

基于改进的人工鱼群算法的配电网无功优化

袁远¹, 陈劲操², 张俊芳²

(1.南京供电公司, 江苏南京 210008; 2.南京理工大学, 江苏南京 210009)

摘要:研究了基于变异算子与模拟退火算法混合的人工鱼群算法,对算法中的变异算子进行了改进,并提出了1种试探确定变异概率的方法;同时对配电网无功优化的模型进行了改进,将经济性目标 and 安全性目标相结合。将改进的人工鱼群算法运用到配电网无功优化中,实际系统的仿真计算结果表明,基于改进人工鱼群算法的配电网无功优化方法合理可行。

关键词:人工鱼群算法;配电网;无功优化

中图分类号:TM727

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2010)03-0032-03

无功优化是电力系统安全经济运行的一个重要组成部分。无功优化通过对无功电源的合理配置和对无功负荷的最佳补偿,不仅可以维持电压水平和提高电力系统运行的稳定性,还可以降低有功网损和无功网损,使电力系统能够安全、经济运行。目前常用的方法有常规优化算法,如线性规划法、非线性规划法、二次规划法、混合整数规划法、动态规划法等;人工智能算法,它包括模拟退火算法、禁忌搜索算法、群集智能化算法、混沌优化算法、人工鱼群算法等^[1]。人工鱼群算法具有良好的取得全局极值的能力^[2],但目前配电网无功优化中,尚未得到具体、有效的应用。如果根据无功优化的需求将人工鱼群算法中参数的确定方法进一步改进,并增强算法的搜索效率与精度,则其在无功优化领域的应用前景将会更加广阔^[3]。因此,本文尝试对人工鱼群算法进行改进,并将其应用于配电网无功优化领域。

1 无功优化数学模型

本文配电网无功优化模型是将经济性和安全性方面相结合作为目标函数的模型。经济性目标函数将项目投资额和年收益额进行汇总评价^[4]。安全性目标函数则是考虑到带安全性指标的电压水平最好,以安全性指标和电压水平的乘积作为安全性目标函数^[5]。

目标函数:

$$\begin{aligned} \min F = & \mu C_Q / (C_P - C_Z) + \sum_{i=1}^N \alpha_i \sum_{j=l_i+1}^{l_i} \left(\frac{U_j - U_i}{U_{j,\max} - U_{j,\min}} \right)^2 = \\ & \mu C_Q / (C_P - C_Z) + \alpha_1 \sum_{j=1}^{l_1} \left(\frac{U_j - U_1}{U_{j,\max} - U_{j,\min}} \right)^2 + \\ & \alpha_2 \sum_{j=l_1+1}^{l_2} \left(\frac{U_j - U_1}{U_{j,\max} - U_{j,\min}} \right)^2 + \dots + \alpha_N \sum_{j=l_{N-1}+1}^{l_N} \left(\frac{U_j - U_1}{U_{j,\max} - U_{j,\min}} \right)^2 \quad (1) \end{aligned}$$

式中: C_Q 为补偿设备的投资费用; C_P 为无功补偿的降损经济效益; $C_P = C \tau_{\max} \Delta P$; C_Z 为设备年折旧费用(取

10%)和年维护费用(取2%); α_i 为第*i*个区域的安全性指标,将配电网整体安全性指标 S_s 的倒数作为目标函数中的安全性指标 α_i ,该指标可定量表明事故后果严重程度,描述系统整体网架结构和安全性的强弱,对各个区域进行评估,得出表征其区域安全程度的 α_i ,其量值大的区域在运行中的安全问题较严重,在优化目标中所占的比重大,其电压和无功调节的重要性高于其余区域,调节所带来的影响在目标函数中更为突出。 $U_j, U_{j,\max}, U_{j,\min}$ 分别为节点*j*的电压幅值、电压上限和电压下限。

潮流方程约束:

$$\begin{cases} P_{G_i} - P_{L_i} = \sum_{i=1}^n U_i \sum_{j=1}^n U_j (G_{ij} \cos \delta_{ij} + B_{ij} \sin \delta_{ij}) \\ Q_{G_i} + Q_{C_i} - Q_{L_i} = \sum_{i=1}^n U_i \sum_{j=1}^n U_j (G_{ij} \sin \delta_{ij} - B_{ij} \cos \delta_{ij}) \end{cases} \quad (2)$$

变量约束可分为状态变量约束和控制变量约束。状态变量的不等式约束为:

$$\begin{cases} U_{i,\min} < U_i < U_{i,\max} \\ Q_{G_{i,\min}} < Q_{G_i} < Q_{G_{i,\max}} \end{cases} \quad (3)$$

控制变量的不等式约束为:

$$\begin{cases} T_{i,\min} < T_i < T_{i,\max} \\ Q_{C_{j,\min}} < Q_{C_j} < Q_{C_{j,\max}} \\ U_{G_{k,\min}} < U_{G_k} < U_{G_{k,\max}} \end{cases} \quad (4)$$

式(3)和式(4)中: $Q_{G_k}, Q_{G_{k,\max}}, Q_{G_{k,\min}}$ 分别为节点*k*的无功功率值、无功功率上限值和无功功率下限值; $T_i, T_{i,\max}, T_{i,\min}$ 分别为变压器节点*i*的档位值、档位上限值和档位下限值; $Q_{C_j}, Q_{C_j}, Q_{C_{j,\max}}$ 分别为可调电容器节点*j*的无功功率值、无功功率上限值和无功功率下限值; $U_{G_k}, U_{G_{k,\max}}, U_{G_{k,\min}}$ 分别为发电机节点*k*的电压幅值、电压上限值和电压下限值。

2 改进的人工鱼群算法(MAFSA)

2.1 基于变异算子与模拟退火算法(SA)相混合的人工鱼群算法

为了克服人工鱼群算法的缺点,将人工鱼群算法(AFSA)与变异算子和模拟退火算法相融合,形成变异算子与SA混合的AFSA。该算法整体分为2个过程:(1)全局搜索。在AFSA的搜索过程中引入类似遗传算法的变异算子,使部分人工鱼改变自身原有状态,从而能进入解空间的其他区域进行搜索,大大加快了获得全局最优解的速度,提高了得到全局最优解的概率;(2)局部搜索。根据带变异算子的AFSA所获得的全局极值满意解域,用SA进行局部细化搜索,从而获得高精度的解^[6]。

2.2 改进的变异算子

为了使变异行为能使人鱼群算法对函数寻得最优解产生影响,避免由于变异概率选取较大时陷入局部最优解,或当变异概率选取较小时,变异行为停滞不前。结合文献[7]和文献[8],将文献[6]中的变异概率 P_m 由凭经验选取一个固定值转变为采用一种试探选取变异概率的办法:在一段适合变异行为的变异概率范围中随机寻找一个变异概率,若不能实现变异行为,则利用步长来调节变异概率范围,使变异概率在另一个可行域内进行搜索。若能搜索到全局最优解,则结束变异行为。若在新选取的变异范围内,仍不能实现变异行为,则继续变换变异概率选取范围,直至其达到变异范围的最大值或最小值,达到变异概率最大允许值或最小允许值为止。这样,变异行为在算法中有相当大的概率使某个个体落入最优解,加快搜索到全局最优解的速度,避免结果陷入局部最优解。

2.3 带改进的变异算子与SA相混合的AFSA

由于改进了变异概率的确定方法,避免了当变异概率选取得太小时,常出现在 t 代内不发生变异,使得变异行为停滞不前,不能起到变异效果。同时也避免了当变异概率选取太大的时候,破坏算法的结构性和收敛性,还没有等到本次变异行为求得全局最优解的过程结束,新的变异行为就会开始执行,造成变异行为的效率变差,陷入早熟的状态。本文改进了变异概率的确定方法,确保了变异行为的顺利进行,使人工鱼群能够全面地搜索解空间,寻找全局最优解。对采用人工鱼群算法和变异行为操作所得到的全局最优解,再利用退火方法的局部搜索能力进行“精细搜索”^[6],最终得到最佳的近似精确极值。克服了人工鱼群算法很难求得高精度的近似最优解的缺陷。

3 基于改进的MAFSA配电网无功优化流程

采用基于改进的变异算子和SA相混合的人工鱼群算法求解无功优化问题,可以按以下步骤进行。

3.1 初始化数据

输入算法中所需的数据,对各人工鱼个体分别

模拟鱼群行为,寻找到最优个体,更新公告板。

3.2 执行变异操作

对鱼群内除公告板中最优个体外,其他所有人工鱼执行如下操作:

(1) 对各人工鱼的所有维分别产生随机数 $r_i \in (0, 1)$, $P_m \in (r_{\min}, r_{\max})$, 如果 $r_i < P_m$, 对该个体该维进行随机初始化;否则该维保持不变。

(2) 对新形成的鱼群计算各人工鱼的函数值 y , 并与公告板中的最优值进行比较,如果优于公告板,则以自身取代之。

(3) 若最优值在 T 次内不变,则说明当前的 $[r_{\min}, r_{\max}]$ 不合适,应调整变异概率范围: $r'_{\min} = r_{\min} + r_{\text{step}}$, $r'_{\max} = r_{\max} + r_{\text{step}}$ 。当 r_{\max} 到达 R_{\max} 时,则 $[r_{\min}, r_{\max}]$ 的调整方向应反向,直到 r_{\min} 到达 R_{\min} 后再反向,重复执行步骤(1)。

3.3 判断终止条件

如果达到变异终止条件,则执行第3.4节操作,否则转至执行3.2节操作。

3.4 模拟退火操作

对公告板中的人工鱼最优个体采用模拟退火方法进行局部搜索。

(1) 设定退火当前温度 t 为初始温度 t_0 , $k' \leftarrow 1$, 以公告板中的最优个体作为初始解 X 。

(2) $j \leftarrow 1$, 选中个体 X 的第 j 个子变量。

(3) 在温度 t 下重复执行如下步骤,直到达到在该温度下内循环的停止条件。

① 若 j 大于个体 X 的变量维数 D 时,则 $j \leftarrow 1$ 。

② 对个体 X 中的子变量 x_j 进行模拟退火过程,即调整子变量 x_j 大小。

③ 子变量 x_j 调整后产生新的个体为 X' ,计算的目标函数 $f(X')$ 与 X 的目标函数 $f(X)$ 的差值 ΔP ,若 $\Delta y < 0$,则接受新状态 $X \leftarrow X'$,执行第(4)步;否则若 $\exp(-\Delta y/t) - \Delta y/t > \text{Random}(0, 1)$,则要接受新状态 $X \leftarrow X'$, $j \leftarrow j+1$ 重复执行第(3)步,否则不接受新状态, $j \leftarrow j+1$,重复执行第(3)步。

(4) 退火修改温度值。若进化次数小于预定最大进化次数 k_{\max} ,则修改退火温度,即令 $t \leftarrow c \times t$, $k' \leftarrow k'+1$,返回执行第(3)步,否则转到第(5)步执行。

(5) 退火过程结束^[6]。

3.5 输出

输出利用基于改进的变异算子和SA相混合的人工鱼群算法进行优化后所得的公告板中的最优值和最优解个体。

4 实例分析

以某城市18节点低压配电网系统作为试验系统,18节点低压配电网系统接线见图1。采用基于变

异算子和 SA 的人工鱼群算法对系统进行优化。

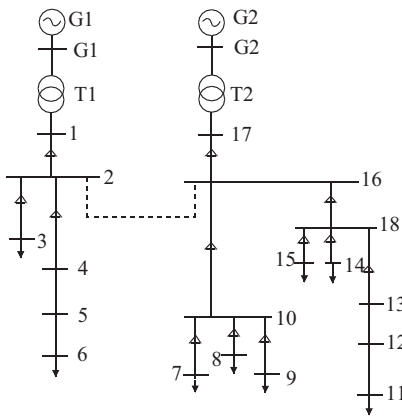


图 1 18 节点低压配电网系统接线

采用 MAFSA 算法和改进的 MAFSA 算法的参数选择分别为:人工鱼群体规模 $number = 50$, 移动步长 $step = 0.005$, 人工鱼的可见域 $visual = 0.025$, 拥挤度因子 $\delta = 1.618$, 基准功率 $S_B = 100 \text{ MW} \cdot \text{A}$, 温度冷却系数 $c = 0.85$, 退火初始温度 $t_0 = 50 \text{ }^\circ\text{C}$, 退火最大迭代次数 $k_{\max} = 6$, 算法最大迭代次数 $G_{en,\max} = 10$ 。在改进的 MAFSA 中人工鱼个体的变异范围的最小值 $r_{\min} = 0.004$, 变异范围的最大值 $r_{\max} = 0.014$, 变异步长 $r_{\text{step}} = 0.001$, 变异概率允许最小值 R_{\min} 为 0.004, 变异概率允许的最大值 R_{\max} 为 0.014, 变异行为迭代最大值 T 为 5。

按照地理位置划分区域, 将节点 1, 2, 3, 4, 5, 6 节点划分为区域 1, 将剩余的节点部分划分为区域 2。采用 AFSA 算法、MAFSA 算法及改进的 MAFSA 算法分别进行了计算, 结果如表 1 和表 2 所示, 这 3 种方法的目标函数值分别为 0.057 91, 0.055 2 及 0.049 12, 可以看出, 改进的 MAFSA 算法所求最小, 即最优。

表 1 3 种算法经济性方面的结果比较

算法	投入电容量 /kvar	$\Delta P_{\text{Loss}}/\text{kW}$
AFSA	288.1	761
MAFSA	294.58	786
改进 MAFSA	298.251	863
投入资金 / 万元	收益资金 / 万元	投资回收期
1.152 4	399.843 3	0.002 882
1.178 32	412.980 2	0.002 853
1.193	453.449 6	0.002 6

表 2 3 种算法安全性方面的结果比较

算法	区域 1 节点电压偏离值平方	区域 2 节点电压偏离值平方
AFSA 算法	0.591 829	1.402 285
MAFSA 算法	0.329	1.389 584
改进 MAFSA 算法	0.270 864	1.238 597

目标函数中经济性方面的投资回收期公式为 $C_Q / (C_P - C_Z)$, 为补偿设备的投资费用; C_Q 为无功补偿的降损经济效益, $C_P = C \tau_{\max} \Delta P$; C_Z 为设备年折旧费用(取 10%)和年维护费用(取 2%)。从表 1 可看出, 从经济性投资回收期方面看, 虽然改进的 MAFSA 所求得的补偿电容的容量要略高于 AFSA 和 MAFSA 的结果, 但改进的 MAFSA 减少的有功网损 ΔP_{Loss} 要远大于由 AFSA 与 MAFSA 的值。故投资回报期中, 由改进的 MAFSA 优化后的结果最好。

从表 2 安全性方面来看, AFSA, MAFSA 与改进的 MAFSA 3 种算法计算出的电压水平相比, 由改进的 MAFSA 算法优化后, 不但保证了系统的正常运行, 还使得其电压水平最好。

5 结束语

通过 18 节点的低压配电网系统的实例分析, 可得出这样的结论: 改进后的 MAFSA 算法能够全面地搜索解空间, 得到全局最优解, 避免陷入局部最优解, 提高了算法的收敛性。改进后的配电网无功优化模型, 在考虑了配电网中各区域安全性指标的情况下, 同时考虑了投资回报期和电压水平最好的条件, 故更具有实际应用的价值。

参考文献:

- [1] 卢志刚, 刘 健, 吴 杰, 等. 人工鱼群算法在配电网网架规划中的应用[J]. 高电压技术, 2008, 34(3): 565-568, 602.
- [2] 李晓磊, 钱积新. 基于分解协调的人工鱼群优化算法研究[J]. 电路与系统学报, 2003, 8(1): 1-6.
- [3] 唐剑东, 熊信银. 基于人工鱼群算法的电力系统无功优化[J]. 继电器, 2004, 32(19): 9-12.
- [4] 张敬平, 梁志瑞, 苏海峰, 等. 基于改进排挤小生境遗传算法配电网无功优化研究[J]. 继电器, 2007, 35(10): 19-22.
- [5] 李 晨, 涂光瑜. 考虑区域安全评估指标的配电网无功优化[J]. 高电压技术, 2007, 33(9): 134-137.
- [6] 张梅凤, 邵 城. 基于变异算子与模拟退火混合的人工鱼群优化算法[J]. 电子学报, 2006, 34(8): 1381-1385.
- [7] 周激流, 郭 晶. 一种可寻得全局最优解的改进变异算子[J]. 控制理论与应用, 2001, 18(5): 755-758.
- [8] 祁 辉, 周树明, 熊 鹰. 含步长加速变异算子的微粒群算法[J]. 成都大学学报(自然科学版), 2006, 25(4): 250-253.
- [9] 高岳林, 任子晖. 带有变异算子的自适应粒子群优化算法[J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(25): 43-47.

作者简介:

袁 远(1983-), 女, 江苏南京人, 硕士, 主要从事电力系统自动化工作;

陈劲操(1956-), 男, 江苏南京人, 教授, 主要研究方向为电力电子与电力系统自动化;

张俊芳(1968-), 女, 陕西西安人, 副教授, 主要研究方向为电力系统自动化。

(下转第 38 页)

参考文献:

- [1] 黄 坚,王 亮,尤承佳. 双线并馈运行方式的实践[J]. 江苏电机工程,2008,27(3):37-39.
- [2] 谢幸生. 线路热备用断路器防雷探讨[J]. 高电压技术,2004,30(2):26-28.
- [3] 肖开进,鲁庭瑞. 电力系统继电保护原理及实用技术[M]. 北京:中国电力出版社,2006.
- [4] 刘金官,王 展,汪献忠. 220 kV 微机型备用电源自动投入装置研究[J]. 电力自动化设备,2005(1).
- [5] 周 伟,张建侠,陈建国,等. 同期功能在冰灾后电网恢复中的应用[J]. 贵州电力技术,2008(4):1-4.
- [6] 申乐友,叶念国. 微机型自动准同步装置的设计和应用[M]. 北京:中国电力出版社,2002.

作者简介:

许栋栋(1980-),男,江苏丹阳人,工程师,主要从事电网调度运行工作;

张 勇(1968-),男,江苏南京人,高级工程师,主要从事电网调度运行工作;

秦旭东(1974-),男,江苏扬州人,工程师,主要从事电网调度运行工作;

汪志成(1979-),男,安徽黄山人,工程师,主要从事电网调度运行工作。

Discussion about Some Questions of the Operation of 220 kV Backup Lines in Jiangsu Power Grid

XU Dong-dong, ZHANG Yong, QIN Xu-dong, WANG Zhi-cheng

(Jiangsu Electric Power Dispatching and Communication Center, Nanjing 210024, China)

Abstract: This paper discusses the problems in the operation of 220 kV backup lines in Jiangsu power grid, the functions, primary operation modes, protective selection and the application of automatic device configuration of 220 kV backup lines are introduced, and the corresponding solutions and recommendations are proposed. It will greatly improve the quality of power grid operation through the enhancement of the operation management and research of backup lines, giving the backup lines full play to a role, having reliable, fast and flexible stand-by.

Key words: backup line; split-phase current differential protection; automatic switch device; synchronization device

(上接第 34 页)

Distribution Network Reactive Optimation Based on Improved Artificial Fish Swarm Algorithm

YUAN Yuan¹, CHEN Jin-cao², ZHANG Jun-fang²

(1. Nanjing Power Supply Company, Nanjing 210008, China;

2. Nanjing Science and Technology University, Nanjing 210009, China)

Abstract: The artificial fish swarm algorithm, which is combined with the mutation operator and simulated annealing algorithm is researched. We have improved the mutation operator and presented a method to tentative determining of mutation probability, and The economic objective function and security objective function is combined to improve the established optimization models of reactive power distribution network. The artificial fish algorithm which combined the improved mutation operator and simulated annealing algorithm is applied to the reactive power optimization, the actual system is taken as an example to calculate, The result shows that the improved algorithm for reactive power distribution network optimization can be reasonable and feasible.

Key words: artificial fish swarm algorithm; distribution network; reactive optimation

赵小均的“新花招”

国家电网世博企业馆的设计师是包揽了水立方在内的 6 个奥运场馆的赵小均先生。赵小均自称此次的展馆设计是他的又一次“创新”的挑战和“梦想”的追求,希望它“可以没有那么澎湃和张扬,却一定昭示着一种内敛的活力和激情”。而“环保、节能、亲民”是赵小均倾注在此次展馆设计中的全新建筑气质。赵小均这次的绝招是“建筑网格表皮”。

展馆两侧的建筑上,覆盖着颇为神秘的网格状的肌理,看上去粗细交错、虚实相间,很抽象,很现代,又绝对能让人耳目一新。据悉,这是从城市网络肌理和供电系统网络结构得来的灵感,暗喻着安全、优质、清洁、可靠供电的电网创新之路。更有意思的是,除了这些神秘网格,展馆建筑表面还密密麻麻地布满了大大小小的圆孔,简直有点童话世界的味道,颇有趣味。据赵小均设计师解释,这些圆形的穿孔不仅是亮丽的摆设,同时,它还是一个简单又奥妙的环保装置——能满足展馆内部分区域的自然采光需求。