极坐标形式的电流注入型潮流算法

彭世康[1], 王永刚[1], 余志文[2], 郭志忠[2]

(1. 许昌继电器研究所, 河南 许昌 461000; 2. 哈尔滨工业大学电气工程系, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要: 在直角坐标形式电流注入型潮流算法的基础上,结合电力系统的实际,推导出了极坐标形式的电流注入型潮流算法。这种方法保持了直角坐标系下电流注入型潮流算法在计算速度和收敛性方面的优点,同时也适合于电力系统中其它更依赖于极坐标系的场合。

关键词: 潮流计算; 极坐标; 电流注入

中图分类号: TM711 **文献标识码**: A **文章编号**: 1003-4897(2000)03-0001-04

1 引言

电流注入型潮流算法[1,2]是一种新颖的潮流计算方法。该方法把潮流计算修正方程式的常数项由计算节点有功偏差、无功偏差改变为计算节点注入电流偏差(分为实部电流偏差和虚部电流偏差),使 PQ 节点对应的雅可比矩阵块简化为网络导纳矩阵块,因此修正方程式的系数项(即雅可比矩阵)中的大部分元素在潮流计算迭代过程中保持恒定不变。这样,既改善了收敛性,又减少了计算量和所需的贮存容量。可以说,这种方法同时具有牛顿法和 PQ 分解法的优点,并克服了二者的不足。

电流注入型潮流算法是一种很有前途的潮流算法,但是文献[1,2]中只提供了直角坐标形式的电流注入型模型。而电力系统中基于极坐标形式的各种算法也有广泛的应用。如状态估计等电网分析软件,就是把电压向量分解成电压幅值和电压相角去进行雅可比矩阵的求解和修正方程式的迭代计算。在实际的电力系统中也只是采集到电压幅值量测量和电压相角量测量。因此有必要提出极坐标形式的电流注入型潮流算法。

本文从极坐标形式的牛顿潮流算法[3]出发,把该算法中变化的雅可比矩阵元素转化为恒定不变或变化量小的雅可比矩阵元素。推导出了极坐标形式的电流注入型潮流算法。这种方法经过简单的改进也可应用于电力系统其它领域。

2 极坐标形式的牛顿潮流算法

在极坐标形式的牛顿潮流算法[3]中,量测量的计算公式为

$$\left.\begin{aligned} P_i &= U_i \sum_{j=1}^{j=n} U_j (G_{ij}\cos\theta_{ij} + B_{ij}\sin\theta_{ij}) \\ Q_i &= U_i \sum_{j=1}^{j=n} U_j (G_{ij}\sin\theta_{ij} - B_{ij}\cos\theta_{ij}) \end{aligned}\right\} \quad (1)$$

其中, n 为网络的节点个数; θ_{ij} 为节点 i 与节点 j 之间的电压相角差, $\theta_{ij} = \theta_i - \theta_j$。

牛顿潮流算法中局部的修正方程式为

$$\begin{bmatrix} \Delta P_{ij} \\ \Delta Q_{ij} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_{ij} & N_{ij} \\ J_{ij} & L_{ij} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\theta_j \\ \Delta U_j \end{bmatrix} \quad (2)$$

其中, H_{ij}、N_{ij}、J_{ij}、L_{ij} 的计算公式分别如下

$$\left.\begin{aligned} H_{ij} &= U_i U_j (G_{ij}\sin\theta_{ij} - B_{ij}\cos\theta_{ij}),\ j \neq i \\ H_{ii} &= -U_i^2 B_{ii} - Q_i \\ N_{ij} &= U_i (G_{ij}\cos\theta_{ij} + B_{ij}\sin\theta_{ij}),\ j \neq i \\ N_{ii} &= U_i G_{ii} + \frac{P_i}{U_i} \\ J_{ij} &= -U_i U_j (G_{ij}\cos\theta_{ij} + B_{ij}\sin\theta_{ij}),\ j \neq i \\ J_{ii} &= -U_i^2 G_{ii} + P_i \\ L_{ij} &= U_i (G_{ij}\sin\theta_{ij} - B_{ij}\cos\theta_{ij}),\ j \neq i \\ L_{ii} &= -U_i B_{ii} + \frac{Q_i}{U_i} \end{aligned}\right\} \quad (3)$$

对于 PV 节点 k, 有 $\Delta U_k \cong 0$, 并且不需要列出 ΔQ_k 的方程式。

3 极坐标形式的电流注入型潮流算法

首先讨论 PQ 节点,把式(3)代入式(2)可得

$$\begin{bmatrix} \Delta P_{ij} \\ \Delta Q_{ij} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_i U_j (G_{ij}\sin\theta_{ij} - B_{ij}\cos\theta_{ij}) & U_i (G_{ij}\cos\theta_{ij} + B_{ij}\sin\theta_{ij}) \\ -U_i U_j (G_{ij}\cos\theta_{ij} + B_{ij}\sin\theta_{ij}) & U_i (G_{ij}\sin\theta_{ij} - B_{ij}\cos\theta_{ij}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\theta_j \\ \Delta U_j \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\begin{bmatrix} \Delta P_{ii} \\ \Delta Q_{ii} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -U_i^2 B_{ii} - Q_i & U_i G_{ii} + \frac{P_i}{U_i} \\ -U_i^2 G_{ii} + P_i & -U_i B_{ii} + \frac{Q_i}{U_i} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\theta_i \\ \Delta U_i \end{bmatrix} \quad (5)$$

收稿日期: 1999-08-04; **改回日期**: 1999-09-10

作者简介: 彭世康(1972-),男,本科,从事电力网络分析软件的研究工作。

式(4)中 $j \neq i$。

式(4)、式(5)可分别转化为

$$\begin{bmatrix} \dfrac{\Delta P_{ij}}{U_i} \\ \dfrac{\Delta Q_{ij}}{U_i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta_i & \sin\theta_i \\ \sin\theta_i & -\cos\theta_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\theta_j & \sin\theta_j \\ -\sin\theta_j & \cos\theta_j \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -B_{ij} & G_{ij} \\ G_{ij} & B_{ij} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_j\Delta\theta_j \\ \Delta U_j \end{bmatrix} \tag{6}$$

$$\begin{bmatrix} \dfrac{\Delta P_{ii}}{U_i} \\ \dfrac{\Delta Q_{ii}}{U_i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -B_{ii} - \dfrac{Q_i}{U_i^2} & G_{ii} + \dfrac{P_i}{U_i^2} \\ -G_{ii} + \dfrac{P_i}{U_i^2} & -B_{ii} + \dfrac{Q_i}{U_i^2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_i\Delta\theta_i \\ \Delta U_i \end{bmatrix} \tag{7}$$

式(6)中 $j \neq i$。

对式(6)、式(7)的两端同时左乘矩阵式 $\begin{bmatrix} \cos\theta_i & \sin\theta_i \\ \sin\theta_i & -\cos\theta_i \end{bmatrix}$,可得

$$\begin{bmatrix} \dfrac{\Delta P_{ij}\cos\theta_i + \Delta Q_{ij}\sin\theta_i}{U_i} \\ \dfrac{\Delta P_{ij}\sin\theta_i - \Delta Q_{ij}\cos\theta_i}{U_i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -B_{ij} & G_{ij} \\ G_{ij} & B_{ij} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta U_j\sin\theta_j + U_j\Delta\theta_j\cos\theta_j \\ \Delta U_j\cos\theta_j - U_j\Delta\theta_j\sin\theta_j \end{bmatrix} \tag{8}$$

$$\begin{bmatrix} \dfrac{\Delta P_{ii}\cos\theta_i + \Delta Q_{ii}\sin\theta_i}{U_i} \\ \dfrac{\Delta P_{ii}\sin\theta_i - \Delta Q_{ii}\cos\theta_i}{U_i} \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} -(G_{ii} - \frac{P_i}{U_i^2})\sin\theta_i - (B_{ii} + \frac{Q_i}{U_i^2})\cos\theta_i & (G_{ii} + \frac{P_i}{U_i^2})\cos\theta_i - (B_{ii} - \frac{Q_i}{U_i^2})\sin\theta_i \\ (G_{ii} - \frac{P_i}{U_i^2})\cos\theta_i - (B_{ii} + \frac{Q_i}{U_i^2})\sin\theta_i & (G_{ii} + \frac{P_i}{U_i^2})\sin\theta_i + (B_{ii} - \frac{Q_i}{U_i^2})\cos\theta_i \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} U_i\Delta\theta_i \\ \Delta U_i \end{bmatrix} \tag{9}$$

式(8)中 $j \neq i$。

对式(9)可作进一步的转化

$$\begin{bmatrix} \dfrac{\Delta P_{ii}\cos\theta_i + \Delta Q_{ii}\sin\theta_i}{U_i} \\ \dfrac{\Delta P_{ii}\sin\theta_i - \Delta Q_{ii}\cos\theta_i}{U_i} \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} -B_{ii} + \dfrac{P_i\sin 2\theta_i - Q_i\cos 2\theta_i}{U_i^2} & G_{ii} + \dfrac{P_i\cos 2\theta_i + Q_i\sin 2\theta_i}{U_i^2} \\ G_{ii} - \dfrac{P_i\cos 2\theta_i + Q_i\sin 2\theta_i}{U_i^2} & B_{ii} + \dfrac{P_i\sin 2\theta_i - Q_i\cos 2\theta_i}{U_i^2} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \Delta U_i\sin\theta_i + U_i\Delta\theta_i\cos\theta_i \\ \Delta U_i\cos\theta_i - U_i\Delta\theta_i\sin\theta_i \end{bmatrix} \tag{10}$$

显而易见,式(8)、式(10)的左端为支路电流的实部偏差 ΔCR_{ij}(或 ΔCR_{ii})和虚部偏差 ΔCI_{ij}(或 ΔCI_{ii})。令 $\Delta F_j = \Delta U_j\sin\theta_j + U_j\Delta\theta_j\cos\theta_j$,$\Delta E_j = \Delta U_j\cos\theta_j - U_j\Delta\theta_j\sin\theta_j$,则式(8)、式(10)分别转化为

$$\begin{bmatrix} \Delta CR_{ij} \\ \Delta CI_{ij} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -B_{ij} & G_{ij} \\ G_{ij} & B_{ij} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta F_j \\ \Delta E_j \end{bmatrix} \tag{11}$$

$$\begin{bmatrix} \Delta CR_{ii} \\ \Delta CI_{ii} \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} -B_{ii} + \dfrac{P_i\sin 2\theta_i - Q_i\cos 2\theta_i}{U_i^2} & G_{ii} + \dfrac{P_i\cos 2\theta_i + Q_i\sin 2\theta_i}{U_i^2} \\ G_{ii} - \dfrac{P_i\cos 2\theta_i + Q_i\sin 2\theta_i}{U_i^2} & B_{ii} + \dfrac{P_i\sin 2\theta - Q_i\cos 2\theta_i}{U_i^2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta F_i \\ \Delta E_i \end{bmatrix} \tag{12}$$

式(11)中 $j \neq i$。

式(11)、式(12)就是对应于 PQ 节点的极坐标形式电流注入型潮流算法的局部修正方程式。

下面讨论 PV 节点。由于不能得到 ΔQ_i 的值,所以不能把 ΔP_i 转换为 ΔCR_i 或 ΔCI_i,只能把 $\Delta\theta_i$、ΔU_i 转换为 ΔF_i、ΔE_i 的形式。

对式(4)、式(5)可作如下转化

$$\begin{bmatrix} \dfrac{\Delta P_{ij}}{U_i} \\ \dfrac{\Delta Q_{ij}}{U_i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G_{ij}\sin\theta_{ij} - B_{ij}\cos\theta_{ij} & G_{ij}\cos\theta_{ij} + B_{ij}\sin\theta_{ij} \\ -G_{ij}\cos\theta_{ij} - B_{ij}\sin\theta_{ij} & G_{ij}\sin\theta_{ij} - B_{ij}\cos\theta_{ij} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \cos\theta_j & \sin\theta_j \\ \sin\theta_j & -\cos\theta_j \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \cos\theta_j & \sin\theta_j \\ \sin\theta_j & -\cos\theta_j \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_j\Delta\theta_j \\ \Delta U_j \end{bmatrix} \tag{13}$$

$$\begin{bmatrix} \dfrac{\Delta P_{ii}}{U_i} \\ \dfrac{\Delta Q_{ii}}{U_i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -B_{ii} - \dfrac{Q_i}{U_i^2} & G_{ii} + \dfrac{P_i}{U_i^2} \\ -G_{ii} + \dfrac{P_i}{U_i^2} & -B_{ii} + \dfrac{Q_i}{U_i^2} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \cos\theta_i & \sin\theta_i \\ -\sin\theta_i & \cos\theta_i \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \cos\theta_i & \sin\theta_i \\ -\sin\theta_i & \cos\theta_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_i\Delta\theta_i \\ \Delta U_i \end{bmatrix} \tag{14}$$

合并即得

$$\begin{bmatrix} \dfrac{\Delta P_{ij}}{U_i} \\ \dfrac{\Delta Q_{ij}}{U_i} \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} G_{ij}\sin\theta_i - B_{ij}\cos\theta_i & G_{ij}\cos\theta_i + B_{ij}\sin\theta_i \\ -G_{ij}\cos\theta_i - B_{ij}\sin\theta_i & G_{ij}\sin\theta_i - B_{ij}\cos\theta_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta F_j \\ \Delta E_j \end{bmatrix} \tag{15}$$

$$\begin{bmatrix} \dfrac{\Delta P_{ii}}{U_i} \\ \dfrac{\Delta Q_{ii}}{U_i} \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} (G_{ii}+\frac{P_i}{U_i^2})\sin\theta_i-(B_{ii}+\frac{Q_i}{U_i^2})\cos\theta_i & (G_{ii}+\frac{P_i}{U_i^2})\cos\theta_i+(B_{ii}+\frac{Q_i}{U_i^2})\sin\theta_i \\ -(G_{ii}-\frac{P_i}{U_i^2})\cos\theta_i-(B_{ii}-\frac{Q_i}{U_i^2})\sin\theta_i & (G_{ii}-\frac{P_i}{U_i^2})\sin\theta_i-(B_{ii}-\frac{Q_i}{U_i^2})\cos\theta_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta F_i \\ \Delta E_i \end{bmatrix} \tag{16}$$

此外，由于有

$$\begin{bmatrix} \Delta F_i \\ \Delta E_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin\theta_i & \cos\theta_i \\ \cos\theta_i & -\sin\theta_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta U_i \\ U_i\Delta\theta_i \end{bmatrix} \tag{17}$$

所以可知

$$\begin{bmatrix} \Delta U_i \\ \Delta\theta_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin\theta_i & \cos\theta_i \\ \frac{\cos\theta_i}{U_i} & -\frac{\sin\theta_i}{U_i} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta F_i \\ \Delta E_i \end{bmatrix} \tag{18}$$

对式(15)、式(16)、式(18)进行组合，可得

$$\begin{bmatrix} \frac{\Delta P_{ij}}{U_i} \\ \Delta U_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G_{ij}\sin\theta_i - B_{ij}\cos\theta_i & G_{ij}\cos\theta_i + B_{ij}\sin\theta_i \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta F_j \\ \Delta E_j \end{bmatrix} \tag{19}$$

$$\begin{bmatrix} \frac{\Delta P_{ii}}{U_i} \\ \Delta U_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (G_{ii}+\frac{P_i}{U_i^2})\sin\theta_i-(B_{ii}+\frac{Q_i}{U_i^2})\cos\theta_i & (G_{ii}+\frac{P_i}{U_i^2})\cos\theta_i+(B_{ii}+\frac{Q_i}{U_i^2})\sin\theta_i \\ \sin\theta_i & \cos\theta_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta F_i \\ \Delta E_i \end{bmatrix} \tag{20}$$

对式(19)、式(20)也可转化为

$$\begin{bmatrix} \frac{\Delta P_{ij}}{U_i\cos\theta_i} \\ \frac{\Delta U_i}{\cos\theta_i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G_{ij}\mathrm{tg}\theta_i - B_{ij} & G_{ij} + B_{ij}\mathrm{tg}\theta_i \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta F_j \\ \Delta E_j \end{bmatrix} \tag{21}$$

$$\begin{bmatrix} \frac{\Delta P_{ii}}{U_i\cos\theta_i} \\ \frac{\Delta U_i}{\cos\theta_i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (G_{ii}+\frac{P_i}{U_i^2})\mathrm{tg}\theta_i-(B_{ii}+\frac{Q_i}{U_i^2}) & (G_{ii}+\frac{P_i}{U_i^2})+(B_{ii}+\frac{Q_i}{U_i^2})\mathrm{tg}\theta_i \\ \mathrm{tg}\theta_i & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta F_i \\ \Delta E_i \end{bmatrix} \tag{22}$$

式(19)、式(20)或者式(21)、式(22)，就是对应于 PV 节点的极坐标形式电流注入型潮流算法的局部修正方程式。

综合上述推导，可以得出极坐标形式电流注入型潮流算法的总的修正方程式为

$$\begin{bmatrix} \Delta CR_1 \\ \Delta CI_1 \\ \Delta CR_2 \\ \Delta CI_2 \\ \cdots \\ \frac{\Delta P_m}{U_m\cos\theta_m} \\ \frac{\Delta U_m}{\cos\theta_m} \\ \cdots \\ \frac{\Delta P_n}{U_n\cos\theta_n} \\ \frac{\Delta U_n}{\cos\theta_n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} -B_{11}' & G_{11}' \\ G_{11}'' & B_{11}'' \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} -B_{12} & G_{12} \\ G_{12} & B_{12} \end{bmatrix} & \cdots & \begin{bmatrix} -B_{1m} & G_{1m} \\ G_{1m} & B_{1m} \end{bmatrix} & \cdots & \begin{bmatrix} -B_{1n} & G_{1n} \\ G_{1n} & B_{1n} \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} -B_{21} & G_{21} \\ G_{21} & B_{21} \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} -B_{22}' & G_{22}' \\ G_{22}'' & B_{22}'' \end{bmatrix} & \cdots & \begin{bmatrix} -B_{2m} & G_{2m} \\ G_{2m} & B_{2m} \end{bmatrix} & \cdots & \begin{bmatrix} -B_{2n} & G_{2n} \\ G_{2n} & B_{2n} \end{bmatrix} \\ \cdots & \cdots & & \cdots & & \cdots \\ \begin{bmatrix} H_{m1}' & N_{m1}' \\ 0 & 0 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} H_{m2}' & N_{m2}' \\ 0 & 0 \end{bmatrix} & \cdots & \begin{bmatrix} H_{mm}' & N_{mm}' \\ \mathrm{tg}\theta_m & 1 \end{bmatrix} & \cdots & \begin{bmatrix} H_{mn}' & N_{mn}' \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \\ \cdots & \cdots & & \cdots & & \cdots \\ \begin{bmatrix} H_{n1}' & N_{n1}' \\ 0 & 0 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} H_{n2}' & N_{n2}' \\ 0 & 0 \end{bmatrix} & \cdots & \begin{bmatrix} H_{nm}' & N_{nm}' \\ 0 & 0 \end{bmatrix} & \cdots & \begin{bmatrix} H_{nn}' & N_{nn}' \\ \mathrm{tg}\theta_n & 1 \end{bmatrix} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta F_1 \\ \Delta E_1 \\ \Delta F_2 \\ \Delta E_2 \\ \cdots \\ \Delta F_m \\ \Delta E_m \\ \cdots \\ \Delta F_n \\ \Delta E_n \end{bmatrix} \tag{23}$$

其中，G_{ii}'、B_{ii}'、G_{ii}''、B_{ii}''、H_{ij}'、N_{ij}'的计算公式分别如下

$$\left.\begin{aligned} B_{ii}' &= B_{ii} - \frac{P_i\sin2\theta_i - Q_i\cos2\theta_i}{U_i^2} \\ G_{ii}' &= G_{ii} + \frac{P_i\cos2\theta_i + Q_i\sin2\theta_i}{U_i^2} \\ B_{ii}'' &= B_{ii} + \frac{P_i\sin2\theta_i - Q_i\cos2\theta_i}{U_i^2} \\ G_{ii}'' &= G_{ii} - \frac{P_i\cos2\theta_i + Q_i\sin2\theta_i}{U_i^2} \\ H_{ij}' &= G_{ij}\mathrm{tg}\theta_i - B_{ij}\text{ , } j \neq i \\ H_{ii}' &= (G_{ii} + \frac{P_i}{U_i^2})\mathrm{tg}\theta_i - (B_{ii} + \frac{Q_i}{U_i^2}) \\ N_{ij}' &= G_{ij} + B_{ij}\mathrm{tg}\theta_i\text{ , } j \neq i \\ N_{ii}' &= (G_{ii} + \frac{P_i}{U_i^2}) + (B_{ii} + \frac{Q_i}{U_i^2})\mathrm{tg}\theta_i \end{aligned}\right\} \tag{24}$$

ΔCR_i、ΔCI_i 的计算公式为

$$\begin{bmatrix} \Delta CR_i \\ \Delta CI_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \mathrm{tg}\theta_i \\ \mathrm{tg}\theta_i & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dfrac{\Delta P_i}{U_i \cos\theta_i} \\ \dfrac{\Delta Q_i}{U_i \cos\theta_i} \end{bmatrix} \tag{25}$$

4 极坐标形式的电流注入型潮流算法的计算过程

极坐标形式的电流注入型潮流算法的计算过程大致可以分为以下几步:

(1) 给出各节点注入功率的给定值 P_{gd}、Q_{gd},和电压初值 $U^{(0)}$、$\theta^{(0)}$,并初始迭代次数 $l=0$。

(2) 将电压值 $U^{(l)}$、$\theta^{(l)}$ 代入公式(1),求得 $P_{js}^{(l)}$、$Q_{js}^{(l)}$;求出各节点的 $\cos\theta^{(l)}$、$\mathrm{tg}\theta^{(l)}$,并把它们分别存贮在一个数组内。

(3) 利用 $P_{js}^{(l)}$、$Q_{js}^{(l)}$、$\cos\theta^{(l)}$、$\mathrm{tg}\theta^{(l)}$,根据公式(25)求 $\Delta CR^{(l)}$、$\Delta CI^{(l)}$,根据公式(24)修正雅可比矩阵中的 G'、B'、G''、B''、H'、N'。

(4) 代入方程式(23),求解出 $\Delta E^{(l)}$、$\Delta F^{(l)}$。

(5) 根据公式(18)求出 $\Delta U^{(l)}$ 和 $\Delta\theta^{(l)}$,并对各节点电压进行修正:$U^{(l+1)} = U^{(l)} + \Delta U^{(l)}$,$\theta^{(l+1)} = \theta^{(l)} + \Delta\theta^{(l)}$。同时修改迭代次数:$l = l+1$。

(6) 检验是否收敛。如果收敛,则求各支路潮流,并把计算结果写入数据库中,或者打印显示出来;如果不收敛,则转入步骤(2),进行下一次迭代计算。

5 算例

为验证本文方法,分别将其应用于一些测试系统。在 Pentium Ⅱ350 机型 64M 内存计算机上,使用 C++语言编程,算例的结果如表 1 所示。可以看出,该方法在收敛性和计算速度方面都不逊于牛顿潮流算法。

表 1 电流注入型算法同牛顿潮流算法的比较

测试系统	电流注入型算法		牛顿潮流算法	
	迭代时间 (ms)	迭代次数 (次)	迭代时间 (ms)	迭代次数 (次)
5 节点系统	50	5	60	5
22 节点系统	60	5	70	5
30 节点系统	60	4	70	4
107 节点系统	220	6	260	6

6 结论

(1) 本文提出了极坐标系下的电流注入型潮流算法,它是对直角坐标系的电流注入型潮流算法的补充和发展。

(2) 这种方法的修正方程式是从牛顿潮流算法的修正方程式经过等效变换得来的,因此与牛顿潮流算法具有相同的收敛性。

(3) 这种方法由于雅可比阵元素的求取大大简化,因此减少了计算量和所需的贮存容量,使计算速度比牛顿法有所提高。

(4) 它也适用于电力系统计算中其它更依赖于极坐标系的场合。

参考文献:

[1] 郭志忠. 电力网络分析. 北京:水利电力出版社,1997.
[2] 牛辉,郭志忠. 广义特勒根潮流计算方法. 电力系统自动化,1998,22(10).
[3] 西安交通大学等. 电力系统计算. 北京:水利电力出版社,1978.

Polar current - injecting power flow algorithm

PENG shi-kang[1], WANG Yong-gang[1], YU Zhi-wen[2], GUO Zhi-zhong[2]
(1. Xuchang Relay Research Institute, Xuchang 461000; 2. Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

Abstract: On the basic of the rectangular current - injecting power flow algorithm and practice of power system calculation, this paper presents the polar current - injecting power flow algorithm. This method not only maintains the calculation speed and convergence of the rectangular current - injecting power flow algorithm, but also can be used more widely in other domain of power system calculation.

Keywords: power flow calculation; polar; current - injecting