

基于人工培植杂交的配电网重构方法

胡卫¹, 黄纯¹, 孙彦广², 贾天云², 陈祝峰¹, 凌理远¹

(1. 湖南大学 电气与信息工程学院, 湖南 长沙 410012;

2. 冶金自动化研究设计院, 北京 100071)

摘要: 基于生物学人工培植杂交思想, 提出一种配电网经济性重构新算法。从配电网中找出一组基础环并对其分别编码形成一组染色体, 使该组染色体先朝各自的优化方向进化, 然后以一定概率杂交后, 指导修正它们的进化方向, 直至搜索到全局最优。该方法通过采用缩短染色体长度和多条染色体并行进化等措施, 能够快速搜索到全局最优, 并且使得搜索不易陷入局部最优, 有效平衡了局部收敛和全局寻优速率的关系。同时还提出了基于支路分类的对不可行解进行修复的方法。IEEE 33 节点和 IEEE 69 节点系统仿真结果验证了所提方法的可行性和有效性。

关键词: 配电; 重构; 人工培植杂交; 遗传算法; 不可行解; 修复; 染色体; 优化

中图分类号: TM 727.2

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-6047.2014.09.018

0 引言

配电网系统中包含少量联络开关以及大量开断开关。通过关闭联络开关, 打开相对应的支路开断开关, 配电网系统网络结构发生变化。配电网重构就是科学地利用这种变化, 使得配电网在满足辐射状和各负荷点不失电的情况下, 平衡负荷, 降低网损, 提高供电可靠性及改善电压质量。

配电网重构是一个大规模非线性混合整数规划问题, 在数学上属于 NP 难问题, 目前在理论上尚未提出获得最优解的切实有效的方法。迄今为止, 国内外学者针对配电网的特点提出许多算法, 主要有支路交换法^[1-2]、最优流算法^[3-4]、神经网络算法^[5]、遗传算法^[6-11]、粒子群算法^[12-14]、和声算法^[15]等。这些算法为解决配电网重构问题提供了思路。其中, 遗传算法易于移植到配电网重构中, 而且学术上对其性能和稳定性的相关研究都已经比较成熟, 因而在配电网重构中的应用相对较多。但是遗传算法在实际应用过程中仍表现出一些缺陷, 例如: 在配电网规模变大时, 染色体长度变长, 遗传算法的搜索空间呈指数增大, 使得求解效率降低; 由于遗传参数的设置, 以及遗传过程中种群多样性的丧失, 算法可能收敛到局部最优。提高遗传算法在大规模组合问题中的求解速度和避免陷入局部最优是研究的热点。

为了解决这些问题, 一些针对遗传算法的改进算法被提出。文献[6]提出了一种基于改良策略的配电网重构算法, 通过编码和遗传策略使得求解空间基本处于可行解的范围内, 提高搜索速度。文献[9]

提出一种模糊遗传算法, 对交叉率和变异率进行模糊控制, 使算法避免局部收敛的性能提高。然而, 由于复杂配电网中有支路存在于几个环内, 这些算法所提出的对不可行解修复的方法并不能实现全部修复, 造成了一些优良基因的丢失, 算法的性能受到影响; 同时, 求解全局最优的速率上仍不尽如人意。

本文针对上述算法的不足, 提出一种基于人工培植杂交 ACH (Artificial Cultivated Hybrid) 思想的配电网重构新算法, 把配电网的初始环路作为染色体, 通过若干代的人工培植与杂交得到最优解。2 个 IEEE 典型算例的分析验证了本文算法的有效性。

1 配电网重构的数学模型

配电网重构的目标函数有很多, 本文仅考虑重构后使全网的有功功率损耗最小。数学表达式为:

$$\Delta P_{\text{loss}} = \sum_{b=1}^n k_b r_b \frac{P_b^2 + Q_b^2}{U_b^2} \quad (1)$$

其中, n 为配电网总支路数; b 为支路编号; r_b 为支路 b 的电阻值; P_b 和 Q_b 分别为支路 b 末节点注入的有功功率和无功功率; U_b 为支路 b 注入功率节点的电压; k_b 为支路 b 的开断状态, $k_b=1$ 表示支路 b 闭合, $k_b=0$ 表示支路 b 断开。

配电网重构还需满足下列必要的约束条件。

a. 网络辐射状约束: 重构完成后网络呈辐射状且各负荷节点不失电。

b. 电压约束:

$$U_{\min} \leq U_i \leq U_{\max} \quad i=1, 2, \dots, m \quad (2)$$

其中, U_i 、 $U_{\min}$ 、 $U_{\max}$ 分别为节点 i 的电压及其下限和上限。

c. 容量约束:

$$S_b \leq S_{b\max} \quad b=1, 2, \dots, n \quad (3)$$

其中, S_b 、 $S_{b\max}$ 分别为支路 b 的功率及其上限。

收稿日期: 2013-08-09; 修回日期: 2014-01-06

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863 计划)资助项目(2012AA-050215)

Project supported by the National High Technology Research & Development Program of China(863 Program)(2012AA050215)

2 基于 ACH 的配电网重构算法

2.1 ACH 概述

杂交是物种形成和进化的一种方式,它只要经过一两代就能产生适应自然环境的新物种。自然界中植物物种有 33% 是杂交形成的,高等植物中有 40% 是杂交形成的多倍体,杂交优势是自然界中的普遍现象。一般而言自然界产生的多倍体都是自然选择下适应环境能力较强的物种,而通过 ACH 可以得到满足人类需求的新物种。

ACH 就是为了得到一个同时具备某些优良性状的新物种,选取某几种具备这些优良性状的物种进行人工培植,然后按比例从这几个物种中取出一些个体进行杂交形成多倍体,再从这些多倍体中选取人们评价最好的一个,同时把对应组成它的个体进行下一代的人工培植,将培植过程中产生的变异个体再次进行杂交,与原有最佳多倍体比较,选出评价最好的一个。如此多代之后就能找到这些物种所能杂交得到的最优多倍体。配电网各环网网损最优与全网网损最优之间存在类似于杂交物种和多倍体的关系,因此本文将 ACH 方法引入配电网重构。

本文从生物学引进了以下概念。

杂交:通过不同基因型个体之间的交配而取得某些双亲基因重新组合的个体的方法。

等位基因:占据染色体的基因座的、可以复制的、控制生物某一性状的基因。

显性/隐性:生物某一性状表现出来/不表现出来。当 2 条染色体杂交,只有 2 个等位基因全是隐性时,杂交物种表现的性状才是隐性,否则为显性。

本文将配电网的初始环路(配电网重构之前,每闭合一个联络开关就形成一个闭合环路,这样的环路称为初始环路)编码为杂交系的染色体,规定染色体中等位基因中某个基因位置 0 时该等位基因呈显性。通过对杂交物种的染色体进行杂交形成一种异源多倍体,对其适应人们需求的能力进行评估,适应度越大即该物种越优秀。

2.2 对配电网支路分类

配电网含有少量环路,从配电网中选出它的初始环路,其中有些支路处于这些初始环路上。根据支路是否在初始环路上以及其是否为几个初始环路共有的支路,定义支路类型如下:不在初始环路上的支路定义为第 0 类支路;只在 1 个初始环路上的支路定义为第 1 类支路;由 n 个初始环路共有的支路定义为第 n 类支路。当 $n > 0$ 时,定义在初始环路中包含某第 n 类支路的几个环称为该第 n 类支路的环族。

根据配电网必须满足辐射状且各负荷节点不能失电的重构要求,有如下规则。

规则 1:对于配电网的每个环,第 1 类支路只能断开 1 个。

规则 2:对于配电网中的一条断开的第 n 类($n > 1$)支路 i ,只允许支路 i 所在环族中的 $n - 1$ 个环有大于或等于 2 条支路断开,且断开的支路中一条是支路 i 。环族中余下的一个环只能是支路 i 断开。

规则 3:对于含有 m 个环的配电网系统,最后形成辐射状网络的必要条件是断开的支路数为 m 。

对配电网断开支路按上述规则进行搜索,若不能满足上述规则,则该配电网存在孤岛或环网。支路分类可为后文不可行解的修复分析提供依据。

2.3 染色体的编码

为了不丢失负荷,配电网重构时不能断开无法组成环路的支路,因此配电网重构的开关操作只能是环路中的支路。

图 1 给出的是一个 IEEE 33 节点的配电网标准系统。对该系统中的支路编号,可以得到如下 5 个初始环路:

cycle {1} = {4, 6, 7, 8, 10, 12, 26, 25, 3, 2}
cycle {2} = {4, 6, 7, 8, 10, 11, 13, 15, 16, 18, 27, 26, 25, 3, 2}
cycle {3} = {4, 6, 7, 9, 31, 32, 33, 30, 29, 28, 5}
cycle {4} = {13, 15, 16, 17, 19, 20, 14}
cycle {5} = {8, 10, 11, 13, 15, 16, 17, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 37, 36, 35, 34, 33, 32, 31, 9}

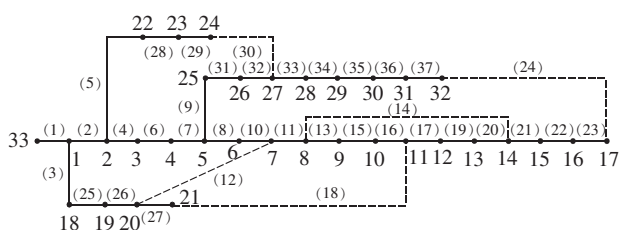


图 1 IEEE 33 节点系统
Fig.1 IEEE 33-bus system

把一个环路上的所有支路看作一个物种的染色体,分别对各支路采用二进制编码,0 代表支路断开,1 代表支路闭合。同时,给各染色体划分等位基因,编码后得到一组染色体 chrom 如表 1 所示。配电网辐射状且各节点不失电的特点,使得等位基因只能允许基因位全部为 1 或者只有 1 位为 0,否则配电网会存在孤岛。等位基因都是由相同类别的支路组成的,为方便描述,把由第 n 类支路组成的等位基因称为第 n 类等位基因。如表 1 所示,染色体 chrom1 中的等位基因有 {4, 6, 7}、{8, 10}、{26, 25, 3, 2}、{12}。其中 {4, 6, 7} 也是染色体 chrom2、chrom3 的一个等位基因,因此 {4, 6, 7} 为第 3 类等位基因。{8, 10} 也是染色体 chrom2、chrom5 的一个等位基因,因此 {8, 10} 为第 3 类等位基因。{26, 25, 3, 2} 也是染色体 chrom2 的

表 1 一组杂交系按等位基因分类的染色体组成
Tab.1 A hybrid chromosome set
classified by alleles

染色体	等位基因
chrom1	{4,6,7}; {8,10}; {12}; {26,25,3,2}
chrom2	{4,6,7}; {8,10}; {11}; {13,15,16}; {18,27}; {26,25,3,2}
chrom3	{4,6,7}; {9,31,32,33}; {30,29,28,5}
chrom4	{13,15,16}; {17,19,20}; {14}
chrom5	{8,10}; {17,19,20}; {11}; {21,22,23,24,27,36,35,34}; {33,32,31,9}

一个等位基因,因此 {26,25,3,2} 为第 2 类等位基因。
{12} 只属于 chrom1,因此 {12} 为第 1 类等位基因。

2.4 初始环的杂交

在人工培植的杂交过程中,通常选取几个有优良性状的物种进行杂交,形成同时包含这几个物种所含优良性状的多倍体新物种。物种的优良性状通过它染色体中的显性等位基因表现出来。

假设等位基因的基因串中有 1 位为 0,则该等位基因呈显性,在杂交物种进行杂交形成多倍体时,显性等位基因控制的性状会在杂交种中显现出来。在图 1 所示的配电网中,一个初始环编码成物种的一个染色体,规定该染色体中有且仅有一个等位基因为显性,对应控制该物种某一优良性状的表现。对 5 个初始环编码如下:

chrom1=[1,0,1|1,1|1|1,1,1,1]
chrom2=[1,1,1|1,1|0|1,1,1|1,1,1,1]
chrom3=[1,1,1|1,1,1,1|0,1,1,1]
chrom4=[1,1,1|1,1,1|0]
chrom5=[1,1|1|1,1,1|1,1,1|1,1,1,0,1,1,1,1|1,1,1,1]

杂交形成 5 倍体 h 。由于染色体中含有相同的等位基因,相同等位基因控制的性状是一样的,因此可以把 h 等效为不同等位基因组成,去掉重复的等位基因后, h 包含 13 个不同等位基因。5 倍体染色体可以表示为 $h=[4,6,7|8,10|11|12|13,15,16|18,27|26,25,3,2|9,31,32,33|30,29,28,5|17,19,20|14|21,22,23,24,37,36,35,34]$,等位基因 {4,6,7} 在 chrom1 中是 [1,0,1] (呈显性),在 chrom2 中是 [1,1,1] (呈隐性),表现在 h 的编码中应该为 [1,0,1] (呈显性)。因此, h 编码: $chrom\ h=[1,0,1|1,1|0|1|1,1,1|1,1|1,1,1|1,1,1,1|0,1,1,1|1,1,1|0|1,1,1,0,1,1,1,1]$ 。
 $chrom\ h$ 恰好可以表示图 1 这个完整的配电网的支路开断情况。

按照本文叙述的方法将配电网初始环作为物种的染色体进行杂交,由于每个物种只允许 1 个等位基因控制的性状呈显性(即对应的配电网一个初始环断开一个开关),杂交后多倍体染色体中相同的等位基因只表现出显性的等位基因,这样显性等位基因的

个数是一定的,即配电网断开的支路数是一定的(如图 1 为 5 个)。显然,这使得杂交种为可行解的比例有了很大提高。而对于产生的少量不可行解,下文将给出修复方法。

2.5 不可行解的修复

在杂交系杂交过程中,不可避免会产生不可行解。下面将对不可行解进行修复,以保证父辈优良基因尽量不丢失。

对杂交系编码是在不同的等位基因中的某一基因位置 0,产生的不可行解可能是某 2 个杂交系个体的显性等位基因,杂交多倍体表现的性状重复或者不满足配电网辐射状的约束,对此,首先需要在这几个重复了性状的杂交系个体中选择一个个体表现该性状,剩下的个体则表现令它们表现不同的性状,然后修复不满足辐射状的基因。下面给出辐射状修复环节的具体步骤。

步骤 1 找出杂交种中为 0 的基因位所代表的支路组成一个集合 S ,按支路类别大小排序。

步骤 2 判断该杂交种是否满足辐射状;若遍历 S 中的支路,都满足第 2.2 节中的规则 1、2、3,则不需要进行修复;否则进行步骤 3。

步骤 3 处理 S 中第 1 个元素 S_1 时,根据规则 2,若 S_1 的环族中断开的支路数都大于等于 2,则选择一个环使其只有断开的支路 $b(b=S_1)$;若环族中有 n 个环($n>1$)只断开了支路 b ,则随机选择 n 个环中的 $n-1$ 个环,断开另一条支路。然后把上述处理过的支路和处理该支路过程中所关闭的 S 中的支路剔除集合 S ,处理过程中断开的支路加入 S 中。处理过的支路在后续支路处理过程中视为闭合的。

步骤 4 重复步骤 3 直至遍历完成,最终 S 中元素个数与修复前一致,即完成了不可行解的修复。

本文给出的基于支路分类的不可行解修复,概念清晰,可完成所有不可行解的修复。为了适应算法特点,应尽可能保留原有 S 中的元素,即在断开支路时尽量先断开类别较低的支路,闭合支路时尽量少闭合在 S 中的支路,这样染色体修复部分较小,修复的计算量也相应地减少。例如:图 1 断开支路按支路类别排序后的集合 $S=[8,15,12,14,30]$,在处理第 1 个元素支路 8 时,不满足规则 2,闭合支路 12, $S=[8,15,14,30]$,处理后的支路 8 视作闭合,继续处理支路 15,发现支路 15 的环族中有 2 处只断开一条支路即共同支路 15,这里在这 2 个环中随机取一个类别较低的支路 37 断开并把支路加入 S ,则 $S=[8,15,14,30,17]$,继续处理支路 14、30、17,均满足规则 2,最后 S 中元素个数与处理前一致,不可行解修复完成。

3 算法的具体实现

3.1 各物种染色体初始化

在进行 ACH 之前,首先要选择优良性状的物种进行培育。在图 1 所示的配电网中,初始环 cycle4 可以通过把节点 15、16、17 上的负荷加到节点 14 上,形成一个元环^[1],再利用文献[1]的方法找到该元环网损最小的情况,即把支路 14 闭合、把支路 20 断开,应用到本文中就是把初始环 cycle4 对应物种的染色体编码为 chrom4=[1,1,1|1,1,0|1],再通过复制和变异培育成个体数为 N 的种群。

类似地,对图 1 中剩余 4 个初始环分别进行上述操作,形成 5 个初始种群。这样,本文通过启发式规则找到各初始环最优网损状态下的解,再经过复制和变异初始化为几个表现最优性状物种的种群。

3.2 物种变异与杂交

通过人工培植主要是产生一些变异物种,因为变异物种在杂交后可能会优于原先所产生的杂交物种。显然,对表现最优性状物种的染色体进行较为频繁的变异操作才能保证杂交物种的全局最优性。

本文的变异采取 2 种形式。

(1)以较高概率在等位基因内变异。具体做法是在有基因位为 0 的等位基因内,把基因位为 0 的置 1,该等位基因内随机选一位置 0。

(2)以较低概率在等位基因外变异。具体做法是在有基因位为 0 的等位基因附近选择一个等位基因,将该等位基因中的某一基因位置 0,原先等位基因位为 0 的置 1。

通过变异操作,算法对优良性状的物种基因型进行充分搜索,提高了全局搜索能力,同时维持变异前后只有一个基因位为 0,有效减少了不可行解的产生。

分别从 C 个初始种群中按照杂交比例 α 取出 $N \times \alpha$ 个个体,杂交时每个初始种群贡献一条染色体,把取出的个体进行排列组合成多倍体,则有 $(N \times \alpha)^C$ 个组合方式,计算这些多倍体对应网络的网损情况,选择网损最小对应组成多倍体的各种群个体作为下一代培植母本。通过对母体的复制和变异各自形成新一代种群,再进行杂交。以此往复,直至产生多倍体对应网络网损最小或达到最大培植代数。

3.3 算法的步骤

步骤 1 参数设置和初始化。根据初始环确定杂交物种的染色体及初始种群数目 C ,设定最大培植代数 M ,初始种群规模设置为 N ,杂交比例设为 α ,等位基因内变异率设为 P_n ,等位基因外变异率设为 P_w ,按照上文的方法对各个杂交物种染色体进行种群初始化。

步骤 2 杂交。在各个杂交物种染色体种群中按

杂交比例 α 各选出 $N \times \alpha$ 个个体,进行排列组合杂交,选择出对应网损最小的杂交体 H_{best} 和组成它的各个杂交物种染色体个体记为 $S_i(x)$,并保存。

步骤 3 人工培植。把 $S_i(x)$ 中个体进行复制和变异,各自形成种群。

步骤 4 再次杂交。步骤 2 中得到的对应网损最小的杂交多倍体,与前一次得到的对应网损最小的多倍体 H_{best} 比较,若前一次对应网损较小,则继续将前一次杂交得到的杂交物种染色体个体 $S_i(x)$ 进行步骤 3,若这一次对应的网损较小,则把此次得到的杂交体记为 H_{best} ,组成它的各个杂交物种染色体个体记为 $S_i(x)$,并保存。

步骤 5 重复步骤 3、4 直至达到最大培植代数。

4 算例分析

用本文提出的基于 ACH 理论的重构算法在几个配电网中进行了仿真实验,在此给出 IEEE 33 节点系统和 IEEE 69 节点系统仿真结果。IEEE 33 节点系统如图 1 所示,有 33 个节点,37 条支路,其中 5 条为联络支路,额定电压为 12.66 kV。IEEE 69 节点系统如图 2 所示,有 69 个节点,74 条支路,其中 5 条为联络支路,额定电压为 12.66 kV,总负荷为 3802+j2694 kV·A。

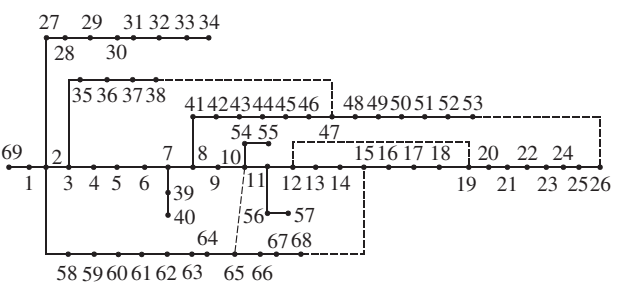


图 2 IEEE 69 节点系统

Fig.2 IEEE 69-bus system

本文算法网络重构结果列于表 2。由于 IEEE 69 节点系统中节点 44、45、46 没有负荷,故断开支路

表 2 2 个算例重构结果

Tab.2 Results of distribution system reconstruction for two cases

配电系统	重构方法	重构前 断开开关	重构后 断开开关	重构前 网损/kW	重构后 网损/kW
IEEE 33	文献 [6]	7-20,8-14, 11-21,17-32, 24-28	6-7,13-14, 8-9,31-32, 24-28	203.65	140.48
	本文	7-20,8-14, 11-21,17-32, 24-28	6-7,13-14, 8-9,31-32, 24-28	203.65	140.48
IEEE 69	文献 [6]	10-65,12-19, 14-68,26-53, 38-47	10-65,14-13, 12-19,49-50, 46-47	224.99	99.67
	本文	10-65,12-19, 14-68,26-53, 38-47	10-65,14-13, 12-19,49-50, 46-47	224.99	99.67

46-47 和断开支路 46-45、45-44、44-43 效果相同。

设置最大培植代数 $M=10$, 杂交比例 $\alpha=3\%$, 各杂交物种染色体种群规模均为 $N=10$, 等位基因内外变异率分别为 $P_n=0.4$ 、 $P_w=0.1$ 。从表 2 可以看出, 本文算法寻找到最优解的网络开关状态与已有文献最优解一致。本文通过对文献[6]提出的算法与本文算法各连续运行 100 次, 统计的算法性能指标如表 3 所示。

表 3 算法性能比较

Tab.3 Comparison of performance between two algorithms

配电系统	重构方法	获全局最优的最小进化代数	获全局最优的最大进化代数	获全局最优的平均进化代数	平均计算时间/s
IEEE 33	文献[6]	4	91	18.44	0.51
	本文	1	2	1.22	0.34
IEEE 69	文献[6]	5	95	27.63	1.93
	本文	1	3	1.47	0.42

从表 3 可以看出, 文献[6]算法得到全局最优解所迭代的次数在一个较大范围内波动, 而且平均在十几代后才能得到最优结果。本文算法得到全局最优结果所迭代的次数在一个较小范围波动, 平均 2~3 代就能得到最优解。可见, 本文算法具有较快的收敛速度和良好的鲁棒性。

5 结论

a. 根据配电网的结构特点, 将配电网的一组基础环分别作为染色体进行编码, 大幅缩短了编码长度, 降低了求解规模。

b. 对支路进行分类, 给出判断辐射状的原则, 并在此基础上对配电网重构求解过程中产生的不可行解进行修复, 保存了优良基因。

c. 选取优良个体进行人工培植, 对培植个体进行高频率的变异操作, 使得算法快速向全局最优收敛, 跳出局部最优能力强。

d. 本文从生物学中引入概念, 构造新的重构方法, 概念清晰, 方法简洁, 优化结果与已有算法相一致, 寻优速度更快, 鲁棒性好。

参考文献:

- [1] 何禹清, 彭建春, 文明, 等. 配电网重构的最小可行分析对象及其快速算法[J]. 中国电机工程学报, 2010, 30(31): 50-56.
- HE Yuqing, PENG Jianchun, WEN Ming, et al. Minus feasible analysis unit and fast algorithm for distribution network reconfiguration[J]. Proceedings of the CSEE, 2010, 30(31): 50-56.
- [2] 郝文波, 于继来. 基于负荷受电路径电气剖分信息的配电网重构算法[J]. 中国电机工程学报, 2008, 28(19): 42-48.
- HAO Wenbo, YU Jilai. Distribution network reconfiguration algorithm basing on electrical dissection information of load path[J]. Proceedings of the CSEE, 2008, 28(19): 42-48.
- [3] SHIRMOHAMMADI D, HONG H W. Reconfiguration of electric

- distribution network for resistive line loss reduction[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1989, 4(2): 1492-1498.
- [4] 邓佑满, 张伯明, 相年德. 配电网重构的改进最优流模式算法[J]. 电网技术, 1995, 19(7): 47-50.
- DENG Youman, ZHANG Boming, XIANG Niande. An improved optimal flow pattern algorithm for distribution network reconfiguration[J]. Power System Technology, 1995, 19(7): 47-50.
- [5] 吴登国, 李晓明. 基于极限学习机的配电网重构[J]. 电力自动化设备, 2013, 33(2): 47-56.
- WU Dengguo, LI Xiaoming. Distribution grid reconfiguration based on extreme learning machine[J]. Electric Power Automation Equipment, 2013, 33(2): 47-56.
- [6] 李晓明, 黄彦浩, 尹项根. 基于改良策略的配电网重构遗传算法[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(2): 49-54.
- LI Xiaoming, HUANG Yanhao, YIN Xianggen. A genetic algorithm based on improvement strategy for power distribution network reconfiguration[J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24(2): 49-54.
- [7] YEHIA M A, MATAT E E, HOBEILA N Y, et al. A heuristic algorithm for electric distribution networks optimal feeder configuration using geographic information system[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2002, 17(4): 1232-1237.
- [8] ZHANG M, BI P X, LIU Jian, et al. An improved genetic algorithm for distribution system reconfiguration[C]//Proceedings of Power System Technology, 2002. [S.l.]: IEEE, 2002: 1734-1738.
- [9] 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 Xueyun. Reconfiguration of distribution networks based on fuzzy genetic algorithms[J]. Proceedings of the CSEE, 2000, 20(2): 66-69.
- [10] 欧帝宏, 陈浩勇, 荆朝霞. 基于协同进化算法的配电网重构方案[J]. 电力自动化设备, 2012, 32(7): 108-113.
- OU Dihong, CHEN Haoyong, JING Zhaoxia. Distribution network reconfiguration based on co-evolution algorithm[J]. Electric Power Automation Equipment, 2012, 32(7): 108-113.
- [11] 刘继栋, 王锡淮, 肖健梅. 基于十进制编码的差分进化算法在配电网重构中的应用[J]. 电力自动化设备, 2012, 32(5): 94-97.
- LIU Jidong, WANG Xihuai, XIAO Jianmei. Distribution network reconfiguration based on differential evolution algorithm using decimal encoding[J]. Electric Power Automation Equipment, 2012, 32(5): 94-97.
- [12] 王超学, 崔杜武, 崔颖安, 等. 使用基于中医思想的蚁群算法求解配电网重构[J]. 中国电机工程学报, 2008, 28(7): 13-18.
- WANG Chaoxue, CUI Duwu, CUI Yingan, et al. Distribution network reconfiguration using a novel ant colony system based on traditional Chinese medicine theory[J]. Proceedings of the CSEE, 2008, 28(7): 13-18.
- [13] JEON Y J, KIM J C, KIM J, et al. An efficient simulated annealing algorithm for reconfiguration in large-scale distribution systems[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2002, 17(4): 1070-1078.
- [14] 麻秀范, 张粒子, 孔令宇. 基于家族优生学的配网重构[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(10): 97-102.
- MA Xiufan, ZHANG Lizi, KONG Lingyu. Reconfiguration of distribution networks based on family eugenics based evolution algorithms[J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24(10): 97-102.
- [15] SRINIVASA R R, NARASIMHAM S V L, RAMALINGA R M,

et al. Optimal network reconfiguration of large-scale distribution system using harmony search algorithm[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2011, 26(3): 1080-1088.

[16] 岳炭. 粗粒度并行遗传算法的计算性能及其研究[D]. 武汉:华中科技大学, 2008.

YUE Kan. Study on the computation performance and application of the coarse-grained parallel genetic algorithms[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2008.

[17] 葛少云, 刘自发, 余贻鑫. 基于改进禁忌搜索的配电网重构[J]. 电网技术, 2004, 28(23): 22-26.

GE Shaoyun, LIU Zifa, YU Yixin. An improved tabu search for reconfiguration of distribution systems[J]. Power System Technology, 2004, 28(23): 22-26.

[18] BARAN M E, WU F F. Optimal capacitor placement on radial distribution systems[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1989, 4(1): 725-734.

作者简介:



胡 卫

胡 卫(1989-), 男, 湖南娄底人, 硕士研究生, 从事配电网自动化研究(E-mail: 331511645@qq.com);

黄 纯(1966-), 男, 湖南沅江人, 教授, 博士研究生导师, 博士, 从事配电系统自动化、电能质量分析与控制研究(E-mail: yellowpure@hotmail.com)。

Distribution network reconfiguration based on artificial cultivated hybrid

HU Wei¹, HUANG Chun¹, SUN Yanguang², JIA Tianyun², CHEN Zhufeng¹, LING Liyuan¹

(1. College of Electrical and Information Engineering, Hunan University, Changsha 410012, China;
2. Automation Research and Design Institute of Metallurgical Industry, Beijing 100071, China)

Abstract: An algorithm based on biological ACH(Artificial Cultivated Hybrid) is proposed for the economic reconstruction of distribution network. A base loop set of the distribution network is found and coded to form a chromosome set. Each chromosome evolves in its optimal direction first, and the evolution directions are then guided by the chromosome hybridization with a certain probability until the global optimum is searched. Measures are taken, such as shortening chromosome length, performing parallel evolution, etc., to quickly find the global optimum, avoid the local optimum and efficiently balance the relationship between local convergence and global optimization. A method based on the branch classification is proposed for the complete repair of infeasible solutions. The simulative results of IEEE 33-bus system and IEEE 69-bus system demonstrate the feasibility and effectiveness of the proposed algorithm.

Key words: electric power distribution; reconfiguration; artificial cultivated hybrid; genetic algorithms; infeasible solution; repair; chromosome; optimization

(上接第 105 页 continued from page 105)

Generation right trade of trans-province power transmission considering environmental cost and sensitivity analysis

FU Honghao^{1,2,3}, CAI Guotian^{1,2}, ZHAO Daiqing^{1,2}

(1. Guangzhou Institute of Energy Conversion, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China;
2. Key Laboratory of Renewable Energy, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China;
3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: A model of thermal power unit generation right trade between two parties of trans-province power transmission contract is built with the environmental cost as a part of generation cost and the impact of environmental cost on the trade profit is calculated for Guizhou and Guangdong in south channel for sending power from west to east China. The sensitivity analysis is adopted to analyze the impact of main uncertainty factors on the trade profit and determine the feasible trade areas. Results show that, without the environmental cost, all the thermal power units of Guangdong can operate through the generation right trade and both parties get profit; with the environmental cost, the trade profit of Guangdong 1 000 MW units increase while the total trade profit decrease because its units below 300 MW are out of the trade; with the environmental cost, four main factors influence the trade profit of Guangdong 300 MW units, including the unit coal price, its difference between provinces, the amount of tradable electricity reduction and the power transmission loss. When the variation of the four factors makes the trade profit decreasing, the trade feasibility of Guangdong 300 MW units is influenced first.

Key words: trans-province; electric power transmission; contract parties; thermal power; generation right trade; sensitivity analysis; models; costs