

基于遗传算法的无源滤波器设计

林宝勤, 卢万铮, 胡绘斌, 杨 峰

(空军工程大学 电讯工程学院, 陕西 西安 710077)

摘要:利用遗传算法对集总元件的无源滤波器进行优化设计,对经典滤波器理论所不能解决的问题作出了一些尝试,计算结果表明遗传算法在无源滤波器的设计中具有较大的灵活性,并能一定程度上改善经典滤波器理论所不能解决的问题。

关键词:遗传算法;无源滤波器;优化

中图分类号:TN 713.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2002)03-0070-04

无源集总滤波器由于具有灵敏度低,稳定性强以及功率容量大等特点,在现代通信中得到广泛应用。而且无源集总滤波器的设计,是一切现代滤波器(如机械谐振器,微波谐振器,有源滤波器等)设计的基础,近五十年来,以经典滤波器设计理论(即插入衰减理论)为基础得出了一些较为令人满意的诸如巴特沃思滤波器、切比雪夫滤波器、椭圆滤波器以及贝塞尔滤波器等低通原形滤波器,以这些低通原形滤波器为基础,经频率变换即可得到各种类型的滤波器^[1-2]。但经典滤波器设计理论在处理一些如算术对称滤波器的设计、线性相位与理想低通衰减相结合等问题时,却存在较大困难。为此,通过计算机优化进行滤波器设计的方法得到越来越广泛的应用。

在计算机辅助电路最优化方面,已讨论了一系列广泛的论题,但这些方法大都以目标函数入手,经过梯度算法程序得出问题的解,因而在数学上要求较高并可能收敛于局部最优解。本文引入一种新的算法—遗传算法对无源集总滤波器进行优化。

1 遗传算法计算模型

遗传算法是一类借鉴生物界自然选择和自然遗传机制的随机化搜索算法,由于其具有简单、通用、适用于并行分布处理等独到特点,在组合优化、自适应控制、模式识别、图象处理、机器学习等领域有着广泛的应用^[3]。遗传算法作为一种具有“生成+检测”的迭代过程的搜索算法,包含了参数编码、初始群体的设定、适应度函数的计算、遗传操作设计、控制参数设定等5个基本要素。选择、交叉和变异是3个主要遗传操作算子,它们构成了遗传算法的基本过程。其基本处理流程如图1所示。

1) 编码:由于滤波器参数变化范围广,采用实数编码方式^[4],每一个体以向量 $C_n = (c_1, c_2, \dots, c_n)$ 表示,分量 c_i 表示某一电容(感)值或某一支路中心谐振频率,为运算方便,分量 c_i 在 $[-0.5, 0.5]$ 取值。在计算具体问题时可加上基数并乘以系数以达到各参数所要求的搜索范围。

2) 初始群体的形成:随机产生。

3) 适应度的计算:由于滤波器具有多个特性指标,如通带最大衰减 A_{\max} 、阻带最小衰减 A_{\min} 、通带边界频率 f_p 、阻带边界频率 f_s ,在计算个体适应度时可用将个体各方面性能与各特性指标之差取绝对值后再求和的方法计算。这样,适应度的值越小,个体越优秀。为计算需要,可利用

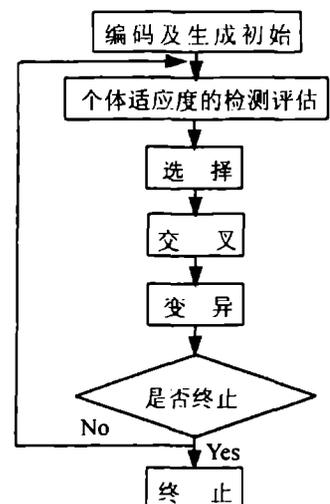


图1 遗传算法流程图

下式进行变换。

$$f' = k(f_{\max} - f + d) \tag{1}$$

f' 为变换后个体适值, f 为变换前个体适值, f_{\max} 为变换前所有个体最大适值, d 为一小常数, 这样全部个体适值大于零, 保证算法的全局收敛性^[6], k 为直线斜率, 在运算过程中可根据需要通过控制斜率来进行适应度缩放。

4) 选择: 本文使用扩大的采样空间, 即父代与子代一起参与竞争, 以随机方式同时保留最佳个体进行自然选择。

5) 交叉: 为扩大搜索空间, 以 $P_c = 100\%$ 的概率, 即以随机方式进行两两交叉。

$$\begin{aligned} C'_n &= kC_n + (1 - k)C_m \\ C'_m &= kC_m + (1 - k)C_n \end{aligned} \tag{2}$$

C_n, C_m 为个体参数向量, C'_n, C'_m 为交叉后产生的个体参数向量, k 为 $(0, 1)$ 之间随机数。

6) 变异: 根据变异率 P_m 随机选取某一个或几个个体向量的某一分量 C_{ij} , 并产生一 $(0, 1)$ 之间的随机数 k 。

$$C'_{ij} = C_{ij} + k \tag{3}$$

如果 C'_{ij} 大于上界 0.5, 则取 $C'_{ij} = 0.5 - k$ 。

2 优化结果分析

2.1 低通原形滤波器

图 2 为 3 阶低通原形滤波器的电路模型, 图 3 为遗传算法优化结果与通过切比雪夫多项式所设计的结果的比较。

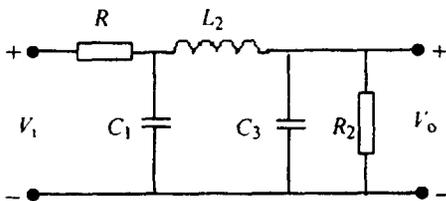


图 2 低通滤波器电路模型

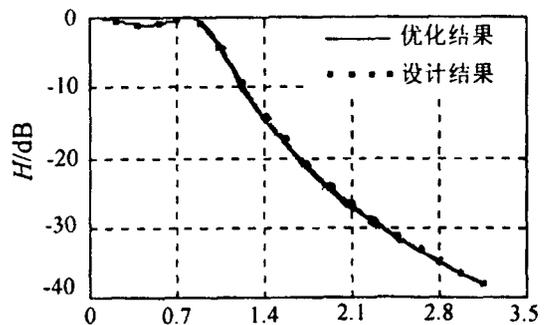


图 3 低通滤波器归一化幅频特性曲线

电路模型中 R_1, R_2 为固定值 1, 个体参数向量为 (C_1, L_2, C_3) , 搜索范围: $C_1 \geq 0.5, C_3 \leq 5.0, 0.1 \leq L_2 \leq 2.0$ 。优化结果: $C_1 = 2.086, L_2 = 0.976, C_3 = 2.016$, 由切比雪夫多项式所计算的理论值为: $C_1 = 2.024, L_2 = 0.994, C_3 = 2.024$ 。

根据理论推导可知, 在一定通带波纹下所能达到的带外衰减特性最好的无源低通滤波器为切比雪夫滤波器^[1], 图 3 表明优化结果与理论计算值完全重合, 说明遗传算法能找到理论上的最优解。

2.2 算术对称带通滤波器

由于滤波器的基本原件电容、电感在不同的频段对频率敏感性不一样, 因此在数据系统和调频系统中, 占重要位置的算术对称滤波器的设计, 通常是很困难的^[2]。为此, 引入遗传算法对其进行尝试性的优化设计。图 4 即为常用 3 级带通滤波器电路模型, 取目标滤波器通带中心频率为 3, 通带宽为 1。在图 4 中有 6 个未定参数: 电容值 C_1, C_2, C_3 及电感值 L_1, L_2, L_3 , 为了有效地确定参数的搜索范围, 可将 3 条支路的中心谐振频率 $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ 作为个体参数向量的分量, 则由电路结构和设计要求可知 $2.5 \leq \omega_1, \omega_2, \omega_3 \leq 3.5$, 个体的另 3 个参数向量分量可定为 3 个电容值或 3 个电感值。

图5为优化结果与切比雪夫多项式所设计的带通滤波器的比较。

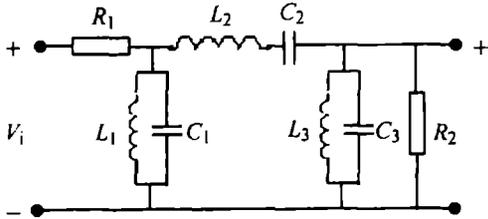


图4 带通滤波器电路模型

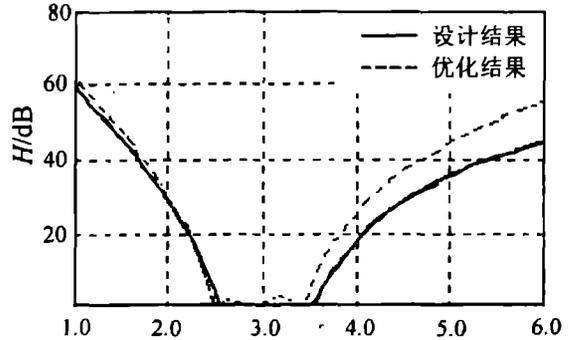


图5 带通滤波器归一化幅频特性

图5表明,遗传优化在一定程度上能改善滤波器频率特性上的不对称问题,但往往要以牺牲带内平幅度为代价,这是由于电路拓朴结构在理论上的限制,不可能得出完美的结果。在具体的设计方案中,可通过改变适应度的计算方式来寻找某一具体问题的最优解。

2.3 线性相位低通及带通滤波器

在某种情况下,会对信号的包迹延迟提出要求,这就要求滤波器的系统函数具有线性相位特性,经典滤波器理论如切比雪夫滤波器、椭圆滤波器只能在幅度函数上提出要求,而贝塞尔滤波器虽能在相位函数上提出要求,但却不能有效地控制其幅频特性。下面以低通滤波器和带通滤波器为例,比较优化结果和设计结果的相位特性。

低通滤波器:电路模型如图2所示,图6、图7分别表示低通滤波器的优化结果与设计结果的幅频特性和相频特性比较。

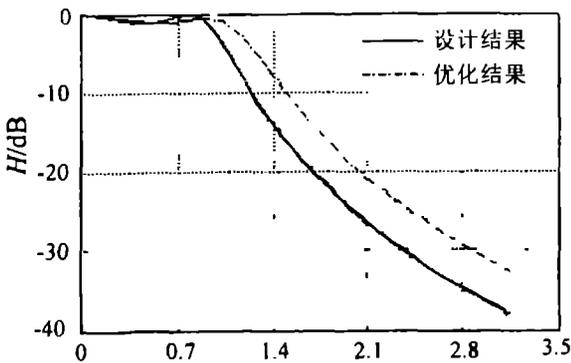


图6 低通滤波器归一化幅频特性曲线

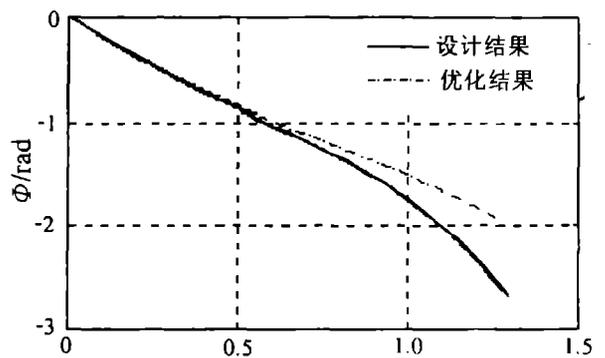


图7 低通滤波器归一化相频特性曲线

带通滤波器:电路模型如图4所示,其优化结果与设计结果的幅频特性和相频特性比较如图8、图9所示。

图6至图9中的数据表明,遗传算法能较好的将对幅度的要求与对相位的要求结合起来。虽然由于电路结构的限制,幅度与相位不可能同时达到完全理想的要求,只能找到两者之间的折衷解,但这在对信号的群延时要求较高的情况下的低通或带通滤波器的设计是很有意义的。

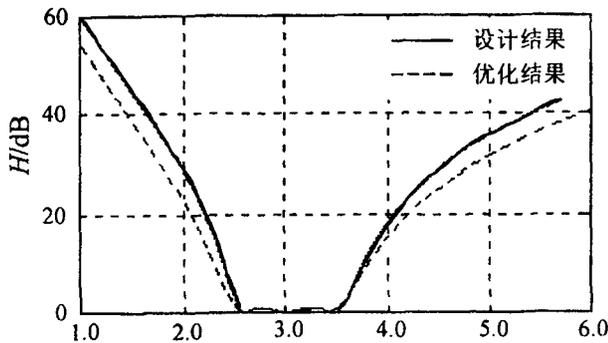


图8 带通滤波器归一化幅频特性曲线

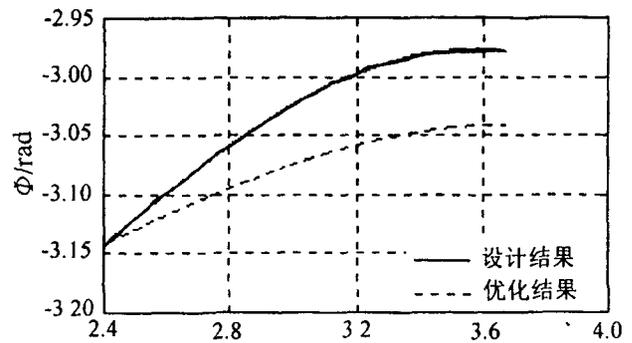


图9 带通滤波器归一化相频特性曲线

3 结论

遗传算法是一种适应性很强的优化算法,在滤波器的设计中能较为有效的寻找到适合某一特定指标的某一具体电路结构所能实现的最优解。本文仅作了一些初步的探讨,通过对滤波器的电路的结构的可能找到更为适合的解。但在本文中基于遗传算法的无源滤波器设计方案所体现出的灵活性,表明遗传算法在无源滤波器设计的设计过程中具有经典理论所不及的优越性。

参考文献:

- [1] 加博 C. 特默斯, 桑吉特 K. 米特纳. 现代滤波器理论与设计[M]. 王志洁. 北京:人民邮电出版社,1984.
- [2] 哈里 Y-F 拉姆. 模拟和数字滤波器设计与实现[M]. 应启珩. 北京:人民邮电出版社,1986.
- [3] 张雷,郑泽席,宋万德. 一种基于遗传算法的决策支持系统建模方法[J]. 空军工程大学学报(自然科学版),2000,1(3): 27-29.
- [4] 黄豪,沈成武,雷建平. 一种边续变量的遗传算法[J]. 武汉交通科技大学学报,1999,23(2):123-126.
- [5] Goldberg DE. Genetic algorithms in search, optimization and machine learning [M]. New York: Addison - Wesley Publishing Company Inc,1989.
- [6] 张讲社,徐宗本,梁怡. 整体退火遗传算法及其收敛充要条件[J]. 中国科学 E 辑,1997,27(2):154-164.

(编辑:门向生)

Design of Passive Filter Using Genetic Algorithms

LIN Nao-qin, LU Wan-zheng, HU Hui-bin

(The Telecommunication Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710077, China)

Abstract: A method of using genetic algorithms to design the optimum passive filter is presented. Attempts have been made for the problems that could not be solved by the classical theory of filter. The result shows that GA is better in adaptability in the design and the problems can be solved in some degree through GA.

Key Words: genetic algorithms; passive filter; optimization