

圆杆梳状线微波带通滤波器的研制

郑光明，王锡良

(电子科技大学 电子工程学院, 四川 成都 610054)

摘要 给出了一种中心频率为 1.675GHz 圆杆梳状线微波带通滤波器的设计过程。设计方法采用等效电路原理，并用 HFSS 软件仿真优化。所设计滤波器采用圆杆梳状线结构，其结构紧凑，体积小，便于加工。文中将实测曲线和仿真曲线进行了比较，二者吻合很好。

关键词 圆杆梳状线；带通滤波器；等效电路原理；HFSS 软件

中图分类号 TN713

微波滤波器在微波毫米波通信、卫星通信、雷达、导航、制导、电子对抗、测试仪表等系统中都有着广泛的应用，精确而又快速地设计各种滤波器成为人们普遍关注地问题。

梳状滤波器由于采用了较大的加载电容，使其谐振线小于八分之一波长，其结构紧凑，体积小，强度高，应用范围广，其理论部分已在参考文献[3]中有详细的阐述。圆杆梳状线滤波器由于谐振杆采用了圆杆因而其加工难度降低，容易保证技术指标的实现，其功率容量比矩形杆梳状滤波器高，具有比矩形杆梳状滤波器优良的性能。

对于梳状线带通滤波器的设计，采用传统的等效电路原理与试验法相结合，需要反复调试，重复加工，不能做到一次性加工成功，成品率低，成本高，精度低而且生产周期长。

本文阐述了用等效电路原理计算圆杆梳状线滤波器的初始尺寸，然后用微波仿真软件 HFSS 优

化设计。参考文献[3]详细地给出了用等效电路原理求园杆梳状线带通滤波器的初始尺寸的计算公式。同时本文也给出了一种中心频率为 1.675GHz 圆杆梳状线窄带带通滤波器的设计实例，并加工了园杆梳状线带通滤波器，得到了滤波器的频率响应曲线的 HFSS 软件仿真结果和测试结果。设计时考虑加工误差，设计的中心频率比实际技术指标的中心频率稍高，然后由调谐螺钉进行调整频率。软件仿真的中心频率比实际技术指标的中心稍高，实测结果与实际需要的技术指标相比，两者很吻合。

1 滤波器设计

图 1 所示梳状线通滤波器的谐振器由一端短路；一端通过集中电容 C_j^s 接地的一些平行耦合线所组成。图中 1 线到线 n 和与之相连的集总电容 C_j^s 构成谐振器，而线 0 和线 $n+1$ 不是谐振器，只是两端的阻抗变换段的一部分。

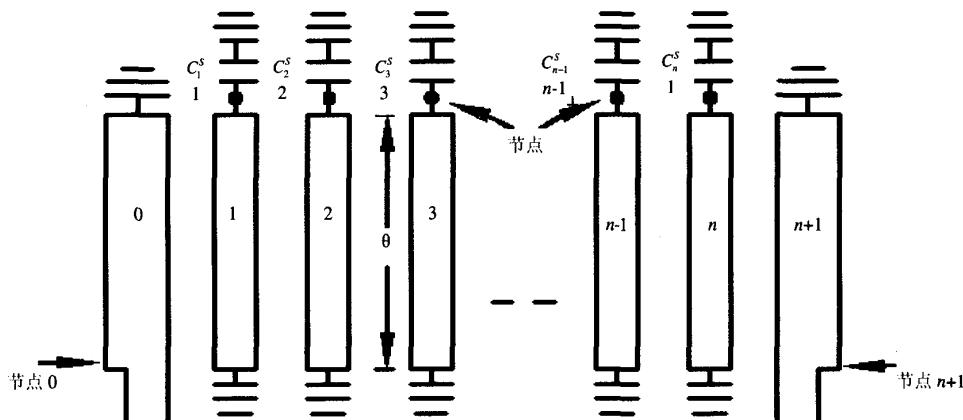


图 1 梳状线带通滤波器的示意图

收稿日期：2004-09-10

滤波器的技术指标为：

中心频率为 $f_0 = 1.675\text{GHz}$ ；

带宽为 $\Delta f = 30\text{MHz}$ ；

带内插损为 $L_{Ar} < 1.5\text{dB}$ ；

驻波系数为 $\rho < 1.2$ ；

带外衰减为在 $f_0 \pm 45\text{MHz}$ 处，大于 45dB 。

根据技术指标由参考文献[2]采用切比雪夫型，依据参考文献[1]计算得到该滤波器的阶数 $n = 6$ ，其低通原型数值， $g_0 = 1$ ， $g_1 = 1.1681$ ， $g_2 = 1.4039$ ， $g_3 = 2.0562$ ， $g_4 = 1.517$ ， $g_5 = 1.9029$ ， $g_6 = 0.8616$ ， $g_7 = 1.3554$ 。采用设计园杆梳状线带通滤波器的计算公式^[3]，可得归一电容和自电容如表 1 所示。

表 1 六谐振器梳状滤波器的各参数表

j	$\frac{J_{j,j+1}}{Y_A}$	$\frac{C_{j,j+1}}{\epsilon}$	j	$\frac{C_j}{\epsilon}$
0 和 7		2.0533	0 和 7	5.4807
1 和 6	0.0678	0.5105	1 和 6	3.0813
2 和 5	0.0511	0.3487	2 和 5	4.1903
3 和 4	0.0491	0.3701	3 和 4	4.3306

表 1 的数据结合参考文献[3]里的公式和图表计算得出的数值即用等效电路原理计算的圆杆梳状线滤带通波器的尺寸见表 2；表 3 是经 HFSS 优化计算滤波器尺寸数值。

表 2 等效电路原理计算得出园杆梳状滤波器尺寸

	杆 0 和 7	杆 1 和 6	杆 2 和 5	杆 3 和 4
直径 (d)	6.32	5.94	6.10	6.10
杆长 (L)	21.4	22.4	21.4	21.4
杆间距 ($S_{i,j+1}$)	S_{01} 和 S_{67} 9.63	S_{12} 和 S_{56} 17.11	S_{23} 和 S_{45} 18.71	S_{34} 18.92

表 3 HFSS 优化计算的园杆线梳状滤波器尺寸

	杆 0 和 7	杆 1 和 6	杆 2 和 5	杆 3 和 4
直径 (d)	6.32	5.94	6.10	6.10
杆长 (L)	21.16	22.22	21.23	21.23
杆间距 ($S_{i,j+1}$)	S_{01} 和 S_{67} 9.71	S_{12} 和 S_{56} 17.11	S_{23} 和 S_{45} 18.71	S_{34} 18.92

设计的滤波器的外形尺寸长 129.7mm；宽 23.2mm；高 11.5mm。

图 2 和图 3 分别是表二和表三的数据 HFSS 仿真的滤波器的频率响应特性曲线。

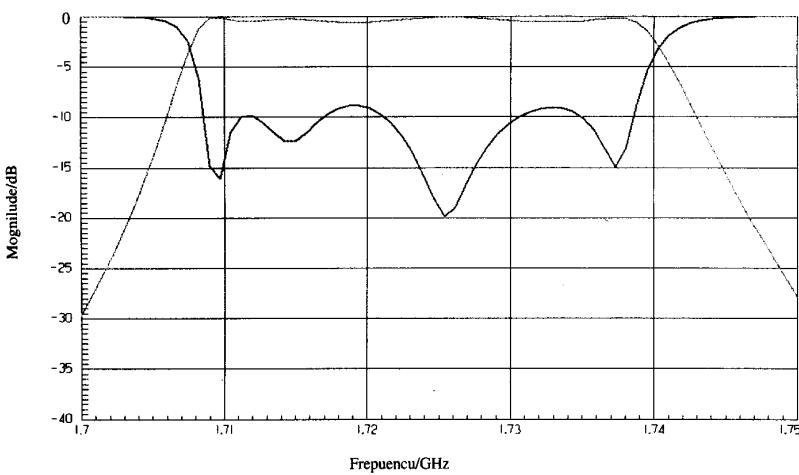


图 2 表二中的数据 HFSS 仿真的滤波器的频曲线响

从表 2 和表 3 的数据可以看出等效电路原理计算的滤波器的尺寸和优化计算的尺寸有差别，同时比较图 2 图 3 的滤波器的频率响应 S_{11} 和 S_{21} 曲线可以看出由于等效电路原理只考虑相邻谐振杆的影响，计算结果准确度低，有 HFSS 优化计算时考虑了所有谐振杆的相互影响，计算结果

准确。按照 HFSS 优化尺寸加工的实物照片见图 4，六园杆谐振器梳状线滤波器的频率响应测试曲线见图 5。

图 5 的滤波器的频响测试曲线比图 3 的滤波器的频响仿真曲线的频率低，但和实际需要的技术指标很吻合。

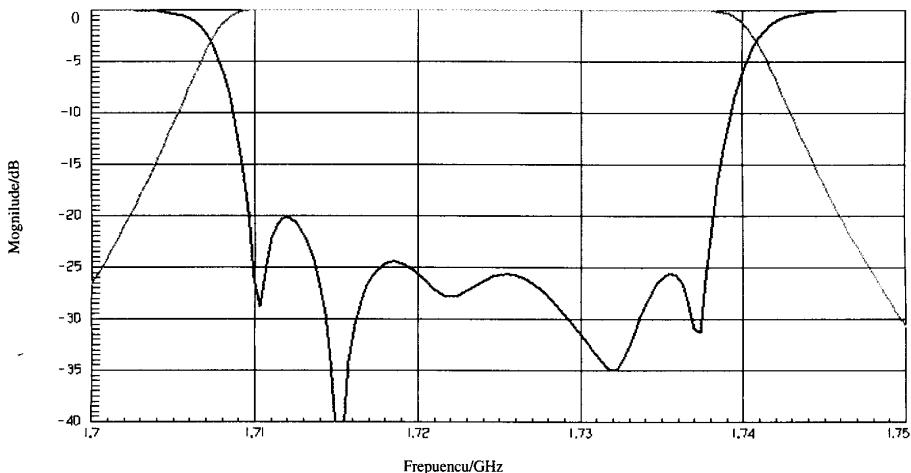


图3 表三中的数据 HFSS 仿真的滤波器的频曲线响

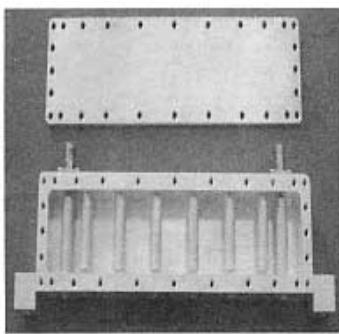


图4 6圆杆谐振器的梳状滤波器实物照片

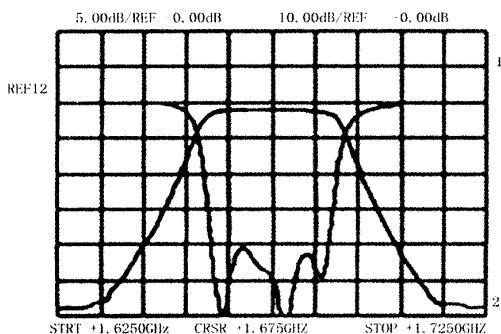


图5 6圆杆谐振器的梳状滤波器频响测试曲线

2 结 论

本文用等效电路原理计算滤波器的尺寸初值，用 HFSS 优化设计了六圆杆谐振器梳状线带通滤波器，使得所设计的滤波器具有良好的带外抑制和低的带内插损。做到了一次性加工成功，缩短了生产周期。并进行加工测试，测试的滤波器的频率响应曲线与技术指标十分吻合。

参考文献

- 1 黄席椿. 波滤波器综合法设计原理. 北京: 人民邮电出版社, 1978.
- 2 加博,C. 特默斯. 现代滤波器的理论与设计. 北京: 人民出版社, 1984.
- 3 甘本拔,吴万春.现代微波滤波器的结构与设计(上册). 科学出版社, 1973.

作者简介

郑光明 (1973—), 男, 电子科技大学电子工程学院硕士研究生。研究方向: 微波无源器件研究。

A Design of Cylinder Combline Bandpass Filters

Zheng Guangming, Wang Xiliang

(Microwave Center, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China)

Abstract A computer-aided design of cylinder combline bandpass filters, which has a good out of band performance, is described based on the equivalent-circuit-method and HFSS-software. A design example of a 1.675GHz narrow band filter is given. The calculated results are found to be in very good agreement with the experimental data, thus proving the accuracy and efficiency of the method.

Keywords Combline; bandpass filter; equivalent-circuit-theory; HFSS-software

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，致力于专注于微波、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/>