

基于启发式搜索降低配电网网损的配网重构算法

唐群纲, 林景栋

(重庆大学自动化学院, 重庆 400030)

摘要: 配电网网络重构是配电网自动化系统的一个重要组成部分, 给电力的供应提供了可靠性, 给电力操作提供了灵活性。配电网网络重构的解是一组开关的组合, 网络重构的目标多种多样, 在实际应用中如何选取适合不同的配电网网络重构方法是研究的目的。重点在启发式搜索和前推回代的配电网潮流计算方法的基础上以系统网损最小为目标函数来优化配网结构。首先生成一个 $1 \times N$ 阶描述配电网开关通断的矩阵, 然后以网损不能再减少为目的对所有的联络开关进行搜索, 而寻找全局最优解。

关键词: 配电网; 网络重构; 启发式搜索; 网络损耗; 前推回代法潮流计算

Reconfiguration of distribution network algorithm of power loss reduction based on heuristic search

TANG Qun-gang, LIN Jing-dong

(College of Automation, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: Reconfiguration of distribution networks, which is a key function of distribution automation system, is an important guarantee to enhance reliability of power supply and flexibility of power operating condition. Solution of reconfiguration of distribution networks is a set of combination of switch, objects of reconfiguration for distribution networks are multifarious. How to apply the proper reconfiguration method in real application is emphasized. Distribution network optimization is realized by it taking least system network loss as the objective function based on heuristic search and forward/backward sweep method power flow algorithm. First, according to structure of distribution networks and information of switch create an $1 \times N$ matrix, than search all of tie switch in the light of network loss cannot again reduce. And finally it seek overall and optimal solution.

Key words: distribution network; reconfiguration; heuristic search; network loss; forward/backward sweep method power flow algorithm

中图分类号: TM715

文献标识码: A

文章编号: 1003-4897(2007)14-0010-03

0 引言

配电网网络重构是配电网自动化的主要内容之一, 它是一个非线性组合优化问题, 其主要目的是通过改变线路开关状态来变换网络结构, 在实现电力供需平衡和满足容量、电压约束等前提下, 来降低网损。然而进行配电网重构是一个十分复杂的问题, 因此如何减小计算量, 寻找全局最优解并达到收敛效果好是近年来着重研究的问题。文献[1,2]提出了基于变结构耗散网络的重构算法, 或以负荷均衡为目标函数, 或以支路变换法降低网损为目标函数, 但均显得计算过于繁杂, 须待改正。文献[3,4]提出了一种简化的配电网模型方法及负荷计算法则, 使得配电网检索方便且结构清晰。文献[5]先用启发式算法找出局部最优解, 后用遗传算法找到全部最优解, 虽然简化了数学模型, 但是仍然存在着算法实现起来编程量和存储量大等缺陷。文献[6,7]仅仅从处理

隔离开关的角度优化配电网结构, 但还是利用了文献[2]中的算法, 使得存储量太大。

本文利用启发式搜索方法, 用前推回代的配电网潮流计算方法并以系统网损最小为目标函数, 可以快速寻找到全局最优解。

1 网损目标评价函数

配电网一般是环网结构开环运行, 在进行网络重构时, 先合上某一个联络开关形成一个弱环网, 然后选择并打开环网中某一个分段开关使之重新开网, 从而达到负荷转移, 达到负荷均衡和降低线损的目的。每次网络拓扑调整后, 引起的有功线损变化量 ΔP 可以表示为:

$$\Delta P = 2R_e [(\sum_{i \in D} I_i)(V_m - V_n)] + R_{loop} \left| \sum_{i \in D} I_i \right|^2 \quad (1)$$

式中: D 为发生负荷转移的节点集合; V_m , V_n 为联络开关两端的电压降; R_{loop} 为合上联络开关后形成

环网的总电阻。

一般配电网沿线电压相角变化较小, 若忽略 V_m, V_n 间相位差, 则上式可表示为:

$$\Delta P = 2 \left| \sum_{i \in D} I_i \right| (V_m - V_n) + R_{loop} \left| \sum_{i \in D} I_i \right|^2 \quad (2)$$

令 $I = \sum_{i \in D} I_i$, 式 (2) 可化为:

$$\Delta P = 2I(V_m - V_n) + R_{loop} I^2 \quad (3)$$

现以 I 为自变量, ΔP 为因变量, 则式 (3) 为一开口向上的二次抛物线, 式子两边对 I 求导可得最小网损, 即为每次网络重构的目标方向:

$$\frac{d \Delta P}{d I} = 2(V_m - V_n) + 2 R_{loop} I \quad (4)$$

令式 (4) = 0, 则有当 ΔP 为最小时:

$$I = \frac{V_m - V_n}{R_{loop}} \quad (5)$$

$$\Delta P = (V_m - V_n)^2 / R_{loop} \quad (6)$$

2 网络潮流计算

在正常情况下, 配电网以馈线为单位呈辐射状结构运行, 每一源点分别对一块区域供电, 因此, 在潮流计算时, 以源点为平衡点, 分别对每一区域采用前推回代法进行潮流计算, 具体表达如下:

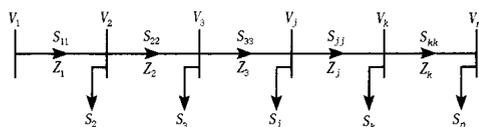


图 1 放射状配电网主干图

Fig.1 Trunk diagram of the radiated distribution network

如图 1 所示, V_1 是电源点, 其余节点均是 PQ 点, 则有:

节点电压表示为

$$V_i = E_i + jF_i \quad (i=1,2, \dots, j,k, \dots, n) \quad (7)$$

各节点注入功率已知, 表示为

$$S_i = P_i + jQ_i \quad (i=2,3, \dots, j,k, \dots, n) \quad (8)$$

各支路阻抗表示为

$$Z_i = R_i + jX_i \quad (i=1,2, \dots, j,k, \dots, n-1) \quad (9)$$

各支路由首端到末端的支路潮流表示为

$$S_{ii} = P_{ii} + jQ_{ii} \quad (i=1,2, \dots, j,k, \dots, n-1) \quad (10)$$

根据各母线节点功率输入输出平衡关系, 可得:

$$S_{jj} = S_{kk} + S_k + I_j \overline{I_j} Z_j \quad (11)$$

式中: $I_j = (S_{kk} + S_k) / V_k$ 为支路 j 的支路电流, $\overline{I_j}$ 为支路 j 的电流共轭, $j=n-1, n-2, \dots, 2, 1; k=j+1, j+2, \dots, 3, 2$ 。

将式 (7)、(8)、(9)、(10) 代入式 (11) 得:

$$P_{jj} = P'_{kk} + \frac{P'_{kk}{}^2 + Q'_{kk}{}^2}{V_k^2} \cdot R_j \quad (12)$$

$$Q_{jj} = Q'_{kk} + \frac{P'_{kk}{}^2 + Q'_{kk}{}^2}{V_k^2} \cdot X_j \quad (13)$$

其中: $P'_{kk} = P_{kk} + P_k$, $Q'_{kk} = Q_{kk} + Q_k$ 。

由图 1 根据欧姆定理有: $V_k = V_j - I_j Z_j$, 经整理得出节点电压递推算式:

$$E_k = E_j - \frac{(P_j R_j + Q_j X_j) E_j}{E_j^2 + F_j^2} + \frac{(P_j X_j - Q_j R_j) F_j}{E_j^2 + F_j^2} \quad (14)$$

$$F_k = F_j - \frac{(P_j R_j + Q_j X_j) F_j}{E_j^2 + F_j^2} - \frac{(P_j X_j - Q_j R_j) E_j}{E_j^2 + F_j^2} \quad (15)$$

其中: $j=1, 2, \dots, n-1; k=j+1, j+2, \dots, n$ 。

3 算法描述

根据配电网网络结构先生成一个 $1 \times n$ 阶描述配电网开关通断矩阵, 其中“1”表示开关接通时候的状态, “0”表示开关断开时候的状态。对每一次配电网结构调整均按上述所说的潮流计算方法进行潮流计算, 在进行搜索过程中加入了配电网网损评价函数作为启发性信息, 用于指导搜索朝着最有希望的方向前进。算法基本步骤如下:

- a. 生产初始 $1 \times n$ 阶配电网开关通断矩阵 B ;
- b. 用前推回代法对配电网进行潮流计算, 算出联络开关两端电压 U_m, U_n , 并计算网损 ΔP ;
- c. 进行配电网结构调整, 即合上联络开关当中一个并打开电压较高一侧的分段开关形成的网络, 进行潮流计算, 计算网损 $\Delta P'$, 若 $\Delta P' > \Delta P$, 舍却这次网络结构的调整, 若 $\Delta P' < \Delta P$, 继续进行下面的步骤;
- d. 生成新调整的配电网开关通断矩阵 B' , 并重复 b、c 两步, 直到网络结构不能再进行调整(即网损不能再减小)为止;
- e. 合上另一个联络开关, 打开经潮流计算得出的电压较高一侧分段开关形成新的网络, 进行潮流计算并计算网损 $\Delta P''$, 再进行 c、d 两边相关判

断;

f. 重复 e, 直至所有联络开关都进行调整后, 记下此次最小网损 ΔP_1 ;

g. 回到 a、b 两步, 进行网络结构调整, 合上不同于 c 步的另一联络开关, 并打开此次电压较高一侧的分段开关形成新的网络, 之后重复 c、d、e、f 各步, 记下此次最小网损 ΔP_2 ;

h. 重复 g 步, 直至所有联络开关都进行调整后, 分别记录下各次最小网损 $\Delta P_3, \dots, \Delta P_n$;

i. 比较所有各次的最小网损, 取出其中相对最小网损 ΔP_{\min} 所对应的配网结构, 就是所求最优网络结构。

4 结论

降低配电网网损一直是电力企业努力的方向, 在我国城网 110 kV 以下配电网线损占总线损的 60%, 可见降低配电网线损依然是降损工作的关键问题之一。

本文算法以网损最小为目标对每一个联络开关进行搜索来优化配电网网络结构, 可得到的配网结构是配电网网损最小的全局最优解。但是因为降低网损必须是一个既经济又实时的工作, 因此有许多可研究之处, 特别是网络重构的研究, 通过深入研究网络重构降低配电网网损而不断改进算法, 更有效地应用到配电网网络规划及实时系统中去以达到配电网优化的效果。

参考文献

- [1] 孙健, 江道灼. 一种多目标配电网网络重构新算法[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(20): 57-61.
SUN Jian, JIANG Dao-zhuo. A New Multi-Objective Algorithm for Distribution Network Reconfigura-

tion[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(20): 57-61.

- [2] 刘健. 变结构耗散网络——配电网自动化新算法[M]. 北京: 水利水电出版社, 2000.
LIU Jian. Structure Variable Dissipated Network——New Algorithm to Distribution System Automation[M]. Beijing: Hydraulic and Electric Power Press, 2000.
- [3] 刘健, 程红丽, 毕鹏翔. 配电网的简化模型[J]. 中国电机工程学报, 2001, 21(20): 77-82.
LIU Jian, CHENG Hong-li, BI Peng-xiang. A Simplified Model for Distribution System[J]. Proceedings of the CSEE, 2001, 21(20): 77-82.
- [4] 唐志平. 供配电技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005. 15-44.
TANG Zhi-ping. Technology of Provide Power Distribution[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2005. 15-44.
- [5] 余贻鑫, 邱炜, 刘若沁. 基于启发式算法与遗传算法的配电网重构[J]. 电网技术, 2001, 25(11): 19-22.
YU Yi-xin, QIU Wei, LIU Ruo-qin. Distribution System Reconfiguration Based on Heuristic Algorithm and Genetic Algorithm[J]. Power System Technology, 2001, 25(11): 19-22.
- [6] 张锋, 江道灼. 特殊配网接线负荷均衡改进算法[J]. 电力系统及其自动化学报, 2003, 15(12): 61-65.
ZHANG Feng, JIANG Dao-zhuo. An Improved Algorithm Solving Load Balancing of Special Distribution Network Connection[J]. Proceedings of the Chinese Society of Universities, 2003, 15(12): 61-65.
- [7] 熊虎岗, 龚乐年, 刘海涛. 变结构耗散网络中负荷均衡优化改进算法[J]. 电力系统自动化, 2002, 26(17): 49-53.
XIONG Hu-gang, GONG Le-nian, LIU Hai-tao. Improved Load Balancing Algorithm in Structure-Variable Dissipated Network[J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(17): 49-53.

收稿日期: 2006-12-07; 修回日期: 2007-01-22

作者简介:

唐群纲(1979-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为配电网自动化系统和配电网管理软件的设计。E-mail: tangqungang@163.com

(上接第 6 页 continued from page 6)

- [12] Holdsworth L, Wu X G, Ekanayake J B, et al. Direct Solution Method for Initialising Doubly-Fed Induction Wind Turbines in Power System Dynamic Models[J]. Proceedings of IEE Gener, Trans and Distrib, 2003, (5): 334-342.
- [13] 刘隽, 李兴源. 互联网低频振荡的相关问题及其研究[J]. 继电器, 2005, 33(16): 70-77, 84.
LIU Jun, LI Xing-yuan. Research and Problems of Low Frequency Oscillation in Interconnected Power Networks[J]. Relay, 2005, 33(16): 70-77, 84.
- [14] 马晓光, 孟伟. 模糊控制技术在电动机节能中的应用[J]. 继电器, 2001, 29(1): 34-35, 49.

MA Xiao-guang, MENG Wei, ZHU Chang-dong. Application of Fuzzy Control Technique in Energy Saving of Motor[J]. Relay, 2001, 29(1): 34-35, 49.

收稿日期: 2007-01-15; 修回日期: 2007-03-06

作者简介:

洪敏(1982-), 女, 硕士研究生, 研究方向为电力系统稳定与控制; E-mail: jasmine508@163.com

李兴源(1945-), 男, 教授, 博士生导师, 中国电机工程学会理事, IEEE 高级会员, 从事电力系统稳定和控制等方面的研究工作。