文章编号:1005-0523(2009)05-0084-05

一种实用的配电网潮流算法

郭剑峰,孙惠娟,苑方丞

(华东交通大学 电气与电子工程学院,江西 南昌 330013)

摘要:目前matlab潮流计算程序多是基于输电网开发,而对配电网中潮流计算程序较少开发。配电网由于其特有的辐射性、R/X较大、节点较多的特性,导致用于输电网的潮流计算方法由于收敛性问题并不适用于配电网系统中。针对辐射性配电网的特点,开发了用于配电网潮流计算的matlab程序,该程序采用新的支路选择方法,无需对网络进行复杂的编号,并通过算例验证了程序的正确性。

关 键 词:配电网;潮流;前推回代法;matlab程序

中图分类号:TM711 **文献标识码**:A

配电网潮流计算是配电网规划、运行分析、状态估计和网络重构的基础[1]。由于配电网的网络结构与输电网相比有着明显的差异,如配电网一般采用闭环设计、开环运行,其结构一般呈辐射状,而输电网一般采用环网运行;配电网由于线路相对较短,其R/X一般较大,使得用于输电网潮流计算的方法如牛顿-拉夫逊法、P-Q分解法等由于收敛难以保证而无法直接应用。而目前各种配电网潮流计算方法虽然无需雅克比矩阵,收敛可靠,但节点编号复杂。本文提出的算法无需复杂的节点和支路编号方法,节点编号只要按数字连续排列,而无需其他规律。

MATLAB自1980年问世以来,以其学习简单、使用方便以及强大的矩阵处理功能受到越来越多的关注,目前已成为国际控制界最流行、使用最广泛的仿真语言之一。它具备一般程序设计语言的基本语句结构,并且功能更强,由它编写出来的程序结构简单,可读性强。

因此,本文基于MATLAB语言编写出辐射型配电网潮流计算程序。并用算例验证了程序的正确性。

1 数学描述[2]

一般配电网网络结构是由一个供电点通过辐射状网络向任意多个负荷节点供电,供电点即是树的根节点,树中不存在任何闭合回路,功率的传送方向是完全确定的,任一条支路都有确定的始节点和终结点。其中树的节点又分为叶节点和非叶节点两类。叶节点只同一条支路连接且为该支路的终结点;非叶节点同两条或两条以上的支路连接,既是一条支路的终结点,又兼做另外一条或多条支路的始节点。

一般而言,配电网中各节点的编号可由计算机按一定的规律完成,从而决定前推功率计算的顺序。按如下公式计算该条支路的功率损耗

$$\Delta S_j = (P_j^2 + Q_j^2)(r_{ij} + jx_{ij})/V_j^2 \tag{1}$$

式中:P_j和Q_j为叶节点j的负荷;V_j为节点j的电压,一般给定的初值为网络的额定电压;r_{ij}和x_{ij}分别为支路ij的电阻和电抗值。

该支路所流过的潮流为

$$S_{ij} = S_j + \Delta S_j \tag{2}$$

以同样方式计算出非叶节点i所连接所有支路的功率损耗后,可得该节点首端功率为

收稿日期:2009-07-08

作者简介:郭剑峰(1974-),男,江西南康人,硕士研究生,研究方向为配电网规划。

中国知网 https://www.cnki.net

$$S_i = S'_i + \sum_{j \in N_i} S_{ij} \tag{3}$$

式中：S_i为节点首端功率；S'_i为节点 i 的负荷，$\sum_{j \in N_i} S_{ij}$为节点 i 后续所有支路的功率损耗和功率之和；N_i是以 i 为始节点的支路的终结点集。

由此可得出每条支路的潮流分布情况。接着开始利用所得的支路首端功率从电源点开始逐条支路进行计算，求得各支路终结点的电压，其计算公式为

$$V_j = \sqrt{\left(V_i - \frac{P_{ij}r_{ij} + Q_{ij}x_{ij}}{V_i}\right)^2 + \left(\frac{P_{ij}x_{ij} + Q_{ij}r_{ij}}{V_i}\right)^2} \tag{4}$$

一般而言，可根据给定容许误差来作为计算收敛的判据，即

$$\max \{ | V_i^{k+1} - V_i^k | \} < \varepsilon \tag{5}$$

式中：ε 表示容许误差，k 表示第 k 次迭代。

2　程序设计

2.1　程序流程图

程序流程图如图 1 所示.

首先初始化数据：

```
[ busnum,dump ] = size(Bus);
Vbus = ones(busnum,1);Vbus(1,1) = 1.05;Vbus2 = Vbus;
[ branchnum,dump ] = size(Branch);
frombus = Branch(:,1);tobus = Branch(:,2);
errorr = 1;kkk = 0;% errorr 为允许精度;kkk 为迭代次数
Ploss = zeros(busnum,1);%网络有功损耗
Qloss = zeros(busnum,1);%网络无功损耗
```

其中，Bus 为节点信息，包括节点号和有功无功数据；Branch 为支路信息，包括支路首末端节点以及支路电阻、电抗值；Vbus 为节点电压，本文电源电压标幺值设为 1.05。

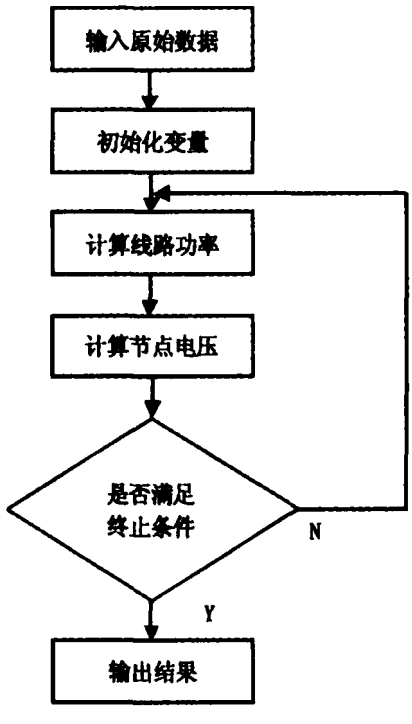

图 1　程序流程图

2.2　支路排序

在辐射型配电网中，以某节点作为首端节点的支路可能有多条，但以某节点作为末端节点的支路则是唯一的，所以可以根据各支路末端节点的特征来判断该节点是叶节点还是非叶节点。如果一条支路的末端节点不是其他支路的首端节点，则该节点为叶节点；如果是，则该节点为非叶节点。将含有叶节点的所有支路选择进入一个支路信息表 s1，同时在原支路信息表中删除该部分支路；在剩下的支路里用此方法再进行选择，直到所有支路都选择完毕。选择结束后，原支路信息表为空集，而支路信息表 s1 中就含有已排好序的支路信息，可按照该顺序进行潮流计算。程序如下：

```
TempBranch = Branch;n = 1;
while ~ isempty(TempBranch)
[s,dump] = size(TempBranch);% s 为支路数
m = 1;
while s > 0
```

中国知网　https://www.cnki.net

```
i = find(TempBranch(:,1) = = TempBranch(s,2));%末端节点是否为其他支路首端节点
if isempty(i)
s1(n,:) = TempBranch(s,:);n = n + 1;% 如果 i 是空集则该节点为叶节点
else
s2(m,:) = TempBranch(s,:);m = m + 1;% 如果 i 不是空集则该节点为非叶节点
end;
s = s - 1;
end;
TempBranch = s2;% 将 s2 赋值给 TempBranch,重复上述判断,直到 TempBranch 为空集为止
s2 = [];
end;
```

2.3 支路功率计算

接着进行支路功率计算:

```
Pij = zeros(busnum,1);  Qij = zeros(busnum,1);
for s = 1:branchnum
ii = s1(s,1);jj = s1(s,2);
Pload = Bus(jj,2);      Qload = Bus(jj,3);%节点有功和无功负荷
R = s1(s,3);   X = s1(s,4);   VV = Vbus(jj);
Pij0 = Pij(jj);   Qij0 = Qij(jj);
II = ((Pload + Pij0)^2 + (Qload + Qij0)^2)/(VV^2);%支路电流的平方
Ploss(ii,jj) = II * R;      Qloss(ii,jj) = II * X;      %支路有功和无功损耗
P(ii,jj) = Pload + Ploss(ii,jj) + Pij0;%支路功率,包括后续节点功率和网络损耗
Q(ii,jj) = Qload + Qloss(ii,jj) + Qij0;
Pij(ii) = Pij(ii) + P(ii,jj);   Qij(ii) = Qij(ii) + Q(ii,jj);%节点首端功率
end;
```

首先获得支路信息(有功、无功以及电阻、电抗),*Pij*0 为该支路末端节点的后续功率,*Pij* 为该支路首端节点其他支路的功率情况,如果未接其他支路,则此值为 0。通过事先设定的节点电压值(一般设定为额定值)计算支路电流,从而得到支路损耗,由此可得该条支路的功率分布。

2.4 节点电压计算

每条支路都计算完毕后,开始根据支路计算的反方向计算电压情况:

```
for s = branchnum: - 1:1
ii = s1(s,2);kk = s1(s,1);R = s1(s,3);X = s1(s,4);
Vbus(ii) = (Vbus(kk) - (P(kk,ii) * R + Q(kk,ii) * X)/Vbus(kk))^2 + ((P(kk,ii) * X - Q(kk,ii) * R)/Vbus(kk))^2;
Vbus(ii) = sqrt(Vbus(ii));
end;
```

电压计算完毕后,判断允许精度是否在允许范围。

```
errorr = max(abs(Vbus2 - Vbus));Vbus2 = Vbus;kkk = kkk + 1;
```

如果小于允许值则停止迭代,否则重新进行功率和电压计算,直到精度达到条件为止。

3 算例

利用上述程序对图 2 所示的一个 30 节点的配电网进行计算[3],节点 4,5,7,8,9,11,12,13,15,16,17,18,20,21,23,24,26,27,29,30 负荷均为 0.16 + 0.08 j,支路信息如表 1 所示,收敛精度取 10^{-5},计算结果如表 2 所示。比较文献[4]、[5]中对同一网络的计算结果,本文的计算结果与其基本一致。

中国知网 https://www.cnki.net

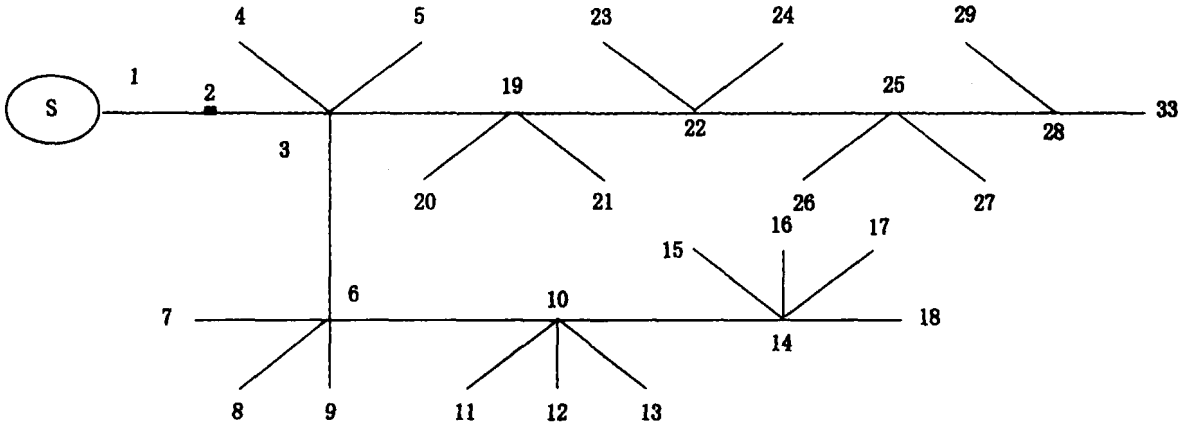

图2　30节点配电网络图

表1　支路信息

支路号	首节点	末节点	支路电阻/Ω	支路电抗/Ω
1	1	2	0.023 6	0.023 3
2	2	3	0.000 3	0.000 2
3	3	4	0.005 1	0.000 5
4	3	5	0.000 6	0.000 6
5	3	6	0.003 2	0.001 1
6	6	7	0.003 0	0.000 3
7	6	8	0.003 0	0.000 3
8	6	9	0.007 9	0.000 8
9	6	10	0.001 3	0.000 8
10	10	11	0.003 3	0.000 3
11	10	12	0.005 0	0.000 5
12	10	13	0.002 7	0.000 3
13	10	14	0.000 8	0.000 5
14	14	15	0.002 5	0.000 3
15	14	16	0.002 6	0.000 3
16	14	17	0.006 5	0.000 7
17	14	18	0.004 1	0.000 4
18	3	19	0.001 2	0.000 7
19	19	20	0.001 1	0.000 1
20	19	21	0.006 1	0.000 6
21	19	22	0.001 2	0.000 8
22	22	23	0.000 8	0.000 8
23	22	24	0.003 4	0.000 3
24	22	25	0.000 9	0.000 5
25	25	26	0.003 0	0.000 3
26	25	27	0.003 2	0.000 3
27	25	28	0.000 9	0.000 6
28	28	29	0.006 0	0.000 7
29	28	30	0.001 6	0.000 2

表2　计算结果

节点号	电压标幺值		
	本文	文献[4]	文献[5]
1	1.050 0	1.050 0	1.050 000
2	0.926 5	0.926 4	0.926 458
3	0.925 1	0.925 0	0.925 064
4	0.924 1	0.924 1	0.924 138
5	0.923 9	0.923 9	0.923 939
6	0.918 5	0.918 5	0.918 514
7	0.918 0	0.917 9	0.917 965
8	0.918 0	0.917 9	0.917 965
9	0.917 1	0.917 0	0.917 065
10	0.916 4	0.916 4	0.916 434
11	0.915 8	0.915 8	0.915 831
12	0.915 5	0.915 5	0.915 516
13	0.915 9	0.915 9	0.915 936
14	0.915 7	0.915 7	0.915 699
15	0.915 2	0.915 2	0.915 236
16	0.915 2	0.915 2	0.915 218
17	0.914 5	0.914 5	0.914 501
18	0.914 9	0.914 9	0.914 947
19	0.922 9	0.922 9	0.922 909
20	0.922 7	0.922 7	0.922 710
21	0.921 8	0.921 8	0.921 798
22	0.921 2	0.921 2	0.921 240
23	0.921 0	0.921 0	0.921 075
24	0.920 6	0.920 6	0.920 623
25	0.920 4	0.920 4	0.920 439
26	0.919 9	0.919 8	0.919 891
27	0.919 9	0.919 8	0.919 857
28	0.920 0	0.920 0	0.920 022
29	0.918 9	0.918 9	0.918 916
30	0.919 7	0.919 7	0.919 726

中国知网　https://www.cnki.net

4 结论

目前matlab潮流计算程序大多是基于输电网,直接应用于配电网中可能导致收敛难以保证。本文针对配电网的特点,利用前推回代法开发了相应的程序,并改进了支路选择方法,从而不需要进行复杂的节点和支路编号。算例结果证明了程序的有效性。

参考文献:

[1] 王 淳.一种实用的辐射网潮流算法[J].继电器,2005,33(12):31-33.
[2] 何仰赞,温增银.电力系统分析[M].武汉:华中科技大学出版社,2005.
[3] Cespede R,G R.New method for analysis of distribution networks[J].IEEE Transaction on Power Delivery,1990,5(1):391-396.
[4] 李华东,韩学山,卢 艺,等.配电网潮流计算的实用算法[J].东北电力学院学报,1997,17(1):57-63.
[5] 曹 亮,孔 峰,陈昆薇.一种配电网的实用潮流算法[J].电网技术,2002,26(11):58-60.

A Practical Algorithm for Power Flow Calculation of Distribution Network

GUO Jian-feng, SUN Hui-juan, YUAN Fang-cheng

(School of Electrical and Electronic Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang, 330013, China)

Abstract: Most matlab power flow programs are for transmission network but not for distribution network. However, such programs are hard to convergence while applied in distribution networks. A matlab program is developed for distribution network which is based on forward and backward substitution method. The new branch selection method needs no codes of nodes and branches. Application example is presented to demonstrate the effectiveness of the proposed program.

Key words: distribution network; power flow; forward and backward substitution method; matlab program

(责任编辑:王全金 吴泽九)

中国知网 https://www.cnki.net