

“ $N-1$ ”安全输电网优化规划

张俊芳, 吴军基, 康明才, 杨伟, 郭新红

(南京理工大学, 江苏 南京 210094)

摘要: 采用遗传算法, 通过“ $N-1$ ”安全分析, 求取既满足正常运行条件, 又满足 $N-1$ 安全检验的输电网规划方案。经对 IEEE6 节点实验系统的计算分析, 获得了满意的结果。

关键词: 输电网规划; $N-1$ 安全分析; 遗传算法

中图分类号: TM715 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2000)09-0025-03

1 引言

电网规划的任务是在保证电力安全可靠地输送到负荷中心的前提下, 使电网建设和运行的费用最小。电网规划方案既要满足正常运行技术条件, 同时又要满足某些异常情况下网络安全运行要求。

目前常见的网络安全运行要求是满足 $N-1$ 检验, 所谓 $N-1$ 检验是在全部 N 条线路中任意开断一条线路后, 系统各项运行指标仍能满足给定要求, 当其中任意一条线路开断后引起系统其它线路过负荷或系统解列时, 说明网络没有满足 $N-1$ 检验原则。

长期以来, 许多电力工作者在这方面做了大量工作, 一般的算法是首先建立满足正常运行的优化网络接线方案; 然后进行断线分析, 再进行网络扩展, 直到网络满足 $N-1$ 检验原则为止。这样分两步进行, 难以保证整体最优。

本文采用遗传算法, 从全局出发, 把寻找满足正常运行条件的初始网络与 $N-1$ 安全检验结合起来, 根据需要列出所有最优、次优的方案以供规划人员根据实际情况进行选择, 这样避免结果落入局部最优的可能。

2 遗传算法

遗传算法是将自然界的遗传机理抽象出来, 形成了一种非常便于计算机实现的新型优化算法^[1]; 其计算过程是首先将实际的优化问题编码成符号串, 也称染色体, 将实际问题的目标函数转变为染色体的适应函数, 然后在随机地产生一批初始染色体的基础上, 根据各染色体的适应函数值进行生殖、交叉、变异等遗传操作产生下一代染色体。适应函数值的大小决定了该染色体被繁殖的机率, 从而反映了适者生存的原理。这样经过逐代遗传, 就会产生一批适应函数值很高的染色体。最后将这些染色

体解码还原就可以获得原问题的解。

本模型中染色体是一个具有固定结构的符号串, 它的总位数称为染色体的长度; 每一代产生的染色体总数称为染色体域。染色体中由一位或几位符号组成的基本信息单位称为基因, 为计算机实现方便, 符号通常为 0 和 1。在前代染色体域的基础上产生新一代染色体域的工作称为遗传操作, 基本的遗传操作有以下三种:

生殖操作: 根据前代染色体的适应函数值确定的繁殖概率选择染色体并将其拷贝到下一代, 染色体不发生变化。

交叉操作: 根据交叉率选择两个已经繁殖染色体作为母体, 再随机的选择一个交叉位置, 将两个母体位于交叉位置后的符号串互换, 形成两个新染色体。

变异操作: 在生殖和交叉操作过程中根据变异率随机地将某位基因的值逆变, 如由 0 变成 1 或由 1 变成 0, 形成一个新的染色体。

为了避免已经出现的好方案在遗传过程被丢失, 同时为了提高收敛速度可以将目前最好的几个染色体保留起来, 称为保留优良品种。将其直接遗传到下一代, 这样就保证了历代出现的好方案均不会丢失。但保留优良品种数过多, 会影响收敛速度和计算结果, 通常选取总数的 10% 比较好。

经过一系列的遗传迭代, 对优良品种的保留、更新(变异)和生殖, 会大大减少迭代的次数, 也会给迭代过程指出方向, 从而朝着全局最优的方向发展。

3 基于遗传算法的“ $N-1$ ”安全电网规划

电网规划的任务是在以未来电力负荷预测和电源规划为依据, 在现有电网结构和给定的待选线路的基础上, 确定既要满足正常运行技术条件, 同时又要满足“ $N-1$ ”检验的安全、经济网络的规划方案。

本模型的经济性只计及线路的建设投资费用,安全性要求主要指线路不出现过负荷。

3.1 染色体编码

采用遗传算法进行安全电网规划,首先是染色体的编码,即首先将各待选线路排序,然后按此顺序将每条待选线路作为染色体中的一个基因^[2]。当基因值为1时,表示其对应的待选线路选中被加入系统,当基因值为0时则相反。

3.2 适应函数

适应函数要反映电网规划的目的和要求,即要使规划方案建设投资最小,并不出现过负荷,为此构造适应函数为:

$$f = \begin{cases} C_0 - C & C < C_0 \\ 0 & C > C_0 \end{cases}$$

C_0 为事先给定的大数。

C 为规划方案的总费用,计算公式为:

$$C = \sum C_i Z_i + K \sum_{l=1}^L p_l - \bar{p}_l$$

式中 C_i —为待选线路 i 的建设费用;

Z_i —为染色体中第 i 位基因值;

L —为过负荷线路数;

K —为惩罚系数;

\bar{p}_l —线路 l 的传输容量;

p_l —线路 l 的有功潮流,其值可根据精度的需要采用交流潮流法或直流潮流法计算。

3.3 故障排序和过负荷检验

根据遗传算法基本操作得到的方案中,再采用自动故障选择技术简单快速地将可能造成系统事故的状态,从系统的状态空间中挑选出来。

利用正常情况下的潮流计算结果和系统参数,直接求取断开任意一条线路 K 后的性能指标

$PI_k^{[3]}$:

$$PI_k = 2 \sum_k A_k + \sum_k \sum_k \frac{w_k B_k^2}{P_{kmax}^2} (1 + \sum_k k)^2 \sum_k$$

其中 $k = \frac{1}{-x_k + r_k}$, 当 $-x_k + r_k = -x_k + x_{ii} +$

$x_{ji} - x_{ij} - x_{ji} = 0$ 时, k 表明断开线路 K 后,系统出现解列现象。由此可找出系统中所有断开后引起系统解列的线路,被解列的系统包含的节点集合构成一个关键区域。 k 越大,说明断开线路 K 引起系统过负荷的可能性越大。

根据 k 的大小就可列出线路故障排序表,根据此表依次进行过负荷检验,判断线路断开后是

否会引起系统其它线路过负荷。

找出被解列的关键区域及过负荷线路,再利用遗传操作修正网络结构,消除这些不安全因素,最后满足 $N-1$ 检验。

4 计算流程

根据上述模型已编制了计算程序,并在微机上实现,计算过程如图1所示。

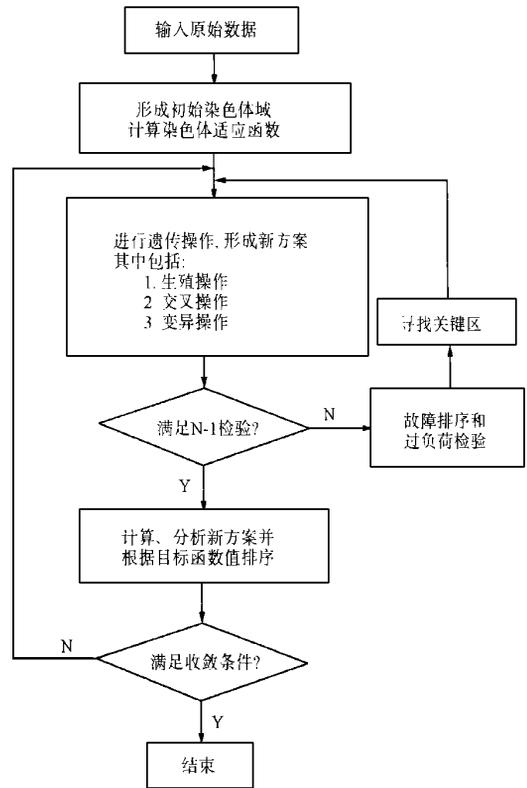


图1 计算流程

5 算例

本文采用的算例是 IEEE-6 节点系统,待选线路、网络结构、节点净注入功率如图2所示。在计算过程中取染色体域 $POP = 60$,交叉率 $P_c = 0.6$,变异率 $P_m = 0.3$,保留优良品种数取6,经过遗传迭代后,选取二个优化方案,如图3所示,方案一的总架线长度为291km,方案二的总架线长度为298km,方案一比方案二少7km,同时从有功潮流分布情况来看,方案一较合理。

计算过程中为了提高计算速度,在找到关键区后,主要针对与关键区域相关的节点和线路进行遗传操作,使收敛速度加快。

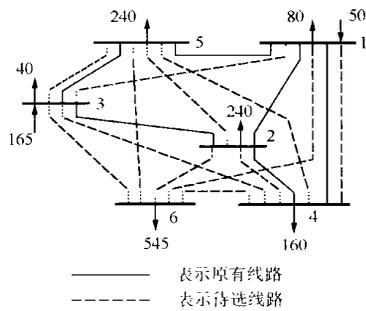


图2 网络结构

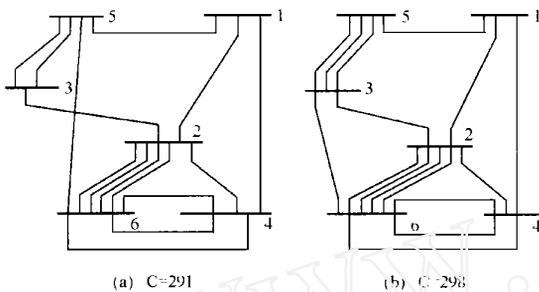


图3 规划结构

经过遗传迭代之后,可以看出,采用以上算法优化,是从全局出发,寻找到满足 $N-1$ 安全电网优化方案,这样避免了一些方案在满足正常运行时看似

较差而否定,但却在满足 $N-1$ 安全电网扩展时结果最优的可能性。

6 结论

本文利用遗传算法,进行了“ $N-1$ ”安全电网优化规划,有效地实现了全局最优,省去了常规方法分两步进行的复杂繁琐计算,同时也避免了结果落入局部最优的可能。

参考文献:

- [1] Goldberg DE. Genetic algorithm in search, optimization and machine learning [M]. Addison wesley publishing company Inc, 1985
- [2] 王秀丽,王锡凡. 遗传计算在输电系统规划中的应用[J]. 西安交通大学学报, 1995, 29(8): 1~9.
- [3] 王锡凡. 电力系统优化规划[M]. 北京:水利电力出版社, 1990.
- [4] Carver LL. Transmission network estimation using linear programming[J]. IEEE Trans PAS, 1997, 89(7).

收稿日期: 2000-03-10

作者简介: 张俊芳(1965-),女,硕士,讲师,从事电力系统规划及配网自动化的研究; 吴军基(1955-),男,硕士,副教授,从事电力系统调度自动化和检测技术研究。

Transmission network plan based on the $N-1$ safety condition

ZHANG Jun-fang, WU Jun-ji, KANG Ming-cai, YANG Wei, GUO Xin-hong
(Nanjing University of Science & Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract: This paper presents a new method employing genetic algorithm to investigate how to obtain the optimal plan considering both technical conditions for normal operation and $N-1$ safety conditions. The method concludes with the results of the numerical studies performed on the IEEE-6 bus sample.

Keywords: transmission network plan; $N-1$ safety analysis; genetic algorithm

欢迎订阅《电力自动化设备》杂志!

《电力自动化设备》是国家电力公司主管的全国性专业科技期刊,国内外公开发行;是国家科技部中国科技论文统计源期刊,中文核心期刊,江苏省优秀期刊。主要报道国内外有关电力自动化及自动化设备的理论与先进技术研究,服务对象为电力系统及相关行业从事科研、设计、制造、运行、管理等技术人员以及大专院校的专家学者。

本刊自2001年起,由双月刊改为月刊。欢迎广大读者到当地邮局(所)订阅(邮发代号:28-268)。

地址:江苏省南京市新模范马路38号(210003)

E-mail: EPAE@naef-china.com

电话:025-3418700-3321(兼传真),3323

订价:8.00元/期,96.00元/全年

鼓励个人订阅,60.00元/年(与编辑部直接联系);本刊也可破订、零购。