

混合腔间耦合及其在大功率滤波器中的应用

洪 杰, 官伯然

(杭州电子科技大学天线与微波技术研究所, 浙江 杭州 310018)

摘要:该文在简要介绍微波谐振腔间耦合结构及其适用范围的基础上, 集中讨论了一种用于大功率紧耦合谐振腔滤波器的混合腔间耦合结构。该结构由相邻腔间耦合窗和跨腔耦合环组成。经研究发现该结构能在紧耦合的指标下, 减小耦合窗的尺寸同时提高单腔无载 Q 值; 且在耦合窗固定情况下能在对通带特性影响较小的同时实现腔间耦合度的调整。研究结果对于大功率微波滤波器设计具有一定参考价值。

关键词:腔体滤波器; 耦合结构; 耦合系数

中图分类号: TJ430.3+6

文献标识码: A

文章编号: 1001-9146(2008)01-0032-04

0 引言

在现代通信设备中, 微波带通滤波器的性能对包括信道容量在内的系统指标具有十分重要的影响。为了保证带外杂散或邻道干扰指标的同时, 能够在有限频段容纳更多的信道, 现代通信设备对收发信带通滤波器指标的要求越来越苛刻。以数字电视发射机为例, 为实现尽可能多的发射节目数, 必然要求其输出带通滤波器具备大功率(kW 级)、窄频带、高滚降系数等特点。因而对于上述滤波器而言, 必然要求其腔间耦合结构既能满足所需耦合度, 又能提高单腔无载 Q 值。利用微波滤波器中广泛采用的腔间耦合结构, 如矩形孔耦合^[1,2]、圆孔耦合^[3]等, 所设计的带通滤波器通常难以同时满足这两点。在这种情况下, 需要寻求一种能同时满足这两点要求的特殊的耦合结构。经研究发现由相邻腔间耦合窗和跨腔耦合环构成的混合腔间耦合结构能同时满足上述两点要求。本文利用广泛采用的高频结构分析软件 HFSS 来验证混合耦合结构的这种性能。

1 滤波器腔间耦合结构

滤波器腔间耦合结构在微波技术发展的长期历史中已获得了广泛深入研究。文献 1 研究了圆柱形波导谐振器间耦合窗口与耦合特性的关系。文献 2 研究了矩形波导谐振器间耦合窗口与耦合特性的关系。文献 4 提到两种结构: 一种是在谐振器开路端引入同轴电缆实现较强的电耦合; 一种是在谐振器开路端开一耦合窗并在上腔底接入一跨腔耦合环, 其中耦合窗实现电耦合, 跨腔耦合环实现磁耦合, 但在文中未对这两种结构的耦合特性做具体分析。文献 5 研究了文献 4 中第一种结构的耦合特性。上述几篇文献腔间主要耦合结构是耦合孔。腔间孔耦合是谐振腔滤波器的主要结构之一。腔间孔耦合一般有矩形孔耦合、圆孔耦合、椭圆孔耦合等。圆孔耦合属于松耦合, 它在成品状态下难以进行精调, 而对高滚降系数带通滤波器进行精调是实现系统指标的重要步骤。矩形耦合孔虽能实现大功率、紧耦合的要求, 但在大功率情况下同样难以进行精调。紧耦合矩形孔的另一个直接弊端是滤波器通带特性严重依赖于耦合系数。矩形耦合滤波器在紧耦合指标情况下耦合窗的加大将使单腔无载 Q 值下降, 反而使滤波器

收稿日期: 2007-07-09

作者简介: 洪 杰(1983-), 男, 江苏南通人, 在读研究生, 电路与系统。

选择性变差而难以提高带外抑制。值得指出的是,大耦合孔条件下由于腔间场交扰严重,小信号网络综合已不再适用。椭圆孔耦合其特性跟矩形孔耦合相似。因此,对所讨论的特定指标带通滤波器,需要寻求既能满足大功率、窄带、紧耦合并且能实现可精调要求的耦合结构。

2 腔间耦合结构的原理

腔间耦合混合结构是由矩形耦合孔和耦合环共同构成,结构示意图如图1所示,图1中 L 是矩形耦合孔高度, R 是耦合孔宽度, D 是耦合孔距离腔底高度, W 是耦合环宽度, H 是耦合环高度。通常腔间耦合结构分析有模式匹配、等效源、以及等效电路等方法,但由于腔间混合耦合结构的不规则性,采用以上方法求解十分复杂。以四分之一波长同轴腔带通滤波器为例对场分布进行定性分析可以看出:腔间耦合由耦合孔和耦合环共同完成,耦合孔与耦合环磁耦合性质相同;耦合孔和耦合环有一定相对自由度;耦合孔尺寸的减小能提高单腔的无载 Q 值,但是耦合孔尺寸的减小必然导致腔间耦合度的不足,而耦合环正好可以弥补这部分不足;有限耦合孔尺寸还有利于减小腔间场交扰;滤波器成品状态下能方便地通过对耦合环的调整实现滤波器精调。

3 腔间混合结构仿真

本文以应用于数字电视发射机输出带通滤波器为例,研究混合耦合结构对耦合度以及通带特性的影响。我国数字电视发射规划频段为470~860MHz。为方便起见,以两腔的四分之一波长同轴腔带通滤波器为例进行讨论。

首先讨论耦合环的变化对耦合度的影响。耦合环与耦合系数的关系曲线如图2至5所示,图2、3耦合孔高度为20mm,图4、5耦合孔高度为30mm(图2至7耦合孔宽度均为36mm,耦合孔距离腔底均为5mm)。其中图2、4的3条曲线是在耦合环高度固定的情况下,耦合系数随耦合环宽度变化曲线;图3、5的3条曲线是在耦合环宽度固定的情况下,耦合系数随耦合环高度变化曲线。比较这4幅图可以看出,无论是固定耦合环宽度改变耦合环高度还是固定耦合环高度改变耦合环宽度,其响应曲线都相近,都能实现腔间耦合度接近线性变化。

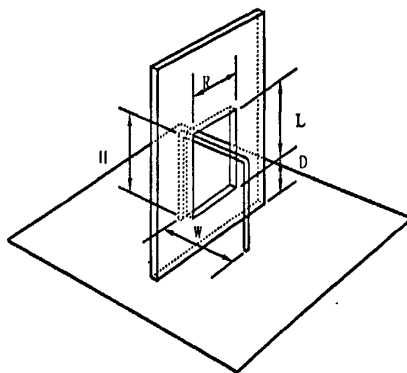


图1 腔间耦合结构示意图

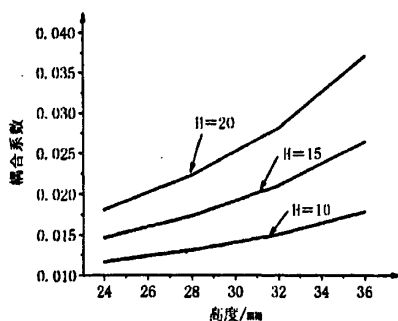


图2 $L=20$ 时,宽度与耦合系数关系

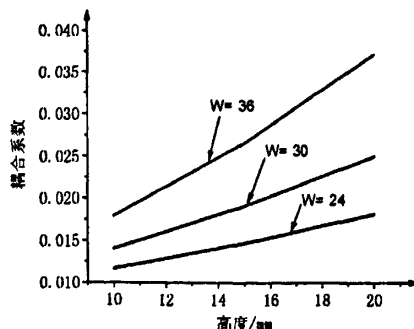
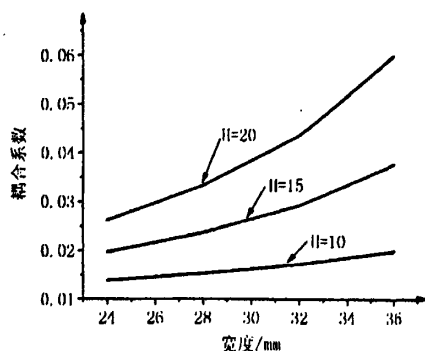
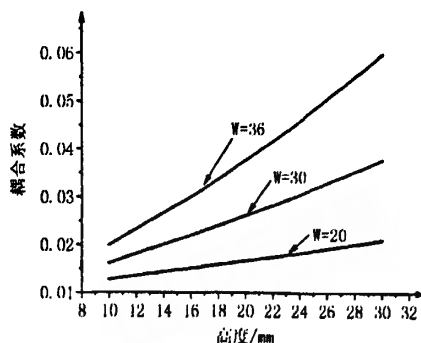


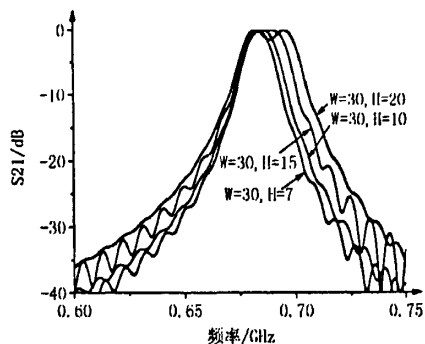
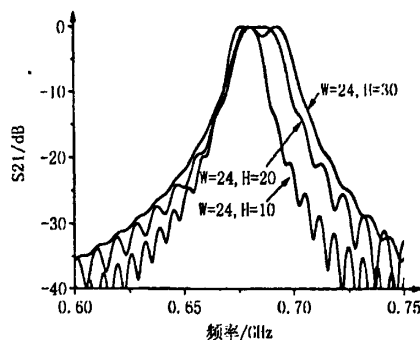
图3 $L=20$ 时,高度与耦合系数关系

由于耦合环和耦合孔磁耦合性质相同,增大耦合孔或耦合环的高度或宽度都能增大耦合系数。同时可以看出,在耦合孔一定的情况下,耦合环和耦合孔结合所贡献的耦合度相对矩形耦合孔来说,具有明显的优势。

图4 $L=30$ 时,宽度与耦合系数关系图5 $L=30$ 时,高度与耦合系数关系

进一步分析混合耦合结构对通带特性的影响。在耦合孔高度为 20mm, 固定耦合环宽度为 30mm 时, 不同耦合环高度下的同轴腔带通滤波器的响应如图 6 所示。在耦合孔高度为 30mm, 固定耦合环宽度 24mm 时, 不同耦合环高度下的滤波器的响应如图 7 所示。图 6 中可以看出, 当耦合环高度从 7mm 变至 20mm 时, 滤波器的响应从欠耦合状态变化到过耦合状态。中间则是近似线性变化区域。在此过程中, 滤波器的谐振频率升高, 带宽变大。比较图 6 和图 7, 矩形耦合孔的加大, 使得滤波器的带外抑制变差, 究其原因是耦合孔的加大使得单腔无载 Q 值下降且增大了腔间场交扰。

纵上所述, 在设计混合腔间耦合结构时, 有限耦合孔尺寸有利于减小腔间场交扰和提高单腔无载 Q 值, 同时应抑制欠耦合和过耦合的范围, 增大线性区域, 为精调提供更大的调谐范围。

图6 $L=20$ 时,滤波器的响应图7 $L=30$ 时,滤波器的响应

为探讨在这类滤波器中, 混合腔间耦合结构相对于一般腔间耦合结构的优势, 现比较不同腔间耦合结构滤波器响应。以中心频率为 665MHz, 1dB 带宽为 7MHz 为指标, 比较两种情况下的滤波器响应情况。即加跨腔耦合环跟不加跨腔耦合环的滤波器响应的比较。如图 8 所示, 为两种结构的滤波器响应比较。应当指出的是, 这组响应是将矩形耦合窗、调谐螺钉、输入输出耦合环等的尺寸都设成一致。从这两条 S_{21} 的曲线, 可以看出: 在同一尺寸的矩形耦合窗下, 未加跨腔耦合环的滤波器的显然处于欠耦合状态, 且其带宽小于 7MHz; 同时可以得出其谐振频率要低于加跨腔耦合环的谐振频率。再比较两结构在同一指标下的滤波器响应。如图 9 所示, 为两种结构滤波器响应曲线图。对于未加跨腔耦合环的滤波器仿真结果表明要达到这样的指标其矩形耦合窗的尺寸为: 高为 50mm, 宽为 38mm。而对于加跨腔耦合环的滤波器其矩形耦合窗的尺寸为: 高为 12mm, 宽为 16mm。从这组仿真可以看出, 跟理论分析吻合, 即矩形耦合滤波器在紧耦合指标情况下耦合窗的加大将使单腔无载 Q 值下降, 反而使滤波器选择性变差。值得指出的是, 由于频道间隔隔离的要求, 实际中所需的带外指标要远高于上述参数, 需要采用

交叉耦合技术以实现实际所需的带外抑制,这点超出本文所要讨论的范围。

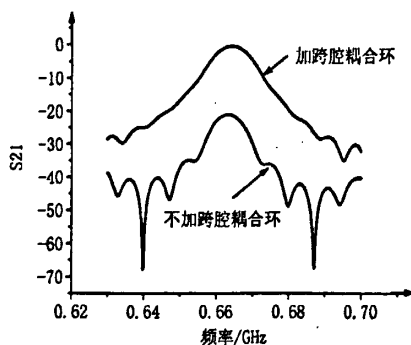


图8 同一耦合窗尺寸 S21 比较

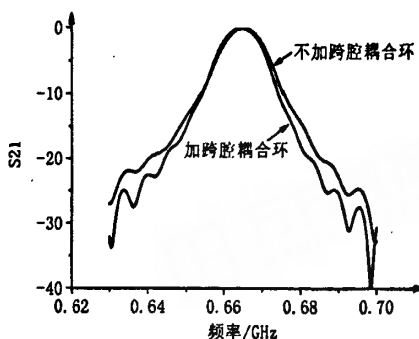


图9 同一指标 S21 比较

4 结论

本文讨论了紧耦合谐振腔滤波器的混合腔间耦合结构。分析了耦合窗和跨腔耦合环在不同参数下的性能,讨论了两种耦合机制对耦合度及通带特性的影响。仿真结果表明,混合耦合结构能有效的解决一般腔间耦合结构存在的耦合度和单腔无载 Q 值之间的矛盾,改善滤波器的性能,即在保证耦合度的同时,提高单腔无载 Q 值;混合耦合结构还弥补了在大功率的情况下一般腔间耦合窗结构尺寸一旦确定就难以精调的不足。

参考文献

- [1] Rong Y, Kawthar A Zaki. Full - wave analysis of coupling between cylindrical combline resonators[J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 1999, 47(9): 1721 - 1729.
- [2] Yao H W, Kawthar A Zaki. Full - wave modeling of conducting posts in rectangular waveguides and its applications to slot coupled combline filters[J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 1995, 43(12): 2824 - 2830.
- [3] K Whiting. The Effect of Increased Design Bandwidth Upon Direct - Coupled - Resonator Filters[J]. Microwave Theory and Techniques, 1963, 11(6): 557 - 560.
- [4] Thomas J B. Cross - coupling in coaxial cavity filters - a tutorial overview[J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2003, 51(4): 1368 - 1376.
- [5] 张雪梅, 邱英杰. 圆柱形波导梳状线谐振器间电耦合特性分析[J]. 华北电力大学学报, 2007, 34(1): 115 - 119.

The Study of a Mixed Inter - cavity Coupling Structure

HONG Jie, GUAN Bo-ran

(Institute of Antenna and Microwave, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou Zhejiang 310018, China)

Abstract: Based on the brief introduction of inter - cavity coupling structures of microwave filters and its application field, we mainly discuss a mixed inter - cavity structure which used in high power and tight - coupling filters. The structure consists of a rectangular coupling aperture and a coupling loop across the cavities. Through investigation, we find that the structure can solve the contradiction between coupling and the unloaded Q value which exists in the general coupling structure, this structure can realize approximately linear adjustment between cavities. The result is worthy to the design of high power microwave filters.

Key words: cavity filters; coupling structure; coupling coefficient

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/>