

基于改进排挤小生境遗传算法配网无功优化研究

张敬平¹, 梁志瑞¹, 苏海锋¹, 王建杰²

(1. 华北电力大学, 河北 保定 071002; 2. 河北农业大学, 河北 保定 071001)

摘要: 针对传统遗传算法在配电网无功优化中的缺陷和配电网的特点, 把改进排挤小生境技术和自适应遗传算法有机结合起来应用于无功优化, 且采用实数编码和 $\mu + \lambda$ 竞争机制等策略, 建立了以计算得到的投资回收年限作为评价电容器安装方案经济效益优劣标准的数学模型。利用 SQL Server2000 数据库存储配电线路的原始数据, 方便计算时数据的灵活调用。采用面向对象的 Visual C# 高级语言开发编制了配电网无功优化计算程序并应用于实际配电网中, 程序运行稳定、便于维护。实际网络计算结果表明, 改进排挤小生境自适应遗传算法更加适用于配电网无功优化。

关键词: 配电网; 无功优化; 改进排挤小生境自适应遗传算法; 数学模型

Research on reactive power optimization of distribution network based on the improved crowding niche genetic algorithm

ZHANG Jing-ping¹, LIANG Zhi-rui¹, SU Hai-feng¹, WANG Jian-jie²

(1. North China Electric Power University, Baoding 071002, China; 2. Hebei Agricultural University, Baoding 071001, China)

Abstract: Regarding to the defects of traditional genetic algorithm applied to reactive power optimization of distribution network and the characteristics of distribution network, the improved crowding Niche Adaptive genetic algorithm is put forward to enhance the ability of global optimization with the strategy of real valued coding and $\mu + \lambda$ competition selection. An objective function considering years of investment calls back. Based on the Niche Adaptive genetic algorithm, the program of reactive power optimization for distribution network is developed by taking Visual C# which is object-oriented as developing tool and SQL Server2000 which is used for the original data storage. According to the real test to this program, the requirement of development is satisfied. Now this program is run successfully and stably. The calculation shows that the improved crowding Niche Adaptive genetic algorithm is more fitful for the reactive power optimization.

Key words: distribution network; reactive power optimization; improved crowding niche adaptive genetic algorithm; mathematic model

中图分类号: TM714

文献标识码: A

文章编号: 1003-4897(2007)10-0019-04

0 引言

目前, 我国配电网普遍具有网损大、电压合格率低的特点, 配网无功优化是降损节能、提高电压质量的有效手段之一。电力系统无功优化规划是一个较复杂、多目标、多约束的非线性整数规划问题。它的目标是在满足约束条件的前提下, 使系统的某个指标或多个指标达到最优。

多年以来, 配电网无功优化算法已深受人们的重视。提出了许多无功优化方法, 如试验误差法、非线性规划法、线性规划法、动态规划法、Tabu 搜索、模拟退火法、遗传算法等。在如此众多的算法中, 遗传算法在解决多变量、非线性、不连续、多

约束的问题时显示出其独特的优势, 这使得它在配电网无功优化领域中的应用受到重视。

但是在实际研究中, 传统遗传算法采用二进制编码, 固定不变的交叉率和变异率, 暴露出了一些不足之处, 如计算速度慢、易早熟等。主要是由于对初始种群的选择不合理和交叉变异机理不合适造成的, 本文所采用的小生境遗传算法对初始种群进行选取和自适应的交叉变异概率, 可以避免上述缺陷, 同时保持群体多样性, 较好地维持群体的分布特性, 避免陷入局部最优解。

1 配电网无功优化的数学模型

配电网无功优化就是首先选择补偿点, 并确定合理的补偿容量, 在满足一定的约束条件下, 达到

有功网损最小或总运行费用最小。数学模型^[1]包括目标函数、等式约束方程和不等式约束方程等。

1.1 目标函数

本文所采用的目标函数为配电网满足电压幅值和发电机无功出力不越限的条件下,不考虑时间因素对货币价值的影响,将项目投资额和年收益额进行汇总评价,即投资回收期=总投资/年收益。目标函数表示如下: $\min F = C_Q / (C_p - C_z)$

(1) C_Q 的意义及其计算:表示补偿设备的投资费用,本文不采取文献[2]中传统电容投资系数 40 元/kvar,而严格按照市场上电容器的容量、组数及相应的控制装置来确定投资费用;

(2) C_p 的意义及其计算:表示无功补偿的降损经济效益,包括网络和配变损耗降低产生的经济效益,本文取电价为 0.6 元/kWh;

(3) C_z 的意义及其计算:表示设备年折旧费用(取 10%)和年维护费用(取 2%)。

1.2 等式约束方程

等式约束方程为功率平衡方程:

$$P_i = U_i \sum_{j \in i} U_j (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij})$$

$$Q_i = U_i \sum_{j \in i} U_j (G_{ij} \sin \theta_{ij} + B_{ij} \cos \theta_{ij})$$

式中: P_i 、 Q_i 表示节点 i 的注入有功、无功; U_i 、 U_j 为节点 i 、 j 的电压幅值; G_{ij} 、 B_{ij} 为节点 i 、 j 之间的电导、电纳; θ_{ij} 为节点 i 、 j 之间的电压角差; $j \in i$ 表示所有与节点 i 相连的节点;

1.3 不等式约束方程

无功优化中的变量可分为控制变量和状态变量。分接头可调变压器变比 T 、补偿电容量 Q_c 和发电机机端电压 U_g 为控制变量; 节点电压 U 和发电机注入无功 Q_g 为状态变量。

控制变量的不等式约束如下:

$$U_{gk \min} < U_{gk} < U_{gk \max}$$

$$T_{i \min} < T_i < T_{i \max} \quad Q_{ci \min} \leq Q_{ci} \leq Q_{ci \max}$$

其中对控制变量采用实整数混合编码,本文中个体的染色体编码可以表示为:

$$P(i) = [Q_c | U_g | T] = [Q_{c1}, Q_{c2}, \dots, Q_{c_l} | U_{g1}, U_{g2}, \dots, U_{g_k} | T_1, T_2, \dots, T_l]$$

式中: j 、 k 、 l 分别为无功补偿节点数、发电机节点数和可调变压器数。

状态变量的不等式约束如下:

$$U_{i \min} \leq U_i \leq U_{i \max} \quad Q_{gj \min} < Q_{gj} < Q_{gj \max}$$

其中把状态变量的不等式约束作为罚函数出现在适应值函数中。即

$$Fitness = 1 / (F + w_U \sum_{i=1}^n \Delta U^2 + w_Q \sum_{i=1}^n \Delta Q^2)$$

其中: ΔU 、 ΔQ 为节点电压幅值越限、发电机无功出力越限; w_U 、 w_Q 是 ΔU 、 ΔQ 的加权系数。

1.4 其它约束^[3]

考虑到具体补偿设备产品的实际,本文还增加了最大组数约束、单组电容器可选容量约束。根据低压电容器补偿装置的厂家生产惯例,通常约定配变低压侧无功补偿的最大组数为 8 组,单组电容器的最大容量为 30 kvar,每组电容器容量均相同,单组电容器的可选容量分别 6、8、10、12、15、16、20、25、30 kvar。

2 配电网无功优化中的改进排挤小生境自适应遗传算法

遗传算法应用无功优化^[4]中,即是在电力系统运行时对控制变量进行随机编码,通过个体适应度函数的评价和比较进行选择遗传操作,再进行交叉、变异等遗传操作,以产生新一代更为优秀的个体。经过逐代遗传,最后获得趋于最优的一组原问题的解。

2.1 基于罚函数的改进排挤小生境遗传算法

引入自然界中“物以类聚,人以群分”的小生境现象,即各类生物总是倾向于与自己特性、形状相类似的生物生活在一起,交配和繁殖后代^[5]。本文采用一种基于罚函数的排挤小生境及其改进遗传算法,其基本思想是:首先比较群体中每两个个体之间的海明距离,若这个距离小于预先指定的距离 L ,再比较两者的适应度,并对其中适应度较小的个体施加一个较强的罚函数,极大地降低其适应度。这样,对于在距离 L 之内的两个个体,其中较差的个体经处理后其适应度变得更差,在后面的进化过程中被淘汰的概率就极大。也就是说,在距离 L 之内将只存在一个优良的个体,从而既维护了群体的多样性,又使得各个个体之间保持一定的距离,且个体能够在整个约束空间中分散开来,从而就实现了一种小生境遗传算法。在编程的过程中,以目标函数最小为目标,采用小生境理论对常规算法种群的选择进行改进。

上述基于罚函数的改进排挤小生境遗传算法具体实现过程如下:

(1) 采用实数编码,随机生成 M 个初始个体组成

初始群体, 并计算各自的适应度 *Fitness*;

(2) 根据各个体的适应度对其进行降序排序, 记忆前 N 个个体 ($N < M$);

(3) 进行父代参与竞争, 2+2 选择机制以保证有较强的选择压、自适应的算术交叉操作和非一致变异方式;

(4) 小生境淘汰运算: 将第 (3) 步得到的 M 个个体和第 (2) 步所记忆的 N 个个体合并在一起, 得到一个含有 $M+N$ 个个体的新群体。对这 $M+N$ 个个体, 求出每两个个体 X_i 和 X_j 之间的海明距离 d_{ij} 。当 $d_{ij} < L$ 时, 比较个体 X_i 和 X_j 的适应度大小, 并对其中适应度较低的个体处以罚函数;

(5) 根据这 $M+N$ 个个体的新适应度对各个个体进行降序排序, 记忆前 N 个个体;

(6) 终止条件判断: 若不满足终止判据, 则将第 (5) 步排序中的前 M 个个体作为新的下一代群体, 然后转到第 (3) 步; 若满足终止条件, 则输出计算结果。

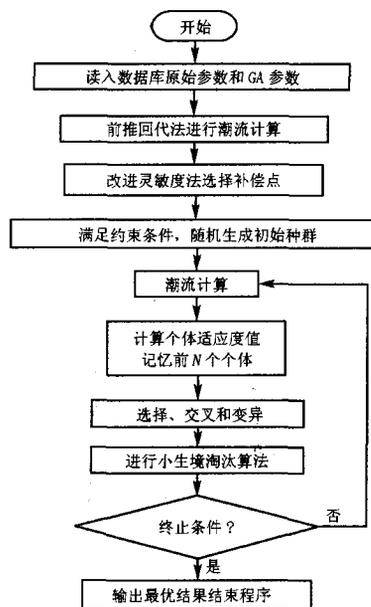


图 1 基于本文遗传算法的无功优化程序流程图

Fig.1 Flow chart of reactive power optimization based on GA

2.2 基于实数编码的交叉和变异的改进方法

文献[6]中小生境遗传算法的交叉概率 P_c 和变异概率 P_m 是固定不变的, 本文随着算法的进行将 P_c 和 P_m 作自适应调整, 即小生境技术和自适应遗传算法有机结合在一起, 将小生境内要进行交叉的两个个体进行算术交叉操作和非一致变异方式提高算法的性能和寻优能力。

3 基于罚函数的改进排挤小生境自适应遗传算法无功优化程序流程图

针对以上遗传算法的诸多改进方法无功优化计算程序流程图如图 1。

无功优化过程中无功补偿点的补偿容量作为控制变量进行实数编码生成种群。在进化阶段需要多次进行潮流计算来判断个体是否合格。

4 实例验证

利用 Visual C# 语言编制的基于改进排挤小生境自适应遗传算法的无功优化程序, 对某一实际 10 kV 配电线路进行优化, 该线路共有节点 42 个, 配变 20 台, 预计补偿点 5 个。遗传算法参数设定为: 种群大小 50, 最大迭代数 100。首先利用灵敏度方法确定补偿点, 然后分别用传统遗传算法和改进排挤小生境自适应遗传算法进行优化计算。因为遗传算法使用概率搜索, 在随机数种子不同的情况下计算出的值是不同的, 所以本文对改进遗传算法和传统遗传算法都作了 35 次计算, 取其最优解的平均值。计算结果如表 1 (对于 T 和 U_g 的变化限于篇幅不再一一列出, 仅列出 Q_c)。

表 1 计算结果比较

Tab.1 Comparison of calculative results

灵敏度 确定补 偿点	补偿 前电 压	传统遗传 算法补偿 /kvar	补偿 后电 压	电容器 投资费 用/元	投资回 收年限 /年	本文遗传 算法补偿 /kvar	补偿 后电 压	电容器 投资费 用/元	投资回 收年限 /年
1	9.387 5	16*5	9.39	3 850	4.72	25*3	9.40	3 025	3.93
2	9.401 2	16*1	9.41	1 540	3.26	16*1	9.41	1 540	3.01
3	9.712	25*4	9.8	3 700	4.28	30*3	9.9	3 250	4.19
4	9.279 4	25*3	9.37	3 025	3.56	30*3	9.58	3 250	3.32
5	10.234	25*3	10.3	3 025	3.86	25*3	10.35	3 025	3.54
费用总投资/元		传统遗传算法补偿: 15 140				本文改进遗传算法补偿: 14 090			
网损率/(%)		传统遗传算法补偿: 8.952 4				本文改进遗传算法补偿: 8.491 3			
程序运行时间/s		传统遗传算法补偿: 28				本文改进遗传算法补偿: 12			

该线路无功优化前网损为 9.68%，从表 1 计算结果可以看出，改进排挤小生境自适应遗传算法比传统遗传算法的优化结果要好，能更大限度的降低线路的网损率，提高运算速度，节省运行时间，缩短投资回收期。

5 结论

针对配电网的特点确定了无功优化的数学模型，建立了以投资回收年限作为评价电容器安装方案经济效益优劣标准的目标函数，通过采用改进排挤小生境自适应遗传算法，编制了配电网无功优化计算程序，在实际配电网中进行计算结果表明，改进排挤小生境自适应遗传算法收敛速度快，具有更高的实用性。

参考文献

- [1] 颜伟, 孙渝江, 罗春雷, 等. 基于专家经验的进化规划力法及其在无功优化中的应用[J]. 中国电机工程学, 2003, 23(7): 76-80.
YAN Wei, SUN Yu-jiang, LUO Chun-lei, et al. EP Basing on Specialist Experiences and Its Application to Var Optimization[J]. Proceedings of the CSEE, 2003, 23(7): 76-80.
- [2] 基于遗传算法的城市配电网无功综合优化[D]. 北京: 华北电力大学, 2001.
Reactive Power Optimization Based on Genetic Algorithm in City Distribution Network[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2001.
- [3] 徐郑. 配电网 10 kV 馈线及配变的无功规划研究 [D]. 重庆: 重庆大学, 2005.
XU Zheng. Research on Reactive Power Planning on 10 kV Feeders and Transformers in Distribution Network[D]. Chongqing: Chongqing University, 2005.
- [4] 任晓娟, 邓佑满, 赵长城, 等. 高中压配电网动态无功优化算法的研究[J]. 中国电机工程学报, 2003, 23(1): 31-36.
REN Xiao-juan, DENG You-man, ZHAO Chang-cheng, et al. Study on the Algorithm for Dynamic Reactive Power Optimization of Distribution System[J]. Proceedings of the CSEE, 2003, 23(1): 31-36.
- [5] 王小平, 曹立明. 遗传算法——理论、应用与软件实现 [M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2002.
- [6] 向铁元, 周青山, 李富鹏, 等. 小生境遗传算法在无功优化中的应用研究 [J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(17): 48-51.
XIANG Tie-yuan, ZHOU Qing-shan, LI Fu-peng, et al. Research on Niche Genetic Algorithm for Reactive Power Optimization. [J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25(17): 48-51.

收稿日期: 2006-12-04 修稿日期: 2007-01-11

作者简介:

张敬平(1981-), 女, 硕士研究生, 研究方向为电力系统分析运行与控制; E-Mail: jingpingzhang2005@163.com

梁志瑞(1959-), 男, 教授, 从事电力系统自动化、电气设备参数测量技术及故障分析的的教学与研究工。

(上接第 18 页 continued from page 18)

- [13] 李瑛, 王林山. 燃料电池[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2000.
LI Ying, WANG Lin-shan. Fuel Cell[M]. Beijing: Metallurgy Industry Press, 2000.
- [14] Milano F. Power System Analysis Toolbox Documentation for PSAT[M]. 2005.
- [15] Miao Z, Choudhry M A, Klein R L, et al. Study of a Fuel Cell Power Plant in Power Distribution System, Part I: Dynamic Model[A]. In: IEEE Power Engineering Society General Meeting[C]. 2004.
- [16] Winjnbergen S, de Haan S W H, Slootweg J G A System

for Dispersed Generator Participation in Voltage Control and Primary Frequency Control of the grid[A]. In: IEEE 36th Conference on Power Electronics Specialists[C]. 2005.

收稿日期: 2006-11-25 修回日期: 2006-12-20

作者简介:

李峰(1981-), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力系统稳定与控制; E-mail: lifengwx@163.com

李兴源(1945-), 男, 教授, 博士生导师, 中国电机工程学会理事, IEEE 高级会员, 研究方向为电力系统分析, 电力系统稳定和控制等方面。