

基于改进前推回代法的弱环配电网三相潮流计算

顾晨¹, 乐秀璠¹, 张晓明²

(1. 河海大学能源与电气学院, 江苏 南京 210000; 2. 华北电力大学电气与电子工程学院, 河北 保定 071003)

摘要: 基于配电系统特有的网络结构, 对配网潮流计算的前推回代法作了改进, 提出了一种适合弱环配电网的三相潮流算法。该算法采用了一种独特新颖的分层方法, 将网络节点从未梢节点依次向上层搜索至根节点, 形成了一个链式层次的分层节点数组, 省去计算过程中对节点和支路的复杂编号; 同时考虑到配电网的三相参数不对称和三相负荷不平衡问题比较突出, 直接采用相域模型进行计算; 而对于环网问题, 则运用功率补偿的方法进行了有效处理。通过对 IEEE33 节点系统的验算, 证明了该算法的有效性。

关键词: 弱环配电网; 三相潮流; 分层; 前推回代; 改进

Three-phase power flow method for weakly meshed distribution systems based on modified back/forward sweep method

GU Chen¹, LE Xiu-fan¹, ZHANG Xiao-ming²

(1. School of Electric Engineering, Hohai University, Nanjing 210000, China;

2. School of Electrical Engineering, North China Electric Power University, Baoding 071003, China)

Abstract: Based on the special network structure of distributed system, a suitable three-phase power flow algorithm for a weakly meshed distributed network is proposed, with the improvement of the back/forward sweep method. In this algorithm, a novel layer back/forward method is put forward, in which the nodes are searched from the peripheral nodes up to the root nodes, and a chain level node array is formed without the complex number of nodes and branches. Because of the asymmetry of three-phase parameters and imbalance of three-phase load in distributed network, the phase field model is used in this paper. The meshes are well disposed of with a power compensation method. The presented method is tested by IEEE33 nodes system and the power flow solution is given to show the validity of the method.

Key words: weakly meshed distributed network; three-phase power flow; layer; back/forward method; improvement

中图分类号: TM71 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)19-0160-05

0 引言

传统的潮流算法一般是针对高压输电网络提出的, 而配电网具有许多不同于输电网络的特征, 如三相不平衡情况突出、线路电阻和电抗比值较大以及短时弱环运行^[1]等, 所以对于配电网的潮流计算应根据其特殊的结构而采取特殊的方法。

根据配电网结构的特殊性, 有许多学者致力于开发结合其特点的潮流算法, 主要有改进牛拉法^[2], 回路阻抗法^[3-4], 前推回代法^[5-8]等。其中, 改进牛拉法需要基于对节点的优化编号, 其收敛性能也不如回路阻抗法和前推回代法; 回路阻抗法虽然对环网的处理能力较强, 但需要形成回路阻抗阵, 即使采用了稀疏存储技术, 内存占用率仍然较大,

计算也较复杂。所以目前配网潮流计算仍较多采用前推回代法, 由于该方法在处理多个网孔时的能力较差, 因此本文根据弱环运行时网孔数目比较少的特点, 通过断点功率补偿的方法进行有效处理, 提出了适合弱环配电网的以可靠收敛为首要目标的前推回代算法。

1 潮流计算中配电网元件的数学模型

根据配电系统三相参数不对称和三相负荷不平衡问题比较突出的情况本文采用相域模型进行计算。

1.1 输电线路模型

将所有的并联支路都利用节点电压转换成节点功率或电流注入, 于是假定线路中没有接地支路。

得到配电线路的修正模型如图 1 所示。

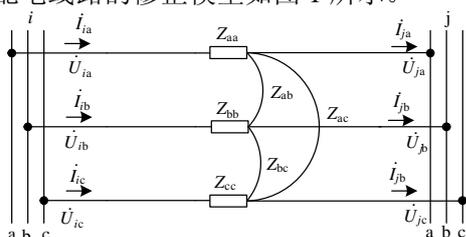


图 1 配电线路修正模型

Fig.1 Distribution line correction model

1.2 负荷模型

实际的配电网中,不同的负荷有不同的静态负荷特性,可表示为恒阻抗、恒电流、恒功率模型。而在某个参考电压下,这些模型都可以转换成恒功率模型。所以本文采用恒功率模型进行计算,这样更便于通过功率补偿对环网进行处理。对于并联电容器,我们也把它看作恒阻抗的负荷,转换成恒功率再和相应的节点负荷功率相加,作为节点负荷的总功率。

2 前推回代算法的改进

2.1 节点分层方法

目前,前推回代法主要采用广度优先搜索编号的分层方法,但是这种方法需要对网络的节点和支路重新编号,并记录下每个节点的层次,这样处理起来比较复杂。本文对节点的分层方法进行了改进,直接记录下节点和支路的关联关系,不需要重新编号而是直接形成一个一维的链式结构分层数组,简洁明了,易于操作。下面以 11 节点树状网为例说明,如图 2 所示。

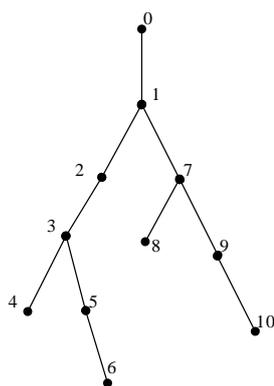


图 2 11 节点树状网络

Fig.2 11 node tree network

图中 0 节点表示根节点,每条支路沿潮流方向的起始节点和末端节点分别为这条支路的首节点和尾节点。在读入数据的时候记录下每条支路的首节

点和尾节点,并且把首节点表示成尾节点的上一节点,由此产生了关联,需要注意的是 0 节点的上一节点是它本身;接着就形成分层节点数组,先逐渐往下搜索得到末梢节点 4、6、8、10,放入一个一维数组的前 4 位,再往上搜索得到它们的上层节点 3、5、7、9,依次放入这个数组中,以此类推,一直搜索到根节点,最后由根节点向前删除掉数组中的重复节点,于是就得到了一个形如[4, 6, 8, 10, 5, 9, 3, 7, 2, 1, 0]的分层节点数组。把各条支路的阻抗都表示成该支路末节点的阻抗,这样在潮流计算的回代过程中只要由前往后从分层节点数组获取节点,前推过程中则由后往前获取节点,大大简化了前推回代算法的操作过程。

2.2 环网处理方法

设网络中有 m 个环网,将环网解开成辐射状网络,于是得到了 m 个开环点,有以下等式存在:

$$\mathbf{Z} \Delta \dot{\mathbf{I}} = \Delta \dot{\mathbf{V}} \quad (1)$$

根据配电线路较短且潮流不大的特点,可以假定相邻节点的电压差很小,以根节点电压作为基准值,则所有节点电压的标幺值都近似等于 1.0,且相角很小^[9],于是有

$$\Delta \dot{\mathbf{I}} = \Delta \mathbf{S}^* \quad (2)$$

结合式 (2)、(3) 推得,

$$\mathbf{Z} \Delta \mathbf{S}^* = \Delta \dot{\mathbf{V}} \quad (3)$$

进一步推导得到,

$$\begin{bmatrix} X & R \\ -R & X \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta Q \\ \Delta P \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta V \\ \delta V \end{bmatrix} \quad (4)$$

以上各式中: \mathbf{Z} 表示环网的回路阻抗矩阵; $\Delta \dot{\mathbf{I}}$ 表示环路注入电流; $\Delta \dot{\mathbf{V}}$ 表示开环点的电压差; $\Delta \mathbf{S}^*$ 表示环路的注入功率; R 和 X 分别表示环路的电阻和电抗; ΔV 和 δV 表示开环点电压差的纵分量和横分量; ΔQ 和 ΔP 表示断点的补偿功率。

对于环网,在开环潮流计算后根据式 (5) 计算出断点补偿功率,当开环点电压差不满足收敛条件时,将 ΔQ 和 ΔP 叠加到相应节点上即可。

2.3 基于改进前推回代法的辐射状配网三相潮流计算

前推回代法配网三相潮流计算在第 K 次迭代中的步骤为:

- (1) 计算末梢节点注入电流

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_{ja} \\ \dot{I}_{jb} \\ \dot{I}_{jc} \end{bmatrix}^{(k)} = \begin{bmatrix} (S_{ja} / \dot{V}_{ja}^{(k-1)})^* \\ (S_{jb} / \dot{V}_{jb}^{(k-1)})^* \\ (S_{jc} / \dot{V}_{jc}^{(k-1)})^* \end{bmatrix} \quad (5)$$

式中： \dot{I}_{ja} ， \dot{I}_{jb} ， \dot{I}_{jc} 为节点 j 注入电流； S_{ja} ， S_{jb} ， S_{jc} 为节点 j 的注入功率； \dot{V}_{ja} ， \dot{V}_{jb} ， \dot{V}_{jc} 为节点 j 的电压。

(2) 回代计算非末梢节点的注入电流，即以此节点为尾节点的支路的电流

在分层节点数组的末梢节点之后依次往后选取节点进行计算：

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_{ja} \\ \dot{I}_{jb} \\ \dot{I}_{jc} \end{bmatrix}^{(k)} = \begin{bmatrix} (S_{ja} / \dot{V}_{ja}^{(k-1)})^* \\ (S_{jb} / \dot{V}_{jb}^{(k-1)})^* \\ (S_{jc} / \dot{V}_{jc}^{(k-1)})^* \end{bmatrix} + \sum_{m \in M} \begin{bmatrix} \dot{I}_{ma} \\ \dot{I}_{mb} \\ \dot{I}_{mc} \end{bmatrix}^{(k)} \quad (6)$$

式中： \dot{I}_{ja} ， \dot{I}_{jb} ， \dot{I}_{jc} 为节点 j 注入电流； S_{ja} ， S_{jb} ， S_{jc} 为节点 j 的注入功率； M 为与节点 j 直接相连的所有下层支路的集合。

(3) 前推求解节点电压

在分层节点数组中由后往前依次选取节点进行计算：

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_{ja} \\ \dot{V}_{jb} \\ \dot{V}_{jc} \end{bmatrix}^{(k)} = \begin{bmatrix} \dot{V}_{ia} \\ \dot{V}_{ib} \\ \dot{V}_{ic} \end{bmatrix}^{(k)} - \begin{bmatrix} Z_{aa,j} & Z_{ab,j} & Z_{ac,j} \\ Z_{ba,j} & Z_{bb,j} & Z_{bc,j} \\ Z_{ca,j} & Z_{cb,j} & Z_{cc,j} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_{ja} \\ \dot{I}_{jb} \\ \dot{I}_{jc} \end{bmatrix}^{(k)} \quad (7)$$

式中： \dot{V}_{ja} ， \dot{V}_{jb} ， \dot{V}_{jc} 为节点 j 的节点电压； \dot{V}_{ia} ， \dot{V}_{ib} ， \dot{V}_{ic} 为节点 j 的上一节点 i 的节点电压； \dot{I}_{ja} ， \dot{I}_{jb} ， \dot{I}_{jc} 为以节点 j 为尾节点的支路的电流。

(4) 收敛判断

计算每个节点 ABC 三相的相电压不平衡量作为判断收敛的判据：

$$\begin{bmatrix} \Delta V_{ja} \\ \Delta V_{jb} \\ \Delta V_{jc} \\ \delta V_{ja} \\ \delta V_{jb} \\ \delta V_{jc} \end{bmatrix}^{(k)} = \begin{bmatrix} |\Delta V_{ja}^{(k)} - \Delta V_{ja}^{(k-1)}| \\ |\Delta V_{jb}^{(k)} - \Delta V_{jb}^{(k-1)}| \\ |\Delta V_{jc}^{(k)} - \Delta V_{jc}^{(k-1)}| \\ |\delta V_{ja}^{(k)} - \delta V_{ja}^{(k-1)}| \\ |\delta V_{jb}^{(k)} - \delta V_{jb}^{(k-1)}| \\ |\delta V_{jc}^{(k)} - \delta V_{jc}^{(k-1)}| \end{bmatrix} \quad (8)$$

式中： ΔV_{ja} ， ΔV_{jb} ， ΔV_{jc} 表示各相电压的纵分量； δV_{ja} ， δV_{jb} ， δV_{jc} 表示各相电压的横分量。任何一个电压不平衡分量大于收敛判据，则重复步骤 (1) ~ (3)，直至收敛。

3 基于改进前推回代法的弱环配电网三相潮流算法的实现

本文采用 VC++6.0 对上述算法进行编程，基于改进前推回代法的弱环配电网三相潮流计算的流程图如图 3 所示。

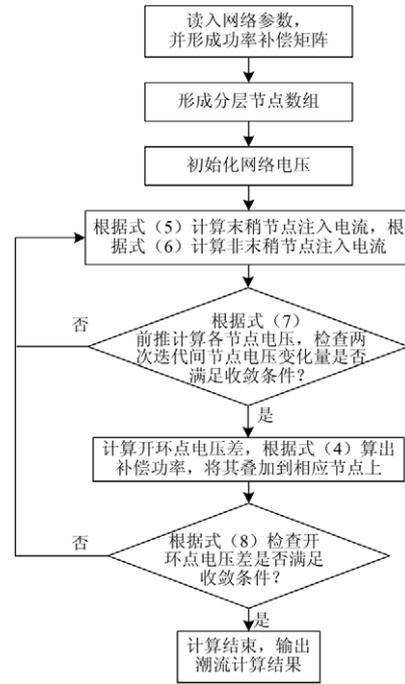


图 3 弱环配电网三相潮流计算流程图

Fig.3 Three phase power flow calculation flowchart for a weakly meshed distributed network

4 算例分析

本文对 IEEE33 节点配电系统进行分析，该系统共包含 37 条支路，5 个环。该系统的三相网络参数参考文献[10]，存在三相负荷和支路参数不对称的情况。电压基准值取为 12.66 kV，功率基准值取为 10 MVA，内循环精度取为 10^{-6} ，外循环精度取为 10^{-3} 。

表 1 收敛速度比较

Tab.1 Comparison of convergence speeds

IEEE33 节点系统	本文方法	文献[10]方法
内层迭代	≤4	<15
外层迭代	13	≤5
总迭代	52	75

文献[10]针对配电网的结构特点提出了一种基于叠加原理求解少环配电网三相潮流的方法,并用33节点系统进行了验算,下面将文献[10]所用算法与本文提出的算法进行比较,这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。

表2 潮流计算结果比较(节点电压)

Tab.2 Comparison of power flow results(node voltage)

节点	本文方法			文献[10]方法		
	A相电压	B相电压	C相电压	A相电压	B相电压	C相电压
0	1.000 000+j0.000 000	-0.500 000-j0.866 025	-0.500 000+j0.866 025	1.000 00+j0.000 00	-0.500 00-j0.866 03	-0.500 00+j0.866 03
1	0.999 047+j0.000 073	-0.499 441-j0.865 245	-0.499 586+j0.865 138	0.997 18+j0.002 07	-0.498 33-j0.863 70	-0.498 78+j0.863 39
2	0.995 497+j0.000 249	-0.497 449-j0.862 309	-0.497 957+j0.861 873	0.986 66+j0.000 71	-0.492 36-j0.854 94	-0.494 00+j0.853 70
3	0.994 272+j0.000 282	-0.496 829-j0.861 326	-0.497 380+j0.860 778	0.983 06+j0.000 76	-0.490 58-j0.852 01	-0.492 29+j0.850 52
4	0.993 143+j0.000 298	-0.496 186-j0.860 304	-0.496 825+j0.859 746	0.979 75+j0.000 76	-0.488 72-j0.848 97	-0.490 63+j0.847 53
5	0.990 514-j0.000 307	-0.495 264-j0.857 556	-0.494 946+j0.857 658	0.972 08-j0.001 11	-0.486 13-j0.840 81	-0.485 09+j0.841 51
6	0.990 224-j0.000 824	-0.495 590-j0.857 018	-0.494 366+j0.857 681	0.971 13-j0.002 64	-0.487 08-j0.839 07	-0.483 31+j0.841 48
7	0.989 894-j0.000 948	-0.495 529-j0.856 651	-0.494 087+j0.857 478	0.970 09-j0.002 93	-0.486 75-j0.837 98	-0.482 53+j0.840 75
8	0.988 908-j0.001 101	-0.495 140-j0.855 646	-0.493 435+j0.856 692	0.967 08-j0.003 32	-0.485 43-j0.834 91	-0.480 60+j0.838 25
9	0.988 794-j0.001 232	-0.495 191-j0.855 457	-0.493 320+j0.856 718	0.966 68-j0.003 69	-0.485 53-j0.834 30	-0.480 25+j0.838 27
10	0.988 800-j0.001 247	-0.495 204-j0.855 450	-0.493 301+j0.856 717	0.966 69-j0.003 73	-0.485 56-j0.834 27	-0.480 19+j0.838 25
11	0.988 852-j0.001 286	-0.495 266-j0.855 470	-0.493 277+j0.856 760	0.966 83-j0.003 84	-0.485 73-j0.834 33	-0.480 11+j0.838 36
12	0.987 824-j0.001 264	-0.494 714-j0.854 541	-0.492 679+j0.855 786	0.963 68-j0.003 74	-0.483 96-j0.831 46	-0.478 31+j0.835 32
13	0.987 475-j0.001 323	-0.494 587-j0.854 171	-0.492 391+j0.855 492	0.962 59-j0.003 91	-0.483 54-j0.830 29	-0.477 42+j0.834 38
14	0.987 414-j0.001 285	-0.494 510-j0.854 093	-0.492 357+j0.855 379	0.962 37-j0.003 78	-0.483 27-j0.830 01	-0.477 29+j0.833 98
15	0.986 839-j0.001 220	-0.494 130-j0.853 639	-0.492 139+j0.854 816	0.960 59-j0.003 54	-0.482 00-j0.828 60	-0.476 65+j0.828 95
16	0.985 738-j0.001 297	-0.493 566-j0.852 665	-0.491 552+j0.853 836	0.957 11-j0.003 71	-0.480 08-j0.825 46	-0.474 83+j0.828 95
17	0.985 383-j0.001 163	-0.493 245-j0.852 454	-0.491 514+j0.853 446	0.955 98-j0.003 26	-0.478 99-j0.824 76	-0.474 72+j0.827 65
18	0.998 465-j0.000 013	-0.499 214-j0.864 694	-0.499 222+j0.864 667	0.995 47-j0.000 05	-0.497 66-j0.862 06	-0.497 72+j0.862 01
19	0.993 702-j0.000 489	-0.497 133-j0.860 235	-0.496 388+j0.860 635	0.981 48-j0.001 51	-0.491 49-j0.848 81	-0.489 42+j0.850 15
20	0.992 371-j0.000 771	-0.496 678-j0.858 901	-0.495 474+j0.859 590	0.977 56-j0.002 35	-0.490 14-j0.844 84	-0.486 75+j0.847 07
21	0.991 180-j0.001 103	-0.496 341-j0.857 639	-0.494 590+j0.858 709	0.974 03-j0.003 33	-0.489 11-j0.841 05	-0.484 14+j0.844 43
22	0.993 734+j0.000 162	-0.496 562-j0.860 698	-0.496 969+j0.860 314	0.981 38+j0.000 48	-0.489 60-j0.850 09	-0.491 09+j0.848 97
23	0.990 314-j0.000 229	-0.495 036-j0.857 451	-0.494 834+j0.857 398	0.971 12-j0.000 62	-0.484 81-j0.840 29	-0.484 80+j0.840 07
24	0.987 954-j0.000 358	-0.493 872-j0.855 329	-0.493 560+j0.855 386	0.963 96-j0.000 93	-0.481 10-j0.833 82	-0.481 04+j0.833 86
25	0.990 180-j0.000 240	-0.495 064-j0.857 132	-0.494 672+j0.857 274	0.971 13-j0.000 96	-0.485 43-j0.840 03	-0.484 74+j0.840 53
26	0.989 756-j0.000 142	-0.494 723-j0.856 791	-0.494 540+j0.856 817	0.969 93-j0.000 73	-0.484 52-j0.839 05	-0.484 32+j0.838 28
27	0.987 999-j0.000 130	-0.493 677-j0.855 169	-0.493 616+j0.855 138	0.965 04-j0.000 91	-0.481 79-j0.834 49	-0.481 60+j0.834 77
28	0.986 800-j0.000 056	-0.492 904-j0.854 109	-0.493 037+j0.853 949	0.961 71-j0.000 86	-0.479 78-j0.831 53	-0.479 89+j0.831 60
29	0.985 800+j0.000 309	-0.491 977-j0.853 350	-0.492 855+j0.852 771	0.958 78+j0.000 17	-0.474 07-j0.829 29	-0.479 34+j0.828 17
30	0.984 773-j0.000 360	-0.492 066-j0.852 018	-0.491 686+j0.852 188	0.955 85-j0.001 89	-0.477 49-j0.825 41	-0.475 89+j0.826 61
31	0.984 576-j0.000 553	-0.492 150-j0.851 733	-0.491 414+j0.852 133	0.955 31-j0.002 49	-0.477 79-j0.824 60	-0.475 10+j0.826 52
32	0.984 626-j0.000 674	-0.492 304-j0.851 705	-0.491 323+j0.852 256	0.955 52-j0.002 87	-0.478 31-j0.824 58	-0.474 86+j0.826 97

通过表1可以看到,本文提出的方法虽然外层迭代次数与文献[10]相比较多,但是内层迭代次数少,最后计算出总迭代次数也是本文所提出的方法较少,由此可见本文所提出的方法有较快的收敛速度。

两种方法所选用的循环精度都是内循环取为 10^{-6} ,外循环取为 10^{-3} 。由表2可以看到,本文所采

用的算法提高了计算精度。

综上所述,本文所提出的算法是正确的,能够可靠收敛并有较高的运算效率。基于链式层次数组的前推回代法,不用对节点进行重新编号,不仅简化了计算过程,还可以节约内存;通过功率补偿直接处理环网,使得前推回代法同样适用于弱环配电

网的三相潮流计算。

5 结论

本文对前推回代法进行了改进，提出一种新颖的分层方法，通过形成链式分层节点数组，省去了复杂的节点和支路编号方案，并且采用功率补偿的方法直接对环网进行处理，提出了适合弱环配电网的三相潮流计算方法。在实现中针对配电系统三相参数不对称和三相负荷不平衡问题比较突出的情况，直接采用相域模型进行计算。此算法简洁明了，编程方便，算例结果证明了所提出算法的正确性，它具有很好的收敛性能。

参考文献

[1] 刘良伟, 黄纯, 向为, 等. 基于叠加原理和前代后代法的环状配电网潮流计算[J]. 继电器, 2005, 33 (4): 17-21.
LIU Liang-wei, HUANG Chun, XIANG Wei, et al. An improved power flow algorithm for meshed distribution networks based on superposition principle and forward/backward sweep method[J]. Relay, 2005, 33 (4): 17-21.

[2] 蔡中勤, 郭志忠. 基于逆流编号法的辐射型配电网牛顿法潮流[J]. 中国电机工程学报, 2000, 20(6): 13-16.
CAI Zhong-qin, GUO Zhi-zhong. Newton load flow for radial distribution network based on upstream labeling technique[J]. Proceedings of the CSEE, 2000, 20 (6): 13-16.

[3] 王守相, 阮同军, 刘玉田. 配电网潮流计算的回路阻抗法[J]. 电力系统及其自动化学报, 1998, 10 (1): 12-16.
WANG Shou-xiang, RUAN Tong-jun, LIU Yu-tian. Distribution system power flow based on loop-impedance equations[J]. Proceedings of the EPSA, 1998, 10 (1): 12-16.

[4] 王丹, 常宝立. 一种用于配网潮流计算的节点编号新方法[J]. 电力系统及其自动化学报, 2003, 15 (1): 22-26.
WANG Dan, CHANG Bao-li. A novel method of node numbering scheme on distribution system power flow calculation[J]. Proceedings of the EPSA, 2003, 15 (1): 22-26.

[5] 张尧, 王琴. 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. A load flow algorithm for radial distribution power networks[J]. Proceedings of the CSEE, 1998, 18 (3): 217-220.

[6] 颜伟, 刘方, 王官浩, 等. 辐射型网络潮流的分层前推回代算法[J]. 中国电机工程学报, 2003, 23 (8): 76-80.
YAN Wei, LIU Fang, WANG Guan-hao, et al. Layer by layer back/forward sweep method for radial distribution load flow[J]. Proceedings of the CSEE, 2003, 23 (8): 76-80.

[7] 王峥, 丛培杰. 基于改进前推回代法的辐射状配电网潮流计算[J]. 东北电力技术, 2008 (2): 7-10.
WANG Zheng, CONG Pei-jie. Power flow calculation for radial distribution network based on forward and backward substitution method[J]. Northeast Electric Power Technology, 2008 (2): 7-10.

[8] 刘蔚, 宁文辉, 黄东山. 一种改进的辐射状配电网潮流计算方法[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37 (15): 1-4.
LIU Wei, NING Wen-hui, HUANG Dong-shan. A modified power flow calculation method for radial distribution system[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37 (15): 1-4.

[9] 丁明, 郭学风. 含多种分布式电源的弱环配电网三相潮流计算[J]. 中国电机工程学报, 2009, 29(13): 35-40.
DING Ming, GUO Xue-feng. Three-phase power flow for the weakly meshed distribution network with the distributed generation[J]. Proceedings of the CSEE, 2009, 29 (13): 35-40.

[10] 车仁飞, 李仁俊. 一种少环配电网三相潮流计算新方法[J]. 中国电机工程学报, 2003, 23 (1): 74-79.
CHE Ren-fei, LI Ren-jun. A new three-phase power flow method for weakly meshed distribution systems[J]. Proceedings of the CSEE, 2003, 23 (1): 74-79.

收稿日期: 2010-01-26; 修回日期: 2010-04-15
作者简介:

顾晨 (1986-), 女, 硕士, 从事配电网分析方面的研究工作; E-mail: guchenhu@sina.com
乐秀璠 (1952-), 男, 副教授, 硕士生导师, 从事电力系统监控、继电保护方面的研究;
张晓明 (1985-), 男, 硕士研究生, 主要从事电力系统继电保护方面的研究。