

陶瓷薄膜带通滤波器的设计与制作

顾小军

南京恒电电子有限公司

DOI: 10.12238/ems.v6i3.7075

[摘要] 在现代通信技术中, 滤波器是一种常见且实用的射频器件。在滤波器的设计中, 我们通常要综合考虑驻波比、损耗、带外抑制度、尺寸等关键指标, 使滤波器的性能达到最优。本文通过对一款基于陶瓷薄膜工艺带通滤波器的设计、仿真、制版、测试整个过程的实践, 阐述了滤波器的设计与制作方法, 实现了一款通带频率为 12-18GHz 的交指带通滤波器。

[关键词] 交指; 氧化铝陶瓷; 带通滤波器; 谐振器

Design and fabrication of ceramic thin film bandpass filters

Gu Xiaojun

Nanjing Hengdian Electronics Co., Ltd

[Abstract] In modern communication technology, filters are a common and practical RF device. In the design of filters, we usually need to comprehensively consider key indicators such as standing wave ratio, loss, out of band suppression system, size, etc. to achieve optimal performance of the filter. This article elaborates on the design, simulation, plate making, and testing process of a bandpass filter based on ceramic thin film technology. The design and manufacturing methods of the filter are explained, and an interdigital bandpass filter with a passband frequency of 12-18GHz is achieved.

[Key words] cross finger; Aluminum oxide ceramics; Band pass filter; Resonator

引言

随着无线通信技术的快速发展, 射频系统在各种领域中的应用越来越广泛。然而, 信号通过射频系统传输时, 也会伴随各种干扰信号, 这些干扰信号会影响传输信号的质量和功率。为了解决这一问题, 滤波器被广泛应用于各类射频系统中, 用来滤除不必要的干扰信号。

滤波器的种类繁多, 作用各异, 可以按照不同方式划分。滤波器按照作用划分可以分为: 低通滤波器、高通滤波器、带通滤波器、带阻滤波器; 按照频带宽窄可以分为: 宽带滤波器、窄带滤波器; 按照实现方式可以分为: 梳状滤波器、交指滤波器、平行耦合线滤波器、高低阻抗滤波器等。

1 研究背景

陶瓷薄膜滤波器是一种基于电膜技术的滤波器, 通过陶瓷基片表面沉积薄膜形成的谐振器实现信号的滤波, 具有集

成度高、体积小、重量轻、可靠性高、加工精度高、一致性好等优点, 采用氧化铝陶瓷基板设计的薄膜滤波器频率可以高达 40GHz, 常应用于各类射频系统中。随着滤波器向高集成、小型化的方向发展, 基于氧化铝陶瓷薄膜工艺的滤波器得到了广泛的应用。

本文陶瓷薄膜带通滤波器采用交指滤波器形式, 交指滤波器是由平行耦合线谐振器交叉组成的结构, 其结构采用终端短路、抽头馈电方式, 具有性能好、结构紧凑、易加工、成本低、可靠性高等优点。

2 滤波器设计

本文设计的陶瓷薄膜滤波器技术指标为: 通带频率 12-18GHz, 带内波动小于 1dB, 带内驻波比小于 1.6, 带外抑制大于 40dBc@8.8GHz&20.5GHz。根据滤波器指标要求, 我们选用切比雪夫型终端短路式交指滤波器, 其滤波器阶数根据估算采用 9 阶, 其结构如图 1 所示。

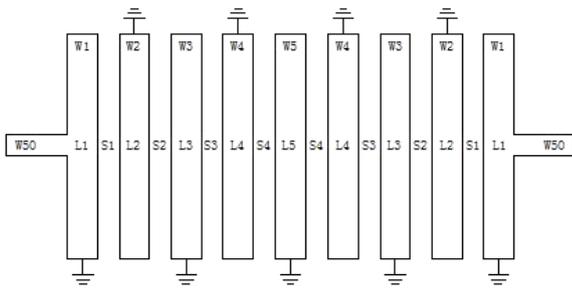


图1 滤波器的结构形式

滤波器单个谐振单元的长度 L 可以通过滤波器通带中心频率的 $1/4$ 波长计算得出, 计算为式 (1)。其中, f 表示滤波器的中心频率, ϵ_r 表示氧化铝陶瓷的介电常数, C 表示光在真空中的传播速度。

$$L = \frac{\lambda}{4} = \frac{C}{4 \times f \times \sqrt{\epsilon_r}} \quad (1)$$

相邻谐振单元之间的间距可由切比雪夫低通滤波器原型参数 g 得出对应的耦合系数 K , 计算为式 (2)。其中, $i=1 \sim (N-1)$, N 为最终选取的滤波器谐振单元阶数。

$$K_{i,i+1} = BW / (g_i \times g_{i+1})^{1/2} \quad (2)$$

得出耦合系数 K 后, 可通过仿真软件得出相邻谐振单元由耦合间距产生的谐振频点, 通过式 (3) 可确定每一级谐振单元之间的耦合间距。

$$K = (f_{high} - f_{low}) / f_0 \quad (3)$$

3 滤波器仿真

交指滤波器选用 0.254mm 厚度的 99.6%氧化铝陶瓷作为基材, 50 欧姆阻抗线 $W50=0.25mm$ 。交指滤波器采用终端短路结构, 需要过地孔, 它的直径要求: $D=t \times 0.8=0.254 \times 0.8=0.2mm$, 线宽要求比孔径半径至少大 0.05mm, 因此采用线宽 $W1=W2=W3=W4=0.36mm$ 。按照上面的设计流程, 对交指滤波器的初始尺寸进行计算, 从而得到交指滤波器的初始值: $L1=L2=L3=L4=L5=1.667mm$, $S_1=0.055mm$, $S_2=0.095mm$, $S_3=0.115mm$, $S_4=0.125mm$; 在仿真软件中对上述参数进行建模, 得到的滤波器版图如图 2 所示, 其初始仿真结果如图 3 所示:

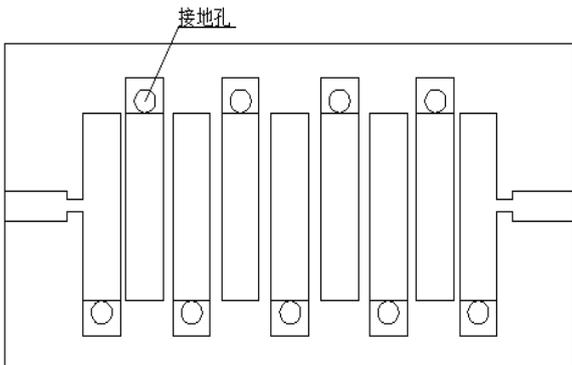


图2 滤波器的初始版图

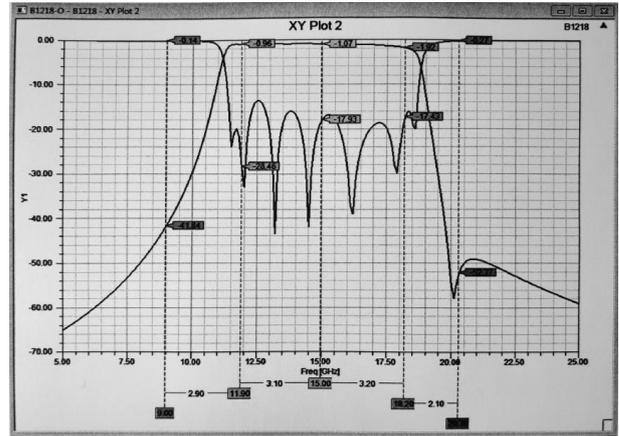


图3 滤波器的初始仿真结果

为了进一步对滤波器的性能进行优化, 我们从谐振单元长度、谐振单元线宽、抽头线位置、谐振器的耦合间距这几个方面分别进行仿真, 观察各个参数对滤波器性能的影响。

谐振单元长度 L 对滤波器性能的影响。减小和增大 L 尺寸后依次对电路进行仿真, 我们发现随着谐振单元长度 L 的增加, 滤波器通带带宽基本无变化, 滤波器通带中心频率随着 L 的增大减小。因此, 我们可以通过调节谐振单元长度 L , 使滤波器的中心频率满足设计要求。

谐振单元线宽对滤波器性能的影响。改变滤波器的线宽并依次进行仿真, 我们发现随着线宽的增加, 滤波器带宽影响不大, 中心频率及通带往低频方向偏移, 且滤波器左边带的抑制明显增大, 滤波器驻波比由一定的影响。因此, 我们可以通过调节谐振单元的线宽来改变滤波器中心频率, 以及改善滤波器左边带抑制度。

抽头线位置对滤波器性能的影响。改变谐振器抽头线位置并依次进行仿真, 我们发现抽头线位置对滤波器输入、输出驻波比影响较大, 对滤波器的中心频率和带宽基本无影响。因此, 我们可以通过调节抽头线位置, 使滤波器的输入、输出驻波比满足设计要求。

耦合间距对滤波器性能的影响。等比例改变所有谐振器的间距并依次进行仿真, 随着间距的增大, 滤波器中心频率没有发生变化, 但滤波器通带的带宽明显减小, 通带内损耗有一些增加。因此, 我们可以通过改变间距来调整滤波器的带宽, 改善滤波器通带内损耗, 使滤波器满足设计要求。

通过对以上几个参数的调整, 最终仿真结果如图 4, 最终版图如图 5, 滤波器的尺寸为 $5.5mm \times 2.8mm \times 0.254mm$ 。由图 4 可知, 滤波器通带频率为 12-18GHz, 带内插入损耗小于 2dB, 带内的回波损耗绝对值大于 20dB, 带外 8.8GHz 处和 20.5GHz 处的抑制也满足 40dBc, 完全达到了设计指标要求。

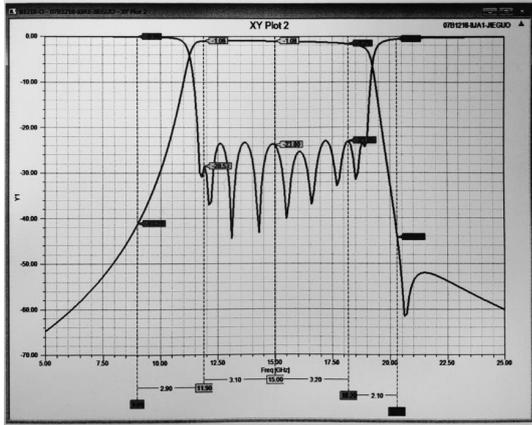


图 4 滤波器的最终仿真结果

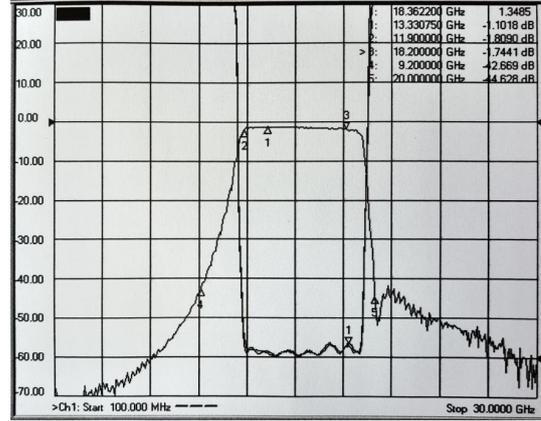


图 7 滤波器测试曲线

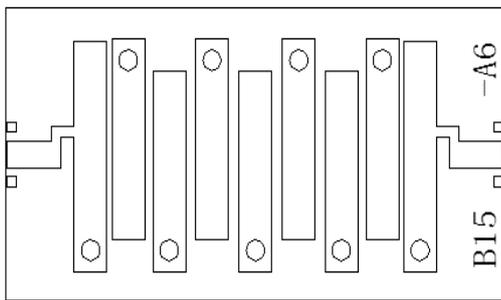


图 5 滤波器的最终版图

4 滤波器测试

我们将仿真软件中的滤波器结构导入到 CAD 中, 转化为可加工的设计图纸, 标注对应尺寸, 明确具体加工要求: 陶瓷基板为 99.6%氧化铝, 厚度为 $0.254\text{mm} \pm 0.015\text{mm}$, 薄膜厚度为 $5\ \mu\text{m} \pm 2\ \mu\text{m}$, 图形加工精度小于 $\pm 5\ \mu\text{m}$ 。

我们选择合适的陶瓷薄膜电路加工厂家进行滤波器的加工制作。加工厂家经过真空蒸发、溅射、化学气相沉积、电镀、旋涂、阳极氧化等成膜工艺, 对滤波器进行加工制作, 滤波器实物照片如图 6 所示。

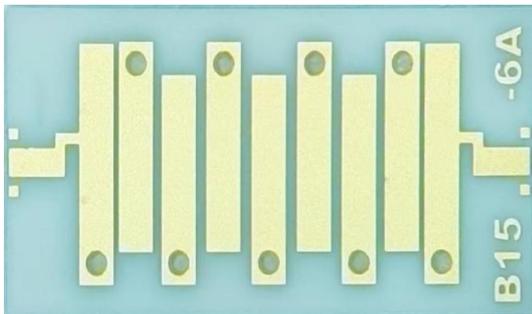


图 6 滤波器的实物照片

我们通过矢量网络分析仪对滤波器的性能进行测试, 具体测试曲线如图 7 所示。通过测试曲线可知, 滤波器的通带频率为 12-18GHz, 通带损耗小于 2dB, 带内波动小于 0.7dB, 带内驻波比小于 1.4, 带外抑制大于 $40\text{dBc}@9.2\text{GHz}\&20\text{GHz}$, 测试结果满足设计指标要求。

将测试曲线与仿真曲线进行比对发现, 滤波器的实测带宽比仿真带宽偏窄约 200MHz, 滤波器的实测中心频率与仿真比较一致, 滤波器的带内驻波比比仿真曲线略差。我们对滤波器图形的各个尺寸进行测量, 发现谐振单元的尺寸偏负正公差, 谐振单元的耦合间距偏正公差, 根据上述耦合间距对滤波器性能的影响的研究可知, 耦合间距变大, 滤波器通带带宽会变窄。我们将公差带入软件进行仿真, 其变化趋势与滤波器测试结果比较一致, 说明本次滤波器的带宽偏差与滤波器的加工精度有关。

5 结束语

本文通过对滤波器的设计、仿真, 并制作了一款基于氧化铝陶瓷薄膜工艺的 12-18GHz 的交指带通滤波器。在设计过程中, 我们利用基础理论指导, 得到滤波器的初始尺寸, 将所得初始尺寸代入软件中进行建模、仿真、优化, 得到滤波器的仿真结果; 然后, 我们通过研究各个参数对滤波器的性能影响, 加深了对交指带通滤波器的认识; 最后, 我们通过测试, 发现测试数据与仿真得到的数据比较吻合。由此可见, 滤波器的仿真精度和基于氧化铝陶瓷薄膜工艺的加工精度可以满足工程实践要求, 并且我们通过软件仿真可以有效地提高基于氧化铝陶瓷薄膜工艺的各类滤波器的设计和制作能力。

随着我们在陶瓷薄膜滤波器的设计、仿真、制作方面不断积累经验, 我们对滤波器的设计原理有了更深刻的理解。同时, 无线通信技术的不断发展, 滤波器的应用也得到广泛应用, 我们相信陶瓷薄膜滤波器在未来有更好的发展前景。

[参考文献]

- [1] 甘本祯, 吴万春. 现代滤波器的结构与原理. 科学出版社 1973.
- [2] 清华大学《微带电路》编写组. 微带电路 [M]. 北京: 人民邮电出版社©1976.
- [3] 顾其铮, 项家祯等. 微波集成电路设计. 北京: 人民邮电出版社 1978.
- [4] 陈松, 钟朝位, 刘稷, 等. 陶瓷基交指微带带通滤波器的设计[J]. 电子元件与材料, 2017, (01): 48-50+67
- [5] 徐佳. 交指型微带带通滤波器小型化研究[D]. 天津: 河北工业大学, 2010, 20-23