



无源滤波器多目标优化设计及仿真

许胜辉

(武汉职业技术学院 电信学院, 湖北 武汉 430074)

摘要:提出了一种新的无源滤波器设计思路,即以无源滤波器的滤波效果、无功补偿能力和所需成本三项为目标进行全局最优选择。使用遗传算法通过对适应度函数参数值调整使得群体向三目标最佳协调点进化。最后利用 MATLAB 仿真实验证明利用遗传算法改进方案设计滤波器的有效性。

关键词:无源滤波器;多目标;遗传算法;实验仿真

中图分类号: TN713

文献标识码: A

文章编号: 1671-931X(2014) 05-0060-04

60

引言

本文提出了一种基于改进遗传算法的无源滤波器的设计方法,根据滤波器的性能指标,在确定滤波器基本结构的情况下,基于改进遗传算法对滤波器元件参数进行全局优化,获得最优解,并进行实例测试仿真分析,得到实验结果。该方法自动化程度高,便于实施,解决了经典滤波器设计方法所不能解决的一些问题,具有一定的理论和现实意义。

一、一种改进的遗传算法

遗传算法的主要思想是把一个问题的解编码成一个染色体,多个染色体组成一个种群。然后,从初始种群出发,按一定的适应值在种群中选择个体,使用杂交和变异来产生下一代种群。如此一代代演化下去,直到满足期望的终止条件。遗传算法主要有以下几个步骤:编码、解码、适应值选择、交叉、变异。

(一) 群体编码

编码有很多方式,本文选用二进制编码,用染色体表示处于不同滤波回路中的各个电容器的组合。遗传算法中,一组初始染色体群随机产生,即染色体的每个基因位是由随机数产生的。母体数 N 是遗传

算法的一个重要参数,本文中也称为群规模,选取一船指 100。

(二) 适应函数值选择

选取第 i 个体的适应值为

$$F_{it}(i) = C - J \quad (1)$$

采用标么值系统,式中 C 取 100, J 为目标函数,见式(4)。

个体选择是遗传算法中比较关键的一步,选择采用生存竞争与最佳保留机制相结合的原则。本文选择 5% 的优良个体进行保留,不参加交叉和变异操作而直接进入下一代,这样可避免每一代中的最好解丢失。

(3) 交叉变异

基因操作是遗传算法的主要内容和核心部分,交叉和变异都是遗传算法中获取新优良个体的重要手段。一点杂交是随机选取一个截断点,将双亲码串自此断开后交换其尾部。采取变概率方法,既考虑到了解的全局性又考虑到了解的收敛性,取值如下:

$$p_c^k = p_c^0 + \frac{p_c^{\max} - p_c^0}{g_{\max} - 1} (k - 1) \quad (2)$$

式中 k 为迭代次数; p_c^0 只为交叉概率的初值;

收稿日期:2014-07-10

作者简介:许胜辉(1966-)男,湖北武汉人,武汉职业技术学院电信学院副教授,研究方向:自动控制技术。

p_c^{\max} 为交叉概率末值; S_{\max} 为最大允许的迭代次数。

二、无源滤波器选型

图 1 给出了一个典型的装设了 LC 滤波器的配电网等效系统阻抗图。为了实现对电网中主要谐波的抑制,设置了 5 次、7 次、11 次单调谐滤波器和 13 次高通滤波器。图中 X_a 是配电网的等效阻抗, X_{load} 是负载的等效阻抗, I_h 是等效的谐波电流源, L_n , C_n , R_n ($n=5, 7, 11, 13$) 是各次滤波回路的等效感抗、容抗和阻抗。

单调谐滤波器的次数及容量应根据谐波源的大小及其产生的主要特征谐波电流来考虑。对于 6 脉动换流器谐波源,一般只设 5 次、7 次、11 次等单调谐滤波器,如果要滤除更高次的谐波,则可以装设一组高通滤波器。在单调谐滤波器设计中,LC 参数的选择会影响滤波效果,特别是当电网频率或 LC 参数发生漂移时的滤波效果,因此需要选择最佳的品质因数,以保证滤波器对频率的选择性和滤波器在频漂及参数漂移下的滤波效果。在高通滤波器设计中,虽然不存在最佳的品质因数的选取,但各参数的恰当配合,可大大改善滤波效果并减小其有功损耗。在此引入了一个与品质因数相关的参数 m :

$$m = L / (R^2 C) \quad (3)$$

通过品质因数 Q 和 m , 可以建立滤波器中的电感、电容及电阻的关系。因此,选择各滤波支路的电容量, C_5, C_7, C_{11}, C_{13} 为优化的独立变量。对于兼作无功补偿的滤波器,应使滤波器组补偿的无功总量与系统的要求一致,即在优化中需引入的等式约束条件。对优化设计的结果采用了性能评价,即以在配电网中加装无源滤波器组后,电网总谐波电压畸变率 T_u 最小为优化目标。由此无缘滤波器的 LC 参数优化问题可以归纳为下列的非线性规划问题。其目标函数为

$$J_{\min} = T_u + \sum_{h=3,5,7,11,\dots} \lambda_{h1} (H_{uh} - a) + \sum_{h=2,4,6,8,\dots} \lambda_{h2} (H_{uh} - b) + \lambda | \Sigma Q - \bar{Q} | \quad (4)$$

由图 1 并且综合考虑各个谐振回路 C , L , R , m 的关系可得:

$$J_{\min} = T_u + \sum_{h=3,5,7,11,\dots} \lambda_{h1} (H_{uh} - a) + \sum_{h=2,4,6,8,\dots} \lambda_{h2} (H_{uh} - b) + \lambda | \Sigma Q - \bar{Q} | \quad (5)$$

$$\text{式中 } R_n = \frac{1}{\omega C_n Q^2}, R_k = \sqrt{\frac{L_k}{m C_k}} = \frac{1}{k \omega C_k \sqrt{m}};$$

$$T_u = (\sum H_{uh}^2)^{\frac{1}{2}}; \Sigma Q = \sum \omega C_n U_N^2 \quad (6)$$

$$\text{等式约束为 } \Sigma Q = \bar{Q} \quad (7)$$

不等式约束为 奇次谐波 $H_{uh} \leq a$; 偶次谐波

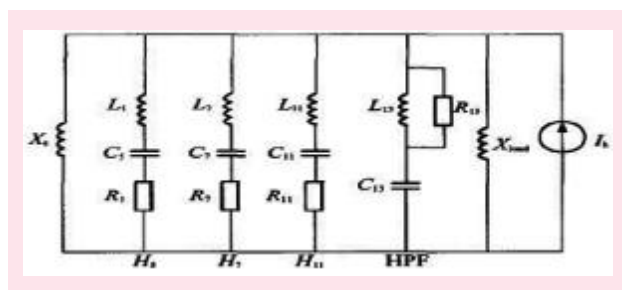


图 1 LC 滤波器的等效系统阻抗图

$$H_{uh} \leq b \quad (8)$$

式(4)-(8)中 h 为谐波次数; n 为单调谐滤波器的调谐次数; k 为高通滤波器的调谐次数; Q^k 为单调谐滤波器的品质因数; m 为高通滤波器与品质因数相关的参数; C_n, R_n 分别为各组单调谐滤波器的电容量和电阻值; C_k, R_k 分别为高通滤波器的电容量和电阻值; ω 为基波的角频率; T_u 为电压总畸变率; H_{uh} 为 h 次谐波电压含有率; I_h 为 h 次谐波电流值; U_1 为基波电压; \bar{Q} 为应该补偿的无功总量; ΣQ 为各次滤波回路的电容器补偿的无功总量; λ_{h1} 为奇次谐波电压含有率越限的惩罚项,越限取 100,不越限取 0; a 为某电压等级下的配电网奇次谐波电压限值; λ_{h2} 为偶次谐波电压含有率越限的惩罚项,越限取 100,不越限取 0; b 为某电压等级下的配电网偶次谐波电压限值; λ 为各次滤波回路的电容器补偿的无功总量的惩罚项,当 $\Sigma Q = \bar{Q}$ 时,取 0; 当 $\Sigma Q \neq \bar{Q}$ 时,取 100。

根据以上分析结果,相应的滤波器设计程序优化流程图见图 2。

三、实例分析

本例实验中对某轧钢厂的配电网谐波含量进行了实测和计算(见表 1)。轧钢厂 6 kV 母线的主要谐

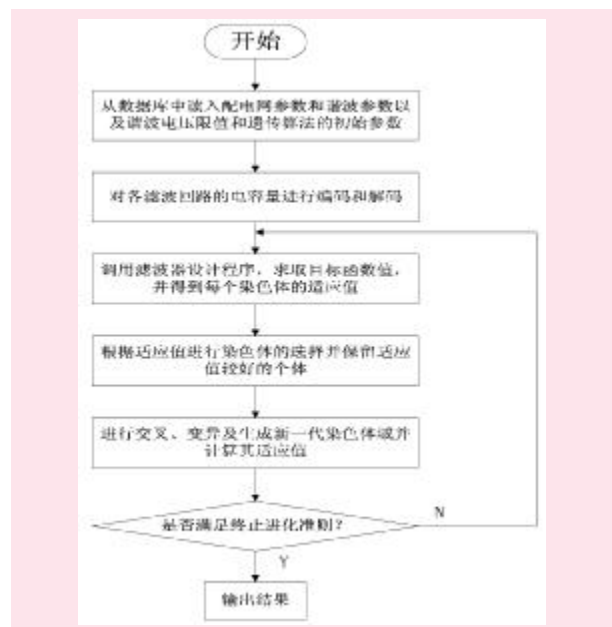


图 2 算法流程图

表 1 实测无滤波器的谐波电压畸变率、谐波电流表

谐波次数	Σ	3	4	5	7	8	9	10	11	12	13
电压畸变率(%)	5.034	0.527	1.048	1.52	2.014	0.962	1.403	1.07	2.648	0.337	0.843
电流 /A/A	90.23	15.15	3.53	76.06	27.3	1.167	1.586	1.09	23.54	0.637	1.05

Σ 为电压总畸变率、电流总畸变量。

表 2 配电网参数及相关信息表

电压等级	短路容量	THD1	奇次 HRU1	偶次 HRU1	滤波器回路	应该补偿的无功总量
6kV	179MVA	4.00%	3.20%	1.60%	5,7,11 次单调谐	2100kVar

表 4 实测加装滤波器的配电网谐波参数表

谐波次数	Σ	3	4	5	7	8	9	10	11	12	13
电压畸变率(%)	2.736	0.476	0.784	1.021	0.892	0.833	0.634	0.783	0.728	0.252	1.315
电流 /A/A	48.35	12.10	7.140	29.19	13.65	3.327	1.935	1.247	16.58	2.841	2.458

Σ 为电压总畸变率、电流总畸变量。

表 3 滤波器参数表

滤波回路	5 次	7 次	11 次
C/uf	66.2	33.1	16.5
L/mH	6.38	6.44	5.19
Q/kVar	1200	600	300

波源是 4 台整流变压器(配电网相关参数见表 2),因此特征谐波的次数为 5, 7, 11,13 次。当母线所代的 4 台直流电机空载、半载、满载运行时,系统的平均功率因数 $\cos\Phi_1$ 为 0.75,设计补偿后的平均功率因数 $\cos\Phi_2$ 为 0.92。因此,所需无功功率可由式(9)计算:

$$Q = P(\tan\Phi_2 - \tan\Phi_1)$$
 (9)

配电网在装设滤波器组前,5 次、7 次、11 次谐波电压、电流值比较大,其中 5 次谐波电流严重超标。综合考虑应该补偿的无功功率和各次谐波含有率,决定在配电网中装设 5 次、7 次和 11 次单调谐滤波器。为了使滤波器除满足谐波指标外,还能够满足无功补偿的要求,用改进遗传算法对电容器容量及分组进行优化分析,选取种群规模为 100,遗传代数 60,结果在第 30 代时得到了比较满意的解,大大加快了遗传操作的进化速度(具体结果见表 3)。得到了既满足国标 K48004-90 对电容器运行的过载能力要求,又满足电容器分组容量的要求。

表 3 是通过改进遗传算法优化出的调谐滤波器的 LC 参数。表 4 是配电网装设滤波器后的实测谐波值。对比表 1 和表 4,发现各主要次谐波畸变(5 次、7 次、11 次等)在装设滤波器后都有了明显改善,同时由实测可知配电网的功率因数在系统满载时也都保持在 0.9 以上。以上结果说明把遗传算法应用于滤波器的设计中不仅可以得到令人满意的结果,同时还大大减少了人工的计算量,而且明显提高了算法的寻优速度。

四、应用 MATLAB 仿真实验结果

如图示,图 3 和图 4 分别为应用 MATLAB 软件对无缘滤波器优化设计前后的模拟仿真图,对应结果见图 5-图 8。

对比图 5 和图 8 可明显看出滤波后谐波含量明显减少,为了使实验结果更具有说服力,仿真从多个方面展示了无源滤波的优化效果,对比可证明此方法的有效性。

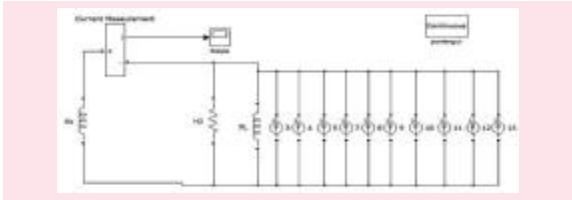


图 3 应用 MATLAB 仿真优化前模拟电路截图

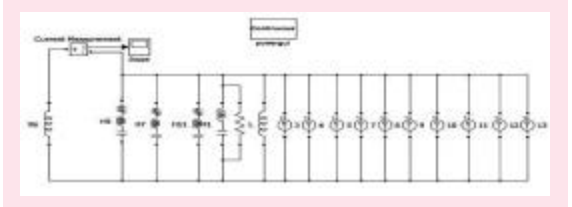


图 4 应用 MATLAB 仿真优化后模拟电路截图

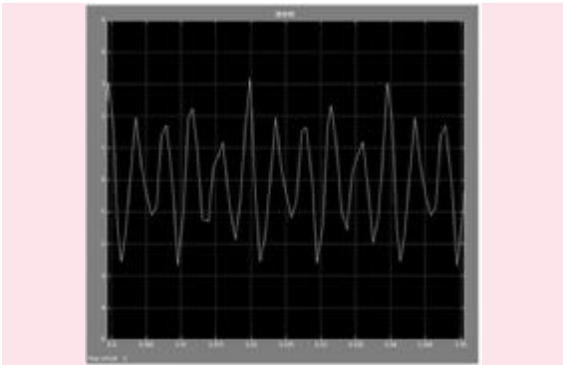


图 5 滤波前波形图

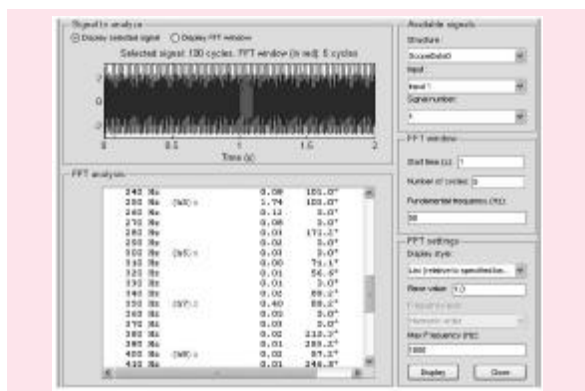


图6 滤波前谐波数据

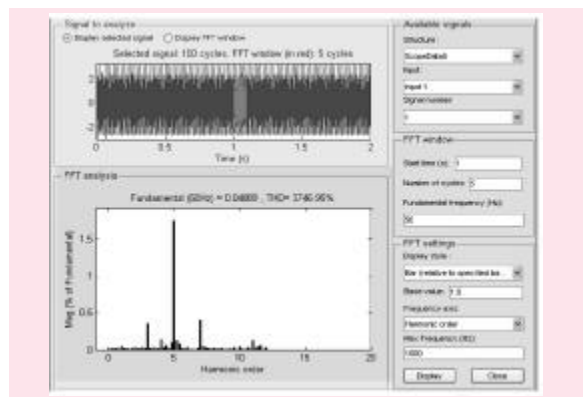


图7 滤波前谐波分析

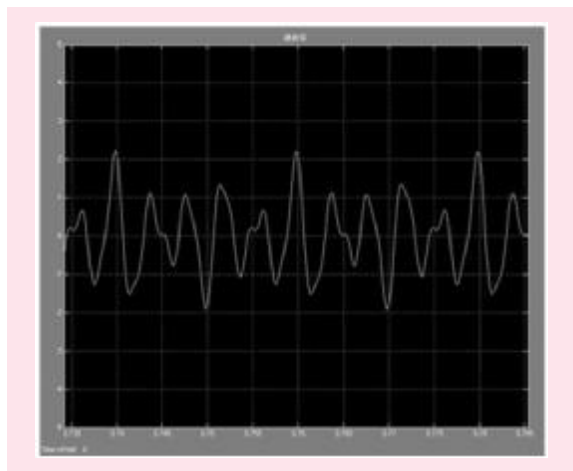


图8 滤波后波形图

五、结语

在分析了传统无源滤波器优化设计的基础上,提出一种全局性的多目标遗传算法对无源滤波器的参数进行优化设计,从成本、无功功率补偿容量和滤波后电网谐波含量3个指标进行综合考虑,利用熵

值对两个适应度函数进行制约,既使得种群进化逐步进入约束空间,又保证具有潜力的染色体不会过早地被淘汰。同时,不同概率进行染色体选择操作,使得种群朝3个目标最佳协调点的方向进化。并引入混沌算子克服算法的早熟收敛。通过仿真实验证明,功率因数和抑制谐波的效果均有较大幅度的提高。

参考文献:

- [1] 王兆安,杨君,刘进军.谐波抑制和无功功率补偿[M].北京:机械工业出版社,2006.
- [2] 魏伟.谐波抑制技术研究综述[J].电气技术,2009,(6):19-23.
- [3] 魏伟,许胜辉,魏岚婕.一种并联型有源电力滤波器变结构控制策略[J].高压电器,2008,44(4):298-300.
- [4] 许胜辉.一种无源滤波器的优化设计[J].电气工程及其自动化,2011,33(4):68-69,85.
- [5] 魏伟,许胜辉,魏岚婕.一种串联混合有源电力滤波器的控制策略[J].高压电器,2009,45(1):18-23.
- [6] 戈东方.电力工程电气设备手册[M].北京:中国电力出版社,1998.
- [7] 陈国良.遗传算法及其应用[M].北京:人民邮电出版社,1996.
- [8] 彭协华,张代润,朱代祥.无源滤波器设计新方法[J].电力电子技术,2004,38(4):29-31.
- [9] Liu J, Cai Z, Liu J. A Novel Genetic Algorithm Preventing Premature Convergence by Chaos Operator[J]. Journal of Central South University of Technology (English Edition), 2005, 7(2):100-103.
- [10] Akagi H, Kanazawa Y, Nabae A. Instantaneous Reactive Power Compensators Comprising Switching Devices without Energy Storage Components[J]. IEEE Trans. on IA, 2002, 20(3):625-630.
- [11] Chou C J, Liu C W, Lee J Y. Optimal planning of large passive harmonic-filters set at high voltage level[J]. IEEE Trans on Power System, 2000, 15(1):433-441.
- [12] Aliprantis D C, Sudhoff S D, Kuhn B T. Genetic algorithm-based parameter identification of a hysteretic brushless exciter model[J]. IEEE Trans on Energy Conversion, 2006, 21(1):148-154.

[责任编辑:刘 骋]
(下转第88页)

(上接第 62 页)

Design and Simulation of Passive Filter Multi-objective Optimization

XU Sheng-hui

(Wuhan Polytechnic, Wuhan 430074,China)

Abstract:This paper puts forward a new thought of passive filter design, namely the overall optimal choice of the filtering effect of passive filter, reactive power compensation capacity and costs.It uses genetic algorithm based on adjustment of fitness function parameter value to make the group evolve to best coordinate point of three targets.The use of MATLAB simulation experiments proves the effectiveness of design

Key words:passive filter; multiple target; genetic algorithm; experiment stimulation