

无源滤波器 设计 多目标并行优化 遗传算法

多目标并行优化的高级遗传算法 在无源滤波器设计中的应用

23-26, 28

TN713.02

02422

中国科学院等离子体物理研究所(合肥 230031)

陶骏 刘正之

摘要 本文首次在利用高级遗传算法处理多目标优化问题中引入了并行寻找的思想,摆脱了传统的通过加权系数的办法,避免了加权系数确定的盲目性。并成功的应用到无源滤波器的参数优化中,获得了较好的效果。同时高级遗传算子的引入,可保证问题达到全局收敛。

关键词 多目标并行优化 遗传算法 高级遗传算子

1 引言

近年来随着大量的电力电子器件和非线性负载的使用,电网的谐波污染日益严重,与电网并联的无源滤波器以其经济性得到了广泛应用。这种无源滤波器一般由LC元件构成串联谐振回路,以滤去电网中的主要谐波电流,使电网的谐波电压、谐波电流达到要求的范围。在无源滤波器的设计中,对LC元件参数的优化是关键,同时在有源与无源滤波器相结合的综合滤波器中,为了降低有源滤波器的安装容量,同样存在着对LC参数的优化问题。

对于LC参数优化,单凭一个指标难以评价设计质量的优劣,在实际工程设计中应综合考虑多个指标,故这类问题就是多目标、含约束条件的非线性规划问题。处理这类问题常用的方法有复合形法(Complex)、罚函数法(Powell)等,但是利用这些方法求解时,很容易限于局部最优解,特别是对存在等式约束条件的情况。同时,它们在处理多目标

时,一般是根据各目标函数通过一定的加权系数,构成单目标函数,对于表现为不同性质的目标,加权系数的确定就有很大的盲目性。

本文利用遗传算法(Genetic Algorithms)处理这类多目标、含约束条件的非线性规划问题,并成功的应用到LC参数的优化中。遗传算法是模拟生物的“适者生存,优生劣汰”的进化过程,表现出其群体搜索策略和群体中的个体之间交换信息的特征。由于遗传算法完全抛弃了传统方法的逐个求解的特点,从而使其更适于多目标的优化问题,再者,由于遗传算法在可行解域中寻优,属于全局并行寻优方法,更容易获得全局最优解或近乎全局的最优解。文中在简单遗传算法(SGA)基础上引入高级遗传算子,同时以无源滤波器的性能指标和经济指标为目标函数,进行LC参数的优化,获得比较满意的结果。

2 多目标并行寻优的高级遗传算法的原理

基于生物进化机制的遗传算法,是一种

通用的自适应随机搜索方法,它对优化问题、约束条件限制较少,只要求其具有可计算性。同时,它的搜索遍及整个解空间,能够找到近乎全局的最优解。遗传算法并不直接处理解空间的数据,而是通过参数集的二进制编码串进行操作,遗传进化的方向决定于由优化的目标函数而确定的适应度。遗传算法是对二进制编码进行遗传操作,通过个体之间的交叉、变异作用,带来它们的迁移,从而逐步提高个体的适应度,使个体变优。遗传操作的三个基本环节就是选择、交叉和变异。个体被选择的概率根据个体的适应度而定,交叉和变异也是根据一定的概率来实现。

一般的遗传算法在处理多目标优化问题时,都是通过一定的加权系数,将多目标转换为单目标问题,但对多种存在根本性质差异的目标,加权系数则难以确定。由遗传算法并行计算的特点,本文提出了同时根据每个目标函数确定的适应度来评价个体的方法,从而控制优化的总方向。

对于双目标函数的优化问题,设两个适应度函数为 f_1 、 f_2 ,分别根据 f_1 、 f_2 确定参加交

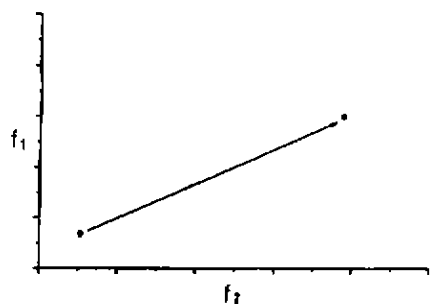


图1 加权系数法下的个体迁移

叉的两个个体。由生物进化的基本思想,两个个体的交叉过程中,个体中的优秀基因就有可能被保留和组合,产生的新个体的两个适应度都有提高,从而个体在两个目标上都得到了优化。当然这种方法不能排除遗传过程中的某些个体的退化现象,但可以通过优秀个体保留原则将这些退化的个体从群体中剔除,保证遗传总是向进化的方向进行。遗传过程中的变异亦扩大了解的搜索区域,保证问题全局收敛。

在通过加权各目标函数获得的优化方法中,由于加权系数的引入,使优化只能沿着一个固定的方向进行,导致优化结果难以满足所有的目标要求。利用多目标并行寻优的方法可克服这一缺点,保证最终解分布的合理性。图1是将优化转换为单目标问题时的个体迁移情况,可见,解群的优化只能沿着加权因子确定的一个方向进行,不能保证优化的结果在各适应度上都得到最佳,图2给出了按双目标并行寻优的个体迁移情况,随着进化,个体的两个适应度都增大,最终将获得各适应度俱佳的解。

图2 多目标并行寻优的个体迁移

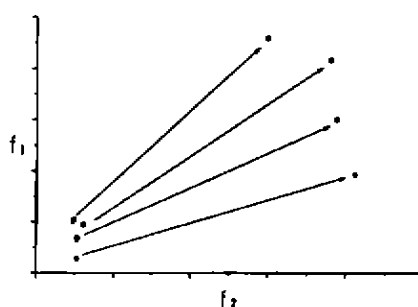


图2 多目标并行寻优的个体迁移

2.1 动态交叉、变异概率

理论上已证明简单的遗传算法,不能保证问题收敛于全局最优解,本文在简单的遗传算法基础上引入下列高级遗传算子,保证全局收敛。

在遗传初期,为了维持种群的优良特性,亦选用较大的交叉概率和较小的变异概率。随着遗传的进程,需降低交叉作用,加强变异作用,避免问题陷于局部最优解。式(1)、(2)给出了交叉、变异概率的动态调整方法。

$$P_c = P_{c0}(1 - \lambda_1 \text{gen} / \text{maxgen}) \quad (1)$$

$$P_m^i = \begin{cases} P_{m0} & (f_i \geq f_{avg}) \\ P_{m0} [1 + \lambda_2 \exp(1 - f_i/f_{avg}) \exp(-\lambda_3 \text{gen})] & (f_i < f_{avg}) \end{cases} \quad (2)$$

上式中 P_{c0} 、 P_{m0} 为初始交叉、变异概率, P_c 为动态调整后的交叉概率, P_m^i 为调整后的第 i 个个体的变异概率。 gen 为遗传代数, maxgen 为最大的遗传代数, f_i 及 f_{avg} 对应于第 i 个个体的适应度和群体的平均适应度。 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 为调整系数, 其值可根据具体情况而定。可见随着遗传的进程, 交叉作用逐渐减小; 变异作用依不同的个体适应度而异, 对适应度小的个体置较大的变异概率, 反之则置较小的变异概率(初始变异概率), 随着遗传代数的增加, 变异概率又趋于初始概率, 此时群体中的个体趋于一个稳定值。

2.2 适应度定标

遗传算法中按适应度比例方法建立的选择机制, 在进化初期, 会出现因个别个体的适应度过高, 而导致的未成熟收敛现象。在进化后期, 个体间的竞争减弱, 又会导致优化的无目标随机漫游。为了维持个体之间的一定的竞争力, 在遗传过程中需动态调整适应度, 因而引入了适应度定标。本文按线性定标调整适应度。

2.3 优秀个体保留原则

多目标并行优化的遗传算法中, 为了避免进化过程中的振荡与退化现象, 采用了优秀个体保留原则, 将父代中的优秀个体替换子代中的较差个体。在多目标寻优中, 分别按每一个目标函数对应的适应度, 对个体评价和替换, 即将子代中每一个适应度最差的个体替换成父代中相应的适应度最好的个体, 保证进化过程中个体朝着一个适应度都增加的方向移动, 从而使问题最终收敛于全局最优解或近乎全局最优解。

在简单的遗传算法基础上引入一些高级遗传算子, 进行多目标并行优化, 避免对目标函数的盲目加权, 可以使各目标都向优化的方向前进, 问题最终将会达到全局收敛。

3 无源滤波器 LC 参数的优化问题

在无源滤波器的设计中, LC 参数的优化是关键。图 3 给出了一个典型的 LC 滤波电路。为了实现对电网中的主要谐波的抑制, 设置了 5 次、7 次、11 次、13 次的单调谐滤波器及调谐在 17 次的高通滤波器。

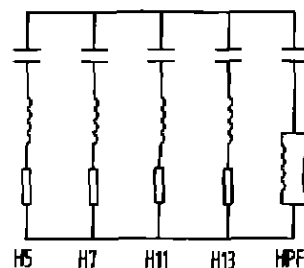


图 3 LC 滤波电路

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, 因此需选择最佳的品质因素。根据经验单调谐滤波器的品质因素一般取 30~60, 本文将各单调谐滤波器的品质因素定为 $Q=60$, 既保证了滤波器对频率的选择性, 又保证了滤波器在频漂及参数漂移下的滤波效果。在高压滤波器设计中, 虽然不存在最佳的品质因素的选取, 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。引入了一个与品质因素相关的参数 m :

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

根据经验 m 取 0.5。由 Q 和 m , 建立滤波器中的电感、电容及电阻的关系, 因此可选择各滤波支路的电容量 C_5 、 C_7 、 C_{11} 、 C_{13} 和 C_h 为优化的独立变量。对于兼作无功补偿的滤波器, 应满足其补偿的无功容量与系统的要求一致, 即在优化中需引入一约束条件。对设计的结果采用了性能评价和经济评价。即以滤波器产生最小的电网综合谐波电压畸变率和最小的经济投入为优化目标。由此将

无源滤波器的 LC 参数优化问题归为下列的非线性规划问题:

$$\begin{cases} \min f_1(x) \\ \min f_2(x) \\ x = (C_5, C_7, C_{11}, C_{13}, C_h) \\ \text{s. t. } Q(x) = \text{const} \end{cases} \quad (4)$$

上式中,目标函数 $f_1(x)$ 、 $f_2(x)$ 分别为滤波后的电网综合谐波电压畸变率和滤波器的初始投资。 $Q(x)$ 为滤波器补偿的基波无功功率,此为优化问题约束条件。

4 多目标并行寻优的遗传算法在 LC 参数优化中的应用

对式(4)给出的优化问题采用了多目标并行寻优的遗传算法进行优化。对于含有约束条件的优化问题通常采用的方法是引入惩罚因子,对违背约束条件的解进行惩罚,将约束条件归到目标函数中,构成个体的适应度,在式(4)优化问题中根据两个目标函数确定适应度如式(5)。

$$\begin{cases} f_1' = C_{1\max} - (f_1(x) + \alpha Q'(x)) \\ f_2' = C_{2\max} - (f_2(x) + \beta Q'(x)) \\ Q'(x) = |(Q(x)/\text{const} - 1| \end{cases} \quad (5)$$

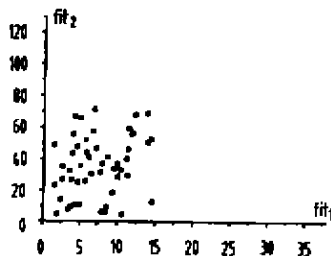


图4 初始世代的个体分布

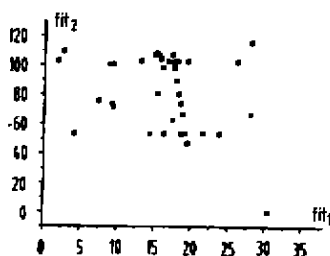


图5 第10代的个体分布

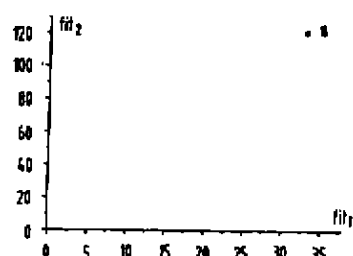


图6 第50代的个体分布

上式中 f_1' 、 f_2' 分别为根据两个目标函数确定的适应度, α 、 β 为各自的惩罚因子, $C_{1\max}$ 、 $C_{2\max}$ 为两个目标函数和相应的惩罚项可能出现的最大值。由于式(4)中存在着等式的强约束条件,这可能出现解群中的大部分解的适应度很低,从而这些解在遗传过程中将被淘汰,会破坏解群的多样性,导致优化的局部收敛的几率增加,根据适应度定标原则,可增加解群的多样性。将 f_1' 和 f_2' 转换为定标后的适应度 fit_1 、 fit_2 ,按多目标并行寻优的高级遗传算法进行操作,可实现问题的全局收敛。

图4、5、6为遗传进化过程中初始世代、第10代和第50代的个体在适应度平面上的分布情况,图中的坐标代表适应度 fit_1 和 fit_2 。由于初始群体是随机产生的,故这些个体在平面上是均匀分布的,如图4。随着遗传的进程,个体的两个适应度都增加,它们逐渐向平面的右上方移动,如图5。当遗传收敛时,群体中的绝大部分趋于一个稳定解,这将是全局最优解或近乎全局的最优解,如图6。

5 结论

本文利用遗传算法的并行计算特点,提出了处理多目标优化问题时,不加权各自目标函数,而通过引入多适应度的并行优化方法,保证了最终的解在各个目标上都获得良

好的效果。并成功的应用到无源滤波器的参数优化设计中。同时通过引入适应度定标、动态调整交叉和变异概率、优秀个体保留等高级遗传算子保证了优化全局收敛。

(下转第28页)

器装置将成为4次谐波电流的单调谐滤波器,即形成4次谐波的低阻抗通路,产生的4次谐波90%以上的量流入到电容器装置中,造成装置过电流而使继电保护动作。

(2)对变压器与电容器之间有一定距离,变压器与电抗器的总电抗接近11%电容器的容抗时,则与(1)相似地电容器装置成为3次谐波的单调谐滤波装置。

(3)等效电源侧感抗与串联电抗器电抗的合计接近11%时,电容器和等效电源系统构成3次并联谐振回路,即使对于很小的谐波电流,也会由于并联谐振现象而产生很大的3次谐波电流。

(4)对于电容器补偿装置而言,由于其容性负荷特性或以上情况的等效阻抗特征性,同时也对2次谐波呈现出谐波放大现象,使得流入网络的2次谐波电压畸变增大,对其它电气设备产生不利影响。

以上情况,电容器电流会达到额定电流的1.5~4.5倍,并联谐振的持续时间会达到1~15s,这对电容器和其它电气设备的正常运行都是不利的。

3 抑制的对策

透过以上分析,作为抑制的措施主要有以下几种。

3.1 提高过电流保护的整定值和整定时间,这是最简易的方法,可以不使电容器的负荷超出允许的范围,但是在和上一级的保护配合时才能采用,这种变更继电保护整定值的方法须慎重。

3.2 投入空载变压器时将电容器拉开,特别是在高压回路使用电容器设备的情况下,装设失压保护,停电时必须将电容器回路切开,在恢复供电时应防止空载变压器和电容器同时投入,或在电容器投入状态时投入空载变压器。

3.3 改变并联谐振条件,即通过变化系统运行方式或提高串联电抗器的容量,使其达到电容器容量的13%以上。

另外,对其涌流中的高次谐波,也可以用装设高次谐波滤波装置的方法来抑制,但这种方法得不偿失,所以,从技术经济比较上考虑,以上三种方法须优先考虑。

(上接第26页)

参 考 文 献

- 1 缪希仁,张培铭. 多目标动态优化高级遗传算法及其在智能电磁电器设计中的应用研究. 电工技术学报,1999,14(4)
- 2 童彤等. 遗传算法在透平叶栅多目标优化设计中的应用. 中国电机工程学报,1999,19(6)
- 3 Vassilios. Petridis, et. al. Varying

- Fitness Functions in Genetic Algorithm Constrained Optimization: The Cutting Stock and Unit Commitment Problems. IEEE Trans On System, Man, And Cybernetics—Part B: Cybernetics, VOL. 28, No. 5,1998
- 4 陈国良等. 遗传算法及其应用. 人民邮电出版社,1996(6)