



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102593823 B

(45) 授权公告日 2014.03.12

(21) 申请号 201210022528.X

(22) 申请日 2012.02.01

(73) 专利权人 中国电力科学研究院

地址 100192 北京市海淀区清河小营东路 15号

专利权人 国家电网公司

(72) 发明人 盛万兴 宋晓辉 李建芳 孟晓丽 张瑜 李雅洁 贾东梨 仇天舒

(74) 专利代理机构 北京安博达知识产权代理有限公司 11271

代理人 徐国文

(51) Int. Cl.

H02J 3/00(2006.01)

(56) 对比文件

CN 1929234 A, 2007.03.14, 全文.

CN 101685965 A, 2010.03.31, 全文.

CN 101958580 A, 2011.01.26, 全文.

US 5629862 A, 1997.05.13, 全文.

US 2008/0103737 A1, 2008.05.01, 全文.

WO 2005/015366 A2, 2005.02.17, 全文.

王秀云等. 一种改进的配电网潮流算法. 《东北电力大学学报》. 2008, 第28卷(第1期), 全文.

单渊达等. 支路差值解耦潮流算法第一部分——计算方法. 《南京工学院学报》. 1986, 全文.

董惠等. 基于叠加原理和前推回代法求解少环辐射网潮流的新方法. 《微电子学与计算机》. 2010, 第27卷(第10期), 全文.

审查员 史文庆

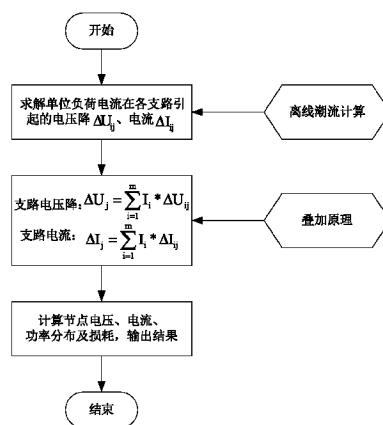
权利要求书3页 说明书9页 附图3页

(54) 发明名称

一种基于叠加原理的配电网在线潮流计算方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于叠加原理的配电网在线潮流计算方法。该方法利用离线潮流计算结果，事先计算出各负荷节点单位负荷电流在各支路引起的电压降/电流向量；进行在线潮流计算时，根据负荷节点负荷电流以及单位负荷电流引起的支路电压降/电流向量，利用线性系统的叠加原理计算支路电压降/电流向量，进而计算出节点电压、支路电流等。本发明可以很好的解决配电网在线潮流计算问题，无需对节点进行重新编号，直接利用离线潮流计算的节点编号即可。本发明对开环、闭环潮流计算均可适用，无需对环网潮流进行特殊处理；既可用于单相潮流计算，也可用于三相潮流计算；具有计算速度快、占用内存少、稳定性好的特点。



CN 102593823 B

1. 一种基于叠加原理的配电网在线潮流计算方法,其特征在于,利用离线潮流计算的结果和线性系统的叠加原理进行在线潮流计算;

配电网的网络结构和运行方式一定时,利用离线潮流计算结果,先计算出各负荷节点单位负荷电流在各支路引起的电压降向量,进行在线潮流计算时,根据各负荷节点负荷电流和所述计算出的各负荷节点单位负荷电流在各支路引起的电压降向量,利用线性系统的叠加原理计算出各支路电压降向量,进而计算出各节点电压、各支路损耗和各节点/支路功率;或者利用离线潮流计算结果,先计算出各负荷节点单位负荷电流在各支路引起的电流向量,进行在线潮流计算时,根据各负荷节点负荷电流和所述计算出的各负荷节点单位负荷电流在各支路引起的电流向量,利用线性系统的叠加原理计算出各支路通过的电流向量,进而计算出各支路电压降、各节点电压、各支路损耗和各节点/支路功率。

2. 如权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述利用离线潮流计算结果,先计算出各负荷节点单位负荷电流在各支路引起的电压降向量;进行在线潮流计算时,根据各负荷节点负荷电流和所述计算出的各负荷节点单位负荷电流在各支路引起的电压降向量,利用线性系统的叠加原理计算出各支路电压降向量,进而计算出各节点电压、各支路损耗和各节点/支路功率,包括以下步骤:

(1) 依据离线潮流计算结果,列写电压降落矩阵:

$$\Delta U = \begin{bmatrix} \Delta U_{11} & \Delta U_{12} & \cdots & \Delta U_{1j} & \cdots & \Delta U_{1n} \\ \Delta U_{21} & \Delta U_{22} & \cdots & \Delta U_{2j} & \cdots & \Delta U_{2n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \Delta U_{i1} & \Delta U_{i2} & \cdots & \Delta U_{ij} & \cdots & \Delta U_{in} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \Delta U_{m1} & \Delta U_{m2} & \cdots & \Delta U_{mj} & \cdots & \Delta U_{mn} \end{bmatrix}$$

式中: ΔU 为 $m \times n$ 阶矩阵; m 为负荷节点数; n 为支路数, ΔU_{ij} 为在节点 i 注入单位电流,其余节点注入电流为0时,支路 j 的电压降向量;

(2) 根据各负荷节点负荷电流,计算各支路电压降向量:

$$\Delta U_j = \sum_{i=1}^m I_i * \Delta U_{ij}$$

式中: ΔU_j 为支路 j 的电压降向量; I_i 为负荷节点 i 的负荷电流;

(3) 从馈线首端至末端,依次计算各个节点电压:

$$U_i = U_k - \Delta U_j$$

式中: k, i 分别为支路 j 的首端节点和末端节点, U_k 为首端节点 k 的电压, U_i 为末端节点 i 的电压;

(4) 计算各支路电流:

$$\Delta I_j = \frac{\Delta U_j}{Z_j}$$

式中: ΔI_j 表示通过支路 j 的电流向量, Z_j 表示支路 j 的阻抗参数;

(5) 计算功率分布及功率损耗,输出结果。

3. 如权利要求 1 所述的方法,其特征在于,利用离线潮流计算结果,先计算出各负荷节

点单位负荷电流在各支路引起的电流向量;进行在线潮流计算时,根据各负荷节点负荷电流和所述计算出的各负荷节点单位负荷电流在各支路引起的电流向量,利用线性系统的叠加原理计算出各支路通过的电流向量,进而计算出各支路电压降、各节点电压、各支路损耗和各节点/支路功率,包括如下步骤:

(1) 依据离线潮流计算结果,列写电流矩阵:

$$\Delta I = \begin{bmatrix} \Delta I_{11} & \Delta I_{12} & \cdots & \Delta I_{1j} & \cdots & \Delta I_{1n} \\ \Delta I_{21} & \Delta I_{22} & \cdots & \Delta I_{2j} & \cdots & \Delta I_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \Delta I_{i1} & \Delta I_{i2} & \cdots & \Delta I_{ij} & \cdots & \Delta I_{in} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \Delta I_{m1} & \Delta I_{m2} & \cdots & \Delta I_{mj} & \cdots & \Delta I_{mn} \end{bmatrix}$$

式中: ΔI 为 $m \times n$ 阶矩阵; m 为负荷节点数; n 为支路数; ΔI_{ij} 表示在负荷节点 i 注入单位电流,其余负荷节点注入电流为0时,支路 j 通过的电流向量;

(2) 根据各负荷节点负荷电流,计算各支路电流向量:

$$\Delta I_j = \sum_{i=1}^m I_i * \Delta I_{ij}$$

式中: ΔI_j 为支路 j 的电流向量; I_i 为负荷节点 i 的负荷电流;

(3) 计算各支路电压降向量:

$$\Delta U_j = \Delta I_j * Z_j$$

式中: ΔU_j 为支路 j 的电压降向量; Z_j 为支路 j 的阻抗参数;

(4) 从馈线首端至末端,依次计算各个节点电压:

$$U_i = U_k - \Delta U_j$$

式中: U_k 表示支路 j 的首端节点 k 的电压, U_i 表示支路 j 的末端节点 i 的电压;

(5) 计算功率分布及功率损耗,输出结果。

4. 如权利要求1所述的方法,其特征在于,当网络结构和运行方式发生变化时,采用下述方式对 ΔU 进行修正:

(a) 对于闭环设计、开环运行的网络,增加一条支路时 ΔU 的修正:

从原有负荷节点 i 引出一条支路,同时增加一个负荷节点,编号 $n+1$,电压降落矩阵 ΔU 增加一行一列:

$$\Delta U' = \begin{bmatrix} \Delta U_{11} & \Delta U_{12} & \Delta U_{13} & \cdots & \Delta U_{1n} & \Delta U_{1(n+1)} \\ \Delta U_{21} & \Delta U_{22} & \Delta U_{23} & \cdots & \Delta U_{2n} & \Delta U_{2(n+1)} \\ \Delta U_{31} & \Delta U_{32} & \Delta U_{33} & \cdots & \Delta U_{3n} & \Delta U_{3(n+1)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \Delta U_{m1} & \Delta U_{m2} & \Delta U_{m3} & \cdots & \Delta U_{mn} & \Delta U_{m(n+1)} \\ \hline \Delta U_{(m+1)1} & \Delta U_{(m+1)2} & \Delta U_{(m+1)3} & \cdots & \Delta U_{(m+1)n} & \Delta U_{(m+1)(n+1)} \end{bmatrix}$$

式中: $\Delta U'$ 为修正后的电压降落矩阵,为 $(m+1) \times (n+1)$ 维;

对于 $j=1,2 \cdots n$ 时:

$$\Delta U'_j = \Delta U_j + I_{(m+1)} * \Delta U_{(m+1)}$$

式中： $\Delta U'_j$ 为修正后的支路 j 的电压降向量；

对于 $j=n+1$ 时：

$$\Delta U_{n+1}' = \sum_{i=1}^{m+1} I_i * \Delta U_{i(n+1)}$$

(b) 对于闭环设计、开环运行的网络，切除一条支路时 ΔU 的修正：

将支路 k 断开，同时减少一个负荷节点 k，电压降落矩阵 ΔU 减少一行一列：

$$\Delta U' = \begin{bmatrix} \Delta U_{11} & \Delta U_{12} & \dots & \Delta U_{1k} & \dots & \Delta U_{1n} \\ \Delta U_{21} & \Delta U_{22} & \dots & \Delta U_{2k} & \dots & \Delta U_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \Delta U_{k1} & \Delta U_{k2} & \dots & \Delta U_{kk} & \dots & \Delta U_{kn} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \Delta U_{m1} & \Delta U_{m2} & \dots & \Delta U_{mk} & \dots & \Delta U_{mn} \end{bmatrix}$$

式中： $\Delta U'$ 为修正后的电压降落矩阵，为 $(m-1) * (n-1)$ 维；

对于 $j=1, 2 \dots n, (j \neq k)$ 时：

$$\Delta U'_j = \Delta U_j - I_k * \Delta U_{kj}$$

(c) 对于多电源供电网络，切除其中一个电源时 ΔU 的修正：

用一个与该电源出口电流大小相等、方向相反的电流源等效，看作增加一条支路、增加一个负荷节点：

$$\Delta U' = \begin{bmatrix} \Delta U_{11} & \Delta U_{12} & \Delta U_{13} & \dots & \Delta U_{1n} & \Delta U_{1(n+1)} \\ \Delta U_{21} & \Delta U_{22} & \Delta U_{23} & \dots & \Delta U_{2n} & \Delta U_{2(n+1)} \\ \Delta U_{31} & \Delta U_{32} & \Delta U_{33} & \dots & \Delta U_{3n} & \Delta U_{3(n+1)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \Delta U_{m1} & \Delta U_{m2} & \Delta U_{m3} & \dots & \Delta U_{mn} & \Delta U_{m(n+1)} \\ \hline \Delta U_{(m+1)1} & \Delta U_{(m+1)2} & \Delta U_{(m+1)3} & \dots & \Delta U_{(m+1)n} & \Delta U_{(m+1)(n+1)} \end{bmatrix}$$

对于 $j=1, 2 \dots n$ 时：

$$\Delta U'_j = \Delta U_j + I_{(m+1)} * \Delta U_{(m+1)j}$$

式中： $I_{(m+1)}$ 与被切除电源原有电流方向相反。

5. 如权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述配电网在线潮流计算方法用于单相潮流计算或三相潮流计算。

一种基于叠加原理的配电网在线潮流计算方法

技术领域：

[0001] 本发明涉及电力系统运行与安全分析技术领域，具体涉及一种基于叠加原理的配电网在线潮流计算方法。

背景技术：

[0002] 潮流计算是电力系统中应用最为广泛、最基本和最重要的电气计算，它的任务是根据给定的网络结构及运行条件，计算整个网络的潮流分布。

[0003] 潮流计算的结果，无论是对于现有系统运行方式的分析研究，还是对规划阶段设计方案的分析比较，都是必不可少的。电力系统静态、暂态稳定计算也需要利用潮流计算的结果，这些都属于离线计算的范畴。

[0004] 随着现代化的调度控制中心的建立，为了对电力系统进行实时安全监控，需要根据实时数据库提供的信息，判断系统当前的运行状态并对预想事故进行安全分析，这就需要进行在线潮流计算。

[0005] 配电网具有以下特点：网络拓扑一般呈辐射状、但也有短时环网运行状态，R/X 比值较大，支路数和节点数十分庞大，三相不平衡等。这些特点导致网络雅克比矩阵出现不同程度的病态特征，传统的牛顿拉夫逊法、快速解耦法等算法对配电网不再适用。专家学者们研究提出了适用于配电网特点的潮流计算方法，如：隐式高斯法、前推回代法、回路阻抗法等。这些算法可直接利用节点及支路参数，无需利用雅克比矩阵，编程简单，算法收敛性好，但都要用到复杂的节点编号方法，节点编号对算法实现有很大影响。

[0006] 配电网可以看作是线性网络，线性系统的叠加原理对配电网同样适用。部分专家学者在处理弱环配电网潮流计算中，提出将环网运行的配电网转化为辐射型配电网，利用叠加原理，将环网潮流视为环网前的辐射网潮流与环网两端电压向量差引起的潮流的叠加。

[0007] 配电网各个支路的电压降和支路通过的电流也适用叠加原理，可以看作是各个负荷电流共同作用的结果。当网络结构和运行方式维持恒定时，单位负荷电流在各个支路引起的电压降以及电流向量是恒定的，可以利用离线潮流计算结果计算得出。

[0008] 在线潮流计算主要用于运行中电力系统的监视和实时控制，除了可靠的收敛特性外，计算速度快、占用内存少也是最基本的要求。常规的潮流计算方法，不能很好的满足配电网在线潮流计算对计算速度和收敛性的要求。

发明内容：

[0009] 本发明提出一种基于叠加原理的配电网在线潮流计算方法。该方法利用离线潮流计算结果，事先计算得出各负荷节点单位负荷电流在各支路引起的电压降 / 电流向量；进行在线潮流计算时，根据负荷节点负荷电流以及单位负荷电流引起的支路电压降 / 电流向量，利用线性系统的叠加原理计算支路电压降 / 电流向量，进而计算出节点电压、支路电流等。

[0010] 该方法的技术原理如下：

[0011] 对于一个实际配电网，当网络结构和运行方式一定时，各支路电压降向量适用叠加原理，即：一个支路的电压降向量等于各个负荷节点在该支路引起的电压降向量之和，某负荷节点负荷电流在一个支路引起的电压降向量与该负荷电流成正比。利用离线潮流计算结果，计算出各负荷节点单位负荷电流在各支路引起的电压降向量；进行在线潮流计算时，根据各负荷节点负荷电流及上述计算出的各负荷节点单位负荷电流在各支路引起的电压降向量，利用线性系统的叠加原理计算出各支路电压降向量，进而计算出各节点电压、各支路损耗、各节点 / 支路功率等。

[0012] 上述求解方法对支路电流的求解同样适用。对于一个实际配电网，当网络结构和运行方式一定时，各支路电流向量适用叠加原理，即：一个支路的电流向量等于各个负荷节点在该支路引起的电流向量之和，某负荷节点负荷电流在一个支路引起的电流向量与该负荷电流成正比。利用离线潮流计算结果，计算出各负荷节点单位负荷电流在各支路引起的电流向量；进行在线潮流计算时，根据各负荷节点负荷电流及上述计算出的各负荷节点单位负荷电流在各支路引起的电流向量，利用线性系统的叠加原理计算出各支路通过的电流向量，进而计算出各支路电压降、各节点电压、各支路损耗、各节点 / 支路功率等。

[0013] 本发明提供的一种基于叠加原理的配电网在线潮流计算方法，其改进之处在于，利用离线潮流计算的结果和线性系统的叠加原理进行在线潮流计算；

[0014] 配电网的网络结构和运行方式一定时，利用离线潮流计算结果，事先计算出各负荷节点单位负荷电流在各支路引起的电压降向量，进行在线潮流计算时，根据各负荷节点负荷电流和所述计算出的各负荷节点单位负荷电流在各支路引起的电压降向量，利用线性系统的叠加原理计算出各支路电压降向量，进而计算出各节点电压、各支路损耗和各节点 / 支路功率；或者利用离线潮流计算结果，事先计算出各负荷节点单位负荷电流在各支路引起的电流向量，进行在线潮流计算时，根据各负荷节点负荷电流和所述计算出的各负荷节点单位负荷电流在各支路引起的电流向量，利用线性系统的叠加原理计算出各支路通过的电流向量，进而计算出各支路电压降、各节点电压、各支路损耗和各节点 / 支路功率。

[0015] 其中，所述利用离线潮流计算结果，事先计算出各负荷节点单位负荷电流在各支路引起的电压降向量；进行在线潮流计算时，根据各负荷节点负荷电流和所述计算出的各负荷节点单位负荷电流在各支路引起的电压降向量，利用线性系统的叠加原理计算出各支路电压降向量，进而计算出各节点电压、各支路损耗和各节点 / 支路功率，包括以下步骤：

[0016] (1) 依据离线潮流计算结果，列写电压降落矩阵：

$$[0017] \quad \Delta U = \begin{bmatrix} \Delta U_{11} & \Delta U_{12} & \cdots & \Delta U_{1j} & \cdots & \Delta U_{1n} \\ \Delta U_{21} & \Delta U_{22} & \cdots & \Delta U_{2j} & \cdots & \Delta U_{2n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \Delta U_{i1} & \Delta U_{i2} & \cdots & \Delta U_{ij} & \cdots & \Delta U_{in} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \Delta U_{m1} & \Delta U_{m2} & \cdots & \Delta U_{mj} & \cdots & \Delta U_{mn} \end{bmatrix}$$

[0018] 式中： ΔU 为 $m \times n$ 阶矩阵； m 为负荷节点数； n 为支路数， ΔU_{ij} 为在节点 i 注入单位电流，其余节点注入电流为 0 时，支路 j 的电压降向量。

[0019] (2) 根据各负荷节点负荷电流，计算各支路电压降向量：

$$[0020] \quad \Delta U_j = \sum_{i=1}^m I_i * \Delta U_{ij}$$

[0021] 式中： ΔU_j 为支路 j 的电压降向量； I_i 为负荷节点 i 的负荷电流。

[0022] (3) 从馈线首端至末端，依次计算各个节点电压：

$$[0023] \quad U_i = U_k - \Delta U_j$$

[0024] 式中： k, i 分别为支路 j 的首端节点和末端节点， U_k 为首端节点 k 的电压， U_i 为末端节点 i 的电压。

[0025] (4) 计算各支路电流：

$$[0026] \quad \Delta I_j = \frac{\Delta U_j}{Z_j}$$

[0027] 式中： ΔI_j 表示通过支路 j 的电流向量， Z_j 表示支路 j 的阻抗参数。

[0028] (5) 计算功率分布及功率损耗，输出结果。

[0029] 其中，利用离线潮流计算结果，事先计算出各负荷节点单位负荷电流在各支路引起的电流向量；进行在线潮流计算时，根据各负荷节点负荷电流和所述计算出的各负荷节点单位负荷电流在各支路引起的电流向量，利用线性系统的叠加原理计算出各支路通过的电流向量，进而计算出各支路电压降、各节点电压、各支路损耗和各节点 / 支路功率，包括如下步骤：

[0030] (1) 依据离线潮流计算结果，列写电流矩阵：

$$[0031] \quad \Delta I = \begin{bmatrix} \Delta I_{11} & \Delta I_{12} & \cdots & \Delta I_{1j} & \cdots & \Delta I_{1n} \\ \Delta I_{21} & \Delta I_{22} & \cdots & \Delta I_{2j} & \cdots & \Delta I_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \Delta I_{i1} & \Delta I_{i2} & \cdots & \Delta I_{ij} & \cdots & \Delta I_{in} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \Delta I_{m1} & \Delta I_{m2} & \cdots & \Delta I_{mj} & \cdots & \Delta I_{mn} \end{bmatrix}$$

[0032] 式中： ΔI 为 $m*n$ 阶矩阵； m 为负荷节点数； n 为支路数； ΔI_{ij} 表示在负荷节点 i 注入单位电流，其余负荷节点注入电流为 0 时，支路 j 通过的电流向量。

[0033] (2) 根据各负荷节点负荷电流，计算各支路电流向量：

$$[0034] \quad \Delta I_j = \sum_{i=1}^m I_i * \Delta I_{ij}$$

[0035] 式中： ΔI_j 为支路 j 的电流向量； I_i 为负荷节点 i 的负荷电流。

[0036] (3) 计算各支路电压降向量：

$$[0037] \quad \Delta U_j = \Delta I_j * Z_j$$

[0038] 式中： ΔU_j 为支路 j 的电压降向量； Z_j 为支路 j 的阻抗参数。

[0039] (4) 从馈线首端至末端，依次计算各个节点电压：

$$[0040] \quad U_i = U_k - \Delta U_j$$

[0041] 式中： U_k 表示支路 j 的首端节点 k 的电压， U_i 表示支路 j 的末端节点 i 的电压。

[0042] (5) 计算功率分布及功率损耗，输出结果。

[0043] 其中，当网络结构和运行方式发生变化时，采用如下方式对 ΔU 进行修正：

[0044] (a) 对于闭环设计、开环运行的网络，增加一条支路时 ΔU 的修正：

[0045] 从原有负荷节点 i 引出一条支路,同时增加一个负荷节点,编号 $n+1$,由于负荷节点数增加,支路数增加,电压降落矩阵 ΔU 增加一行一列:(矩阵中 $(m+1)$ 行和 $(n+1)$ 列为增加的一行一列)

[0046]

$$\Delta U' = \begin{bmatrix} \Delta U_{11} & \Delta U_{12} & \Delta U_{13} & \cdots & \Delta U_{1n} & \Delta U_{1(n+1)} \\ \Delta U_{21} & \Delta U_{22} & \Delta U_{23} & \cdots & \Delta U_{2n} & \Delta U_{2(n+1)} \\ \Delta U_{31} & \Delta U_{32} & \Delta U_{33} & \cdots & \Delta U_{3n} & \Delta U_{3(n+1)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \Delta U_{m1} & \Delta U_{m2} & \Delta U_{m3} & \cdots & \Delta U_{mn} & \Delta U_{m(n+1)} \\ \hline \Delta U_{(m+1)1} & \Delta U_{(m+1)2} & \Delta U_{(m+1)3} & \cdots & \Delta U_{(m+1)n} & \Delta U_{(m+1)(n+1)} \end{bmatrix}$$

[0047] 式中: $\Delta U'$ 为修正后的电压降落矩阵,为 $(m+1)*(n+1)$ 维。

[0048] 对于 $j = 1, 2, \dots, n$ 时:

$$[0049] \quad \Delta U'_j = \Delta U_j + I_{(m+1)} * \Delta U_{(m+1)}$$

[0050] 式中: $\Delta U'_j$ 为修正后的支路 j 的电压降向量;

[0051] 对于 $j = n+1$ 时:

$$[0052] \quad \Delta U'_{n+1} = \sum_{i=1}^{m+1} I_i * \Delta U_{i(n+1)}$$

[0053] (b) 对于闭环设计、开环运行的网络,切除一条支路时 ΔU 的修正:

[0054] 将支路 k 断开,同时减少一个负荷节点 k ,由于负荷节点数减少,支路数减少,电压降落矩阵 ΔU 减少一行一列:(矩阵中虚线代表减少的一行一列)

[0055]

$$\Delta U' = \begin{bmatrix} \Delta U_{11} & \Delta U_{12} & \cdots & \Delta U_{1k} & \cdots & \Delta U_{1n} \\ \Delta U_{21} & \Delta U_{22} & \cdots & \Delta U_{2k} & \cdots & \Delta U_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \Delta U_{k1} & \Delta U_{k2} & \cdots & \Delta U_{kk} & \cdots & \Delta U_{kn} \\ \hline \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \Delta U_{m1} & \Delta U_{m2} & \cdots & \Delta U_{mk} & \cdots & \Delta U_{mn} \end{bmatrix}$$

[0056] 式中: $\Delta U'$ 为修正后的电压降落矩阵,为 $(m-1)*(n-1)$ 维。

[0057] 对于 $j = 1, 2, \dots, n, (j \neq k)$ 时:

$$[0058] \quad \Delta U'_j = \Delta U_j - I_k * \Delta U_{kj}$$

[0059] (c) 对于多电源供电网络,切除其中一个电源时 ΔU 的修正:

[0060] 可用一个与该电源出口电流大小相等、方向相反的电流源来等效,即可看作增加一条支路、增加一个负荷节点:

[0061]

$$\Delta U' = \begin{bmatrix} \Delta U_{11} & \Delta U_{12} & \Delta U_{13} & \dots & \Delta U_{1n} & \Delta U_{1(n+1)} \\ \Delta U_{21} & \Delta U_{22} & \Delta U_{23} & \dots & \Delta U_{2n} & \Delta U_{2(n+1)} \\ \Delta U_{31} & \Delta U_{32} & \Delta U_{33} & \dots & \Delta U_{3n} & \Delta U_{3(n+1)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \Delta U_{m1} & \Delta U_{m2} & \Delta U_{m3} & \dots & \Delta U_{mn} & \Delta U_{m(n+1)} \\ \hline \Delta U_{(m+1)1} & \Delta U_{(m+1)2} & \Delta U_{(m+1)3} & \dots & \Delta U_{(m+1)n} & \Delta U_{(m+1)(n+1)} \end{bmatrix}$$

[0062] 对于 $j = 1, 2, \dots, n$ 时：

$$[0063] \quad \Delta U'_j = \Delta U_j + I_{(m+1)} * \Delta U_{(m+1)j}$$

[0064] 式中： $I_{(m+1)}$ 与被切除电源原有电流方向相反。

[0065] 其中，所述配电网在线潮流计算方法用于单相潮流计算或三相潮流计算。

[0066] 当利用离线潮流计算结果，事先计算出各负荷节点单位负荷电流在各支路引起的电流向量；进行在线潮流计算时，当网络结构和运行方式发生变化，参考对 ΔU 进行修正的方法对 ΔI 进行修正。

[0067] 本发明中提到的负荷电流是指有功电流，对无功电流同样适用，如果为复电流向量，则功率因数应维持恒定值。

[0068] 本发明可以很好的解决配电网在线潮流计算问题，与现有技术比，本发明的有益效果为：

[0069] 1、无需对节点进行重新编号，直接利用离线潮流计算的节点编号即可；

[0070] 2、对开环、闭环潮流计算均可适用，无需对环网潮流进行特殊处理；

[0071] 3、既可用于单相潮流计算，也可用于三相潮流计算；

[0072] 4、计算速度快、占用内存少、稳定性好。

附图说明：

[0073] 图 1 为本发明的总体流程图。

[0074] 图 2 为本发明提供的根据单位负荷电流引起的支路电压降进行在线潮流计算的流程图。

[0075] 图 3 为本发明提供的根据单位负荷电流引起的支路电流进行在线潮流计算的流程图。

具体实施方式：

[0076] 下面结合附图对本发明的具体实施方式作进一步的详细说明。

[0077] 配电网可以看作是线性网络，线性系统的叠加原理对配电网同样适用。对于一个实际配电网，当网络结构和运行方式一定时，各支路电压降向量适用叠加原理，即：一个支路的电压降向量等于各个负荷节点负荷在该支路引起的电压降向量之和，某负荷节点负荷在一个支路引起的电压降向量与该负荷电流成正比。

[0078] 同理，对于一个实际配电网，当网络结构和运行方式一定时，各支路电流向量适用叠加原理，即：一个支路的电流向量等于各个负荷节点负荷在该支路引起的电流向量之和，某负荷节点负荷在一个支路引起的电流向量与该负荷电流成正比。

[0079] 当网络结构和运行方式维持恒定时，单位负荷电流在各个支路引起的电压降以及

电流向量是恒定的,可以利用离线潮流计算结果事先计算得出。进行在线潮流计算时,可直接利用上述计算结果和负荷电流,应用叠加原理进行求解。本发明的总体思路如图 1 所示。

[0080] 当节点负荷电流已知时,根据单位负荷电流在各支路引起的电压进行在线潮流计算流程如图 2 所示,具体包括如下步骤:

[0081] (1) 依据离线潮流计算结果,列写电压降落矩阵:

$$[0082] \quad \Delta U = \begin{bmatrix} \Delta U_{11} & \Delta U_{12} & \cdots & \Delta U_{1j} & \cdots & \Delta U_{1n} \\ \Delta U_{21} & \Delta U_{22} & \cdots & \Delta U_{2j} & \cdots & \Delta U_{2n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \Delta U_{i1} & \Delta U_{i2} & \cdots & \Delta U_{ij} & \cdots & \Delta U_{in} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \Delta U_{m1} & \Delta U_{m2} & \cdots & \Delta U_{mj} & \cdots & \Delta U_{mn} \end{bmatrix}$$

[0083] 式中: ΔU 为 $m \times n$ 阶矩阵; m 为负荷节点数; n 为支路数, ΔU_{ij} 为在节点 i 注入单位电流,其余节点注入电流为 0 时,支路 j 的电压降向量。

[0084] (2) 根据各负荷节点负荷电流,计算各支路电压降向量:

$$[0085] \quad \Delta U_j = \sum_{i=1}^m I_i * \Delta U_{ij}$$

[0086] 式中: ΔU_j 为支路 j 的电压降向量; I_i 为负荷节点 i 的负荷电流。

[0087] (3) 从馈线首端至末端,依次计算各个节点电压:

$$[0088] \quad U_i = U_k - \Delta U_j$$

[0089] 式中: k, i 分别为支路 j 的首端节点和末端节点, U_k 为首端节点 k 的电压, U_i 为末端节点 i 的电压。

[0090] (4) 计算各支路电流:

$$[0091] \quad \Delta I_j = \frac{\Delta U_j}{Z_j}$$

[0092] 式中: ΔI_j 表示通过支路 j 的电流向量, Z_j 表示支路 j 的阻抗参数。

[0093] (5) 计算功率分布及功率损耗,输出结果。

[0094] 对于支路 j ,功率损耗可用下述公式计算:

$$[0095] \quad \Delta P_j = \Delta U_j \Delta I_j$$

[0096] 支路 j 的首端节点 k 和末端节点 i 的功率分别为:

$$[0097] \quad P_k = U_k \Delta I_j$$

$$[0098] \quad P_i = U_i \Delta I_j$$

[0099] 当节点负荷电流已知时,根据单位负荷电流在各支路引起的电流进行在线潮流计算,计算流程如图 3 所示,具体步骤如下:

[0100] (I) 依据离线潮流计算结果,列写电流矩阵:

$$[0101] \quad \Delta I = \begin{bmatrix} \Delta I_{11} & \Delta I_{12} & \cdots & \Delta I_{1j} & \cdots & \Delta I_{1n} \\ \Delta I_{21} & \Delta I_{22} & \cdots & \Delta I_{2j} & \cdots & \Delta I_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \Delta I_{i1} & \Delta I_{i2} & \cdots & \Delta I_{ij} & \cdots & \Delta I_{in} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \Delta I_{m1} & \Delta I_{m2} & \cdots & \Delta I_{mj} & \cdots & \Delta I_{mn} \end{bmatrix}$$

[0102] 式中： ΔI 为 $m \times n$ 阶矩阵； m 为负荷节点数； n 为支路数； ΔI_{ij} 表示在负荷节点 i 注入单位电流，其余负荷节点注入电流为 0 时，支路 j 通过的电流向量。

[0103] (II) 根据各负荷节点负荷电流，计算各支路电流向量：

$$[0104] \quad \Delta I_j = \sum_{i=1}^m I_i * \Delta I_{ij}$$

[0105] 式中： ΔI_j 为支路 j 的电流向量； I_i 为负荷节点 i 的负荷电流。

[0106] (III) 计算各支路电压降向量：

$$[0107] \quad \Delta U_j = \Delta I_j * Z_j$$

[0108] 式中： ΔU_j 为支路 j 的电压降向量； Z_j 为支路 j 的阻抗参数。

[0109] (IV) 从馈线首端至末端，依次计算各个节点电压：

$$[0110] \quad U_i = U_k - \Delta U_j$$

[0111] 式中： U_k 表示支路 j 的首端节点 k 的电压， U_i 表示支路 j 的末端节点 i 的电压。

[0112] (V) 计算功率分布及功率损耗，输出结果。

[0113] 该方法既可用于单相潮流计算，也可用于三相潮流计算；应用本发明对三相分别进行计算，即可得到配电网三相潮流计算结果。

[0114] 当网络结构和运行方式发生变化时， ΔU 和 ΔI 也发生变化，可以事先计算得出各种不同运行方式下的 ΔU 和 ΔI ，也可对现有 ΔU 和 ΔI 进行修正。当根据单位负荷电流引起的支路电压降进行在线潮流计算时，本实施例选用下述方法对 ΔU 进行修正：

[0115] (a) 对于闭环设计、开环运行的网络，增加一条支路时 ΔU 的修正：

[0116] 从原有负荷节点 i 引出一条支路，同时增加一个负荷节点，编号 $n+1$ ，由于负荷节点数增加，支路数增加，电压降落矩阵 ΔU 增加一行一列：

[0117]

$$\Delta U' = \left[\begin{array}{cccc|c|c} \Delta U_{11} & \Delta U_{12} & \Delta U_{13} & \cdots & \Delta U_{1n} & \Delta U_{1(n+1)} \\ \Delta U_{21} & \Delta U_{22} & \Delta U_{23} & \cdots & \Delta U_{2n} & \Delta U_{2(n+1)} \\ \Delta U_{31} & \Delta U_{32} & \Delta U_{33} & \cdots & \Delta U_{3n} & \Delta U_{3(n+1)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \Delta U_{m1} & \Delta U_{m2} & \Delta U_{m3} & \cdots & \Delta U_{mn} & \Delta U_{m(n+1)} \\ \hline \Delta U_{(m+1)1} & \Delta U_{(m+1)2} & \Delta U_{(m+1)3} & \cdots & \Delta U_{(m+1)n} & \Delta U_{(m+1)(n+1)} \end{array} \right]$$

[0118] 式中： $\Delta U'$ 为修正后的电压降落矩阵，为 $(m+1) \times (n+1)$ 维。

[0119] 对于 $j = 1, 2, \dots, n$ 时：

$$[0120] \quad \Delta U'_j = \Delta U_j + I_{(m+1)} * \Delta U_{(m+1)}$$

[0121] 式中： $\Delta U'_j$ 为修正后的支路 j 的电压降向量；

[0122] 对于 $j = n+1$ 时：

[0123]
$$\Delta U_{n+1}' = \sum_{i=1}^{m+1} I_i * \Delta U_{i(n+1)}$$

[0124] (b) 对于闭环设计、开环运行的网络, 切除一条支路时 ΔU 的修正:

[0125] 将支路 k 断开, 同时减少一个负荷节点 k, 由于负荷节点数减少, 支路数减少, 电压降落矩阵 ΔU 减少一行一列:

[0126]

$$\Delta U' = \begin{bmatrix} \Delta U_{11} & \Delta U_{12} & \cdots & \Delta U_{1k} & \cdots & \Delta U_{1n} \\ \Delta U_{21} & \Delta U_{22} & \cdots & \Delta U_{2k} & \cdots & \Delta U_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \Delta U_{k1} & \Delta U_{k2} & \cdots & \Delta U_{kk} & \cdots & \Delta U_{kn} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \Delta U_{m1} & \Delta U_{m2} & \cdots & \Delta U_{mk} & \cdots & \Delta U_{mn} \end{bmatrix}$$

[0127] 式中: $\Delta U'$ 为修正后的电压降落矩阵, 为 $(m-1)*(n-1)$ 维。

[0128] 对于 $j = 1, 2, \dots, n, (j \neq k)$ 时:

[0129]
$$\Delta U'_j = \Delta U_j - I_k * \Delta U_{kj}$$

[0130] (c) 对于多电源供电网络, 切除其中一个电源时 ΔU 的修正:

[0131] 可用一个与该电源出口电流大小相等、方向相反的电流源来等效, 即可看作增加一条支路、增加一个负荷节点:

[0132]

$$\Delta U' = \begin{bmatrix} \Delta U_{11} & \Delta U_{12} & \Delta U_{13} & \cdots & \Delta U_{1n} & \Delta U_{1(n+1)} \\ \Delta U_{21} & \Delta U_{22} & \Delta U_{23} & \cdots & \Delta U_{2n} & \Delta U_{2(n+1)} \\ \Delta U_{31} & \Delta U_{32} & \Delta U_{33} & \cdots & \Delta U_{3n} & \Delta U_{3(n+1)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \Delta U_{m1} & \Delta U_{m2} & \Delta U_{m3} & \cdots & \Delta U_{mn} & \Delta U_{m(n+1)} \\ \hline \Delta U_{(m+1)1} & \Delta U_{(m+1)2} & \Delta U_{(m+1)3} & \cdots & \Delta U_{(m+1)n} & \Delta U_{(m+1)(n+1)} \end{bmatrix}$$

[0133] 对于 $j = 1, 2, \dots, n$ 时:

[0134]
$$\Delta U'_j = \Delta U_j + I_{(m+1)} * \Delta U_{(m+1)j}$$

[0135] 式中: $I_{(m+1)}$ 与被切除电源原有电流方向相反。

[0136] 本实施例中提到的负荷电流是指有功电流, 对无功电流同样适用, 如果为复电流向量, 则功率因数应维持恒定值。

[0137] 上述说明均是基于负荷电流已知的前提下进行的, 对于负荷节点已知量为有功功率、无功功率的情形, 也可用该方法进行计算, 计算步骤类似, 负荷电流可利用功率计算得出:

[0138]
$$I_i = \left(\frac{S_i}{U_i}\right)^*$$

[0139] 式中: S_i 为节点 i 的功率, U_i 为节点 i 的电压 (可取根节点电压), I_i 为节点 i 的负荷电流。

[0140] 最后应该说明的是: 结合上述实施例仅说明本发明的技术方案而非对其限制。所属领域的普通技术人员应当理解到: 本领域技术人员可以对本发明的具体实施方式进行修

改或者等同替换,但这些修改或变更均在申请待批的权利要求保护范围之内。

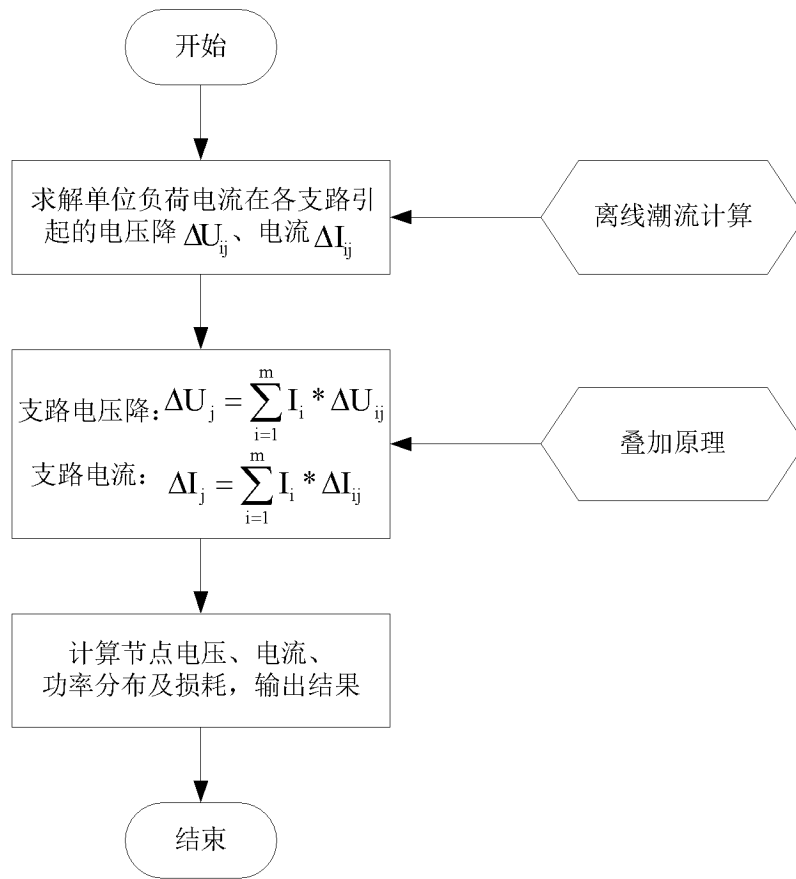


图 1

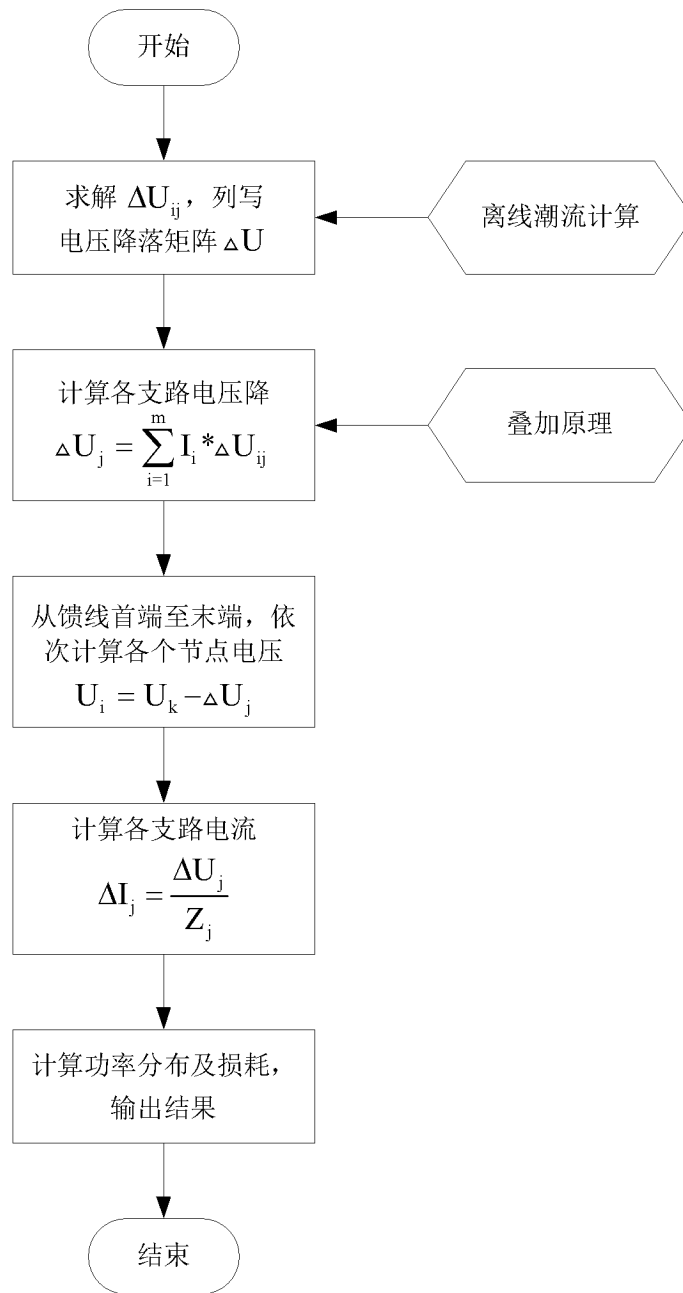


图 2

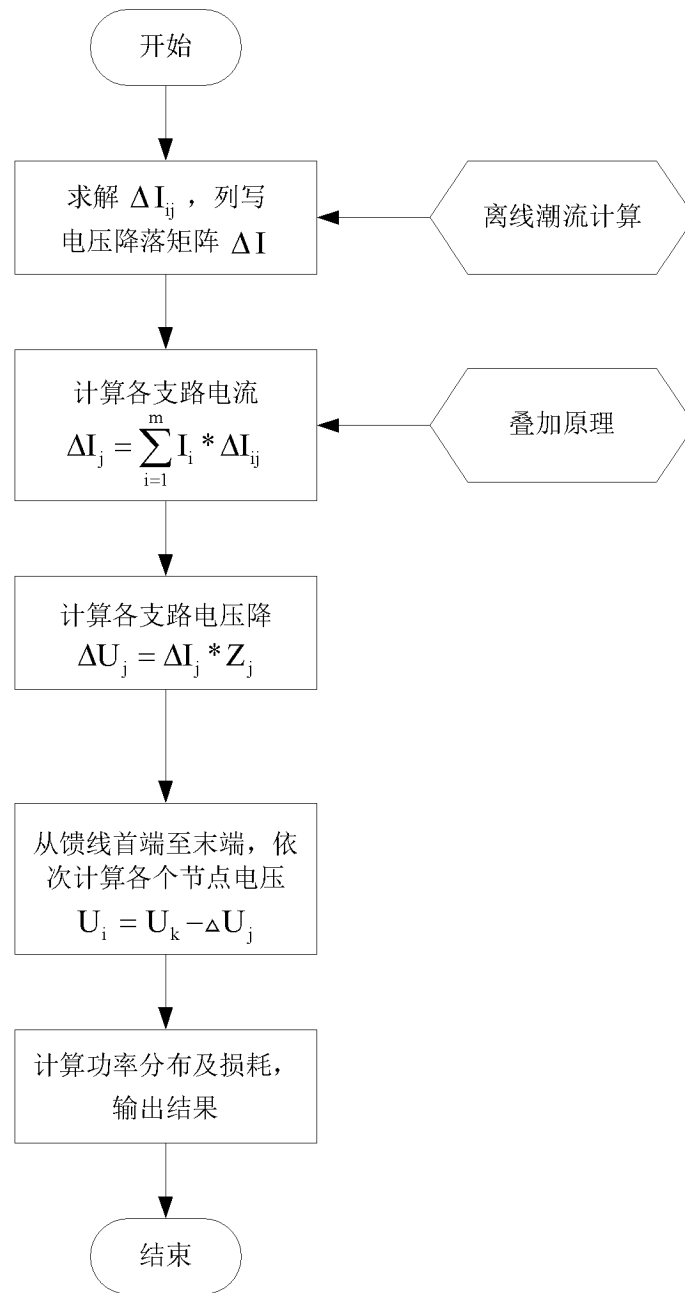


图 3