

图形化树状网潮流计算程序开发

王 淳

(南昌大学 信息工程学院,江西 南昌 330029)

摘要: 利用面向对象的程序设计思想,采用控件数组和运行时添加控件的方法开发了一款无需节点和支路编号的图形化树状网络潮流计算程序,节点和支路数据之间的关联关系依靠各自对应的控件数组元素下标之间的关系自动形成,具有友好的人机界面。最后,用 30 节点的算例验证了算法和程序的正确性。

关键词: 配电网;潮流;面向对象;图形界面

中图分类号: TM 744;TP 31

文献标识码: B

文章编号: 1006-6047(2006)06-0057-03

0 引言

配电网潮流计算是电网规划、运行分析、状态估计、网络重构等的基础。与输电网相比,配电网具有网络结构呈辐射状、线路阻抗比 R/X 较大的特点。由于配电网的这些特点,使得在输电网中常用的牛顿-拉夫逊、 $P-Q$ 分解等算法运用于配电网的潮流计算时其收敛性难以保证^[1]。为此,人们研究出了很多适合于配电网特点的潮流算法^[2-7],并就配电网潮流计算的收敛特性开展了研究^[6,8],但是几乎所有算法都存在节点编号复杂的问题(需要按一定规律对支路和节点编号),从而增加了程序使用的难度。

本文针对配电网潮流计算中存在节点编号复杂的问题,利用面向对象的程序设计思想,采用控件数组和运行时添加控件的方法开发出了一款无需节点和支路编号的图形化的树状网络潮流计算程序。程序中节点和支路数据之间的关联关系依靠各自对应的控件数组元素下标之间的关系自动形成,具有友好的人机界面。

1 软件的总体构架

软件包由基本图形化界面生成、数据输入(修改)及潮流计算 3 部分组成。

1.1 基本图形化界面生成

基本图形化界面的构成方法如下。

a. 在图形化界面所在窗体中添加构成图形化界面中的基本元件所需的控件,并用这些控件构成表示电源节点、负荷节点和配电线路的图标,每种图标 1 个,并将其中的控件设为控件数组。

b. 在代码窗口中添加代码,使得在窗体加载时往窗体添加新的控件数组元素,形成数据输入前的图形化界面,也就是程序启动后出现的画面。

1.2 数据输入(修改)

在图 1 所示的图形化界面上,采用人机对话的窗体形式输入和修改数据。

在这个类似于计算机键盘的画面上,鼠标单击表示电源节点的粗线,弹出左边所示的画面,在这个画面上可以方便输入和修改根节点的电压值。鼠标单击表示负荷节点的方格,弹出右上角所示的画面,在这个画面上可以方便地输入各节点数据,按确定按钮,方格将由原来的灰色变成蓝色以表示被选中。如果鼠标单击一个被选过的方格,则将出现窗体询问是要删除还是要修改这个节点数据;如果节点被删除,则这个节点又将由蓝色变为原来的灰色。鼠标单击表示两个负荷点之间线路的矩形,弹出右下角所示的画面,在这个画面上可以方便地输入各支路数据,按确定按钮,矩形和两端的联线将由原来的灰色变成蓝色,以表示被选中。如果鼠标单击一个被选过的矩形,则将出现窗体询问是要删除还是要修改这个支路数据;如果支路被删除,则这个支路又将由蓝色变为原来的灰色。

如果输入的数据需要大面积修改,可以采取按处于图形界面右侧的清零键全部清除,再重新开始输入。输入的数据程序自动保存于 2 个数据库文件中,一个是节点信息数据库文件,其中包括节点的名称、有功负荷、无功负荷;另一个是支路信息数据库文件,其中包括支路电阻、电抗和电纳。这种采取类似于键盘的按键方式构成需要计算的网路并确定输入的数据正确无误后,按处于图形界面右侧的保存键即可保存。

2 潮流计算

2.1 数据处理

在上述数据输入过程中只在节点数据中给出了节点名称(实际上给出的节点名称只是为了数据输出而已,在潮流计算中并不使用),并未给出支路数据两端的信息。程序中是根据各节点对应的控件数组的下标和各支路对应的控件数组的下标之间

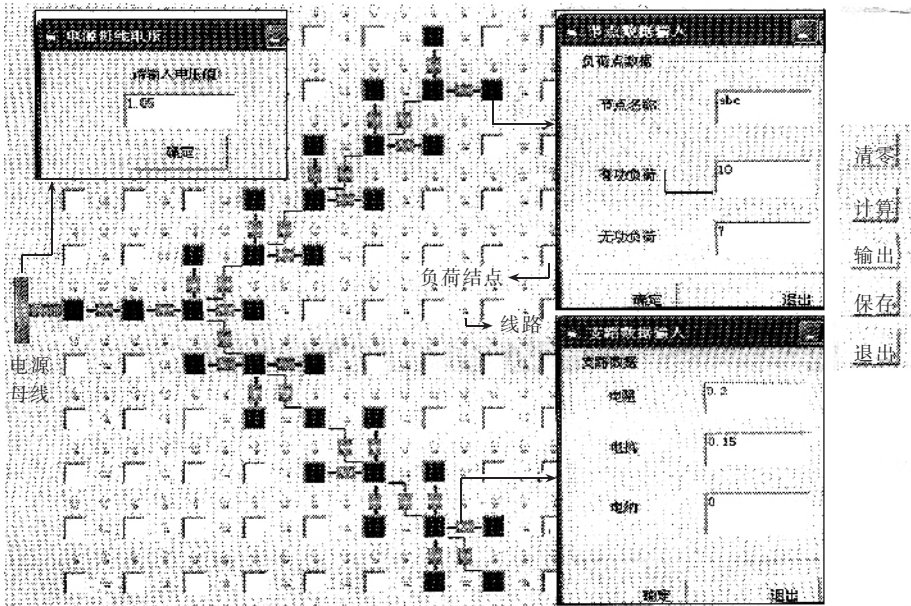


图 1 计算网络生成及数据输入

Fig.1 Calculation network formation and data input

的关系,确定 2 个输入的数据文件之间的关联关系。在此基础上,对 2 个数据文件按照从电源节点开始层层推进的方式同时进行排序。

2.2 潮流计算

2.2.1 数学描述

考虑如图 2 所示的一个三相平衡的辐射网络,其基本的支路潮流方程为

$$P_{lossij}=r_{ij}(P_j^2+Q_j^2)/U_j^2 \tag{1}$$

$$Q_{lossij}=x_{ij}(P_j^2+Q_j^2)/U_j^2 \tag{2}$$

$$P_{ij}=P_j+P_{lossij} \tag{3}$$

$$Q_{ij}=Q_j+Q_{lossij} \tag{4}$$

$$P_i=P_{Li}+\sum_{m\in N_i}P_{im} \tag{5}$$

$$Q_i=Q_{Li}+\sum_{m\in N_i}Q_{im} \tag{6}$$

$$U_j^2=U_i^2-2(r_{ij}P_i+x_{ij}Q_i)+\\(r_{ij}^2+x_{ij}^2)(P_i^2+Q_i^2)/U_i^2 \tag{7}$$

式中 P_{lossij} 、 Q_{lossij} 为支路 ij 的有功和无功功率损耗; P_{ij} 、 Q_{ij} 为支路 ij 首端的有功和无功功率; P_i 、 Q_i 为节点 i 的注入有功和无功功率(节点 i 的负荷+节点 i 后续所有节点的功率之和+节点 i 后续所有支路功率损耗); r_{ij} 、 x_{ij} 为支路 ij 的电阻和电抗; P_{Li} 、 Q_{Li} 为节点 i 的有功和无功负荷, U_i 、 U_j 分别为节点 i 、 j 的电压幅值, N_i 是以 i 为始节点的支路的终节点集,对图 2 所示的情况, $N_i=\{b,e,j\}$,对于末端节点, N_i 为空集。

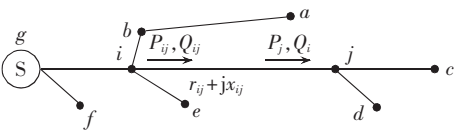


图 2 配电网示意图

Fig.2 A distribution system

2.2.2 潮流迭代过程

步骤 1 设定各节点电压的初始值为电源节点电压值,并设迭代计数 $k=0$ 。

步骤 2 按节点文件的顺序,设各节点的注入功率的初值为对应节点的负荷值,即按公式(5)(6),但不包括上述 2 式中等于号右侧的求和项。

步骤 3 按文件的逆序,利用公式(1)~(4)算出各支路的功率损耗和首端功率,并将计算出的支路首端功率按公式(5)(6)合并进支路首端节点的注入功率中(即加上步骤 2 中没有考虑的公式(5)(6)中的第 2 项)。这个过程直到全部支路计算完毕。

步骤 4 利用步骤 3 求得的功率分布,按文件的顺序,利用公式(7)依次求出各节点电压。

步骤 5 检查计算精度是否满足要求,一般以 $\max\{|U_i^{(k+1)}-U_i^{(k)}|\}<\varepsilon$ 作为计算收敛的判据。若满足,则输出计算结果;否则,返回步骤 2 循环计算。

3 算例

对图 3 所示的一个 30 节点的配电网进行了计算,原始数据参见文献[9],计算时其图形化界面如图 1 所示,计算结果如表 1 中的第 2 列所示,为比较起见,表 1 中第 3 和第 4 列给出了文献[9]和[10]对同一网络的计算结果,本文和这 2 篇文献的计算结果相吻合。

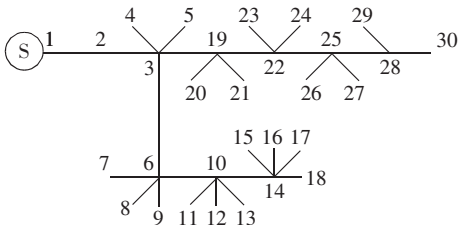


图 3 算例网络结构图

Fig.3 Structure of a 30-bus distribution system

表 1 算例计算结果
Tab.1 Calculate results

节点号	电压幅值/p.u.			节点号	电压幅值/p.u.		
	本文	文献[9]	文献[10]		本文	文献[9]	文献[10]
1	1.050 000 0	1.050 0	1.050 000	16	0.915 216 7	0.915 2	0.915 218
2	0.926 456 0	0.926 4	0.926 458	17	0.914 498 9	0.914 5	0.914 501
3	0.925 062 7	0.925 0	0.925 064	18	0.914 945 4	0.914 9	0.914 947
4	0.924 136 4	0.924 1	0.924 138	19	0.922 907 5	0.922 9	0.922 909
5	0.923 937 0	0.923 9	0.923 939	20	0.922 708 1	0.922 7	0.922 710
6	0.918 512 0	0.918 5	0.918 514	21	0.921 796 6	0.921 8	0.921 798
7	0.917 963 0	0.917 9	0.917 965	22	0.921 238 0	0.921 2	0.921 240
8	0.917 963 0	0.917 9	0.917 965	23	0.921 029 6	0.921 0	0.921 075
9	0.917 063 8	0.917 0	0.917 065	24	0.920 621 0	0.920 6	0.920 623
10	0.916 431 9	0.916 4	0.916 434	25	0.920 437 6	0.920 4	0.920 439
11	0.915 829 1	0.915 8	0.915 831	26	0.919 889 7	0.919 8	0.919 891
12	0.915 514 3	0.915 5	0.915 516	27	0.919 854 9	0.919 8	0.919 857
13	0.915 934 0	0.915 9	0.915 936	28	0.920 019 9	0.920 0	0.920 022
14	0.915 697 5	0.915 7	0.915 699	29	0.918 914 2	0.918 9	0.918 916
15	0.915 234 1	0.915 2	0.915 236	30	0.919 724 2	0.919 7	0.919 726

4 结语

本文提出的配电网潮流算法不需要节点和支路编号,采用直观的图形法界面,可以方便快速构成计算网络,这为配电网规划人员提供了一个有力的工具,也可用于运行方编制和网络重构。

参考文献:

[1] HALEY P H,AYRES M. Super decoupled load flow with distribution slack bus[J]. IEEE Trans on PAS,1985,104(1): 104-113.

[2] GOSWAMI S K,BASU S K. Direct solution of distribution systems[J]. IEE Proceedings C,1991,138(1):78-88.

[3] 黄纯华,陆俊,葛少云. 树状电力网络潮流问题的一个有效算法[J]. 天津大学学报,1992(4):113-118.

HUANG Chun-hua,LU Jun,GE Shao-yun. An efficient algorithm for the study on power flow problem of tree power network[J]. Journal of Tianjin University,1992(4):113-118.

[4] 张尧,王琴,宋文南,等. 树状网的潮流算法[J]. 中国电机工程学报,1998,18(3):217-220.

ZHANG Yao,WANG Qin,SONG Wen-nan,et al. A load flow algorithm for radial distribution power networks[J]. Proceedings of the CSEE,1998,18(3):217-220.

[5] GHOSH S,DAS D. Method for load flow solution of radial distribution networks[J]. IEE Proceeding G T D,1999,146(6): 641-648.

[6] 孙宏斌,张伯明,相年德. 配电潮流前推回推法的收敛性研究[J].

中国电机工程学报,1999,19(7):116-120.

SUN Hong-bin,ZHANG Bo-ming,XIANG Nian-de. Study on convergence of back/forward sweep distribution power flow[J]. Proceedings of the CSEE,1999,19(7):116-120.

[7] MEKHAMER S F,SOLIMAN S A,MOUSTAFA M A,et al. Load flow solution of radial distribution feeders;a new contribution[J]. Electrical Power & Energy System,2002(24):701-707.

[8] 张明,毕鹏翔,刘健,等. 辐射状配电网支路电流法潮流计算的收敛特性研究[J]. 中国电机工程学报,2003,23(6):41-44.

ZHANG Ming,BI Peng-xiang,LIU Jian,et al. Research on convergence of branch current method based power flow calculation for radial distribution network[J]. Proceedings of the CSEE,2003,23(6):41-44.

[9] 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.

LI Hua-dong,HAN Xue-shan,LU Yi,et al. Load flow practical algorithm in power distribution system[J]. Journal of Northeast China Institute of Electric Power Engineering,1997,17(1):57-63.

[10] 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.

CAO Liang,KONG Feng,CHEN Kun-wei. A practical algorithm of load flow calculation for distribution networks[J]. Power System Technology,2002,26(11):58-60.

(责任编辑:康鲁豫)

作者简介:

王 淳(1963-),男,江西湖口人,副教授,博士,从事电力系统规划与可靠性方面的研究(E-mail:cwang_ncu_cn@163.com)。

Development of graphic load flow calculation program
for radial distribution network

WANG Chun

(Nanchang University,Nanchang 330029,China)

Abstract: Applying the object-oriented technique,a graphic load flow calculation program is developed for radial distribution power networks,using ActiveX array and adding ActiveX control during software running. It does not need to number nodes and branches,incident relationships among nodes and branches are determined according to the subscript of their respective ActiveX array elements. The program has a friendly graphical interface. Its correctness is proved by a calculation example on a 30-bus system.

Key words: distribution system; load flow; object-oriented technique; graphic interface