

基于改进模拟植物生长法的配电网重构

于永哲, 黄家栋

(华北电力大学电气工程学院, 河北 保定 071003)

摘要: 提出使用改进模拟植物生长法求解配电网重构问题。该算法充分考虑植物生长过程中的智能化因素, 避免了搜索过程中的随机机制, 缩小了搜索空间, 减少了迭代次数。以未来一段时间内网损最小为目标函数, 建立配电网重构的数学模型。根据配电网的结构特点, 以基本环路为单位形成可断开关集, 避免了一些不可行解的产生, 降低了变量的维数, 提高了搜索效率。通过对IEEE69节点测试系统的计算和分析表明, 该方法在解决配电网重构问题上具有很高的搜索效率和寻优性能。

关键词: 网络重构; 改进模拟植物生长算法; 配电网; 电力系统

Reconfiguration of distribution network based on improved plant growth simulation algorithm

YU Yong-zhe, HUANG Jia-dong

(North China Electric Power University, Baoding 071003, China)

Abstract: Distribution network reconfiguration using improved plant growth simulation algorithm is proposed. The algorithm fully considers the intelligent factor in the process of plant growth. It can avoid random mechanism in searching process, which compresses the searching space and reduces the iteration number. This paper selects minimum network loss in the near future as objective function to establish the mathematical model of distribution network reconfiguration. According to the characters of distribution network, the sets of switches are formed that can be opened by basic loops. It can avoid the production of the infeasible solutions, which dramatically reduces the dimension of variable and improves the efficiency of calculation. The test result on IEEE 69-bus distribution network shows the prominent efficiency and significant global optima searching performance.

Key words: reconfiguration; improved plant growth simulation algorithm; distribution network; power system

中图分类号: TM76

文献标识码: A

文章编号: 1674-3415(2010)02-0040-04

0 引言

配电网含有大量常闭和常开开关, 网络重构的主要目的是通过改变线路开关的状态来变换网络结构以平衡各馈线的负荷, 消除过载, 降低网损, 从而提高网络的供电能力和供电质量。从理论上讲, 配电网网络重构问题是一个复杂的大规模非线性整数组合优化问题。目前, 见诸于文献的求解方法主要有: ①传统的数学优化方法, 其优点是可以得到不依赖于初始网络结构的全局最优解, 但存在严重的“维数灾”; ②启发式方法, 其优点是计算速度快, 物理概念清晰, 但缺乏数学意义上的全局最优; ③人工智能方法, 这些算法需给出诸如惩罚系数、初始染色体群、交叉率、变异率、初始粒子群等直接影响计算速度和收敛性的参数。尽管为了改善收敛性和提高计算速度, 先后出现了很多针对上述算法的改进方法和混合算法, 但并没有根本解决收敛

问题。

本文尝试将具有较强全局搜索能力的、且约束条件和目标函数分开处理的改进模拟植物生长法应用于求解配电网重构问题。模拟植物生长的仿生思想比较惹人注意, 取得了一定的成效, 但是由于采用了随机算法并且没有考虑植物生长中智能化的因素, 因此搜索空间大、迭代次数多, 导致有的问题不能很好解决。而改进模拟植物生长法采用植物顶点变速度生长特点来减少搜索时间, 利用植物生长期前期纵向型生长特性来大大减少搜索空间, 因此能够在更少的时间内得到更优解。

1 配电网重构的数学模型

1.1 目标函数

配电网重构的目标函数有很多, 选择未来一段时间内的网损最小为目标函数, 其表达式可以表示为

$$\min f = \sum_{i=1}^n k_i r_i \frac{P_i^2 + Q_i^2}{U_i^2} \quad (1)$$

式中: n 为系统支路总数; i 为支路编号; r_i 为支路 i 的电阻; P_i 、 Q_i 为支路 i 流过的有功功率和无功率; U_i 为支路 i 末端的节点电压; k_i 为开关的状态变量, 0代表打开, 1代表闭合。

1.2 约束条件

不等式约束包括电压约束、支路过载约束、变压器过载约束等, 即

$$U_{i\min} \leq U_i \leq U_{i\max} \quad (2)$$

$$S_i \leq S_{i\max} \quad (3)$$

$$S_i \leq S_{i\max} \quad (4)$$

式中: $U_{i\min}$ 和 $U_{i\max}$ 分别为节点电压下限和上限值; S_i 和 $S_{i\max}$ 分别为第 i 条支路流过功率的计算值及其最大容许值; S_i 和 $S_{i\max}$ 分别是变压器流出的功率和最大容许值, 若一个变压器处有若干条馈线, 则 S_i 为这些馈线根节点处的功率之和。

2 改进模拟植物生长法的描述

2.1 植物生长自然现象

植物的生长过程, 是同化作用和异化作用相互作用的过程, 并定义净生长力等于生长动力与生长阻力之差(如图1所示), 则当净生长力大于0时, 植物就开始生长; 等于0时的动态平衡状态就是植物呈现长大了的成熟期状态, 此时把植物所占空间称为生长空间; 小于0则植物开始枯萎衰败。当树枝的净生长力大于0时, 树枝的节点就开始生长, 当存在多个待生长的树枝节点时, 净生长力最大的节点优先获得生长机会^[1]。

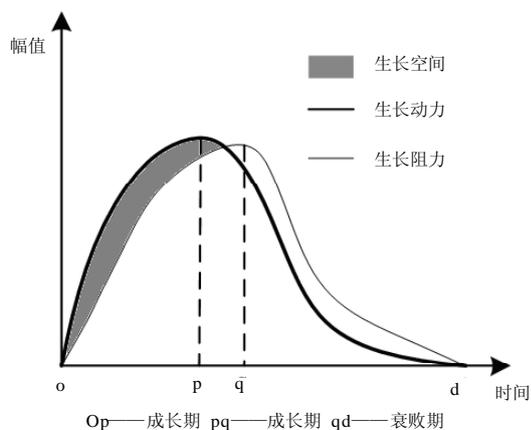


图1 植物生长过程

Fig.1 Plant growth process

一般来说, 植物的最高树枝并不是到成熟期才长成的, 而是在成长期就已经长成。植物最高树枝(顶点)生长特点是: 以很大的出速度呈减速度生长; 植物生长的趋势如图2所示。在成长期主要纵向型生长(向上生长), 后期主要是横向型生长(向四周生长)。因此, 利用这些特点, 就不必要搜索整个生长空间就可以得到全局最优解。

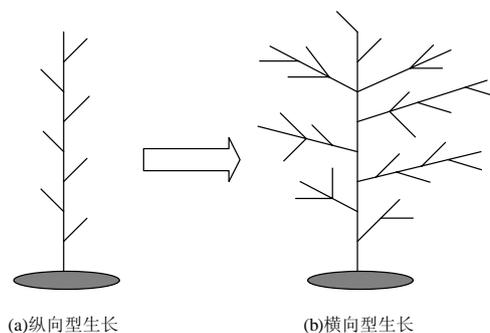


图2 植物生长模式图

Fig.2 Plant growth model

2.2 植物生长自然现象的智能模拟

考虑到最终顶点树枝是生长最快的树枝, 记录下从开始到搜索出当前顶点树枝所用的搜索步骤数, 当在接下来的搜索步骤内, 顶点树枝没有任何变化, 则认为已经搜索到所有全局最优解。智能模拟算法简要步骤如下:

(1) 设置第一个树枝 X_0 , 生长步长 $step=step_0$, 树枝集合 $allset=\{\}$, 树的顶点 $X_{\min}=\{X_0\}$, 树的顶点高度 $F_{\min}=f(X_0)$, 生长树枝集合 $growset=\{X_0\}$, 搜索步数 $nums=0$, 顶点高度保持步数 $nochanged=0$, $k=K_0$, $s=1$, 搜索最优值所耗步数 $numsbak=n$ 。

(2) 从 $growset$ 中选择一个净生长力最大的树枝 X_t , 即 $X_t=\max\{f(X_0)-f(X_i), X_i \in growset\}$, 并在 $growset$ 中删除 X_t 及将 X_t 加入到 $allset$ 中, 置 $nums=nums+1$ 。在 X_t 的 $2n$ 个方向上依次生长新树枝 X_t^i 。

如果 X_t^i 在生长空间, 则将 X_t^i 加入到 $growset$ 中。

如果 X_t^i 不在生长空间中并且 $step>1$, 则将 $step=step-1$ 。

如果 X_t^i 满足条件 $F_{\min}=f(X_t^i)$, 则将 X_t^i 加入 X_{\min} 中, $nochanged=0$ 。

如果 X_t^i 满足条件 $F_{\min}<f(X_t^i)$, 则 $X_{\min}=\{X_t^i\}$, $F_{\min}=f(X_t^i)$, $nochanged=0$, $numsbak=nums$, $s=s+1$ ($S_0 \cdot n$)。

如果 $k>1$, 则 $k=k-1$ 。

如果 X_t^i 满足条件 $F_{min} > f(X_t^i)$, 则 $nochanged = nochanged + 1$ 。

- (3) 如果 $nochanged < k \cdot numsbak/s$, 则转向(2)。
- (4) 输出 X_{min} 及 F_{min} , 退出。

3 基于改进模拟植物生长法的配电网重构

3.1 简化搜索空间

在诸多配电网重构方法中一般采用开关状态作为问题的变量。但在配电网中存在很多的常闭或常开开关, 迭代过程中会出现大量的不可行解。本文对这一表示方法进行了改进, 即在重构前先搜索各个基本环路找出可动作的开关, 形成可断开开关集, 可以有效减小搜索空间。以图3为例, 依次合上开关T33、T35、T34、T37和T36后, 将形成环路1、环路2、环路3、环路4和环路5五个基本环路。D₁、D₂、D₃、D₄和D₅分别为环路1、环路2、环路3、环路4和环路5的可断开开关集合。当从D₁、D₂、D₃、D₄和D₅中各取一个开关编号将相应开关断开其余开关闭合可得到配电网的一个可行辐射结构。处在同一个支线上且同时属于两个基本环路的开关是互相关联的, 其中一个开关处在断开状态时, 其它几个开关必须处在闭合状态^[2]。

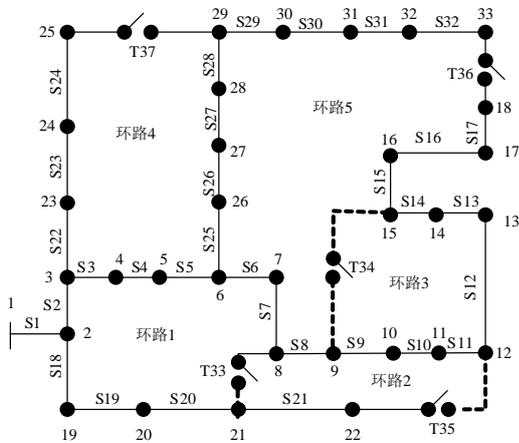


图3 IEEE33节点测试系统
Fig.3 IEEE33 bus sample system

3.2 基于改进模拟植物生长法的配电网重构流程

图4是基于改进模拟植物生长法的配电网重构流程图。

(1) 读入配电网的基本数据, 包括电源点的电压、节点编号、节点负荷值、开关编号、开关两端节点号、开关初始状态和开关所属环路编号等。

(2) 根据基本环路数确定变量集, 并根据各环路的开关数及其状态, 生成各环路的可断开开关集合矩

阵。

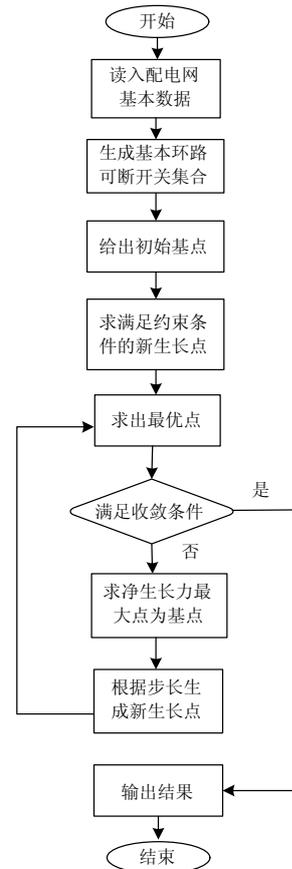


图4 改进模拟植物生长法流程图
Fig.4 Flow chart of improved plant growth simulation algorithm

(3) 设初始值 X_0 , 可选取所有联络开关对应的编号为 X_0 。根据初值 X_0 计算网络的初始潮流, 看结果是否满足约束条件, 如果不满足则重新选择初值。如果满足则求出网络损耗, 即目标函数值 $f(x_0)$ 。

(4) 以基点 X_B 和步长 $step$ 得出新的生长点。在 X_B 的 n 个方向上依次搜索满足约束条件的生长点继续计算其对应的目标函数值。其中 n 为网络中的基本环路数。为了加快搜索速度可以根据情况随时更改步长 $step$ 。

(5) 求出第(4)步所得各生长点中净生长力最大的点, 如果同时该点净生长力大于0, 则该点的生长空间最大即目标函数最优, 若该点的目标函数值小于 f_{min} 则置换 f_{min} 及 X_{min} 。

(6) 判断是否满足收敛条件: 采用最优解连续重复出现的次数 m 作为收敛判据, 若达到规定次数, 计算结束; 否则, 继续进行下一步。 m 的大小视问题的规模和复杂程度而定。

(7) 生成新的生长点。以净生长力最大的点为基

点, 生成新的生长点。

4 算例分析

本文算例分析采用的算例69节点系统是一个

额定电压为12.66 kV的配电网(初始网络如图5所示), 有69个节点、74条支路、5个联络开关, 总负荷为3 802.2 kW+j2 694.6 kvar。进行仿真实验后, 得到计算结果如表1所示。

表1 配电网重构前后结果

Tab.1 Results before and after reconfiguration

算例	初始网络	优化网络	初始网损/kW	优化后网损/kW	初始最低节点电压 /pu	重构后最低节点 电压/pu
IEEE69	13-20/15-69/39-	13-20/14-15/43-	228.70	100.96	0.891	0.933
	48/11-66/27-54	44/11-66/50-51				

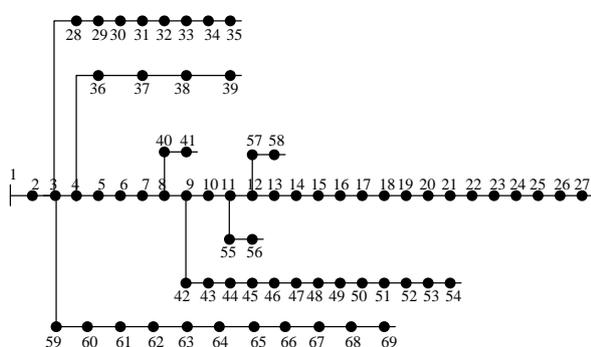


图5 69节点配电网系统图

Fig.5 Schematic diagram of 69-bus distribution system

从表1中可以看出, 通过配电网重构, 不仅网损大大降低, 而且节点电压质量得到改善。在算例的分析中, 本文把几种算法的性能进行了比较如表2所示。采用本文算法最少只需迭代8次就能找到最优解。

表2 不同算法中最小迭代次数的比较

Tab.2 The smallest number of iterations for different methods

算法	文献[2]	文献[3]	本文方法
迭代次数	9	15	8

5 结论

将改进模拟植物生长法应用于配电网重构。该方法简单明了, 容易理解, 同时降低了变量维数, 有效减小了重构过程中的搜索范围, 提高了计算效率。通过比较算例的计算结果可见, 改进模拟植物生长法的寻优性能明显优于其他算法, 显示了本文所提方法的优越性和可行性。

参考文献

[1] 罗伟强, 于建涛, 黄家栋. 一种求非线性整数规划最优

解的仿生算法[J]. 计算机工程与应用, 2008, 44(7):57-41.

LUO Wei-qiang, YU Jian-tao, HUANG Jia-dong. Bionic Algorithm for Solving Nonlinear Integer Programming[J]. Computer Engineering and Applications, 2008, 44(7):57-59.

[2] 王淳, 程浩忠. 基于模拟植物生长算法的配电网重构[J]. 中国电机工程学报, 2007, 27(19): 50-55.

WANG Chun, CHENG Hao-zhong. Reconfiguration of Distribution Network Based on Plant Growth Simulation Algorithm[J]. Proceedings of the CSEE, 2007, 27(19): 50-55(in Chinese).

[3] 陈跟军, 李继洸, 唐国庆. 基于Tabu搜索的配电网重构算法[J]. 中国电机工程学报, 2002, 22(10): 28-33. CHEN Gen-jun, Li K K, TANG Guo-qing. A Tabu Search Approach to Distribution Network Reconfiguration for Loss Reduction[J]. Proceedings of the CSEE, 2002, 22(10): 28-33(in Chinese).

[4] 胡敏姜, 陈元. 配电系统最优网络重构的模拟退火算法[J]. 电力系统自动化, 1994, 18(2):24-28.

HU Min-you, CHEN Yuan. Simulated Annealing Algorithm of Optimal Reconstruction in Distribution System[J]. Automation of Electric Power Systems, 1994, 18(2):24-28.

[5] 刘莉, 陈学允. 基于模糊遗传算法的配电网重构[J]. 中国电机工程学报, 2000, 20(2): 66-69.

LIU Li, CHEN Xu-eyun. Reconfiguration of Distribution Networks Based on Fuzzy Genetic Algorithms[J]. Proceedings of the CSEE, 2000, 20(2):66-69(in Chinese).

收稿日期: 2009-02-15; 修回日期: 2009-04-28

作者简介:

于永哲(1983-), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力系统继电保护、电力系统自动化控制; E-mail: yyzhe163@163.com

黄家栋(1961-), 男, 副教授, 主要研究方向为电力系统自动化控制、计算机技术在电力系统中的应用。