

10kV 配电网拓扑结构的识别及实用潮流计算

刘莉¹, 姚玉斌¹, 陈学允¹, 孙小平²

(1. 哈尔滨工业大学, 黑龙江 哈尔滨 150001; 2. 沈阳航空工业学院, 辽宁 沈阳 110034)

摘要: 定义了树节点类来动态地反映节点间的链接关系, 采用深度优先算法, 快速识别网络拓扑结构的变化。运用树的遍历技术进行实用潮流计算, 递归方程的使用使得编程简单, 并且不需要形成阻抗阵或导纳阵。仿真算例表明本文所提出的方法是有效的。

关键词: 配电网; 拓扑结构; 潮流

中图分类号: TM64; TM713

文献标识码: B

文章编号: 1003-4897(2000)02-0017-03

1 引言

10kV 配电网为简化继电保护的需要运行时呈辐射状, 并且 R/X 比较高, 这两个特点使经典的潮流算法在配电网的应用受到挑战。PQ 分解法由于解耦条件的不满足而陷入困境, 牛顿法也常常陷于病态, 需要加以修正。从实际情况来看, 10kV 配电网负荷不象输电网那样呈点状分布, 而是呈面状分布, 负荷点数目巨大, 对调度运行人员来说, 需要一套准确、收敛性好的实用潮流算法来帮助其决策。

10kV 配电网面临的另一问题是, 分段开关和联络开关的存在使得网络结构可以随负荷变化而调整, 即进行重构。从目前重构理论来看, 大多方法都是以潮流计算为基础, 并进行多次的潮流计算。具体地说, 就是识别不同的开关状态组合下网络拓扑结构的变化, 并计算新网络的功率、电压分布。可见, 重构技术若想进入实用化阶段, 必须有一套好的方法能快速识别网络拓扑结构的变化, 并且要有一套收敛性好的潮流算法以满足实时的需求。

文献^[1]构造了一种标准节点结构, 即网络中所有的节点都有一个进入分支和不超过两个的流出分支, 通过搜索形成网络拓扑表, 然后利用前代回代法计算潮流分布。该方法比较直观, 但当节点对应的流出分支超过两个时无法处理。文献^[2]提出一种网络识别技术, 只处理变化了的分支, 计算量小, 但当支路的开合改变供电方向时, 容易造成混乱。

本文针对上述问题进行了深入研究, 开发了带有网络拓扑结构识别的实用潮流计算软件, 定义了

树节点类来动态地反映节点间的链接关系, 采用队列存储节点的深度优先算法, 并形成若干个以电源点为根的树。借助树的遍历技术完成潮流的前推回代计算, 递归方程的使用使得编程简单, 表达式简洁统一, 并且不需要形成阻抗阵或导纳阵。仿真算例表明, 本文所提出的方法快速、准确, 能满足实时调度要求, 并为配电网重构技术走向实用化奠定了良好的基础。

2 网络中节点数据的表示及拓扑结构的识别

辐射状的配电网可看成若干个以电源点为根的树。从数据结构来看, 树结构是由根开始的节点集合, 其组织方式是由根向外层节点扩展。一个节点既可看作上层某节点的子节点, 又可看作下层某节点的父节点。对于某一特定节点, 通常父节点只有一个, 而子节点可有若干个, 这些子节点又可分为一个首子节点和其兄弟节点。

将网络中的节点定义为树节点类, 每个树节点类包含一个数据域和三个指针域, 指针域有父指针 (parent)、首子指针 (headchild)、兄弟指针 (brother), 分别指向父节点、首子节点、兄弟节点, 这样就把一个节点在网络中的位置动态地表示出来, 父节点对应的功率流入节点, 首子节点和其兄弟节点对应着功率流出节点。

网络的节点和支路可以任意编号, 与常规潮流计算不同的是, 支路数据多了开关控制变量 K , 0 表示开关断开, 1 表示合上, 没有开关的支路 K 值保持 1 不变。 K 值由实际运行状态决定, 网络重构时, 开关状态将发生变化。

采用队列存储节点的深度优先算法, 从根节点出发, 寻找每个节点对应的父、首子、兄弟节点, 不存

收稿日期: 1999-07-30

作者简介: 刘莉(1963-), 女, 博士, 副教授, 主要从事智能技术在电力系统中的应用等方面的研究。

在的用空表示。这样,以电源点为根的树就可以动态地表示出来。

另外,需要说明的是,以配网重构的智能算法中, k 的状态是随机产生的,有可能出现孤岛现象或出现环网,必须加入判断程序以确保每个用户的供电,并且使网络呈辐射状。

对图 1 所示网络,其拓扑结构可用图 2 所示的结构图表示。

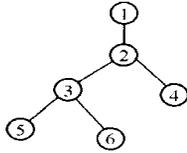


图 1 一简单网络

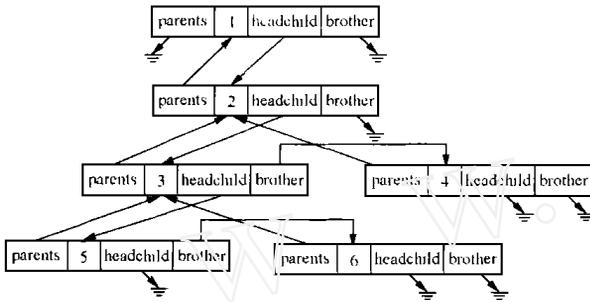


图 2 网络结构图

3 配电网实用潮流计算

配电网由馈线组成,每条馈线呈树状,馈线与馈线之间除在根节点处通过高压输电网相连以外,没有其他电气联系。根节点处的电压主要由输电网的潮流决定,可以认为,每条馈线的潮流分布由其本身的负荷及根节点处的电压决定,与其它馈线无关,即馈线具有解耦性。根据这一特性,配电网潮流可以以馈线为单位,多条馈线并行计算。

设 i 为某馈线中的一个父节点,为不失一般性,设父节点对应着 m 个子节点, j 为其中任意一个子节点,潮流方程可描述如下:

$$P_i = \sum_{j=1}^m (P_j + r_j \frac{P_j^2 + Q_j^2}{V_j^2}) + P_{Li} \quad (1)$$

$$Q_i = \sum_{j=1}^m (Q_j + x_j \frac{P_j^2 + Q_j^2}{V_j^2}) + Q_{Li} - Q_{Ci} \quad (2)$$

$$V_i^2 = V_j^2 - 2(r_j P_j + x_j Q_j) + (r_j^2 + x_j^2) \frac{P_j^2 + Q_j^2}{V_j^2} \quad (3)$$

其中, P_i 、 Q_i 分别为流入节点 i 的有功功率和无功功率;

P_j 、 Q_j 分别为流入节点 j 的有功功率和无功功率;

P_{Li} 、 Q_{Li} 分别为节点 i 处的有功负荷、无功负荷;

Q_{Ci} 为节点 i 处的无功补偿功率;

V_i 、 V_j 分别为节点 i 、 j 的电压;

r_j 、 x_j 分别为以 i 、 j 为末端节点的支路的电阻和电抗。

(1) ~ (3) 为一组递归方程,对树进行后向遍历,从树的叶子节点出发,利用已知的负荷功率,逐一计算(1) ~ (2) 式,即可求得根节点处功率。再从根节点出发,对树进行前向遍历,用(3) 式可求各节点电压。这样完成一次前推回代迭代。迭代重复进行,直至满足收敛标准为止。本文以网络中前后两次最大的支路损耗的变化量小于给定精度为收敛标准。

4 算例分析

本文进行了两组仿真计算。第一组为单一潮流计算,以分析潮流算法的收敛性;第二组进行网络重构试验,以此来验证网络拓扑结构识别算法的有效性。

本文对 16 节点^[3](考虑电容器)、69 节点^[5]进行了潮流计算,计算结果见表 1。可以看到,潮流计算经过 2 ~ 3 次迭代即可满足要求,算法具有很好的收敛性。

表 1 潮流计算结果

	网损(kW)	最低电压(pu)	迭代次数	计算时间(s)
16 节点	513.19	0.951	2	0.001
69 节点	225.71	0.897	3	0.05

本文以 33 节点^[4]为例,用遗传算法进行了网络重构,遗传算法是一个迭代过程,随机生成初始种群,然后通过选择、交叉、变异等遗传操作而一代代进化。本文以开关状态作为控制变量,对应着重构中开关状态的变化,本文所提算法均可以快速识别相应网络结构的变化。

图 3 为初始开关状态和最优开关状态下本算法所识别出的网络拓扑结构。图 3(a) 对应的网损为 203.80kW,最低节点电压为 0.897。图 3(b) 对应的网损为 140.49kW,最低节点电压为 0.923,可见在文献^[4]负荷下,图 3(b) 结构的性能指标明显优于图 3(a)。

5 结论

本文针对 10kV 配电网的特点,开发了带有网络拓扑结构识别的实用潮流计算软件,定义了树节点类来动态地反映节点间的链接关系,采用队列存储

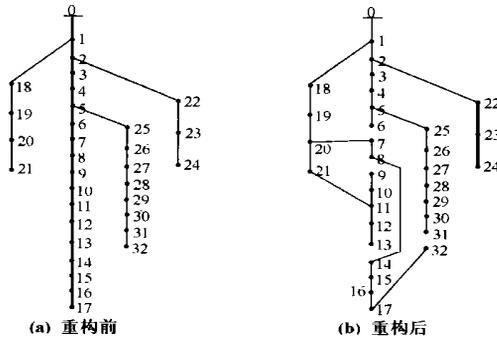


图3 重构前后拓扑结构图

节点的深度优先算法,快速识别网络拓扑结构的变化,并形成若干个以电源点为根的树。运用树的遍历技术进行实用潮流计算,递归方程的使用使得编程简单,表达式简洁统一,并且不需要形成阻抗阵或导纳阵。仿真算例表明,本文所提出的方法快速、准确,能满足实时调度的要求,并为配电网重构技术走向实用化奠定了良好的基础。

Topology structure identification and flow calculation of 10kV distribution network

LIU Li¹, CHEN Xue-yun¹, SUN Xiao-ping²

(1. Harbin Institute of Industry, Harbin, 150001 China; 2. Shenyang Institute of Aeronautical Engineering, Shenyang 110034, China)

Abstract: The Type of tree node is defined to show the link relation between nodes, and the depth - first strategy is employed to identify topology structure. Efficient power flow is calculated by means of tree technique and recursion, which do not need resistance or admittance matrix. Numerical results are presented to illustrate the feasibility of the proposed method.

Keywords: distribution networks; topology structure; power flow

参考文献:

- [1] Goswami S K, Basu S K. A New Algorithm for the Reconfiguration of Distribution Feeders for Loss Reduction. *IEEE Trans on Power System*. 1992, 7(3): 1484 ~ 1491.
- [2] Roytelman I, Melnik V, Lee S S H, Lugtu R L. Multi - objective Feeder Reconfiguration by Distribution Management System. *IEEE Trans on Power System*. 1996, 11(2): 661 ~ 667.
- [3] Civanlar S, Grainger J J, Yin H, Lee S S H. Distribution Feeder Reconfiguration for Loss Reduction. *IEEE Trans on Power Delivery*. 1988, 3(3): 1217 ~ 1223.
- [4] Baran M E, Wu F F. Networks Reconfiguration in Distribution System for Loss Reduction and Load Balancing. *IEEE Trans on Power Delivery*. 1989, 4(2): 1401 ~ 1407.
- [5] Hsiao - Dong Chiang, Rene Jean - Jumeau. Optimal Network Reconfigurations in Distribution Systems: Part 2: Solution Algorithms and Numerical Results. *IEEE Transactions on Power Delivery*. 1990, 5(3): 1568 ~ 1574.