. New York: A Wiley-Interscience Publication. 2001
- [3] Smain Amari, Uwe Rosenberg and Jens Bornemann. Adaptive Synthesis and Design of Resonator Filters With Source/Load-Multiresonator Coupling. Trans-MTT, 2002,50(8): 1969-1977
- [4] Richard J Cameron. General Coupling Matrix Synthesis Methods for Chebyshev Filtering Functions. IEEE Trans-MTT, 1999,47(4): 433-442
- [5] Richard J Cameron. Advanced Coupling Matrix Synthesis Techniques for Microwave Filters. IEEE Trans-MTT, 2003,51(1): 1-10
- [6] K.A. Zaki, R.Levy, J. Liang, "Dual-Mode Dielectric-Loaded Resonators with Cross-Coupling Flats", IEEE Transactions On Microwave Theory and Techniques Digest, 1995, pp. 509-512.

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/>