

计及电网运行特性的配电网动态重构

田昊¹, 吕林¹, 高红均¹, 李敏², 王刚¹, 成思琪¹, 朱鑫¹

(1. 四川大学电气信息学院(四川省智能电网重点实验室), 四川 成都 610065;

2. 国网成都供电公司, 四川 成都 610000)

摘要: 为了保证配电网重构工作更加实际有效, 提出了一种兼顾经济性和电能质量的网络重构方法。首先提出系统运行性能指标——网络损耗和电压总偏移量, 再利用归一化方法对多指标融合并形成配网运行综合性能指标, 通过设定综合性能指标标准差, 划分重构时段, 该划分方法可以限制网络重构次数。结合配电网的特点对复杂结构进行简化处理, 有效降低了遗传算法的寻优空间, 在优化过程中采用自适应调整的交叉率和变异率, 较好地提高了算法的性能。通过 IEEE33 节点系统的仿真分析, 验证了该方法的有效性及其正确性。

关键词: 配电网; 分段重构; 综合性能指标; 遗传算法

Dynamic reconfiguration of distribution network considering power grid operation characteristic

TIAN Hao¹, LÜ Lin¹, GAO Hongjun¹, LI Min², WANG Gang¹, CHENG Siqi¹, ZHU Xin¹

(1. School of Electric Engineering and Information, Sichuan University (Intelligent Electric Power Grid Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu 610065, China; 2. Chengdu Power Supply Company of SGCC, Chengdu 610000, China)

Abstract: In order to ensure the distribution network reconfiguration more practical and effective, this paper presents a new reconfiguration method considering economy and power quality. Firstly, system performance indicators are raised including power loss and total voltage offset, then the normalization method is used to integrate two indicators and formation comprehensive performance indicators of distribution network, and finally by setting standard deviation for comprehensive performance indicators, the reconfiguration time is divided, by which the number of reconfiguration can be limited. Combined the characteristic of distribution network, the network structure is simplified, which reduces the optimization space of GA effectively; and the crossover ratio and mutation ratio that adaptively adjust are adopted during optimization, which improves the performance of the algorithm better. Simulation results on the IEEE-33 system indicate the correctness and effectiveness of the method.

This work is supported by National High-tech R & D Program of China (863 Program) (No. 2014AA051901)

Key words: distribution network; piecewise reconfiguration; comprehensive performance indicators; GA

中图分类号: TM715 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2015)01-0009-06

0 引言

配电网网络重构是以改变开关的开闭组合来提高配电网运行水平的有效方法, 能够有效降低系统网损和改善节点电压以提高电能质量。

目前, 研究配电网重构包括静态重构和动态重构。其中, 对静态重构的研究比较成熟^[1-8], 即对系统在某一时间断面上进行优化重构, 不足之处忽略了负荷变化、开关操作约束等实际条件, 缺乏一定

的实用价值。动态重构则考虑了各时段内负荷的变化情况。文献[9]以开关操作次数作为约束条件, 利用多代理系统技术实现配电网动态重构; 文献[10]提出了功率矩不平衡度, 计算出整个网络功率矩不平衡度变化, 最后以重构次数作为约束条件对重构时段进行划分。文献[11]利用时间枚举法确定了网络重构时间, 确定重构时段, 并在每个时间段再寻找重构的精确时间进行重构; 文献[12]将开关单次操作费用计入目标函数, 利用动态规划方法从候选网络结构中进行选择并完成动态重构; 文献[13]提出电力系统动态优化的虚拟负荷法, 把一天的负荷水平段数限制在控制设备的允许操作次数之内, 但

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863计划)资助项目(2014AA051901)

是该方法没有考虑到如何限制总的操作次数。

本文考虑了系统运行的经济性及电能质量，建立了两个系统运行指标，利用权重系数法将其形成一个综合评估指标，通过对综合评估指标变化的分析，对重构时段进行划分并在各重构时段初始时刻进行网络重构，以改善系统在整个时段内的运行水平。

1 网络重构模型及约束条件

1.1 目标函数

本文动态重构的目的是考虑配网运行的经济性，并计及系统开关投切次数的约束，以电网企业在某一时段内节省的运行费用最大为目标，其目标函数为

$$\max F = C_i \cdot \int_{t_0}^{t_1} [P_1(t) - P_2(t)] dt - \sum_{k=1}^{NB} \sum_{i=1}^N C_{Bk} \cdot |x_{k,i} - x_{k,i-1}| \quad (1)$$

式中： F 为整个时段内电网节约的运行成本； C_i 为时段 i 的电价； t_0 、 t_1 分别为重构的初始时段和结束时段； $P_1(t)$ 、 $P_2(t)$ 分别为重构前、后配电系统的总负荷，包含各节点负荷以及系统的损耗； NB 为可操作的开关总数； N 为负荷曲线划分后的时段； $x_{k,i}$ 为开关 k 在时段 i 的状态， $x_{k,i}=1$ 表示此时开关闭合， $x_{k,i}=0$ 表示开关打开。

1.2 约束条件

1) 配电网潮流约束

$$\mathbf{AP} = \mathbf{D} \quad (2)$$

式中： \mathbf{A} 表示节点支路关联矩阵； \mathbf{P} 表示线路潮流矢量； \mathbf{D} 为负荷需求矢量。

2) 支路功率传输极限约束

$$S_l \leq S_{l\max} \quad (3)$$

式中， S_l 和 $S_{l\max}$ 分别为第 l 条支路流过的功率及其最大允许功率。

3) 节点电压约束

$$U_{i\min} \leq U_i \leq U_{i\max} \quad (4)$$

式中， U_i 、 $U_{i\min}$ 、 $U_{i\max}$ 分别为节点 i 的实际电压及其允许的上下限。

4) 配电网拓扑结构约束：配电网重构过程中始终不存在孤岛现象并且保持辐射状结构。

5) 在配电网重构过程中考虑到开关的使用寿命及投切成本，应满足所有开关和单个开关的动作次数约束。

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^N |x_{k,i} - x_{k,i-1}| \leq x_{k\max} \\ \sum_{k=1}^{NB} \sum_{i=1}^N |x_{k,i} - x_{k,i-1}| \leq x_{\max} \end{cases} \quad (5)$$

式中： $x_{k\max}$ 表示单个开关的最大动作次数； x_{\max} 表示配电系统中所有开关的最大动作次数之和。

2 系统运行指标的选择及时段划分方法

在研究配电网动态网络重构时系统运行指标的选取需要一定的针对性。系统运行的经济性和电能质量是本文所选择的两个重点指标。

2.1 系统运行指标

1) 网络损耗

$$h_1 = \sum_{i=1}^n k_i r_i \cdot \frac{P_i^2 + Q_i^2}{U_i^2} \quad (6)$$

式中： n 表示配电网中的支路总数； k_i 表示开关 i 的状态，0表示断开，1表示闭合； r_i 表示支路 i 的电阻； P_i 、 Q_i 是流过支路 i 的有功功率和无功功率； U_i 是支路 i 末端节点的电压。

2) 电压偏移量

$$h_2 = \sum_{j=1}^m \left| \frac{U_j - U_{jN}}{U_{jN}} \right| \quad (7)$$

式中： m 为配电网节点数； j 为配电网节点号； U_j 和 U_{jN} 为节点 j 处的实际电压和额定电压，通常认为 $U_{jN}=1$ 。在网络重构中 h_2 越小，说明配电网各节点实际电压与额定电压相差越小，配电网电压质量越高。

3) 综合评估指标

为了判别的全面，将本文提到的两个系统运行指标综合考虑，首先对各指标进行归一化处理再利用权重系数方法将两个指标转换为单一综合指标，其综合评估指标可表示为

$$H(t) = w_1(t) \cdot \frac{h_1(t)}{\sum_{i=1}^{24} h_1(i)} + w_2(t) \cdot \frac{h_2(t)}{\sum_{i=1}^{24} h_2(i)} \quad (8)$$

式中： $H(t)$ 为 t 时刻系统的综合评估指标； $w_1(t)$ 、 $w_2(t)$ 为 t 时刻网损指标和电压偏移指标的权重系数，在实际配网运行中，调度人员可以根据负荷预测情况取值，通常取 $w_1(t)=w_2(t)=0.5$ ，即在重构时段划分过程中，网损指标和电压偏移量同样重要； $h_1(t)$ 、 $h_2(t)$ 分别表示 t 时刻系统的网损和系统电压偏移量； i 表示第 i 个时刻。

2.2 时段划分方法

根据配网初始状态计算系统的综合评估指标，记为 $H_i(i=1,2,\dots,N)$ ，并定义 H_{\max} 为 $H_i(i=1,2,\dots,N)$ 中的最大值，令

$$H_i^* = \frac{H_i}{H_{\max}} \cdot 100\%, \quad i=1,2,\dots,N \quad (9)$$

将 1 天分成 24 个时段, 计算每个时段对应的综合评估指标, 并构成 1 天 24 h 的综合评估指标序列

$$H^* = \{H_1^*, \dots, H_{24}^*\} \quad (10)$$

根据数理统计相关知识求得综合评估指标的标准差为

$$S_d = \sqrt{[N \cdot \sum_{i=1}^N (H_i^*)^2 - (\sum_{i=1}^N H_i^*)^2] / N} \quad (11)$$

标准差可以用来描述系统综合评估指标的波动情况, 进而可以反映出配电网系统的运行特性。因此, 可以根据 1 天内 24 或 48 个时刻各节点的负荷数据计算出各时段系统的综合评估指标, 并设定可接受的最大标准差 S_{dmax} , 即可对负荷的变化进行时段划分。时段划分的步骤如下。

Step1: 计算各时刻系统的综合评估指标, 并给出系统允许的最大标准差 S_{dmax} 。

Step2: 将第 1 个自然时段并入重构时段 I, 再将第 2 个自然时段并入重构时段 I, 计算重构时段 I 中综合评估指标的标准差, 若标准差小于最大标准差, 则将第 2 个自然时段记入重构时段 I, 否则第 2 个自然时段将构成重构时段 II。

Step3: 在 step2 中, 若将第 2 个自然时段并入重构时段 I, 则将第 3 个自然时段并入重构时段 I, 重复 step2; 若第 2 个自然时段并入重构时段 II, 则将第 3 个自然时段并入重构时段 II, 计算重构时段 II 中所有时刻的标准差, 判别方法同 step2。

Step4: 以此类推, 直至所有自然时段全部划入重构时段。

配电网在实际运行中, 通常只能得到最大重构次数或者开关操作约束等条件。若 S_{dmax} 取值较小, 重构时段会增加; 反之, 重构时段将会减少, 很难满足最大重构次数或开关操作约束条件。可知 S_{dmax} 的取值将会严重影响到重构时段的划分, 因此本文引入 S_{dmax} 修正因子 χ 对 S_{dmax} 进行修正, 首先初始化 S_{dmax} 并进行时段划分, 若重构时段小于最大重构次数, 则减小 S_{dmax} , 否则增加 S_{dmax} , 直到时段数等于最大重构次数。修正因子及 S_{dmax} 修正过程为

$$\chi = \frac{O}{O_{max}} \quad (12)$$

$$S_{dmax}^{k+1} = \chi \cdot S_{dmax}^k \quad (13)$$

式中: O 与 O_{max} 分别表示划分的时段数与最大重构时段数; k 表示迭代次数。

3 基于改进遗传算法的配电网分段重构

应用智能优化算法求解问题, 应根据实际问题的特点, 确定合适的搜索空间, 可以提高算法的搜

索效率。配电网通常是闭环设计、开环运行, 所谓闭环设计, 即合上配电网中的所有开关则形成一个具有多个环路的连通图; 对于开环运行, 即必须保证断开一定数量的开关, 同时配电网保持连通状态且不形成环网。

配电网重构的实质就是寻找到合适的开关组合, 在满足网络拓扑结构约束的条件下, 使某一或多个指标最优。

3.1 染色体编码

在配电网重构优化中, 利用遗传算法进行优化容易产生大量的不可行解, 将大大降低算法的寻优速度。对于 IEEE14 节点系统, 共有 16 条支路, 若以 0 表示开关断开, 1 表示开关闭合, 则会产生 $2^{16}=32768$ 个个体, 而对于该系统实际的有效解个体仅有 190 个, 有效解只占问题空间的 0.5798%, 利用该法编码其效率极低。

本节将介绍一种新的染色体编码方案, 以降低无效解向量的数量。

首先引入度的概念, 对于网络中任意节点, 若与其相连的边数为 x , 则说明该节点的度为 x , 对于图 1(a) 中的 1 号节点, 其度为 4, 同理, 对于 2 号节点, 其度也等于 4。

下面将对系统进行简化处理, 去掉图 1(a) 中度为 1 和 2 的所有节点, 保留度为 4 的节点, 则系统可以简化为图 1(b)。对于图 1(a), 其解向量空间为 $2^{12}=4096$ 个个体, 而在图 1(b) 中, 其有效解个体仅为 384 个, 通过该种编码方式, 可以在很大程度上降低算法寻优的解空间。

对于图 1(b) 所表示的网络, 将产生 $2^3=8$ 条染色体, 结合配电网闭环设计, 开环运行的原理, 对以上 8 条染色体进行孤岛和环网的检测, 若无孤岛和环网, 则在 A、B、C 三条线路中分别选择某一开关进行开/闭操作。

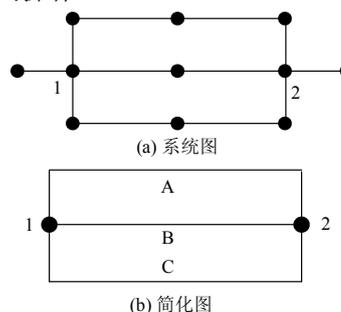


图 1 某一配电网系统及其简化图

Fig. 1 Distribution network and its simplified diagram

3.2 基于自适应调整的交叉、变异

基本 GA 中固定的交叉率和变异率使得寻优效

率不高,影响算法的性能,交叉率 P_c 和变异率 P_m 的调整应当综合体现进化程度的信息。文献[14]指出交叉率应当按照线性规律递减,变异率则按照指数规律增加,故本文在对染色体进行交叉、变异操作时,分别设定 P_c 和 P_m 分别为

$$P_c^{(k+1)} = P_c^{\text{initial}} + \frac{k+1}{T_{\max}}(P_c^{\text{initial}} - P_c^{\text{end}}) + e^{-\Delta f(t)^{-1}} \quad (14)$$

$$P_m^{(k+1)} = P_m^{\text{initial}} + \frac{k+1}{T_{\max}}(P_m^{\text{initial}} - P_m^{\text{end}}) \cdot e^{-\frac{t+1}{T_{\max}}\Delta f(t)} \quad (15)$$

式中: $P_c^{(k+1)}$, $P_m^{(k+1)}$ 分别表示第 $k+1$ 次迭代中的交叉率和变异率; P_c^{initial} , P_c^{end} , P_m^{initial} , P_m^{end} 分别为初始和终止的交叉率和变异率; T_{\max} 为最大迭代次数; $\Delta f(t)$ 为第 $k+1$ 和第 k 代种群适应度的平均值之差。

3.3 网络动态重构算法流程图(图 2)

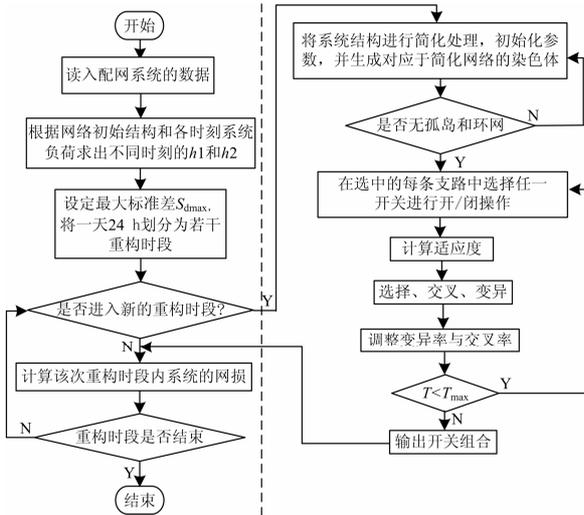


图 2 算法流程图

Fig. 2 Flow chart of algorithm

4 算例分析

本节算例来自文献[15]的 IEEE33 节点配电网系统,如图 3 所示。算法参数的设置如下: $w_1(t)=0.5$, $w_2(t)=0.5$; 初始种群大小为 30, 最大迭代次数为 100。

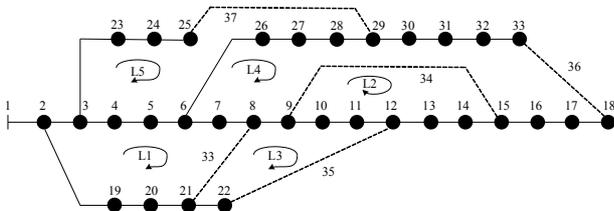


图 3 IEEE33 节点系统

Fig. 3 IEEE 33-bus system

重构前负荷划分为 24 个自然时段,第 1 个自然时段为 0:00~1:00,其他自然时段依此类推。根据文献[12]可以得到一天 24 h 各节点在各时刻的负荷,如图 4 所示,假设在任意自然时段内(1 h)负荷保持恒定,同时约定单个开关的最大动作次数不超过 3 次,总开关动作次数不超过 15 次,开关的操作费用为 7 元/次,负荷电价为 0.7 元/kWh,按照文献[16]的结论,设定开关在每个重构时段的初始时刻动作。

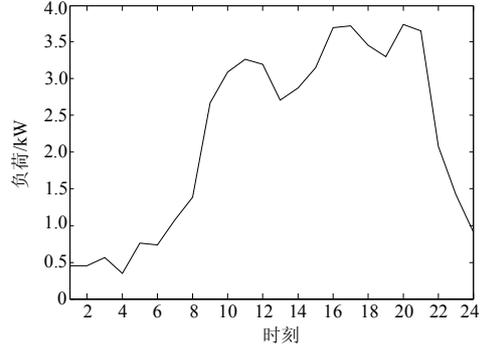


图 4 典型日负荷曲线

Fig. 4 Typical daily load curve

在配电网实际运行计划安排中,只能对一天之内重构次数和系统内开关操作总数进行限制,进行重构时段划分时,综合评估指标最大标准差 S_{dmax} 的取值非常关键。若 S_{dmax} 设置得较小,则时段数将会增加,增加开关动作次数;若 S_{dmax} 取值较大,则会出现相反的情况。表 1 说明了不同的 S_{dmax} 对应不同的时段划分结果。

表 1 重构时段划分的影响

Table 1 Influence of division reconfiguration

S_{dmax}	重构时段
1.0	0:00~8:00, 8:00~15:00, 15:00~21:00, 21:00~22:00, 22:00~24:00
1.2	0:00~8:00, 8:00~18:00, 18:00~21:00, 21:00~24:00
1.4	0:00~8:00, 8:00~21:00, 21:00~24:00
1.6	0:00~9:00, 9:00~22:00, 22:00~24:00
1.8	0:00~9:00, 9:00~22:00, 22:00~24:00
2.0	0:00~9:00, 9:00~23:00, 23:00~24:00

由表 1 可知,当系统对最大重构次数设定为 3 次时,重构时段 I 为 0:00~8:00(9:00),重构时段 II 为 8:00~21:00 或者 9:00~22:00,重构时段 III 为 21:00~24:00 或者 22:00~24:00。

系统的运行费用包含系统网损费用和开关操作费用两个部分。当系统不进行任何操作时,整个网

络在 1 天之内的有功损耗为 2 217.5 kW, 运行费用为 1 552.25 元。

从表 2 可知, 通过对系统进行重构, 可以降低一天内系统运行的网损, 从而提高电网运行的经济性。对于 IEEE 33 节点, 系统的初始运行网损为 2 217.5 kW。对于重构方案 1, 其网损降低至 1 558.3 kW, 运行费用为 1 139.81 元; 对于重构方案 2, 其网损降低至 1 949.9 kW, 运行费用降低至 1 074.46 元。故方案 2 为最佳方案。

表 2 33 节点系统重构方案

Table 2 Reconfiguration schemes of 33 bus system

重构方案	开关操作方案	网损/ kW	开关总操 作次数/次
原始结构	33,34,35,36,37	2 217.5	0 次
方案 1	0:00: 7,11,14,28,34	1 558.3	7 次
	8:00: 7,9,14,24,33 21:00: 7,9,14,24,33		
方案 2	0:00: 7,9,14,28,32	1 494.9	4 次
	8:00: 7,9,14,28,32 21:00: 7,9,14,28,32		

表 3 给出了本文最优方案比文献[10]中最优方案的对比。由于本文算例与文献[10]中算例系统的初始运行费用不同, 无法直接比较其优化后系统的运行费用, 故选取其费用降低百分比这一指标进行对比, 可以看出, 本文所采用的方法更优。

表 3 重构方案比较

Table 3 Comparison of the reconfiguration schemes

研究方法	重构前运行费用	重构后运行费用	节约率
本文方法	1 552.25 元	1 074.46 元	30.78%
文献[10]	2 087.37 元	1 453.9 元	30.51%

图 5 与图 6 给出了系统重构前后各时刻网损和系统电压偏移量的变化情况。在图 5 中, 重构时段

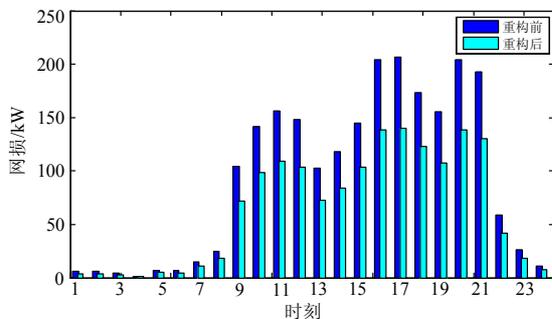


图 5 重构前后系统各时刻网损变化情况

Fig. 5 Change of power loss each time before and after reconfiguration

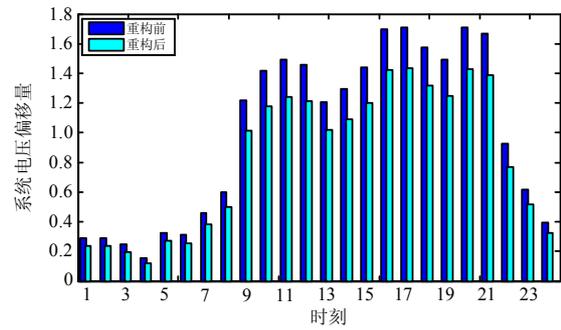


图 6 重构前后系统各时刻电压偏移量变化情况

Fig. 6 Change of the total voltage offset each time before and after reconfiguration

I(0:00~8:00)中, 系统负荷较轻, 网损的减少量不明显, 当进入白天早高峰之后, 系统负载明显增加, 故在重构时段 II(9:00~21:00)中, 系统的网损减少量极为可观, 经济性显著。与此同时, 整个系统的电压偏移量之和也有不同程度的降低, 尤其是在重构时段 II 中。综上, 通过对系统在不同时刻进行重构, 不仅能够有效提高系统运行的经济性, 同时也改善系统电压水平, 增强电网运行的可靠性、保证电能质量。

5 结语

本文提出了考虑开关操作次数约束且基于电网运行特性指标变化的时段划分方法, 实际可操作性强, 能够较好地反映网络各时段的网损及电压偏移的变化情况。通过对算例的分析, 得出了以下结论:

(1) 提出了基于重构次数的配电网动态重构数学模型。

(2) 提出了反映系统经济性与可靠性的综合评价指标, 并利用综合指标的波动情况对系统的重构时段进行有效划分。

(3) 通过算例分析, 表明了分段重构能够带来一定的经济效益并改善电能质量。

参考文献

- [1] 刘莉, 陈学允. 基于模糊遗传算法的配电网网络重构[J]. 中国电机工程学报, 2000, 20(2): 66-69.
LIU Li, CHEN Xueyun. Distribution network reconfiguration based on fuzzy genetic algorithm[J]. Proceedings of the CSEE, 2000, 20(2): 66-89.
- [2] 陈春, 汪枫, 黎灿兵, 等. 含分布式风电的配电网预防性重构[J]. 电工技术学报, 2013, 28(9): 172-177.
CHEN Chun, WANG Feng, LI Canbing, et al. Preventive reconfiguration network of distribution networks with distributed wind power[J]. Transactions of China

- Electrotechnical Society, 2013, 28(9): 172-177.
- [3] 吕林, 王佳佳, 刘俊勇, 等. 基于多粒子群分层分布式优化的配电网重构[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(19): 56-60, 68.
LÜ Lin, WANG Jiajia, LIU Junyong, et al. A distributed hierarchical structure optimization algorithm based poly-particle swarm for reconfiguration of distribution network[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(19): 56-60, 68.
- [4] 余健明, 张凡. 基于改进免疫遗传算法的配电网重构[J]. 电网技术, 2009, 33(19): 100-105.
YU Jianming, ZHANG Fan. Distribution network reconfiguration based on improved genetic algorithm[J]. Power System Technology, 2009, 33(19): 100-105.
- [5] 麻秀范, 张粒子. 基于十进制编码的配网重构遗传算法[J]. 电工技术学报, 2004, 19(10): 65-69.
MA Xiufan, ZHANG Lizi. Distribution network reconfiguration based on genetic algorithm using decimal encoding[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2004, 19(10): 65-69.
- [6] ZHU Jizhong, CHANG C S. Refined genetic algorithm for minimum-loss reconfiguration of electrical distribution network[J]. IEEE Transactions on Energy Management and Power Delivery, 1998, 2(3): 66-69.
- [7] 卫健, 吕林, 魏震波, 等. 计及可靠性因素的配电网多目标重算法[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(13): 72-75.
WEI Jian, LÜ Lin, WEI Zhenbo, et al. Multi-objective reconstruction algorithm of distribution network considering the reliability factors[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(13): 72-75.
- [8] 刘蔚, 韩祯祥. 基于最优流法和遗传算法的配电网重构[J]. 电网技术, 2004, 28(19): 29-33.
LIU Wei, HAN Zhenxiang. Distribution network reconfiguration based on optimal flow pattern algorithm and genetic algorithm[J]. Power System Technology, 2004, 28(19): 29-33.
- [9] 李振坤, 陈星莺, 赵波, 等. 配电网动态重构的多代理协调优化方法[J]. 中国电机工程学报, 2008, 28(34): 72-79.
LI Zhenkun, CHEN Xingying, ZHAO Bo, et al. Dynamic reconfiguration of th distribution network based on multi-agent system[J]. Proceedings of the CSEE, 2008, 28(34): 72-79.
- [10] 江东林, 刘天琪, 李樊. 采用时段动态划分和分层优化策略的配电网重构[J]. 电网技术, 2012, 36(2): 153-157.
JIANG Donglin, LIU Tianqi, LI Fan. Dynamic distribution network reconfiguration based on dynamic partition of time intervals and hierarchical optimization[J]. Power System Technology, 2012, 36(2): 153-157.
- [11] 杨胡萍, 彭云焰, 熊宁. 配网动态重构的静态解法[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(8): 53-57.
YANG Huping, PENG Yunyan, XIONG Ning. A static method for distribution network dynamic reconfiguration[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(8): 53-57.
- [12] 吴建中, 余贻鑫. 最小化运行费用的时变重构全局优化算法[J]. 中国电机工程学报, 2003, 23(11): 13-17.
WU Jianzhong, YU Yixin. Global algorithm to time-varying reconfiguration for operation cost minimization [J]. Proceedings of the CSEE, 2003, 23(11): 13-17.
- [13] 邓佑满, 张伯明, 田田. 虚拟负荷法及其在配电网动态重构优化中的应用[J]. 中国电机工程学报, 1996, 16(4): 241-244.
DENG Youman, ZHANG Boming, TIAN Tian. A fictitious load algorithm and its application to distribution network dynamic optimizations[J]. Proceedings of the CSEE, 1996, 16(4): 241-244.
- [14] WU Q H, CAO Y J. Stochastic optimization of control parameters in genetic algorithm[C]// IEEE International Conference on Evolutionary Computation, 1997(4): 77-80.
- [15] 熊宁, 程浩忠. 基于开关组的禁忌算法在配电网动态重构中的应用[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(11): 56-60.
XIONG Ning, CHENG Haozhong. Switch group-based tabu algorithm applied in distribution network dynamic reconfiguration[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(11): 56-60.
- [16] 戴伟华, 梅贱生, 熊宁, 等. 基于时间区间的实用配电网重构方法[J]. 电力系统保护与控制, 2008, 36(24): 41-44, 57.
DAI Weihua, MEI Jiansheng, XIONG Ning, et al. Practical method on time interval based distribution network reconfiguration[J]. Power System Protection and Control, 2008, 36(24): 41-44, 57.

收稿日期: 2014-03-26; 修回日期: 2014-05-08

作者简介:

田昊(1988-), 男, 硕士研究生, 研究方向为分布式电源与智能电网。E-mail: 412556348@qq.com