

配电网潮流前推回代法的一种简单实现方法

陈旺虎¹, 陈奇志^{1,2}, 古树平¹, 刘洪涛³

(1. 西南交通大学 电气工程学院, 四川 成都 610031;

2. 成都交大光芒实业有限公司, 四川 成都 610031;

3. 青藏铁路公司, 青海 西宁 810007)

摘要:针对以往的前推回代实现方法需要复杂的节点和支路分层编号, 导致算法复杂, 程序效率低下等问题, 根据配电网的特点, 通过构造特殊的节点与支路数据结构, 形成配电网对应的树结构, 完全确定配电网拓扑结构。通过对树的后序遍历回代修正节点电流, 对树先序遍历前推修正节点电压, 不断迭代直至收敛, 形成一种实用的配电网潮流计算方法, 分析表明该方法无需复杂的网络编号、不用形成导纳矩阵。算例表明该方法编程简单、结果精确。

关键词:潮流计算; 配电网; 前推回代法; 拓扑结构; 树结构

中图分类号: TM744

文献标志码: A

文章编号: 1009-0665(2010)04-0045-03

配电网潮流计算是配电网分析的基础, 配电网的规划改造、经济运行、网络重构、无功优化和故障处理等都需要用到配网潮流计算的数据。配电网具有闭环结构、开环运行的特性, 稳态运行时网络结构多呈现辐射状; 配电网的 R/X 值较高, 多数情况大于 1, 且线路的充电电容可以忽略; 网络的 PQ 节点多, PV 节点较少等。正是配电网的这些特点使得输电网中一些成熟的潮流算法不能用于配电网潮流计算, 为此已研究出一些适合配电网的有效方法, 如回路阻抗法、改进牛顿法、改进快速解耦法、前推回代法等^[1], 其中前推回代法以其简单、灵活、方便等优点, 在配电网潮流计算中获得了广泛的应用^[2]。但以往的前推回代实现方法需要复杂的节点和支路分层编号。例如文献[3,4]应用广度优先搜索策略对配电网进行分层, 将根节点作为第一层, 作为父节点; 从根节点开始依次搜索直至遍历全部节点。这种分层方法思路清晰, 但搜索过程增加了程序的复杂度。文献[5]在支路始末节点数据输入的基础上确定配网拓扑结构表, 经过遍历深度优先搜索形成层次结构和节点队列以决定潮流计算顺序, 简化了输入操作, 但拓扑结构表的确定以及节点层次关系的建立都要依靠对支路和节点的搜索, 增加了程序的复杂度。提出构造特殊的节点与支路数据结构, 形成树结构确定配电网的拓扑结构, 不用形成导纳矩阵, 也不用对节点搜索分层。通过计算过程和算例分析可以看出本实现方法的优点。

1 根据配电网拓扑构造树结构

为后续的前推回代构造特殊的支路与节点结构

体数组, 确定配电网的拓扑结构, 使潮流计算变得简单, 省去分层搜索与复杂的编号。

节点结构体:

{节点号, 节点电压, 节点电流, 节点子节点 1, ……, 节点子节点 n , 指向子节点 1 的指针, ……, 指向子节点 n 的指针, 节点有功, 节点无功};

其中, n 表示配电网中节点的最大支路数, 节点电流指节点流向所有子节点的电流与节点负荷电流之和。节点的电流、电压是自定义结构类型, 描述如下。

电流结构体

{电流实部, 电流虚部};

电压结构体

{电压实部, 电压虚部};

支路结构体:

{支路头节点, 支路尾节点, 支路电阻, 支路电抗};

配电网所有节点构成节点数组, 所有支路构成支路数组, 节点数组与支路数组的元素为上述结构体类型。

可以从键盘输入节点数与支路数, 为节点数组和支路数组动态分配内存, 然后为节点数组与支路数组赋值。至此, 节点数组完全表达了配电网的结构和各节点的信息, 支路数组完全表达了支路的信息, 因此由节点数组与支路数组可以完全表达配电网的拓扑结构。

2 配电网前推回代法计算步骤

为说明实现方法的优越性, 以图 1 所示一个 10 节点的配电网模型来阐述本文方法的计算步骤。

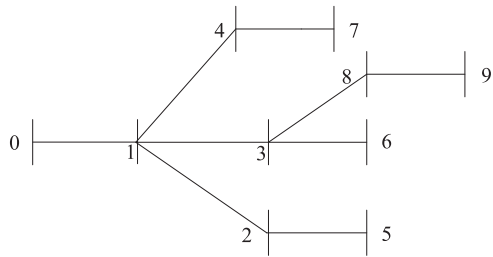


图1 配电网 10 节点模型

(1) 初始化节点电压

$$\dot{u}_i(0) = 1 \quad i = 0, 1, \dots, 9 \quad (1)$$

式中： \dot{u}_0 为 0 点电压，即树根节点电压。

(2) 回代计算

对树进行后序遍历修正各节点电流，即：

$$\dot{i}_j = (P - jQ) / u_j + \sum_{k=1}^n \dot{i}_k \quad (2)$$

式中： \dot{i}_j 为 j 节点的电流； $(P - jQ) / u_j$ 为 j 节点负荷电流； $\sum_{k=1}^n \dot{i}_k$ 为 j 节点流向所有子节点电流之和。

后序遍历节点的顺序为：5、2、6、9、8、3、7、4、1、0。本文在节点结构体中包含了节点的所有子节点以及节点的负荷，所以按式(2)修正电流十分方便。

(3) 前推计算

先序遍历树各节点，根据各节点的初始电压以及步骤(2)求得的各节点电流修正各节点电压，即：

$$\dot{u}_j = \dot{u}_i - \dot{i}_j \times Z_{ij} \quad (3)$$

式中： \dot{u}_j 为 j 节点的电压； \dot{u}_i 为 i 节点的电压； \dot{i}_j 为 j 节点的电流； Z_{ij} 为 i, j 间支路的阻抗； i 节点为 j 的父节点。

先序遍历节点的顺序为：0、1、2、5、3、6、8、9、4、7。由于节点结构体包含了其所有子节点的信息，对遍历的每个节点，如有子节点，则根据式(3)修正子节点电压，除根节点外所有节点都是某个节点的子节点所以所有节点的电压均得到修正。树的根节点即 0 节点不用修正。在支路数组中，节点的头、尾节点与支路阻抗是单值对应关系，因此式中支路阻抗可以根据支路的头节点和尾节点信息确定。

(4) 计算节点电压修正值

根据步骤(3)求得的各节点电压新值求电压修正量，即：

$$\Delta u_j(1) = \left| \dot{u}_j(1) - \dot{u}_j(0) \right| \quad (4)$$

并用新值代替旧值进行下一次迭代。

(5) 计算节点修正值最大值

$$\max(\Delta u_j(1)) \quad (5)$$

式中： $j = 0, 1, 2, \dots, n$ 。

(6) 判别收敛条件

$$\max(\Delta u_j(1)) < \varepsilon \quad (6)$$

式中： l 为迭代次数； ε 为设定的阈值。当式(6)成立时，退出迭代，输出最后电压值，否则重复步骤(2)~(6)，直至满足式(6)为止。

总之，在回代过程中，对树进行后序遍历修正各节点电流，在前推过程中，对树进行先序遍历修正各节点电压，直至收敛。经过上述迭代计算即可逼近各点电压的真值。算法流程图如图 2 所示。

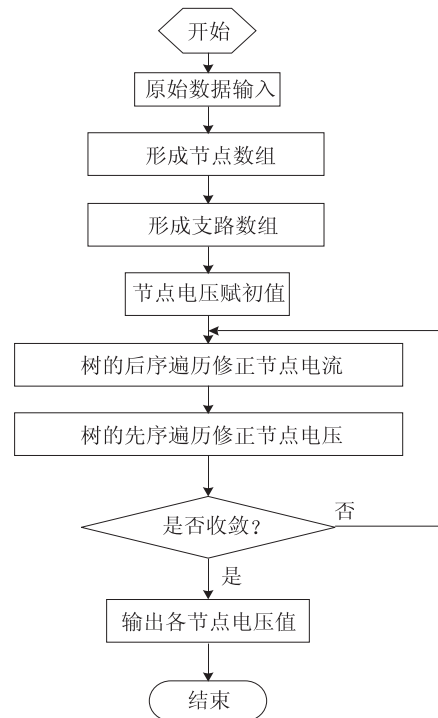


图2 前推回代潮流计算流程

3 算例分析

选取图 3 所示 IEEE 配电网 33 母线系统在 VC++6.0 上编写程序进行测试，图 3 测试系统的节点与支路参数见文献[2]附录部分。程序中收敛阈值设为 $\varepsilon = 10^{-6}$ 。

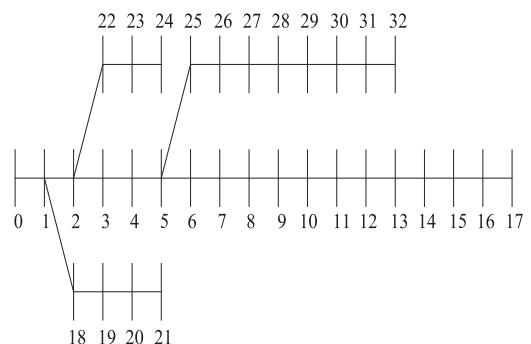


图3 配电网 33 母线测试系统

程序运行结果如表 1 所示。

表 1 算例程序运行结果

节点	电压	节点	电压
0	1.000 000	17	0.913 091
1	0.997 032	18	0.996 504
2	0.982 938	19	0.992 926
3	0.975 456	20	0.992 222
4	0.968 059	21	0.991 584
5	0.949 658	22	0.979 352
6	0.946 173	23	0.972 681
7	0.941 329	24	0.969 356
8	0.935 060	25	0.947 729
9	0.929 245	26	0.945 165
10	0.928 385	27	0.933 726
11	0.926 885	28	0.925 508
12	0.920 772	29	0.921 950
13	0.918 505	30	0.917 789
14	0.917 093	31	0.916 874
15	0.915 725	32	0.916 590
16	0.913 698		

程序运行结果与文献[2]附录部分给出的结果一致,验证了本文算法的精确性。

4 结束语

针对配电网的特点,在配电网对应的树

结构中使用特殊的节点与支路结构体,不需要形成导纳矩阵,也不需要搜索分层,以 IEEE 配电网 33 母线测试系统为算例在 VC++6.0 上编写程序进行测试,测试结果验证了本文算法的有效性、精确性。

参考文献:

- [1] RAY D Z, CHIANG H D. Fast Decoupled Power Flow for Unbalanced Radial Distribution Systems [J]. IEEE Transaction On Power Systems, 1995, 10 (4):2045-2051.
- [2] 王守相,王成山.现代配电系统分析[M].北京:高等教育出版社,2007.
- [3] 减睿,杨丽徙,娄和恭,等.前推回代潮流算法在城网规划中的应用[J].郑州工业大学学报,2000,21(4):82-83.
- [4] 杨仪松,王宽,周玲,等.一种配电网潮流计算的新方法[J].继电器,2006,34(13):46-49.
- [5] 戴雯霞,吴捷.基于支路电流的配网潮流前推后代法[J].继电器,2002,30(5):6-8.

作者简介:

陈旺虎(1980-),男,安徽安庆人,硕士,主要从事配电规划和配电自动化研究;

陈奇志(1970-),女,四川成都人,副教授,长期从事变电站自动化系统通信的研究;

古树平(1986-),男,江西吉安人,硕士,主要从事电力系统配电网故障诊断研究;

刘洪涛(1982-),男,四川成都人,工程师,主要从事铁道供电研究。

A Simple Implement Method of Back/forward Sweep Distribution Power Flow

CHEN Wang-hu¹, CHEN Qi-zhi^{1,2}, GU Shu-ping¹, LIU Hong-tao³

(1.Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China;

2.Chengdu Jiaoda Guangmang Co.,Ltd., Chengdu 610031, China;

3.Qingzang Rail Corp, Xining 810007, China)

Abstract: To resolving the problem of algorithmic complexity and low efficiency in the implement method of back/forward sweep algorithm formerly. On the basis of analyzing the techniques for power flow calculations of distribution network, the topology structure of distribution network is defined by the tree structure which consisted of special circuit branch structure and node structure. Correcting branch currents by postorder-traversing the tree structure and correcting nodal voltages by preorder-traversing the tree structure until constringency. There is no need to number the distribution network and to form admittance matrix in this implement method. The validity and accuracy of the implement method above is verified through analysis and the 33-bus system example.

Key words: power flow calculation; distribulion network; back/forward sweep algorithm; topology structure; tree structure

广告索引

盐城发电有限公司

江苏华电扬州发电有限公司

江阴胜源华电高压电器有限公司(黑白)

国电南瑞科技股份有限公司

封面

封二

文前 1

前插 1

《江苏电机工程》协办单位

《江苏电机工程》协办单位

江苏江南电力有限公司

南京南瑞集团公司

前插 2、3

前插 4

封三

封底