

文章编号:1000-582X(2007)02-0037-05

环型配网优化规划的遗传算法*

江 洁¹,王主丁¹,王一冰²

(1. 重庆大学 电气工程学院,重庆 400030; 2. 西南民族大学 电气信息学院,四川 成都 610041)

摘要:直接使用闭环结构约束,采用遗传算法对仅有2个变电站的环型配网进行优化规划.在配网优化规划的同时考虑到了结构上的环状约束和运行上的辐射状约束.首先介绍了环型配电网优化规划中采用的数学模型,然后介绍了遗传算法理论及其在环型配电网中的应用,并使用 Visual C++ 编程语言,设计、开发环型配网优化规划软件.最后通过对一个17节点的试验系统的优化规划,验证了方法的实用性和有效性.

关键词:遗传算法;闭环结构;配网优化规划

中图分类号:TM715

文献标识码:A

电力系统在国民经济中占有重要的地位,而配电网是电力系统的重要组成部分.配电网直接供电给用户,拥有极大数量的电力设备,占整个供电系统投资的60%及运行成本的20%,其可靠性与质量直接关系到国民经济和人们的日常生活.在当前经济迅猛发展,供电日趋紧张的情况下,通过网络优化,充分发挥配电网的潜力,提高系统的安全性和经济性,具有很大的经济效益和社会效益.

目前几乎所有国内的规划软件都是先设计全网辐射型网络再规划联络开关以形成城市闭环网络^[1].可是,考虑到不少配网主干线以及为数众多的支线的联络开关,这种从辐射型结构再转换到闭环结构的优化难度是相当大的,还不如设计初始直接使用闭环结构约束^[2,4].设计中直接使用闭环结构约束,并基于遗传算法和传统算法有机结合,对环型配网进行优化规划.通过对一个17节点的试验系统的优化规划,验证了文中算法的实用性和有效性.

1 数学模型

1.1 假设条件

在建立配电线路的数学模型以前,作如下的假设:

- 1) 配电系统的接线方式为环式;
- 2) 系统各处的功率因数 $\cos\varphi$ 相同;
- 3) 系统的最大负荷利用小时数 T_{\max} 相同;

- 4) 仅考虑1年期规划;
- 5) 假设仅有2个变电站的情况;
- 6) 除2个变电站不能直接相连外,任2个负荷点之间以及负荷点与变电站之间都可以直接相连;
- 7) 一个负荷点只能出现在一个环(两端供电网)内,最终要使所有的负荷点都连在2个变电站之间;
- 8) 仅考虑新建系统规划中的馈线优化问题;
- 9) 新建系统中所要采用的导线为同一型号,同一材料.

1.2 目标函数

由于文中配网优化规划只考虑了新建馈线优化问题,因此采用只包含所有新建线路的投资费用和运行费用的总费用为目标函数.

1) 新建线路的投资费用

$$C_{ii} = a(Z_0 + Z_i S_i) L_i, \quad (1)$$

式中, a 为年折算系数; Z_0 为单位长度线路的固定投资费用,千元/km; Z_i 为单位长度截面线路导线投资费用,千元/ $\text{mm}^2 \cdot \text{km}$; S_i 为第*i*条线路的导线截面积, mm^2 ; L_i 为第*i*条线路的长度,km.

由前面的假设条件,新建系统中所采用导线为同一型号,同一材料,导线截面积是已知的,故有:

$$C_{ii} = a(Z_0 + Z_i S_i) L_i = K_i L_i, \quad (2)$$

式中 K_i 是常系数,为对应于选定截面导线单位长度的总费用.

* 收稿日期:2006-08-29

作者简介:江洁(1982-),女,重庆大学硕士研究生,主要从事电力系统规划运行方向的研究.王主丁,男,教授,博士,电话(Tel.):023-89807051; E-mail:mmlucr@yaboo.com.

2) 新建线路的运行费用

$$C_{z2} = 3I_i^2 R_i c \tau \times 10^{-3} L_i = \frac{R_i c \tau}{(V \cos \varphi)^2} P_i^2 \times 10^{-3} L_i = K_2 P_i^2 L_i, \quad (3)$$

式中, $K_2 = \frac{R_i c \tau}{V \cos \varphi} \times 10^{-3}$. R_i 为支路 i 的电阻, Ω ; P_i 为支路 i 的年最大有功功率, kW; τ 为年最大负荷损耗小时数, h; c 为电价, 元/kWh; K_2 为常系数; V 为系统额定电压, kV.

因此配电线路规划的目标函数可以表述为:

$$\min C = \sum_{i \in N} (C_{i1} + C_{z2}) = \sum_{i \in N} (K_1 + K_2 P_i^2) L_i, \quad (4)$$

式中 N 是系统中所有支路的集合.

由于系统在结构上成环状, 运行时成辐射状, 所以在运行时要解环. 若假设解环处的支路长度为 L_{openj} , 则目标函数可修正为:

$$\min C = \sum_{i \in N_1} (K_1 + K_2 P_i^2) L_i + \sum_{j \in N_2} K_1 L_{openj}, \quad (5)$$

式中, N_1 是系统中除解环处支路外的所有支路的集合; N_2 是系统中所有解环处支路的集合. 式(5)中寻求的是目标函数的最小化, 若采用最大化的适应度表示, 新的目标函数可写为:

$$\text{Max 适应度} = 1000 - (\text{总费用} + \text{罚函数})$$

在文中的算例中, 目标函数的零次方系数 K_1 与二次方系数 K_2 的比值取为 1.0. 1000 为把总费用转化为适应度的一个转换量, 而罚函数暂不作考虑.

1.3 约束条件

1) 环状结构, 开环运行

在进行环网优化规划时要同时考虑到结构上的环状约束和运行上的辐射状约束. 运行上的辐射状约束即是对环网进行解环, 使网络结构成辐射状. 对环网采取的解环方式是: 假设单一环的支路数为 m , 如 m 为奇数, 则在 $(m+1)/2$ 支路处开环; 如果 m 为偶数, 则在 $m/2$ 支路处开环. 尽管这种开环方式没有直接考虑到可靠性和联络线的优化选择等问题, 但在基于有一定随机性的遗传算法的环境中有其合理性.

2) 电压质量要求

各馈线最大电压损耗(最高与最低电压之差)百分数 ΔV_{\max} 满足:

$$\Delta V_{\max} \leq 15\% . \quad (6)$$

2 遗传算法在环型配网优化规划中的应用

遗传算法 GA(Genetic Algorithm) 是一种建立在自然选择原理和自然遗传机制上的迭代式自适应概率性

搜索方法. 它模拟自然界中生物进化的发展规律, 在人工系统中实现特定目标的优化. 由于遗传算法的变异操作对于环型配网才是最重要的操作^[2], 所以文中遗传算法只使用了变异和选择操作而暂时略去了交叉操作. 该算法使得人口种群不仅能够在一个给定的环境里发展而且也能跳出局部最优解, 以便找到最佳(或次优)个体.

将遗传算法用于环型配电网优化规划. 其实现步骤如下:

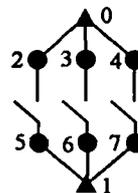
1) 编码

采用一个数字串来代表一个网络的编码方式. 第 t 代网络被定义为:

$$\vec{x}_k^t = (x_1, x_2, \dots, x_r), \quad 1 \leq k \leq \mu, \quad (7)$$

式中 μ 为第 t 代网络的总个数, x_k 是图中的任一节点, r 为系统节点总数.

数字串代表节点序列, 这些节点使网络成环状. 当网络超过一个环时, 数字串代表所有环的节点的连续序列(见图1). 当有多个环都通过一个变电站节点时, 在数字串上这个节点数将会重复出现(例如: 图1中节点0, 1).



x_k^t 为:

0	2	5	1	0	3	6	1	0	4	7	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

图1 编码示意图

2) 初始种群

初始种群是随机产生的, 由 μ 个环网络组成. 每一个环网络都是通过两端供电把所有的负荷节点连在 2 个变电站节点之间形成的, 并且一个负荷节点只能在一个两端供电网络中. 2 个变电站不能直接相连, 但是 2 个变电站节点都要存在于所有的两端供电网络中. 在连接负荷点时, 总是从变电站 A 开始, 从其临近节点中选择下一个负荷点, 然后将选择到的负荷点作为起始节点, 依次下去直至另一个变电站节点 B , 由此得到一个环. 而后又从起始变电站节点 A 开始, 依次寻找下一个节点, 直至变电站节点 B , 如此循环, 直到所有节点都连入网络中, 此时形成了一个由两端供电网组成的环网络.

设节点 k 是节点 i 临近节点 $AD(i)$ 集合中的任意节点, 则节点 k 被选择的概率为^[2]:

$$P_r(k) = \frac{p(k)}{\sum_{r \in AD(i)} p(r)} \cdot 100, \quad (8)$$

式中 $p(k)$ 是节点 k 的权重,其值可由以下式(9)、(10)、(11)、(12)求得.

为了得到不同相邻节点的权重,将会考虑到以起始节点 i 和节点 e 为焦点的椭圆^[2].

设 e 点坐标为 (x_e, y_e) , 节点 n_2 为变电站 B , $d(i, e)$ 为节点 i 和 e 节点之间的距离, $d(i, n_2)$ 为节点 i 和节点 n_2 之间的距离, $d(i, k)$ 为节点 i 和节点 k 之间的距离, $d(k, e)$ 为节点 k 和节点 e 之间的距离. 这些变量及符号应满足以下方程:

$$d(i, e) = \min\{d(i, n_2), \max\{d(i, k) / \forall k \in AD(i)\}\}. \quad (9)$$

$$\delta = \frac{d(i, e)}{d(i, n_2) - d(i, e)}, \quad (10)$$

$$(x_e, y_e) = \left(\frac{x_i + \delta x_{n_2}}{1 + \delta}, \frac{y_i + \delta y_{n_2}}{1 + \delta} \right), \quad (11)$$

$$p(k) = \frac{d(i, e)}{d(i, k) + d(k, e)}. \quad (12)$$

3) 变异操作

将变异操作分别运用在种群中被选择的每一个网络上,其结果是产生下一代的中间种群. 在文中的变异率设为 1.0, 初始种群中的 μ 个网络都各自参加变异. 变异的方法是在每一个网络中随机选择 2 个环(两端供电网), 然后在选择好的 2 个环中各随机选择 1 条支路. 被选择的 2 条支路段被删除, 由与以前的路径交叉的 2 个新支路段所代替, 产生新的网络. μ 个网络都参加变异后形成 μ 个中间种群的个体.

4) 选择操作

选择操作属于“精英”类型, 因为它是用来选择出 μ 个最好的网络. 这个种群中的元素将是较高的适应度从初始种群中的 μ 个网络和经过变异操作后得到的 μ 个中间种群的网路选择出来的.

5) 停止准则

算法的代数(迭代次数)是不定的. 当种群是同类的, 而且经过足够的代数, 网络保持稳定, 此时算法过程结束

3 数值算例及结果分析

3.1 数值算例

数值算例是个简单的配电系统, 是一个 17 节点的网络, 包含 2 个变电站, 除 2 变电站节点不能直接相连外, 任 2 个节点之间都可以直接相连, 且一个负荷节点只能存在于唯一的一个环中, 算例中变异率为 1.0. 利用此算例可以比较直观的看到应用遗传算法对环型配

电网络优化规划的效果.

表 1 是算例的节点分布及其负荷数据, 在此表中, 变电站节点的数据栏用暗色标出.(节点 1 和节点 15 数据栏用暗色标出)

表 1 算例的节点数据

节点号	负荷有功功率/MW	负荷无功功率/MVA	X 坐标/km	Y 坐标/km
0	0.190	0.092	-1.000	-0.200
1	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.500	0.242	1.500	0.600
3	0.390	0.189	1.500	-0.500
4	0.256	0.124	3.300	0.000
5	0.292	0.141	3.000	-3.300
6	0.391	0.189	3.300	-0.900
7	0.180	0.087	5.500	-0.800
8	0.172	0.083	5.300	-0.500
9	0.306	0.148	7.100	0.600
10	0.072	0.035	5.600	0.600
11	0.234	0.113	6.850	-0.500
12	0.128	0.062	8.200	1.550
13	0.306	0.148	5.600	1.800
14	0.262	0.127	7.900	0.900
15	0.000	0.000	8.200	2.550
16	0.200	0.097	5.900	-1.800

3.2 计算结果分析

根据上述模型和算法, 笔者用 Visual C++ 编制了一个计算机程序用于求解环型配电网优化规划. 此程序用以计算上述算例, 计算共运行 221 代(从 0 代到 220 代)后停止运算得出最优网络图. 下面将把第 0 代、第 100 代、第 220 代的最优网络图列出, 供作比较.

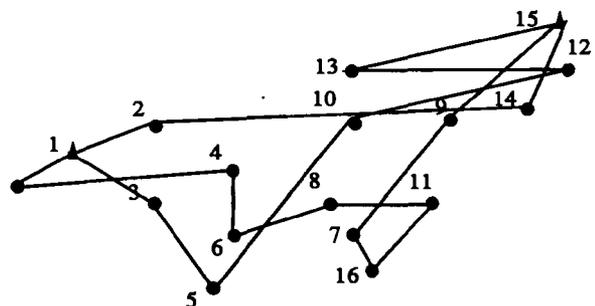


图 2 第 0 代最优网络(适应度为 946.1623)

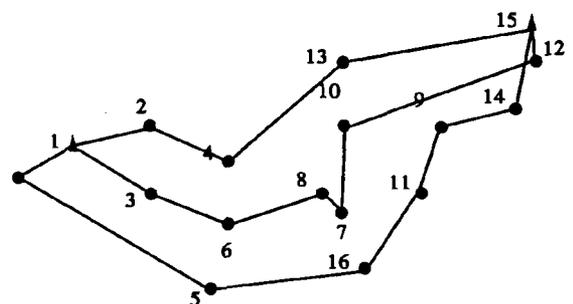


图 3 第 100 代最优网络(适应度为 958.251)

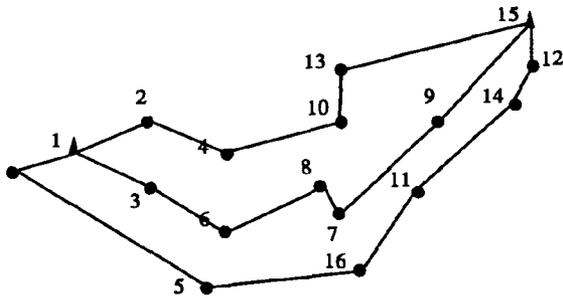


图4 第220代最优网络(适应度为958.954)

由以上3个图比较可知,第220代最优网络线路走向有序,而且适应度是最优的.第220代最优网络也是本算例环网优化规划的最终结果,可知效果是比较好的,也说明了文中遗传算法在环型配电网优化规划中的可行性和有效性.为分析算例中网络的收敛性,图5描述了网络最优适应度的变化趋势.

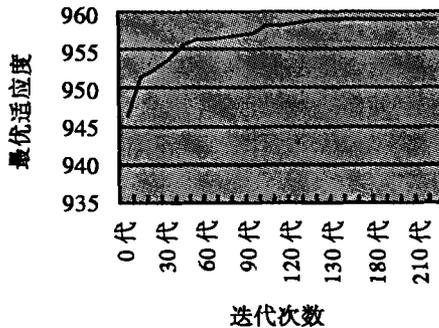


图5 网络最优适应度的变化曲线

由图5可知,网络适应度在0代到20代之间变化速度是最快的,然后随着代数的增加,变化速度减慢,从140代开始一直到220代,网络的最优适应度维持不变.由图可以看出此网络具有较好的收敛性,同时避免了早期收敛问题,正是很好的发挥了遗传算法中变异的作用.

由图6可知网络平均适应度在逐步上升,表明网络在不断变的更优,说明文中的遗传算法是可行的.

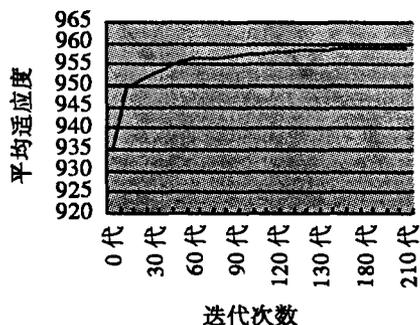


图6 网络平均适应度的变化曲线

3.3 网络经济分析

在算例中,第0代网络最优适应度为946.162,对应的总费用为53.838千元;第220代网络最优适应度为958.954,对应的总费用为41.046千元,节约费用23.8%.第0代网络平均适应度为934.886,对应的总费用为65.114千元;第220代网络平均适应度为958.954,对应的总费用为41.046千元,节约费用37%.

由于第0代网络是随机产生的,适应度较低,因此经过遗传算法的优化规划后,最优网络比第0代网络的费用下降了很多.如果第0代网络是由有经验的工程人员设计形成,经优化规划后,最优网络的费用下降幅度会减小.

从经济分析看,采用遗传算法对环型配网进行优化规划后,具有比较好的经济效益.由此可知,文中使用的遗传算法效果是比较理想的.

4 结论

文中配电网设计直接使用闭环结构约束,并通过把遗传算法和传统算法有机结合,对环型配网进行优化规划.经文中数值算例的计算分析,表明用于环型配电网优化规划的遗传算法和数学模型正确、可行,优化结果较好.

文中分析了基于2个变电站环网优化规划的情况,在以后的工作中将对一个变电站及多个变电站环网优化规划的情况做进一步的探索.

参考文献:

- [1] 段刚,余贻鑫.中压配电网联络线优化的算法和实现[J].电力系统自动化学报,1999,23(15):10-14.
- [2] ELOY DÍAZ-DORADO, JOSÉ CIDRÁS, EDELMIRO MÍGUEZ. Application of Evolutionary Algorithms for the Planning of Urban Distribution Networks of Medium Voltage[J]. IEEE Trans Power Systems, 2002,17(3):879-884.
- [3] GLAMOCANIN V, FILIPOVIC V. Open Loop Distribution System Design[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1993,8(4):1900-1906.
- [4] GREGORY LEVITIN, SHMUEL MAZAL_TOV, DAVID ELMAKIS. Genetic algorithm for open-loop distribution system design[J]. Electric Power Systems Research, 1995(32):81-87.
- [5] 熊信银,吴耀武.遗传算法及其在电力系统中的应用[M].武汉:华中科技大学出版社,2002.
- [6] 王守相,王成山.配电系统节点优化编号方案比较[J].电力自动化,2003,27(8):54-58.

Investigations of Distribution System Planning of Loop Configurations Using a Genetic Algorithm

JIANG Jie¹, WANG Zhu-ding¹, WANG Yi-bing²

- (1. College of Electrical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China;
2. Electronic School, Southwest University for Nationalities, Chengdu 610041, China)

Abstract: The distribution system planning is performed with a loop configuration constraint from scratch. With Evolutionary Algorithm, a sample distribution network is designed with a loop configuration, in which the system is operated as radial configuration. It firstly introduces the mathematical model for distribution network planning, then the application of Evolutionary Algorithm for the planning of distribution network. By using the theory mentioned above, Visual C++ is applied to develop the distribution network optimization software. Finally with the optimization process of 17 nodes system being showed, the presented algorithm's utility and validity is verified.

Key words: evolutionary algorithm; loop configuration; distribution network planning and optimization

(编辑 陈移峰)

~~~~~  
(上接第29页)

## 3-D Simulation of Methanol-steam Reforming for Hydrogen Production in Microreactor

WANG Feng, LI Long-jian, CUI Wen-zhi, XIN Ming-dao

(College of Power Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

**Abstract:** In order to investigate the effects of inlet temperature, velocity and water methanol molar ratio on methanol-steam reforming for hydrogen production in microreactor, we carry out 3-D simulation of methanol-steam reforming for hydrogen production in self-designed plate microreactor with the application of general finite reaction rate model in CFD software of FLUENT. The kinetics used are DE and SR model. The results show that, At the conditions of inlet velocity, temperature and water methanol molar ratio are 2.88 m/s, 493 K and 1.3 respectively, methanol conversion at the reactor outlet reaches 79.8%. Through the simulation, we can see that in microreactor it can be maintain higher hydrogen molar fraction and methanol conversion at high reactant flow rate.

**Key words:** microreactor; methanol-steam reforming; 3-D simulation

(编辑 李胜春)