

高可靠性多路腔体滤波器组的设计与实现

姚远, 杨华, 谢晓, 高雅, 曹亮

(中国电子科技集团公司第二十六研究所, 重庆 400060)

摘要: 该文实现了一个高可靠性、小体积的多路腔体滤波器组, 包括四路对一致性要求较高的带通滤波器通道, 以及一路由直通线缆和防雷电路板构成的校准通道。通过 HFSS 进行全腔仿真保证了仿真精度, 并在 Matlab 中编程实现滤波器耦合系数的提取。利用 Matlab 和 HFSS 联合仿真的方式缩短了腔体滤波器仿真和调试的时间。设计不规则形状谐振腔, 采用多通道滤波器形成整体组件结构的形式实现了系统小型化。通过算法、结构设计、调试技术等共同保证相位一致。利用各种浪涌抑制器件的特点设计三级防雷电路, 实现了高可靠性系统保护。

关键词: 腔体滤波器组; 高可靠性; 滤波器诊断调试

中图分类号: TN713

文献标识码: A

Design and Implementation of a Multi Channel Cavity Filter Bank With High Reliability

YAO Yuan, YANG Hua, XIE Xiao, GAO Ya, CAO Liang

(26th Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Chongqing 400060, China)

Abstract: This paper presents a multi-channel cavity filter bank with high reliability and small size. It consists of four band-pass filter channels which require high consistency and a calibration channel composed of a straight-through cable and a lightning protection circuit board. The whole cavity simulation is carried out by HFSS to ensure the accuracy of the simulation, and the diagnosis programs (Matlab codes) of the cavity band-pass filter have been developed to extract the coupling coefficient of the filter. The Matlab and HFSS co-simulation can greatly reduce the simulation and debugging time. A multi channel filter bank and the resonator cavity with irregular shape are adopted to form the integral component structure to realize the miniaturization of the system. The phase consistency is ensured through the algorithm, the structure design, the debugging technology and so on. The three-level lightning protection circuit is designed by taking advantage of the features of the surge suppression devices and the high reliability protection of the system is realized.

Key words: cavity filter bank; high reliability; filter diagnosis and debugging

0 引言

微波滤波器是通信、雷达等系统中最基本的元器件之一, 其性能的优劣对整个系统的性能有直接影响^[1]。腔体滤波器因其品质因数(Q)值高、插入损耗小和功率容量大等特点, 在某些工程应用中具有其他结构滤波器无法替代的地位。在腔体滤波器的进一步发展中, 小型化、高可靠性、缩短设计周期以及滤波器计算机辅助诊断调试技术的研究等工作仍具有重要意义^[2-4]。

本文采用不规则形状谐振腔, 以多通道滤波器形成整体组件结构的形式实现了腔体滤波器的小型

化, 通过算法、结构设计、调试技术等共同保证相位一致; 设计三级防雷电路, 实现了滤波器组的防雷保护。最终设计制作的多路腔体滤波器组已大规模地应用于 Mcwill 无线网络相关产品, 包括基站产品, 如宏基站产品, 光纤拉远基站 RRU、直放站产品、室内分布系统产品等。

1 基本原理及设计步骤

本文腔体滤波器组的每条通道采用广义切比雪夫结构实现^[5], 利用谐振器的交叉耦合在滤波器通带边缘附近引入传输零点。Matlab 和 HFSS 协同仿真从 S 参数中提取耦合矩阵, 与标准矩阵进行对

比,对结构参数进行优化可获得最优结构参数。

1.1 Cameron 综合法综合滤波器耦合系数矩阵

采用 Cameron 分析法^[6-7]综合出不包含源与负载耦合的 $N+2$ 阶耦合矩阵,具体步骤为:

- 1) 确定滤波器阶数和传输零极点位置。
- 2) 递归法得到 N 阶广义切比雪夫函数 S 参数多项式。
- 3) 根据网络理论得到 Y 参数多项式。
- 4) 计算得到包含源和负载的耦合系数矩阵。
- 5) 耦合系数矩阵通过相似变换或优化变换得到物理可实现的形式。

最终综合出七腔腔体滤波器的耦合矩阵,并采用如图 1 所示的拓扑结构来实现。

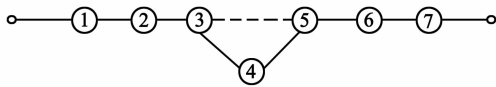


图 1 七阶广义切比雪夫滤波器拓扑结构图

1.2 利用商用软件 HFSS 建立腔体滤波器结构模型

1.2.1 谐振腔的仿真与设计

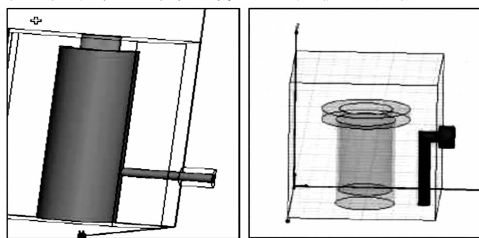
建立单谐振腔仿真模型,由谐振腔、谐振杆和调谐钉组成。通过参数扫描得到腔体谐振频率与调谐螺钉长度的对应关系,作为建立全腔模型的基础数据。

1.2.2 耦合结构的仿真与设计

滤波器组选用上开窗结构作为主耦合结构,探针耦合结构作为交叉耦合结构。建立双腔模型,并仿真耦合结构,如窗口、探针等的尺寸对耦合系数的影响。扫描参数,得到耦合系数-结构尺寸关系图。根据标准耦合矩阵中的元素,在耦合系数-结构尺寸关系图中选择合适的结构尺寸。

1.2.3 输入、输出耦合结构的仿真与设计

本设计对输入、输出做了精细化处理,如图 2 所示。图 2(a)对应常见的焊接结构,图 2(b)对应本文采用的输入、输出馈线用螺钉紧固的结构。螺钉紧固方式由于不需要焊接,减小了人为因素引入的误差,更有利于减小装配难度,保证了滤波器性能的一致性。



(a) 直接耦合模型 (b) 螺钉耦合模型

图 2 输入、输出仿真示意图

1.3 Matlab 协同 HFSS 仿真对全腔结构进行优化

为保证仿真精度并节约时间成本,本文采用

Matlab 与 HFSS 联合仿真。通过柯西法从仿真 S 参数中提取耦合矩阵,与标准耦合矩阵进行对比,从而找出参数调整的方向^[8-10]。基本步骤为:

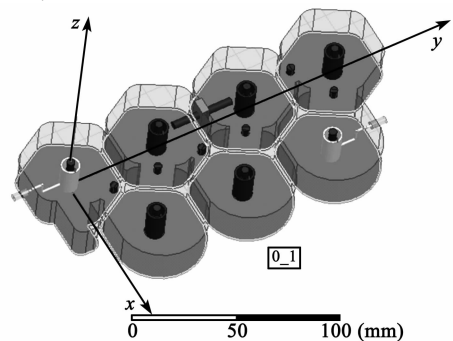
- 1) 理想耦合矩阵的获取。
- 2) 建立初始仿真模型。
- 3) VBS 脚本控制 HFSS 完成模型仿真计算及采样数据的输出和保存。
- 4) Matlab 从仿真 S 参数中提取耦合矩阵等参数。
- 5) 与标准耦合矩阵进行对比,得到耦合系数、谐振频率与标准矩阵的偏差值。Matlab 修改 VBS 脚本,控制 HFSS 中腔体的几何尺寸,优化滤波器响应。
- 6) 重复步骤 3)~5),使最终优化结果满足指标要求。

该方法具有非常高的精确度,保证了腔体滤波器设计一次投版成功,且缩短了研发周期。

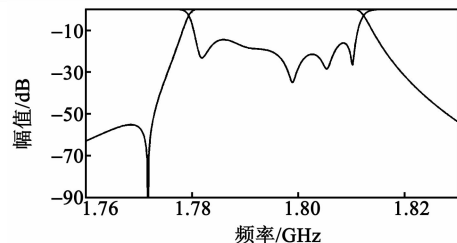
以一个七阶腔体滤波器设计为例,该七阶滤波器指标要求如下:

- 通带损耗:1 785~1 805 MHz, < 2 dB。
- 回波损耗:1 785~1 805 MHz, < -15 dB。
- 衰减: 1 710~1 770 MHz, > 50 dB。
- 1 820~1 898 MHz, > 25 dB。

七腔交叉耦合滤波器 HFSS 仿真模型及最终仿真结果如图 3 所示。



(a) 七腔交叉耦合带通滤波器 HFSS 仿真模型



(b) HFSS 仿真结果

图 3 七腔 HFSS 仿真模型及仿真结果

采用计算机辅助诊断调试的方法判断被测滤波器的参数与初始设计要求值的差别,快速地将腔体滤波器实物电特性调试到满足指标要求。经调试后的滤波器测试结果如图 4 所示。由图可见,滤波器

插入损耗为 -1.3 dB,带外抑制及回波损耗都满足用户要求。

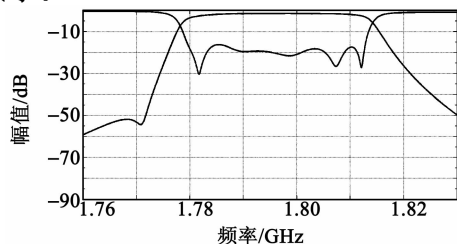


图4 七腔体滤波器实测结果

2 非规则腔、一体化、高可靠性设计

2.1 多通道不同设计,一体化封装

采用多通道滤波器形成整体组件的形式缩小了体积,使整机系统结构紧凑。设计不规则形状谐振腔,得到更高的 Q 值。通过合理排腔布局,充分利用空间,使多通道一体化成为可能,如图5所示。

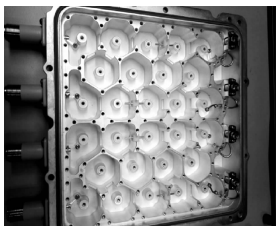


图5 腔体滤波器组内部结构实物图

2.2 算法、结构设计、调试技术共同保证相位一致

相位一致性影响因素较多,如BMA线长、抽头高度、焊接、加工误差、调谐一致性等。本文通过以下技术共同保证了滤波器组的相位一致。

2.2.1 精确算法保证

Matlab与HFSS协同仿真的算法保证精确地得到耦合窗口尺寸,螺钉长短等。在设计时尽量计算到每个通道性能一致,最终调试出的产品可得到较好的一致性。

2.2.2 结构设计保证

采用焊接形式的输入、输出,由于不同调试人员焊接的差异,引入的相位误差较大。本设计采用螺钉固定输入、输出抽头结构,不需要焊接,较好地保证了相位一致性。

2.2.3 计算机辅助诊断调试

开发腔体滤波器调试软件,在调试时保证每个通道提取的耦合矩阵与标准耦合矩阵尽量一致,从而解决了每个通道不同设计之间的相位一致性问题,同时也降低了对调试人员经验及技术的要求。

2.3 防雷校准通道的高可靠性设计

本设计需要应用于室外单元,必须考虑系统的防雷保护。保护系统由三级电路组成,利用各种浪涌抑制器件的特点,实现高可靠性保护,电路如图6

所示。具体设计为:

1) 输入端采用气体放电管,作为第一级浪涌保护器件,在大于微秒级时间承受大的浪涌电流。

2) 第二级采用4个压敏电阻并联,在微秒级时间范围内响应,从而实现对后级电路的保护。

3) 采用TVS二极管在皮秒级时间范围内对较小浪涌电压产生响应。

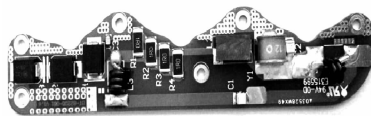


图6 校准通道防雷电路实物图

3 结束语

本文采用柯西法从仿真 S 参数中提取耦合矩阵,Matlab与HFSS协同仿真保证了设计精度,同时缩短了设计周期。采用不规则腔设计得到多通道一体化,减小了最终用户系统的体积。采用螺钉固定耦合抽头等手段提高相位一致性;开发腔体滤波器计算机辅助诊断调试软件,实现滤波器快速调试;设计三级防雷电路实现高可靠性系统保护。

参考文献:

- [1] 韩世虎,王锡良,樊勇. 广义切比雪夫滤波器耦合矩阵的优化提取[J]. 电波科学学报,2007,22(1):153-157.
- [2] 李忻,聂在平. 交叉耦合模型及其在腔体滤波器中的实现[J]. 电子科技大学学报,2004,33(4):354-367.
- [3] 陈佳,陈建忠,赖鑫,等. 腔体滤波器计算机辅助诊断与调谐[C]//西安:2009年全国微波毫米波会议论文集,2009:1714-1717.
- [4] 王瑞. 微波无源器件综合与诊断技术研究[D]. 成都:电子科技大学,2012.
- [5] 郝玫,苏涛,梁昌洪. 广义Chebyshev滤波器的交叉耦合模型实现[J]. 应用科技,2006,33(3):16-19.
- [6] CAMERON R J. Advanced coupling matrix synthesis techniques for microwave filters[J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2003, 51(1):1-10.
- [7] CAMERON R J. General coupling matrix synthesis methods for Chebyshev filtering function [J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 1999,47(4):433-42.
- [8] 张永亮. 微波无源器件综合新技术及其计算机辅助调试的研究[D]. 西安:西安电子科技大学,2013.
- [9] 韩应宾,赵永久,路宏敏. 微波滤波器的耦合矩阵诊断调试法[J]. 西安电子科技大学学报(自然科学版),2008,35(4):703-706.
- [10] 张永亮,苏涛,吴边,等. 改进柯西法的多工器有理模型的提取方法[J]. 西安电子科技大学学报(自然科学版),2013,40(3):201-204.