

# 基于回路阻抗法的配电网潮流计算

刘耀年<sup>1</sup>, 岂小梅<sup>1</sup>, 李国鹏<sup>2</sup>, 李月玲<sup>1</sup>

(1. 东北电力学院, 吉林 吉林 132012; 2. 沧州电业局, 河北 沧州 061000)

摘要: 依据配电网潮流计算的回路阻抗法, 结合配电网结线的特点, 定义了反映支路电流流向与节点分布规律的关联矩阵, 提出了形成阻抗矩阵和简单快速的节点、支路的编号方法; 在此基础上, 提出了一种配电网潮流计算的新方法。新算法具有编程简单易于实现, 收敛速度快, 计算精度高的特点。

关键词: 配电网; 潮流计算; 阻抗矩阵; 节点编号

中图分类号: TM732 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2004)08-0008-03

## 0 引言

潮流计算是配电网管理系统(DMS)的高级应用软件的重要组成部分,也是配电网自动化研究和分析计算的基础。配电网在稳态运行时网络多呈辐射状,只有在发生故障或切换负荷时才可能出现短时环网运行,在结构上具有闭环结构开环运行的特性。在线路参数上  $R/X$  比值较大,网络具有 PQ 节点多, PV 节点较少等特点,使得原来在输电网上行之有效的潮流算法,不能完全适用于配电网。为此,许多学者提出了一些适合于配电网潮流的算法,但在配电网的结构处理上仍存在一些问题<sup>[1,2]</sup>。

由 S. K. Goswami 等人提出的配电网潮流计算的回路阻抗算法<sup>[3,4]</sup>,具有较强的回路处理能力,而且收敛性较好,但方法在结构处理上需要复杂的节点和支路编号,给算法编程应用带来了困难。本文首先依据阻抗矩阵的特点,提出一种阻抗矩阵生成新方法,进而又改进了节点和支路的编号处理方式,提出了一种配电网潮流计算的新算法,算法编程简单,易于实现。

## 1 阻抗矩阵的生成方法

首先定义了反映支路电流流向与节点分布规律的关联矩阵,在此基础上提出了一种简单、易于编程的阻抗矩阵生成的新方法。

### 1.1 关联矩阵的生成

在传统的关联矩阵基础上,将支路的关联关系扩展为电流的流向分布,重新对关联矩阵定义,用以反映支路电流流向与节点的分布关系。

定义:关联矩阵  $A$  是一个  $(n-1) \times (n-1)$  阶矩阵( $n$  为节点数),其中元素  $a_{ij}$  的  $i$  对应于节点编号,  $j$  对应于支路编号。 $a_{ij}$  只有 0 和 1 两种可能情况,

当第  $j$  条支路的电流流向节点  $i$  时,  $a_{ij} = 1$ , 否则,  $a_{ij} = 0$ 。

### 1.2 阻抗矩阵的计算

设支路阻抗矩阵为  $Z = [z_1, z_2, \dots, z_j, \dots, z_n]$ , 根据节点阻抗阵的定义,节点  $i$  的自阻抗  $Z_{ii}$  值等于仅在节点  $i$  注入单位电流,其余节点电流均为开路时的节点  $i$  的电压;考虑到关联矩阵  $A$  反映了支路电流流向节点的分布规律,所以用  $A$  阵表示的自阻抗为:

$$Z_{ii} = \sum_{k=1}^i z_k a_{ik} \quad (1)$$

其中:  $z_k$  为支路阻抗阵中的元素,  $a_{ik}$  为关联矩阵  $A$  中的元素。

互阻抗  $Z_{ij}$  在数值上等于仅在节点  $j$  注入单位电流而其他节点电流均为开路时节点  $i$  的电压。应用关联矩阵  $A$  表示的互阻抗为:

$$Z_{ij} = \sum_{k=1}^s z_k a_{Dk} a_{Sk} \quad (2)$$

其中:  $z_k$  为支路阻抗阵中的元素;  $a_{Dk}$ 、 $a_{Sk}$  为关联矩阵  $A$  中的元素,  $D = \max(i, j)$ ,  $S = \min(i, j)$ 。由上述分析可知,只要建立了关联矩阵  $A$ , 利用各支路阻抗原始数据就可以根据式(1)、(2) 求出阻抗矩阵。

## 2 节点、支路的编号方法

基于二叉树理论,本文提出一种新的节点、支路编号方式,此方法无需加入虚节点,只要进行简单编号的运算,就可以将一般树转换成二叉树。算法步骤如下:

- 1) 取其根节点为 0;
- 2) 保留所有节点与其左子节点的链接;
- 3) 连接所有兄弟节点(拥有同一个父节点的儿子节点);

- 4) 切断所有节点与其右子节点的链接;
- 5) 将兄弟节点顺时针旋转 45°。

以图 1 辐射形配电网为例,应用上述运算步骤,对节点重新编号,先遍历根节点,再遍历左子树,最后遍历右子树。得到节点编号顺序为 1、2、5、11、12、6、3、7、4、8、13、9、10(括号中的数字为原编号),见图 2。

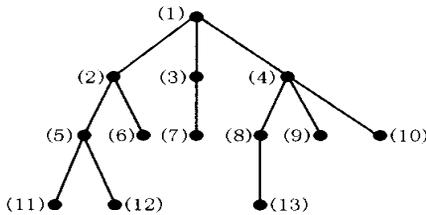


图 1 辐射形配电网

Fig. 1 Radial distribution network

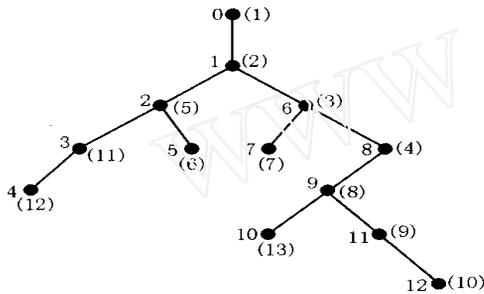


图 2 二叉树形式

Fig. 2 Binary-tree form

### 3 配电网潮流计算的回路阻抗法

#### 3.1 回路阻抗法的配电网潮流计算

从馈线的根节点发出到每一个负荷节点形成一条回路,由 KVL 定律可得电压方程:

$$U_S = Z_{11} I_1 + Z_{12} I_2 + \dots + Z_{1n} I_n$$

$$U_S = Z_{21} I_1 + Z_{22} I_2 + \dots + Z_{2n} I_n$$

...

$$U_S = Z_{n1} I_1 + Z_{n2} I_2 + \dots + Z_{nn} I_n$$

采用 LU 分解法对上式进行求解,可求出回路电流,即各个负荷节点的负荷电流。在此基础上求出各条支路上的电压降,进而再求出各节点的电压和负荷节点的功率。重复上述过程,直到求得的负荷节点功率与给定负荷的差值满足一定的精度要求为止。

#### 3.2 对算法的处理

在利用 LU 分解时, L 阵的形成由下式决定:

$$l_{ik} = (a_{ik} - \sum_{j=1}^{k-1} l_{ij} u_{jk}) / u_{kk} \quad (3)$$

由式(3)可知,当  $u_{kk}$  非常小时,  $l_{jk}$  会变得很大,致使 L 和 U 中的元素也会很大,影响数值计算的稳定性。为此采用下式处理:

$$S_i = a_{ik} - \sum_{j=1}^{k-1} l_{ij} u_{jk} \quad (i = k, k+1, \dots, n) \quad (4)$$

取满足  $|S_i| = \max\{|S_i|\} (k \leq i \leq n)$  的  $S$  为  $S_i$ ,然后交换关联矩阵 A 的第 k 行和第 i 行,使  $u_{kk} \neq 0$ 。这样处理改善了数值计算的稳定性,算例表明还提高了收敛速度。

### 4 算例

应用 VB 语言,用本文提出的阻抗矩阵生成节点、支路编号新方法,编制了潮流计算程序,算法步骤如下:

- 1) 输入原始数据,给定根节点电压值;
- 2) 对节点和支路进行编号;
- 3) 形成回路阻抗矩阵;
- 4) 用 LU 分解求解回路电流  $U = ZI$ ;
- 5) 从根节点向下计算节点电压  $U_i - U_j = ZI_{ij}$ ;
- 6) 迭代直至  $U^{(k+1)} - U^{(k)} < \epsilon$ ,否则转入(4);
- 7) 计算功率  $P = UI \cos \phi, Q = UI \sin \phi$ ;
- 8) 输出潮流计算结果,计算结束。

表 1 收敛速度比较

收敛精度 = $10^{-5}$	常规方法	本文方法
时间/s	0.586	0.107
迭代次数	5	3

表 2 两种计算结果的精度比较

Tab. 2 Accuracy comparison of results from two algorithms

	常规方法	本文方法	常规方法	本文方法
1	1.05	1.05	16	0.973 091 5
2	0.992 602 7	1.049 999 9	17	0.972 463 6
3	0.991 442 0	1.030 243 1	18	0.962 852 9
4	0.990 619 8	1.027 444 6	19	0.959 635 3
5	0.990 442 7	1.012 602 1	20	0.959 458 6
6	0.995 833 0	1.003 722 8	21	0.948 652 3
7	0.985 350 2	0.998 251 22	22	0.948 251 1
8	0.985 350 2	0.996 821 51	23	0.948 083 1
9	0.984 560 5	0.996 590 06	24	0.947 705 5
10	0.984 115 9	0.992 235 52	25	0.947 581 7
11	0.993 586 7	0.991 829 47	26	0.947 098 6
12	0.983 311 6	0.987 590 39	27	0.937 067 4
13	0.983 680 1	0.985 071 20	28	0.937 236 5
14	0.973 511 6	0.978 955 43	29	0.926 264 6
15	0.973 107 0	0.978 382 51	30	0.926 976 7

基于文献[5]的30节点算例,应用常规的二叉树方法(常规方法)与本文提出的算法,进行了比较。两种算法的计算收敛速度比较见表1,计算结果的精度比较见表2。结果表明,本文算法既可以加快收敛速度,又提高了计算精度。

## 5 结论

本文提出的阻抗矩阵生成方法和节点、支路的自动编号的新技术,解决了传统回路阻抗算法的节点和支路编号复杂、算法编程应用困难的问题。与传统算法比较可以看出:新算法具有计算精度高、收敛速度快的优点。应用新算法对输电网的IEEE30节点系统进行分析计算,也取得了收敛速度快,计算精度高的优点,表明了方法的有效性。

本文提出的算法具有编程简单,占内存少、计算速度快、精度高的优点,是一种实用、值得推广的配电网潮流计算方法。

## 参考文献:

- [1] 蔡中勤,等(CAI Zhong-qin, et al). 基于逆流编号法的辐射型配电网牛顿法潮流(Newton Load Flow for Distribution Network Based on Upstream Labeling

Technique)[J]. 中国电机工程学报(Proceedings of the CSEE), 2000, 20(6): 13-16.

- [2] 张尧,等(ZHANG Yao, et al). 树状网的潮流算法(A Load Flow Algorithm for Radial Distribution Networks)[J]. 中国电机工程学报(Proceedings of the CSEE), 1998, 18(3): 217-220.
- [3] Goswami S K, Basu S K. A New Algorithm for the Reconfiguration of Distribution Feeders for Loss Minimization[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1992, 7(3): 1484-1491.
- [4] Goswami S K, Basu S K. Direct Solution of Distribution System[J]. IEEE Proceeding-C, 1991, 138(1): 78-88.
- [5] 李华东,等(LI Huar-dong, et al). 配电网潮流计算的实用算法(A Load Flow Algorithm for the Distribution Network)[J]. 东北电力学院学报(Journal of Northeast China Institute of Electric Power Engineering), 1997, 17(1): 57-63.

收稿日期: 2003-07-14; 修回日期: 2003-09-24

## 作者简介:

刘耀年(1951-),男,教授,主要从事配电网自动化、人工智能等方面的研究工作;

岂小梅(1978-),女,硕士研究生,主要从事配电网自动化、PAS应用软件等方面的研究工作。

## Load flow algorithm for distribution network based on loop-impedance method

LIU Yao-nian<sup>1</sup>, QI Xiao-mei<sup>1</sup>, LI Guo-peng<sup>2</sup>, LI Yue-ling<sup>1</sup>

(1. Northeast China Institute of Electric Power Engineering, Jilin 132012, China;

2. Cangzhou Power Bureau, Cangzhou 061000, China)

**Abstract:** Based on the loop-impedance method for load flow algorithm and the characteristics of connection in distribution network, a relevant matrix describing the flow direction of branch current and nodes distribution is established, and a method to form impedance matrix and a simple but fast node and branch-numbering scheme are proposed. On the basis of the above, a new method of load flow algorithm for distribution network is presented. The method has the advantages of programming simply, converging fast and computing accurately.

**Key words:** distribution network; load flow algorithm; impedance matrix; nodes numbering

## 山东正在筹建我国最大生态电厂

地处山东省北部的鲁北国家生态工业园区目前正在建设国内最大的生态电厂。这项工程是由山东鲁北企业集团总公司和山东中泰置业有限公司共同出资建设的,其中一期装机容量为2×300 MW燃煤发电工程已开工,二期建设计划装机容量为5×600 MW。

据介绍,该项目实施后,可与鲁北企业集团现有的生态工业系统实现有机结合。电厂采用海水冷却,海水温度升高后,送鲁北盐场制盐。而电厂排出的炉渣,一部分送鲁北企业集团水泥厂作掺加混合料,另一部分送鲁北制砖厂生产粉煤灰砖。电厂锅炉烟气则采用石灰湿法脱硫工艺,所产石膏渣送鲁北企业集团用作生产硫酸的原料。