

复杂耦合超导滤波器

补世荣** 羊 恺 罗正祥

(电子科技大学电子工程学院 成都 610054)

【摘要】从高温超导滤波器小型化带来的复杂耦合出发,研究了复杂耦合分析的方法。用全波分析的滤波器设计手段,从谐振器及谐振器间耦合入手,讨论了各种耦合机理对滤波特性的影响;在结构上,提出滤波器小型化设计方案,并对小型化引入的复杂耦合进行分析。给出了小型化结构及其仿真和实验结果,其实验产品已用于实验接收机系统。

关键词 高温超导; 微波滤波器; 耦合; 小型化

中图分类号 TN713⁺; TM26⁺2 文献标识码 A

HTSC Filter with Complex Couplings

Bu Shirong Yang Kai Luo Zhengxiang

(School of Electronic Engineering, UEST of China Chengdu 610054)

Abstract As one of the main properties of miniaturized HTSC filters, the complex couplings of HTSC Filter is proposed, and the analysis method of these complex couplings is studied. As the method, full wave technology is used to design the filter, and the couplings between or in resonators are studied by this method, then the effects to filtering response of these couplings are discussed. From the aspect of structures, the miniaturization procedure of HTSC Filter is under discussion with the complex couplings. There are some miniaturized structures and their simulated and tested results, and the fabricated filters are used in one real communication receiver.

Key words high temperature superconductors; microwave filter; coupling; miniaturization

超导微波是超导技术应用热点,超导体以其优良的导电特性,倍受移动及卫星通信技术青睐。作为选频元件,滤波器性能与通信质量直接相关,对干扰的抑制起着重要作用。目前移动通信所使用的微波频率低段,对应较长的导波波长,故在该频段滤波器设计中,小型化技术是较重要的环节,目前国内外常应用多曲折线方法减小谐振器间有效耦合距离来实现电路拓扑上的紧凑耦合^[1, 2],这种谐振形式的改变在谐振器内部引入附加耦合,使谐振等效网络不再为简单的LC(或RLC)谐振网络^[3],附加耦合会在某种外耦合作用下造成谐振点附近相位突变形成极点;谐振器间的耦合也由于复杂的谐振电流分布变得复杂。本文把上述这些耦合因素统称为复杂耦合,这些因素综合起来使通常的滤波器设计手段变得不再适应,特别是造成滤波特性带外裙边设计难于操作(对于移动通信用高性能高温超导滤波器尤然,该类滤波器要求阻带的衰减陡度在1 800 MHz附近为10~20 dB/MHz,且带外衰减大于70~80 dB,使设计准确度要求增加),目前采取的做法一般有两种,一种用增加滤波器级数的办法来对带外进行强行压制,这种方法的好处是设计简单,缺点是牺牲谐振器级数和带内特性,近年出现的二十几级甚至高达32级的滤波器就是此类代表;另外还有建立在牢固理论分析和优化计算方法基础上的传统综合手段的改进,有针对多曲折线特征用平行耦合传输

2003年3月5日收稿

国家863计划资助项目,编号:CD060201

* 男 26岁 博士生 主要从事高温超导微波通讯系统及器件方面的研究

线理论进行超导滤波器设计的理论方法^[4], 有全波分析与经典综合相结合的方法^[2], 以及最近出现的以非准确综合手段与全波优化相结合的方法等^[5]。

本文以新结构超导多曲折线滤波器设计过程为例, 介绍全波分析的滤波器设计手段, 从谐振器及谐振器间耦合入手, 研究各种耦合机理对滤波特性的影响; 在结构上, 提出滤波器小型化设计方案, 并主要对小型化引入的复杂耦合进行分析。

1 耦合分析

1.1 谐振器内部耦合

在常规滤波器的综合设计中, 谐振器一般作J或K变换器使用, 在物理上作选频基本单元。在常用的交趾、平行耦合、发夹等形式滤波器设计时为简化设计不考虑谐振器内部的附加耦合。当使用多曲折线形式的谐振器达到小型化目的时, 必须考虑谐振器内部耦合对谐振器本身谐振特性的影响, 附加耦合使多曲折

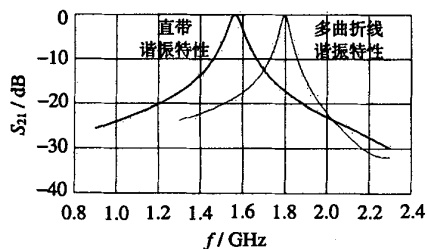


图1 两种不同结构的谐振特性的比较

线滤波器谐振频率相对于同样长度直带谐振器谐振频率偏移。为研究谐振器内部耦合对谐振特性的影响, 对长度相等的微带直带谐振器和多曲折线谐振器的谐振特性进行比较如图1所示。

频率较低是直带谐振特性, 频率较高是多曲折线谐振特性。

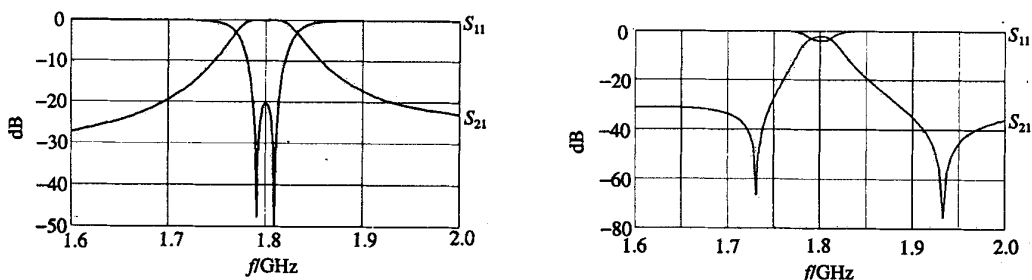
图1中显示多曲折线结构比直带结构具有更高的无载Q值, 这对滤波器设计是有利的, 在移动通讯运用的微波低端, 忽略微带电路的辐射影响, 附加耦合带来的附加储能会提高谐振器的无载Q值; 谐振器内部附加耦合使谐振特性不再是简单LC(或RLC)谐振网络等效, 与一般谐振器不同, 具有不对称的谐振特性, 且裙边变化更陡峭, 更容易与外耦合共同作用在谐振特性的裙边造成复杂的相位叠加, 形成极点。

不采用传统耦合方式^[2], 谐振器间耦合不再是简单的电感或电容耦合, 是一种混合耦合, 混合耦合与谐振器内部耦合一起作用使滤波特性呈现单边陡峭的广义切比雪夫函数形式^[6], 这种滤波特性介于切比雪夫函数和椭圆函数之间, 比前者陡峭, 比后者易于实现, 但由于多曲折线本身耦合分析的困难, 这种滤波器的准确综合设计难于实现, 一般依靠全波分析方法进行优化设计, 初值可以通过切比雪夫滤波器综合方法给定^[2], 近期也出现了直接给定收敛初值的非准确综合设计方法^[5, 7]。本文以简单的两极滤波器为例, 讨论谐振器间耦合和外部耦合对滤波特性造成的影响。如图3所示为两极滤波器, 图3a中磁场耦合较强, 而电场由于两个谐振器离开较远耦合较弱相对磁耦合可以忽略, 不能产生极点, 图3b中则两种耦合都较强, 因此谐振器内部耦合、谐振器间耦合与外耦合一起作用产生极点如图4所示。

(a) 强磁场耦合

(b) 电磁耦合同时存在的情况

图3 两极滤波器谐振器间的不同耦合



(a) 强磁场耦合无极点产生

(b) 电磁耦合同时存在产生极点

图4 强磁场耦合和电磁耦合同时存在时频率响应特性的比较

2 设计及实验结果

2.1 1.2 GHz超导多曲折线滤波器

该滤波器由于工作频段比较低，因此对小型化要求比较高，用典型的多曲折线结构实现了谐振电流分布的微调^[2]。小型化结构使得该电路在10 mm×20 mm范围内得以实现。仿真和测试结果如图5所示。

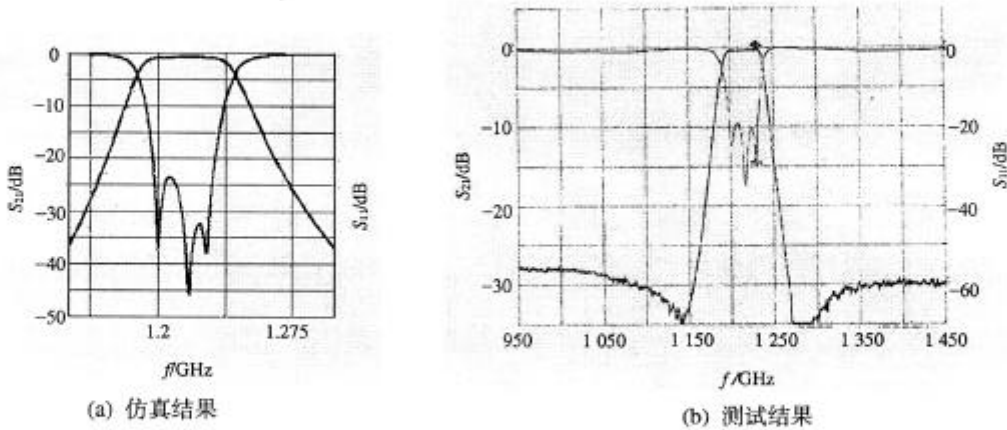


图5 1.2GHz超导多曲折线滤波器的仿真结果和测试结果

2.2 1.93 GHz极陡峭多曲折线滤波器设计结果

移动通信频段要求极陡峭滤波器，但多级滤波器设计困难，利用高温超导材料的极低插损特性将两个简单滤波器级联获得高陡度滤波器将使设计简化，在设计过程中主要考虑简单滤波器之间的幅度和相位叠加性能。本文给出两个六级滤波器级联实现12级滤波器的设计结果(实际陡度比12级同型准椭圆函数滤波器差)。如图6所示滤波器单边陡峭度达到10 dB/MHz。该滤波器所使用小型化技术为方环结构与多曲折线结构的混合^[1]。

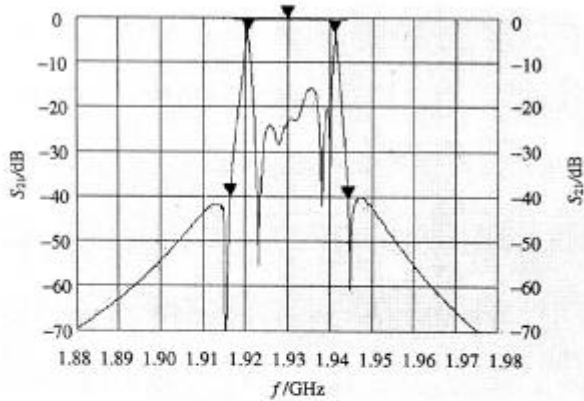


图6 12级准椭圆函数滤波器结构和仿真结果

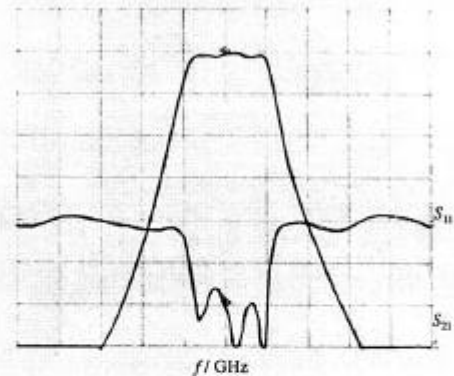


图7 X波段切比雪夫型发夹滤波器测试结果

2.3 X波段超导滤波器

2.3.1 切比雪夫型发夹滤波器

本文设计了一个切比雪夫型发夹线高温超导滤波器，其测试特性如图7所示，并和准椭圆函数曲折线滤波器的特性进行比较，仿真结果如图8所示。

2.3.2 准椭圆函数滤波器

由于工作在X波段，高温超导滤波器对小型化的要求降低，但对插损和陡峭度的要求增大。准椭圆函数特性滤波器比同级切

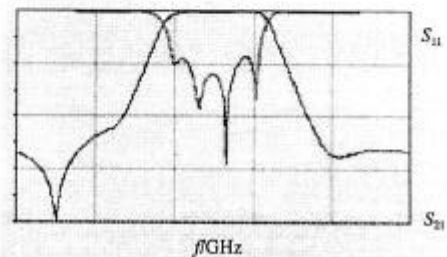


图8 X波段准椭圆函数滤波器结构和仿真结果

比雪夫型滤波器特性更为陡峭,在要求相同陡峭度的情况下,比切比雪夫型要求更少的滤波器级数,可以降低插损。准椭圆函数滤波器用改进的方环结构实现,目前只有通过全波分析方式可以仿真这种结构。

3 结 论

本文分析了小型化复杂耦合滤波器的各种耦合。根据耦合分析设计了几种新型的小型化超导滤波器,得到较好的仿真和试验结果,为进一步的高温超导微波通信系统设计作器件准备。

本文研究工作得到电子科技大学青年基金(No.YF020206)资助,在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] Hong J S, Lancaster M J. Couplings of microstrip square open-loop resonators for cross-coupled planar microwave filters[J]. *IEEE Trans-MTT*, 1996, 44(9): 2 099-2 109
- [2] 羊 恺, 补世荣, 张其劭, 等. 高温超导小型化多曲折线滤波器研制[J]. *科学通报*, 2002, 49(18): 1 378-1 380
- [3] 甘本祯, 吴万春. 现代微波滤波器的结构与设计(上)[M]. 北京: 科学出版社, 1973
- [4] Vendik I B, Deleniv A N, Sherman V O, *et al.* Narrowband Y-Ba-Cu-O filter with quasi-elliptic characteristic[J]. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 2001, 11(1): 477-480
- [5] Levy R, Snyder R V, Matthaei G. Design of microwave filters, microwave theory and techniques[J]. *IEEE Trans-MTT*, 2002, 50(3): 783-793
- [6] Ian H. Theory and design of microwave filters[Z]. MPG Books Limited, 2001
- [7] Amari S, Rosenberg U, Bornemann J. Adaptive synthesis and design of resonator filters with source/load-multiresonator coupling[J]. *IEEE Trans-MTT*, 2002, 50(8): 1 969-1 978

编辑 孙晓丹

· 科研成果介绍 ·

美视(MS301)数据录像监控系统

主研人员: 李毅超 张小松 徐 洁 易发胜 黄克军 蔡洪斌 廖建明 鲁 珂 赵翼东 任 刚 谢 波 方 瑾
曾家智

美视(MS301)数据录像监控系统是一个基于工控计算机和Microsoft Windows 2000中文版操作系统的软件产品。它解决了多路控制、多路显示、视频移动检测联动录像、实时报警、自动循环存储等关键技术,实现了实时监控、数据录像、设备集中控制以及故障报警等功能。该系统基于Microsoft Windows 2000平台,使用Visual C++ 6.0可视化开发工具,系统工作稳定,界面友好,操作方便。

· 渠 涌 ·