

文章编号: 1000-4653(2009)02-0008-03

终端短路式交指带通滤波器仿真设计

杜 勇^{1,2}, 郑佳春¹, 陈智勇¹

(1.集美大学 信息工程学院, 福建 厦门 361021; 2.厦门大学 电子工程系, 福建 厦门 361005)

摘 要: 基于悬置线交指滤波器通带内插入损耗比较小, 具有很高的选择性和很大的带外衰减, 常应用于无线电收、发接收机以及雷达通信系统中。将综合设计法和微波电路仿真软件 ADS(Advanced Design System)相结合, 设计悬置线终端短路式交指带通滤波器。根据交指滤波器的理论得到每个杆的归一化单位长自电容和两相邻杆的归一化单位长互电容, 得到滤波器的最初尺寸。并利用 ADS 软件建模、仿真、优化调整, 最后得到该滤波器的几何参数尺寸终值。该设计方法简单, 适合工程应用。

关键词: 船舶、舰船工程; 悬置线; 终端短路式; 交指带通滤波器; 高级微波电路设计软件
中图分类号: TN713 **文献标志码:** A

Simulation Design of a Terminal Short-Circuit Type Inter-Digital Band Pass Filter

DU Yong^{1,2}, ZHENG Jia-chun¹, CHEN Zhi-yong¹

(1. School of Information Engineer, Jimei University, Xiamen 361021, China;

2. Department of Electronic Engineer, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract Inter-digital band-pass filters based on overhanging lines are often used in wireless transceivers and radar communication systems due to their low pass-band inserting attenuation, precise selectivity and high outer-band attenuation. The combination of traditional calculation method and microwave ADS(Advanced Design System) software is used to design a filter of this type. The normalized self-capacitor, mutual capacitor of unit length and the initial value of the geometry parameters of the filter are obtained in accordance with the theory of inter-digital band-pass filter. ADS software is utilized to build model, make simulation and optimizing adjustments. This method is simple and suitable for designing filter in practice.

Key words: ship, naval engineering; overhanging line; terminal short-circuit type; inter-digital filter; ADS software

基于悬置微带线的交指滤波器设计多采用近似方法^[1-2], 通过近似公式计算每个杆的自电容以及相邻杆间的互电容, 利用图表得到滤波器尺寸, 然后加工调试, 计算精度不高, 且调试困难^[3-7]。利用微波电路仿真软件(Advanced Design System ADS)设计微波滤波器可缩短研制周期, 提高设计的效率和精度。用交指滤波器的准确理论设计频率为 1.425 ~ 1.575 GHz 的终端短路式交指型带通滤波器, 依据 Matlab 编程计算出每级导体杆的长度 $L[i]$ 、宽度 $W[i]$, 以及每两个导体杆之间的间距 $S[i, i+1]$, 利用 ADS 软件对设计初值进行仿真和优化。

1 终端短路式交指带通滤波器的设计原理

对于终端短路式滤波器, 由文献^[8-10]可得式(1)、式(2)和式(3)

$$N_{\text{短路}} \geq 1 + \frac{\ln\left(\frac{2a}{\epsilon}\right) - \operatorname{arcosh}\left(\frac{\Omega_L}{\Omega_V}\right)}{\operatorname{arcosh}\left(\frac{\sqrt{1+\Omega_L^2}}{\sqrt{1+\Omega_V^2}}\right)} \quad (1)$$

式(1)中, $N_{\text{短路}}$ 为终端短路式滤波器节数, $\epsilon = \left(10^{\frac{L_A}{10}} - 1\right)^{\frac{1}{2}}$, L_A 为带内分贝波纹, $\Omega_L = \tan \frac{\pi \omega_l}{2\omega_0}$

收稿日期: 2009-01-15

基金项目: 福建省自然科学基金资助项目(2006J0410); 福建省科技计划项目(2008H0032)

作者简介: 杜 勇(1971-), 男, 甘肃天水人, 讲师, 博士生, 从事射频电路设计。E-mail: duyong2001@jmu.edu.cn.

$\tan \frac{\pi f_1}{2f_0}$, $\Omega_N = \tan \frac{\pi f_N}{2f_0}$, f_1 为通带截止频率, f_N 为所需阻带的衰减频率, $a = 10^{L_{AS}/20}$, L_{AS} 为阻带衰减。

由式(2)和式(3)可以计算滤波器 S 、 W 、 L 的值。

$$\begin{cases} \frac{S}{B} = \frac{1}{\pi} \ln \left(\frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} \right) \\ \frac{W_k}{B} = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{t}{B} \right) \times \left(\frac{C_0}{2\epsilon} - \frac{C'_{f_{k-1,k}}}{\epsilon} - \frac{C'_{f_{k,k+1}}}{\epsilon} \right) \\ L = \frac{1}{4} \times \frac{c}{f_0} \times \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r}} \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} \frac{C_p}{\epsilon} = \frac{2W}{B(1-t/B)} \\ \frac{C'_{fe}}{\epsilon} = \frac{C_f \times \ln(1 + \tanh \theta)}{\pi(1-t/B) \ln 2} \\ \frac{C'_f}{\epsilon} = \frac{C_f}{\pi(1-t/B)} \end{cases} \quad (3)$$

式(2)和式(3)中的有关变量如图 1 所示: 图 1 为滤波器设计采用的平行耦合矩形杆等效电路。其中 C'_{f0} 为奇模边缘电容, C'_{fe} 为偶模边缘电容, C_p 为平板电容, C'_f 为边缘电容, B 为两边两个接地板的距离, ϵ 是介电常数, ϵ_r 是相对介电常数, t 为中心导带的厚度, W 为中心导带的宽度, S 为两个导带(谐振器)的间距。 c 为光速, f_0 为通带的中心频率, $\theta = \pi S/2B$, $K = \exp\left[\frac{\Delta C/\epsilon}{K_1}\right]$, $K_1 = \frac{C_f}{\pi(1-t/B) \ln 2}$,

$$\frac{\Delta C}{\epsilon} = \frac{C'_{f0}}{\epsilon} - \frac{C'_{fe}}{\epsilon}.$$

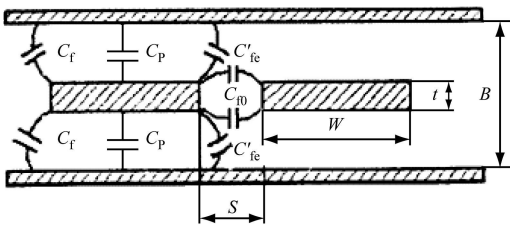


图 1 平行耦合矩形杆的各边缘电容和平板电容

Fig. 1 Brim and panel capacitance in the parallel coupling rectangle pole

2 设计实例及仿真

滤波器设计指标: 中心频率 $f_0 = 1.5 \text{ GHz}$; 通带宽度: 相对带宽 $\Delta = \frac{f_2 - f_1}{f_0} = 10\%$, ($f_2 - f_1 = 0.15 \text{ GHz}$); 通带衰减: 等于或小于 0.1 dB ; 阻带衰减: 在 1.4 GHz 频率上至少有 30 dB 的衰减; 端接条件: 两端均为 50Ω 的微带线。

2.1 滤波器级数的选择和归一化低通原型元件值的确定

由式(1)可得 $N_{\text{短路}} = 6$ 。但考虑到该滤波器设计是窄带滤波器设计, 因此还必须在两边各加一边杆, 起阻抗变换器作用, 最终取 $N = 8$ 。所以选切比雪夫滤波器 8 级结构, 其归一化低通原型滤波器元件值为: $g_1 = 1.000 0$, $g_2 = 1.168 1$, $g_3 = 1.403 9$, $g_4 = 2.056 2$, $g_5 = 1.517 0$, $g_6 = 1.902 9$, $g_7 = 0.861 8$, $g_8 = 1.355 4$ 。

2.2 滤波器几何尺寸的计算

图 2 为选用的悬置线结构: B 是腔体的内部高度, t 是微带线的介质基片厚度, h_1 是介质基片距腔体上表面的距离, h_2 是介质基片距腔体下表面的距离。

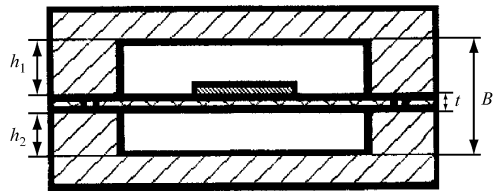


图 2 悬置线内部尺寸

Fig. 2 Inner dimension of overhanging line

计算导体杆的归一化单位长自电容和归一单位长互电容时, 悬置线和带状线的转换公式要进行变换。对自电容 C_k/ϵ , 悬置线 ϵ_{re1} 与带状线 ϵ_r 的转换公式^[9]为

$$\epsilon_{re1} = \frac{B\epsilon_r}{2B\epsilon_r - 4(\epsilon_r - 1)} + 0.5 \quad (4)$$

对互电容 $C_{k,k-1}/\epsilon$, 悬置线 ϵ_{re2} 与带状线 ϵ_r 的转换公式:

$$\epsilon_{re2} = (1 + \epsilon_r)/2 \quad (5)$$

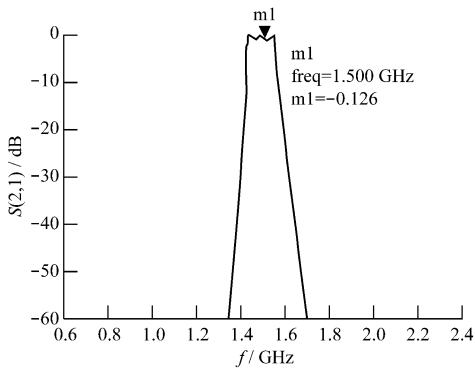
选用的基片材料为聚四氟乙烯, 介电常数 $\epsilon_r = 2.6$, 厚度 $t = 1.6 \text{ mm}$, 腔高 $B = 15.8 \text{ mm}$ 。由式(2)和式(3), 结合公式(4)、式(5)和介质基片的常数 B , t 可得到交指型滤波器中每一级导体杆具体的物理几何尺寸参数:

$$W[i], L[i] \quad (i=1 \sim 8); S[i, i+1] \quad (i=1 \sim 7).$$

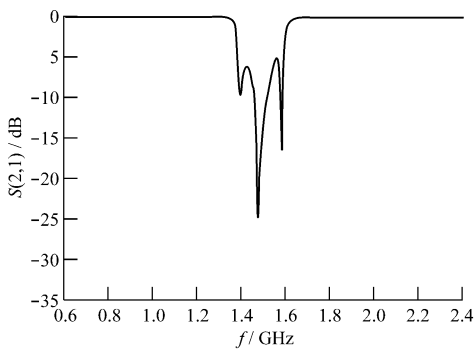
2.3 仿真优化

利用 ADS 提供的多层介质和多耦合线模型结合 TUNE 仿真器进行仿真优化, 结果如图 3 所示, 同时可以得出该悬置线交指型滤波器仿真和优化后各个几何尺寸参数的值如表 2 所示。由图 3(a)可知 m_1 为通带的低频点, 频率为 1.500 GHz , 衰减为 -0.126 dB ; 在 1.4 GHz 频率上衰减大于 20 dB , 表明悬置线交指型滤波器的中心频率, 通带带宽, 阻带衰减都达到了设计要求。由图 3(b)可以看出: 在通

带 1.425 ~ 1.575 GHz 内, $S(1, 1)$ 的值基本上都是小于 -5 dB 的, 故该滤波器的驻波比满足设计要求。



(a) ADS 仿真的频带响应



(b) ADS 仿真反射系数响应

图 3 悬置线交指滤波器的最终仿真结果

Fig. 3 Final result of the overhanging line interdigital filter

表 2 交指型滤波器导体杆几何尺寸参数的值

Tab. 2 Value of conductor geometry parameter in interdigital filter

导体杆 i	导体杆宽度 $W[i] / \text{mm}$	导体杆间距 $S[i, i+1] / \text{mm}$	导体杆长度 $L[i] / \text{mm}$
1	10.001 3	3.826 7	49.156 7
2	3.648 5	10.382 5	49.156 7
3	4.469 2	12.864 3	49.156 7
4	4.398 7	13.001 4	49.156 7
5	4.398 7	12.864 3	49.156 7
6	4.469 2	10.382 5	49.156 7
7	3.648 5	3.826 7	49.156 7
8	10.001 3	0	49.156 7

3 结 语

利用 ADS 软件对带宽为 1.425 ~ 1.575 GHz 的悬置线终端短路式交指型带通滤波器建模, 并对其几何尺寸参数的初值进行了仿真、优化, 得到该滤波器几何尺寸参数的终值。从仿真设计中可知 ADS 所提供的多层介质和多耦合线模型的精度是比较高的, 能够解决交指型滤波器的仿真和优化的难题, 提高了效率。

参 考 文 献

- [1] 苏建欢. 用 ADS 仿真设计制作一种高性能的微带滤波器[J]. 河池学院学报, 2004, 24(4): 57-60.
SU Jian-huan. The Manufacture of a High-powered Microstrip Lowpass with the ADS[J]. Journal of Hechi Normal College, 2004, 24(4): 57-60.
- [2] John Smith. The Even and Odd Mode Capacitance Parameters for Coupled Lines in Suspended Substrate[J]. IEEE MTT, 1971, 19(5): 424-431.
- [3] 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.
- [4] 赫崇骏, 韩永宁, 袁乃昌, 等. 微波电路[M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 1999.
- [5] 雷振亚. 射频/微波电路导论[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2005.
- [6] Giovanni Alessio, Giuseppe Troise. Interdigital Design Forms Low-Cost Bandpass Filters(D)[J]. Microwave & RF, 1997, 48(9): 77-85.
- [7] Giovanni Alessio, Giuseppe Troise. Interdigital Design Forms Low-Cost Bandpass Filters(ID)[J]. Microwave & RF, 1997, 48(10): 79-83.
- [8] 夏运强, 王玲. 交指带通滤波器的精确设计[J]. 电子科技, 2004(5): 23-26.
XIA Yun-qiang, WANG Ling. A Precise Design of Interdigital Filters[J]. Electronic Science and Technology, 2004, (5): 23-26.
- [9] 甘本拔, 吴万春. 现代微波滤波器的结构与设计(上册)[M]. 北京: 科学出版社, 1972.
- [10] 黄慰, 冯全源. 悬置线交指型带通滤波器设计[J]. 电子科技大学学报(自然科学版), 2005, 34(1): 33-35.
HUANG Wei, FENG Quan-yuan. Design of Suspend Interdigital Bandpass Filter[J]. Journal of University of Electronic Science and Technology of China (Natural Science), 2005, 34(1): 33-35.

中国航海

中国科学引文数据库来源期刊

中国科技论文统计与分析来源期刊

欢迎投稿 欢迎订阅