

悬置线交指型带通滤波器设计

黄 慰¹, 冯全源²

(1. 中国西南电子技术研究所 成都 610036; 2. 西南交通大学计算机与通信工程学院 成都 610031)

【摘要】介绍了悬置线交指型带通滤波器的设计原理和方法,利用计算机辅助设计工具进行数值计算,给出了悬置线的电路板尺寸参数,并应用仿真软件对该悬置线交指型带通滤波器进行仿真和优化设计,通过仿真得到了该滤波器的响应曲线,与实验结果吻合的较好。

关键词 微波滤波器; 悬置线; 交指型; 带通

中图分类号 TN61 文献标识码 A

Design of Suspended Interdigital Bandpass Filter

HUANG Wei¹, FENG Quan-yuan²

(1. Southwest China Institute of Electronic Technology Chengdu 610036;

2. School of Computer and communication Engineering, Southwest Jiaotong University Chengdu 610031)

Abstract This paper gives the particular description of a theoretical analysis and practical design for suspended interdigital bandpass filter. Based on computer aided design, the parameters of filter are given and simulated. A filter with passband centered at 3GHz has been designed, built, and tested. The measured performance shows good agreement with theoretically predicted performance. The experimental results agree well with the simulated results.

Key words microwave filter; suspended substrate stripline; interdigital line; bandpass

微波带通滤波器是重要的微波元器件之一。尤其是在接收机前端,带通滤波器性能的优劣直接影响到接收机整体性能的好坏。交指型带通滤波器的适用范围非常广泛,相对带宽从窄带的1%变到宽带的70%以上甚至更宽,其频带的变化范围可以从UHF到C波段^[1]。悬置线交指型带通滤波器由于具有高品质因素值(Q),结构紧凑,可以做成印刷电路形式,易于调试等优点,在微波系统中应用十分广泛。

本文给出了悬置线交指型带通滤波器的具体设计方法,通过Matlab数学工具编程计算出印刷电路板的尺寸,并利用HP-ADS (Advanced Design System)仿真软件对所得到的结果进行了计算机仿真和优化设计,最后通过与实际的试验结果相比较,可以看出其设计的准确性。

1 滤波器设计原理

根据滤波器的设计理论,所有类型的滤波器均可映射成归一化的低通滤波器,因此带通滤波器的设计可以先从设计归一化低通滤波器原型开始,然后再映射成带通滤波器。低通到带通的频率变换为:

$$\frac{\omega'}{\omega'_1} = \frac{2}{W} \left(\frac{\omega - \omega_0}{\omega_0} \right) \quad (1)$$

收稿日期: 2003-05-14

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60371017)

作者简介: 黄 慰(1978-),男,硕士,主要从事微波器件、微波电路方面的研究。

式中 $W = (\omega_2 - \omega_1)/\omega_0$, $\omega_0 = (\omega_1 + \omega_2)/2$, 为了设计上述的交指型滤波器结构, 先通过给定的参数计算出所选定类型的滤波器级数 n 和 g_i ($i=0\sim n+1$) (这里所选用的滤波器为Chebyshev滤波器), 再通过 n 和 g_i 计算出交指型带通滤波器中每个谐振器的自电容 C_k/ε , 和相邻两谐振器间的互电容 $C_{k,k+1}/\varepsilon$ (ε 为传播介质中的介电常数)。有了归一化电容值, 就可以利用这些数据计算出各杆的几何尺寸。对于窄带和中等带宽的模型, 可以通过参考文献[3]上的近似计算公式, 也可以通过其上的准确计算公式算出各导体杆每单位长归一化自电容值 C_k/ε 和相邻杆间每单位长归一化互电容值 $C_{k,k+1}/\varepsilon$ 。

对于悬置线来说, 在计算自电容 C_k/ε 时, 其介电常数 ε_{re1} 与带状线介电常数 ε_r 的转换公式为:

$$\varepsilon_{re1} = \frac{b\varepsilon_r}{2b\varepsilon_r - 4(\varepsilon_r - 1)} + 0.5 \quad (2)$$

在计算互电容 $C_{k,k+1}/\varepsilon$ 时, 其介电常数 ε_{re2} 与带状线介电常数 ε_r 的转换公式为:

$$\varepsilon_{re2} = (\varepsilon_{r1} + \varepsilon_{r2})/2 \quad (3)$$

对于带状线, 式(2)、(3)中 $\varepsilon_{r1} = 1$, $\varepsilon_{r2} = \varepsilon_r$ 。

当按照参考文献[3]上介绍的方法, 并利用上述将带状线转变成悬置线的方法, 计算出了基于悬置线物理结构的滤波器中各导体杆单位长归一化自电容 C_k/ε 和相邻杆间每单位长归一化互电容 $C_{k,k+1}/\varepsilon$ 后, 可按下述的方法进一步用计算机编程计算滤波器每一个导体杆的具体几何尺寸。

当两接地板间距 B 与中心导带的厚度 t 满足 $t/B \leq 0.1$ 时, 可运用带状线的奇偶模特性阻抗 Z_{oo} 、 Z_{oe} 和奇偶模电容 C_{oo} 、 C_{oe} 来计算。对于印刷的带状线电路来说, 上述条件基本上都能够满足。设计计算时, 都要预先选定采用哪种类型的基片, 因此参数 ε_r 、 B 和 t 是已知的量。可以通过预先求得的单位长度归一化自电容 C_k/ε 和互电容 $C_{k,k+1}/\varepsilon$, 来计算滤波器每一级的几何尺寸 W 和 S 的值。 S/B 的表达式为:

$$S/B = (1/\pi) \ln(K_2 + 1/K_2 - 1) \quad (4)$$

式中

$$K_1 = C_f / [\pi(1-t/B) \ln 2] \quad (5)$$

$$K_2 = \exp[(\Delta C/\varepsilon)/K_1] \quad (6)$$

$$C_f = 2 \ln(2B-t/B-t) - (t/B) \ln[t(2B-t)/2(B-t)] \quad (7)$$

多级的平行耦合交指型滤波器中间的各导体杆宽度满足:

$$\frac{W_k}{B} = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{t}{B} \right) \times \left(\frac{C_k}{2\varepsilon} - \frac{C'_{fe_{k-1,k}}}{\varepsilon} - \frac{C'_{fe_{k,k+1}}}{\varepsilon} \right) \quad (8)$$

式中

$$C'_{fe}/\varepsilon = [C_f \times \ln(1 + \tanh \theta)] / [\pi(1-t/B) \ln 2] \quad (9)$$

$$\theta = \pi S / 2B\pi \quad (10)$$

对于交指型滤波器的第一级和最后一级满足于下式:

$$\frac{W_0}{B} = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{t}{B} \right) \times \left(\frac{C_0}{2\varepsilon} - \frac{C'_{fe_{01}}}{\varepsilon} - \frac{C'_f}{\varepsilon} \right) \quad (11)$$

$$C'_f/\varepsilon = C_f / \pi(1-t/B) \quad (12)$$

谐振器的长度 L 为中心频率 f_0 的1/4波长。在计算时要考虑带状线的介电常数 ε_r , 对于悬置线应用等效代换公式, 将带状线的介电常数 ε_r 换成悬置线的介电常数 ε_{re1} , 其变换关系见式(2)。

$$L = (1/4) \times (c/f_0) \times (1/\sqrt{\varepsilon_{re1}}) \quad (13)$$

2 悬置线PBC尺寸设计结果

实验要求做一个2.0~4.0 GHz的带通悬置线滤波器, 在通带内衰减小于0.1 dB, 在通带外400 MHz的地方要求衰减大于30 dB, 端口特性阻抗为50 Ω 。根据上面阐述的带通滤波器设计的原理, 先计算归一化低通滤波器参数, 再映射到带通滤波器, 并将带状线的带通滤波器转变为悬置线滤波参数。数据计算可以用Matlab

通过编程, 完成悬置线PBC尺寸参数的计算。其滤波器的几何尺寸参数如表1所示。

谐 振 器 宽 度									谐 振 器 间 距			谐 振 器 长 度
W_0, W_8	W_1, W_7	W_2, W_6	W_4	W_3, W_5	S_{01}, S_{78}	S_{12}, S_{67}	S_{23}, S_{56}	S_{34}, S_{45}	L			
2.600	1.800	2.052	2.073	2.080	0.100	0.520	0.654	0.677	23.300			

3 仿真结果和试验结果

用HP-ADS仿真后发现滤波器响应不好, 驻波比较大, 调整第一节谐振器的宽度和间隙得到图1的仿真结果。从图中可以看出滤波器响应是比较好的, 由于加入了开路节仿真发现谐振器的长度比计算所得的长度缩短了1 mm左右。根据仿真得到的数据加工了滤波器, 实际滤波器响应曲线如图2所示。比较仿真和实际测试结果, 发现实际结果驻波比仿真结果大, 这主要是由于加工误差引起的。同时, 当初设计时为了简化, 在误差允许范围内, 只假设了相邻杆耦合时的互电容, 而忽略了其他未相邻的矩形杆之间的影响。又由于在滤波器的两端(即第一级和最后一级)与其相邻级的耦合最强, 间隙是最小的, 所以在这两节处, 这种近似的简化使得不相邻杆间对其影响最大, 最终导致如按设计出的参数做成的滤波器的驻波比较大, 但当略微缩小下 S_{01} 和 S_{78} 便可消除这种假设产生的误差, 得到比较理想的驻波。

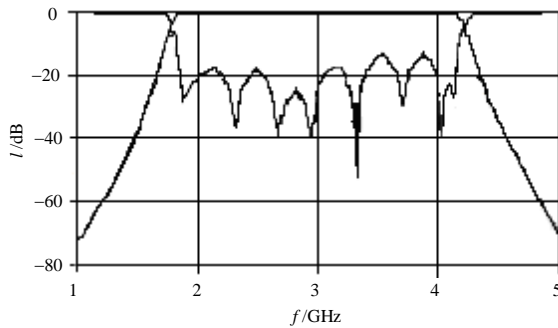


图1 理论仿真曲线

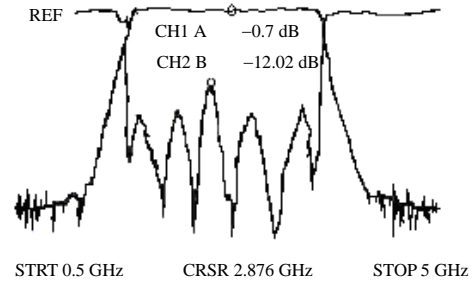


图2 实验测试曲线

4 结 束 语

通过实验得到的曲线, 发现实验曲线与仿真得到的曲线吻合的较好, 由此可看出前述的交指滤波器设计方法是可以满足滤波器的设计要求, 而且将带状线转变成悬制线的方法也是可行的。通过仿真和实验曲线结果比较, 发现HP-ADS的多层介质和多耦合线模型的精度是比较高的, 能解决实际工作中对交指型和梳状线滤波器仿真和优化的难题, 并且减小了调试工作量, 缩短了研制周期, 提高了科研效率。

参 考 文 献

- [1] Giovanni A, Guiseppe T. Interdigital design forms low-cost bandpass filters[J]. Microwave&RF, 1997, 48(9): 77-85
- [2] Prakash B. Computer-aided design models for broadside-coupled striplines and millimeter substrate microstrip lines[J]. IEEE MTT's, 1988, 36(11):730-736
- [3] 甘本祯, 吴万春. 现代微波滤波器的结构与[M]. 北京: 科学出版社, 1974