

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2015 年 6 月 11 日 (11.06.2015)



(10) 国际公布号
WO 2015/081771 A1

- (51) 国际专利分类号:
H02J 3/12 (2006.01)
- (21) 国际申请号:
PCT/CN2014/089402
- (22) 国际申请日:
2014 年 10 月 24 日 (24.10.2014)
- (25) 申请语言:
中文
- (26) 公布语言:
中文
- (30) 优先权:
201310660210.9 2013 年 12 月 6 日 (06.12.2013) CN
- (71) 申请人: 国家电网公司 (STATE GRID CORPORATION OF CHINA) [CN/CN]; 中国北京市西城区西长安街 86 号, Beijing 100031 (CN)。南京南瑞集团公司 (NANJING NANRUI GROUP) [CN/CN]; 中国江苏省南京市南瑞路 8 号, Jiangsu 210003 (CN)。国网浙江省电力公司 (STATE GRID ZHEJIANG ELECTRIC POWER COMPANY) [CN/CN]; 中国浙江省杭州市黄龙路 8 号, Zhejiang 310007 (CN)。国电南瑞科技股份有限公司 (NARI TECHNOLOGY CO.,

LTD) [CN/CN]; 中国江苏省南京市江宁区诚信大道 19 号, Jiangsu 211106 (CN)。

- (72) 发明人: 徐泰山 (XU, Taishan); 中国江苏省南京市江宁区诚信大道 19 号, Jiangsu 211106 (CN)。李颖毅 (LI, Yingyi); 中国江苏省南京市江宁区诚信大道 19 号, Jiangsu 211106 (CN)。李碧君 (LI, Bijun); 中国江苏省南京市江宁区诚信大道 19 号, Jiangsu 211106 (CN)。孙维真 (SUN, Weizhen); 中国江苏省南京市江宁区诚信大道 19 号, Jiangsu 211106 (CN)。鲍颜红 (BAO, Yanhong); 中国江苏省南京市江宁区诚信大道 19 号, Jiangsu 211106 (CN)。王超 (WANG, Chao); 中国江苏省南京市江宁区诚信大道 19 号, Jiangsu 211106 (CN)。徐伟 (XU, Wei); 中国江苏省南京市江宁区诚信大道 19 号, Jiangsu 211106 (CN)。李继红 (LI, Jihong); 中国江苏省南京市江宁区诚信大道 19 号, Jiangsu 211106 (CN)。郑亮 (ZHENG, Liang); 中国江苏省南京市江宁区诚信大道 19 号, Jiangsu 211106 (CN)。陈金 (CHEN, Jin); 中国江苏省南京市江宁区诚信大道 19 号, Jiangsu 211106 (CN)。常勇 (CHANG, Yong); 中国江苏省

[见续页]

(54) Title: ADAPTIVE EMERGENCY CONTROL METHOD FOR VOLTAGE SECURITY AND STABILITY BASED ON SYNCHRONOUS MEASUREMENT INFORMATION

(54) 发明名称: 基于同步测量信息的电压安全稳定自适应紧急控制方法

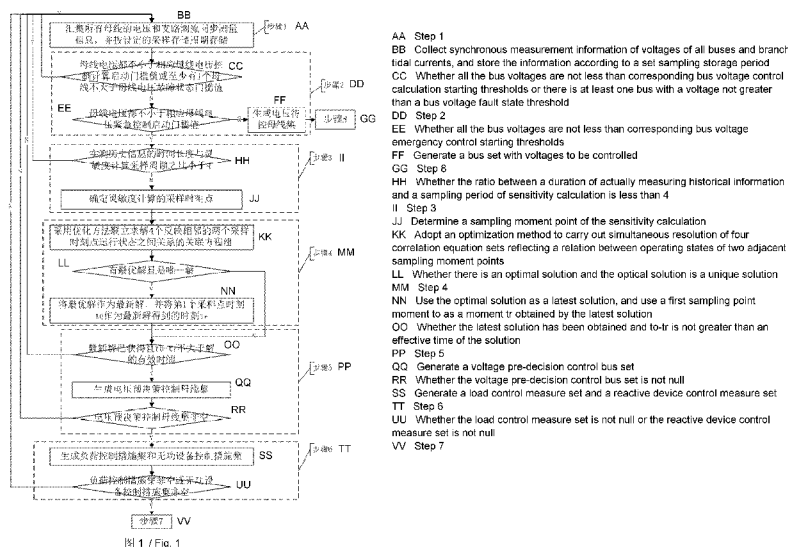


图 1 / Fig. 1

(57) Abstract: An adaptive emergency control method for voltage security and stability based on synchronous measurement information. According to the method, based on synchronous measurement data of bus voltages and branch tidal currents collected in real time, an equation reflecting a correlation between a variation of the bus voltages and active and reactive variations of each bus load is established, and an optimization method is adopted to carry out simultaneous resolution of an equation set reflecting an incidence relation among a plurality of operating points of an actually measured operating trajectory to obtain the sensitivity, of injection of active and reactive power into each bus, to the bus voltage; in consideration

[见续页]

南京市江宁区诚信大道 19 号, Jiangsu 211106 (CN)。赵一琰 (ZHAO, Yiyan); 中国江苏省南京市江宁区诚信大道 19 号, Jiangsu 211106 (CN)。

(74) 代理人: 南京知识律师事务所 (ZHISHI LAW FIRM OF INTELLECTUAL PROPERTY); 中国江苏省南京市新模范马路 5 号南京科技广场 B 座 9 楼, Jiangsu 210009 (CN)。

(81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,

SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

根据细则 4.17 的声明:

— 发明人资格(细则 4.17(iv))

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。

of the priority and price of load control, and in controllable reactive device switching and a load control measure space, reactive device switching and load control measures that satisfy voltage security and stability requirements of each bus with the lowest control price are searched for. The method can implement coordination and optimization emergency control for preventing voltages from losing security and stability.

(57) 摘要: 一种基于同步测量信息的电压安全稳定自适应紧急控制方法, 该方法基于实时汇集的母线电压和支路潮流同步测量数据, 建立反映母线电压变化量与各个母线负荷有功和无功变化量之间的关联方程, 采用优化方法联立求解反映实测运行轨迹的多个运行点之间关联关系的方程组, 得到各个母线注入有功和注入无功对母线电压的灵敏度, 考虑负荷控制的优先级和代价, 在可控的无功设备投切和负荷控制措施空间中, 搜索满足各个母线电压安全稳定要求且控制代价最小的无功设备投切和负荷控制措施。该方法能够实现防止电压失去安全稳定的协调优化紧急控制。

基于同步测量信息的电压安全稳定自适应紧急控制方法

技术领域

本发明属于电力系统运行与控制领域，更准确地说本发明涉及一种基于同步测量信息的电压安全稳定自适应紧急控制方法。

背景技术

大规模电力的远距离输送、负荷中心电压支撑能力不足使得电压安全稳定成为电力系统运行与控制中需要重点解决的问题之一。现有的电压安全稳定紧急控制技术包括两类，一类是基于预先制定控制策略表的紧急控制，例如区域安全稳定控制系统；这类技术实时性和控制精度比较高，但无论是按离线策略表控制，还是按在线策略表控制，都难以避免因用于分析的运行方式与实际运行状态的差异过大而带来的过控问题和欠控问题，可靠性不高。另一类是基于就地测量实时信息的紧急控制，例如低压减载；该类技术可靠性和实时性比较高，但由于只有就地量，其控制精度很难保证。

发明内容

本发明的目的是：为了综合提高电压安全稳定紧急控制的可靠性、实时性和精度，本发明提出只基于实时汇集的负荷中心变电站的母线电压和支路潮流同步测量数据，不依赖于电力系统其它厂站的运行方式，不依赖于电力系统模型和参数，直接建立反映母线电压变化量与各个母线负荷有功和无功变化量之间的关联方程，依据各个母线负荷有功和无功对母线电压的灵敏度在短时间内变化不大的特性，采用优化方法联立求解反映实测运行轨迹的多个运行点之间关联关系的方程组，得到各个母线负荷有功和无功对母线电压的灵敏度，再基于灵敏度，考虑可控措施及其优先级和代价，以及各母线的电压安全稳定要求，实现防止电压失去安全稳定的协调优化紧急控制。。

具体地说，本发明是采用以下的技术方案来实现的，包括以下步骤：

1) 汇集基于同步测量的电压安全稳定监控设备集中所有母线的电压和支路潮流信息, 并按设定的采样存储周期 T_0 存储这些信息, 得到包括最新同步测量时刻 t_0 信息在内的实测历史信息, 进入步骤 2);

2) 若汇集的 t_0 时刻的电压安全稳定监控设备集中所有母线的电压都分别大于等于相应母线电压控制的计算启动门槛值或其中至少有 1 个母线的电压小于等于相应母线电压的故障状态门槛值, 则返回步骤 1); 若汇集的 t_0 时刻的电压安全稳定监控设备集中所有母线的电压都分别大于等于相应母线电压的紧急控制启动门槛值且其中至少有 1 个母线的电压小于相应母线电压控制的计算启动门槛值, 则进入步骤 3); 若汇集的 t_0 时刻的电压安全稳定监控设备集中所有母线的电压都分别大于相应母线电压的故障状态门槛值且其中至少有 1 个母线的电压小于相应母线电压的紧急控制启动门槛值, 则将电压小于相应母线电压的紧急控制启动门槛值的母线过滤出来, 构成电压待控母线集, 进入步骤 8);

所述母线电压控制的计算启动门槛值大于相应母线电压的紧急控制启动门槛值, 母线电压的紧急控制启动门槛值大于相应母线电压的安全稳定临界值, 母线电压的安全稳定临界值大于相应母线电压的故障状态门槛值;

3) 若汇集的实测历史信息所对应的时间长度 T 与设定的灵敏度计算采样周期 T_s 之比小于 4, 则返回步骤 1), 否则将 t_0 时刻作为第 1 个采样时刻点, 以 T_s 对实测历史信息进行采样, 使得第 2 个采样时刻点为 $t_0 - T_s$ 时刻, 第 3 个采样时刻点为 $t_0 - 2T_s$ 时刻, 第 4 个采样时刻点为 $t_0 - 3T_s$ 时刻, 第 5 个采样时刻点为 $t_0 - 4T_s$ 时刻, 进入步骤 4);

其中, T_s 设置为实测历史信息的采样存储周期 T_0 的整数倍;

4) 基于相邻的两个采样时刻点的母线电压和支路潮流同步测量信息, 建立反映两个采样时刻点之间各个母线的电压变化量、负荷有功变化量、负荷及无功补偿设备总无功变化量与各个母线注入有功对母线电压的灵敏度、注入无功对母线电压的灵敏度以及电网中其它因素引起母线电压的变化量的关联方程组,

将各个母线注入有功对母线电压的灵敏度和注入无功对母线电压的灵敏度，以及在 T_s 内电网中其它因素引起母线电压的变化量作为变量，并假设在不同的两个相邻采样时刻点的关联方程组中，这些变量是相同的，采用优化方法联立求解4个反映相邻的两个采样时刻点运行状态之间关系的关联方程组；若有最优解且是唯一解，则将最优解作为相应的变量的最新解，并将 t_0 时刻作为最新解所关联的时刻 t_r ，进入步骤5)，否则，进入步骤5)；

5) 若各个母线注入有功对母线电压的灵敏度和注入无功对母线电压的灵敏度，以及在 T_s 内电网中其它因素引起母线电压的变化量的解已获得、且 t_0-t_r 小于等于设定的灵敏度有效时间，则将汇集的 t_0 时刻的所有母线中电压小于相应母线电压的预决策控制门槛值的母线过滤出来，构成电压预决策控制母线集，对于电压预决策控制母线集非空的情况，进入步骤6)，对于电压预决策控制母线集为空的情况，返回步骤1)；

否则，返回步骤1)；

所述母线电压的预决策控制门槛值大于相应母线电压的紧急控制启动门槛值；

6) 将母线注入有功对母线电压的灵敏度大于设置的母线注入有功对母线电压的灵敏度门槛值且可控的母线负荷过滤出来，构成母线负荷控制措施集，将母线注入无功对母线电压的灵敏度大于设置的母线注入无功对母线电压的灵敏度门槛值且可控的母线负荷过滤出来，加入到母线负荷控制措施集，将母线注入无功对母线电压的灵敏度大于设置的母线注入无功对母线电压的灵敏度门槛值且可切除的母线并联电抗器和可投入的母线并联电容器过滤出来，构成母线无功补偿设备控制措施集，若母线负荷控制措施集非空或母线无功补偿设备控制措施集非空，进入步骤7)，否则，返回步骤1)；

所述可控的母线负荷是指连接到该母线的可控的负荷支路；

7) 建立以切负荷的控制代价最小为目标函数，考虑不同切负荷措施的控制

优先级、负荷转供和切负荷措施中有功与无功是一体的、以及负荷转供、切负荷和投退无功补偿设备后满足电压预决策控制母线集中各个母线电压的增量大于等于相应母线电压的紧急控制启动门槛值与其电压安全稳定临界值之差的约束条件的 01 整数规划模型，通过求解 01 整数规划模型来计算电压安全稳定预决策紧急控制措施；

若能够得到最优解，则将与其中任一最优解相应的负荷转供措施、切负荷措施与投退无功补偿设备措施作为最新的电压安全稳定预决策紧急控制措施，并将电压预决策控制母线集和 t_0 时刻作为最新的电压安全稳定预决策紧急控制措施所关联的电压预决策控制母线集和时刻 t_c ，再返回步骤 1)，否则返回步骤 1)；

8) 若最新的电压安全稳定预决策紧急控制措施已获得、且 $t_0 - t_c$ 小于等于设定的预决策紧急控制措施的有效时间，则对于最新的电压安全稳定预决策紧急控制措施所关联的电压预决策控制母线集与电压待控母线集的交集非空的情况，将最新的电压安全稳定预决策紧急控制措施直接实施，返回步骤 1)，对于最新的电压安全稳定预决策紧急控制措施所关联的电压预决策控制母线集与电压待控母线集的交集是空集的情况，返回步骤 1)；否则，返回步骤 1)。

上述技术方案的进一步特征在于，在步骤 4) 中分别通过方程组 (1) - (4) 来表示从第 1 个采样时刻点开始，相邻的 2 个采样时刻点之间各个母线的电压变化量、负荷有功变化量、负荷及无功补偿设备总无功变化量与各个母线注入有功对母线电压的灵敏度、注入无功对母线电压的灵敏度以及电网中其它因素引起母线电压的变化量的关系，有功、无功都以流入母线为正：

$$v_{0,i} - v_{1,i} = \sum_{j=1}^m [\lambda_{P,i,j} (P_{0,j} - P_{1,j}) + \lambda_{Q,i,j} (Q_{0,j} - Q_{1,j})] + \sum_{j=m+1}^M [\lambda_{Q,i,j} (Q_{0,j} - Q_{1,j})] + \Delta V_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

$$v_{1,i} - v_{2,i} = \sum_{j=1}^m [\lambda_{P,i,j}(P_{1,j} - P_{2,j}) + \lambda_{Q,i,j}(Q_{1,j} - Q_{2,j})] + \sum_{j=m+1}^M [\lambda_{Q,i,j}(Q_{1,j} - Q_{2,j})] + \Delta V_i \quad i=1,2,\dots,n \quad (2)$$

$$v_{2,i} - v_{3,i} = \sum_{j=1}^m [\lambda_{P,i,j}(P_{2,j} - P_{3,j}) + \lambda_{Q,i,j}(Q_{2,j} - Q_{3,j})] + \sum_{j=m+1}^M [\lambda_{Q,i,j}(Q_{2,j} - Q_{3,j})] + \Delta V_i \quad i=1,2,\dots,n \quad (3)$$

$$v_{3,i} - v_{4,i} = \sum_{j=1}^m [\lambda_{P,i,j}(P_{3,j} - P_{4,j}) + \lambda_{Q,i,j}(Q_{3,j} - Q_{4,j})] + \sum_{j=m+1}^M [\lambda_{Q,i,j}(Q_{3,j} - Q_{4,j})] + \Delta V_i \quad i=1,2,\dots,n \quad (4)$$

其中, n 为电压的同步测量信息中母线的个数, m 为负荷的同步测量信息中母线的个数, M 为无功的同步测量信息中母线的个数, 在求解方程组 (1) - (4) 之前, 需要将同步测量信息中所有负荷的母线排在前面, 没有负荷、只有无功补偿设备的母线排在后面, $v_{0,i}$ 、 $v_{1,i}$ 、 $v_{2,i}$ 、 $v_{3,i}$ 和 $v_{4,i}$ 分别为第 1 至第 5 个采样时刻点电压安全稳定监控设备集中第 i 个母线的电压, $\lambda_{P,i,j}$ 、 $\lambda_{Q,i,j}$ 分别为电压安全稳定监控设备集中第 j 个母线的注入有功对第 i 个母线电压的灵敏度和注入无功对第 i 个母线电压的灵敏度, $P_{0,j}$ 、 $P_{1,j}$ 、 $P_{2,j}$ 、 $P_{3,j}$ 和 $P_{4,j}$ 分别为第 1 至第 5 个采样时刻点电压安全稳定监控设备集中第 j 个母线同步测量信息中负荷的总有功, $Q_{0,j}$ 、 $Q_{1,j}$ 、 $Q_{2,j}$ 、 $Q_{3,j}$ 和 $Q_{4,j}$ 分别为第 1 至第 5 个采样时刻点电压安全稳定监控设备集中第 j 个母线同步测量信息中负荷与无功补偿设备的总无功, ΔV_i 为电网中其它因素引起电压安全稳定监控设备集中第 i 个母线电压的变化量;

通过优化方法求解公式 (5) 来计算 $\lambda_{P,i,j}$ 、 $\lambda_{Q,i,j}$ 和 ΔV_i :

说明书

$$\begin{aligned}
& \min \left\{ \sum_{i=1}^n \{ (v_{0,i} - v_{1,i}) - \sum_{j=1}^m [\lambda_{P,i,j} (P_{0,j} - P_{1,j}) + \lambda_{Q,i,j} (Q_{0,j} - Q_{1,j})] - \sum_{j=m+1}^M [\lambda_{Q,i,j} (Q_{0,j} - Q_{1,j})] - \Delta V_i \}^2 \right. \\
& + \sum_{i=1}^n \{ (v_{1,i} - v_{2,i}) - \sum_{j=1}^m [\lambda_{P,i,j} (P_{1,j} - P_{2,j}) + \lambda_{Q,i,j} (Q_{1,j} - Q_{2,j})] - \sum_{j=m+1}^M [\lambda_{Q,i,j} (Q_{1,j} - Q_{2,j})] - \Delta V_i \}^2 \\
& + \sum_{i=1}^n \{ (v_{2,i} - v_{3,i}) - \sum_{j=1}^m [\lambda_{P,i,j} (P_{2,j} - P_{3,j}) + \lambda_{Q,i,j} (Q_{2,j} - Q_{3,j})] - \sum_{j=m+1}^M [\lambda_{Q,i,j} (Q_{2,j} - Q_{3,j})] - \Delta V_i \}^2 \\
& \left. + \sum_{i=1}^n \{ (v_{3,i} - v_{4,i}) - \sum_{j=1}^m [\lambda_{P,i,j} (P_{3,j} - P_{4,j}) + \lambda_{Q,i,j} (Q_{3,j} - Q_{4,j})] - \sum_{j=m+1}^M [\lambda_{Q,i,j} (Q_{3,j} - Q_{4,j})] - \Delta V_i \}^2 \right\} \\
& (5)
\end{aligned}$$

。

上述技术方案的进一步特征在于，在步骤 7) 中通过求解以公式 (6) 表示目标函数、以公式 (7) 表示约束条件的 01 整数规划模型，来计算电压安全稳定预决策紧急控制措施，有功、无功都以流入母线为正：

$$\begin{aligned}
& \min \left(\sum_{r=1}^R \sum_{d=1}^{D_r} (-P_{E,r,d} C_{r,d} x_{r,d}) \right) \quad (6) \\
& \left\{ \begin{aligned} & \sum_{r=1}^R \sum_{d=1}^{D_r} [(\lambda_{P,k,k_0} P_{E,r,d} + \lambda_{Q,k,k_0} Q_{E,r,d}) x_{r,d}] \\ & + \sum_l^L \{ [(\lambda_{P,k,k_1} - \lambda_{P,k,k_2}) P_{F,0,l} + (\lambda_{Q,k,k_1} - \lambda_{Q,k,k_2}) Q_{F,0,l}] x_l \} \\ & + \sum_{a=1}^A (\lambda_{Q,k,k_3} Q_{G,0,a} y_a) - \sum_{b=1}^B (\lambda_{Q,k,k_4} Q_{H,0,b} z_b) \leq v_{s,k} - v_{c,k} \quad k=1,2,\dots,K \\ & x_{r+1,d} = 0, \quad x_{r,d} = 0 \quad r=1,2,\dots,R-1 \\ & x_{r+1,d} = 1, \quad x_{r,d} = 0 \mid 1 \quad r=1,2,\dots,R-1 \\ & x_l = 0 \mid 1 \quad l=1,2,\dots,L \\ & y_a = 0 \mid 1 \quad a=1,2,\dots,A \\ & z_b = 0 \mid 1 \quad b=1,2,\dots,B \end{aligned} \right. \quad (7)
\end{aligned}$$

其中，R 为母线负荷控制措施集中切除负荷支路的优先级数， D_r 为母线负荷控制措施集中优先级为 r 的可切负荷支路数，r 越大，优先级越高，越优先切除， $x_{r,d}$ 取值为 0 或 1，等于 0 表示不切除该负荷，等于 1 表示切除该负荷，当 $x_{r+1,d}$

说明书

等于 0 时, $x_{r,d}$ 只能等于 0, 当 $x_{r+1,d}$ 等于 1 时, $x_{r,d}$ 可以等于 0, 也可以等于 1, $P_{E,r,0,d}$ 、 $Q_{E,r,0,d}$ 分别为 t_0 时刻优先级为 r 的可切负荷支路中第 d 个负荷支路的有功和无功, $C_{r,0,d}$ 为 t_0 时刻切除优先级为 r 的负荷支路中第 d 个负荷支路控制代价, K 为电压预决策控制母线集中母线数, λ_{P,k,k_0} 、 λ_{Q,k,k_0} 分别为优先级为 r 的可切负荷支路中第 d 个负荷支路所连接的电压安全稳定监控设备集中第 k_0 个母线的注入有功对电压预决策控制母线集中第 k 个母线电压的灵敏度和注入无功对电压预决策控制母线集中第 k 个母线电压的灵敏度;

L 为母线负荷控制措施集中可转供负荷支路数, λ_{P,k,k_1} 、 λ_{Q,k,k_1} 分别为其中第 l 个可转供负荷支路在转供前所连接的电压安全稳定监控设备集中第 k_1 个母线的注入有功对电压预决策控制母线集中第 k 个母线电压的灵敏度和注入无功对电压预决策控制母线集中第 k 个母线电压的灵敏度, λ_{P,k,k_2} 、 λ_{Q,k,k_2} 分别为其中第 l 个可转供负荷支路在转供后所连接的电压安全稳定监控设备集中第 k_2 个母线的注入有功对电压预决策控制母线集中第 k 个母线电压的灵敏度和注入无功对电压预决策控制母线集中第 k 个母线电压的灵敏度, $P_{F,0,l}$ 、 $Q_{F,0,l}$ 分别为 t_0 时刻其中第 l 个可转供负荷支路的有功和无功, x_l 取值为 0 或 1, 等于 0 表示不转供该负荷支路, 等于 1 表示转供该负荷支路;

A 为母线无功补偿设备控制措施集中可切除的并联电抗器支路数, λ_{Q,k,k_3} 为其中第 a 个并联电抗器所连接的电压安全稳定监控设备集中第 k_3 个母线的注入无功对电压预决策控制母线集中第 k 个母线电压的灵敏度, $Q_{G,0,a}$ 为 t_0 时刻其中第 a 个并联电抗器切除的无功, y_a 取值为 0 或 1, 等于 0 表示不切除该并联电抗器支路, 等于 1 表示切除该并联电抗器支路;

B 为母线无功补偿设备控制措施集中可投入的并联电容器支路数, λ_{Q,k,k_4} 为其中第 b 个并联电容器所连接的电压安全稳定监控设备集中第 k_4 个母线的注入无功对电压预决策控制母线集中第 k 个母线电压的灵敏度, $Q_{H,0,b}$ 为 t_0 时刻其中第

b 个并联电容器投入后的无功，采用并联电容器投入的容抗及相连的母线在 t_0 时刻的电压来计算， z_b 取值为 0 或 1，等于 0 表示不投入该并联电容器支路，等于 1 表示投入该并联电容器支路；

$v_{s,k}$ 、 $v_{c,k}$ 分别为 t_0 时刻电压预决策控制母线集中第 k 个母线的电压安全稳定临界值和紧急控制启动门槛值。

本发明的有益效果如下：本发明提出了只基于实时汇集的母线电压和支路潮流同步测量数据，不依赖于电力系统其它厂站的运行方式，不依赖于电力系统模型和参数，与采用预先计算的控制策略表进行紧急控制的技术相比，提高了电压安全稳定紧急控制的可靠性。通过建立反映母线电压变化量与各个母线负荷有功和无功变化量之间的关联方程，依据各个母线负荷有功和无功对母线电压的灵敏度在短时间内变化不大的特性，采用优化方法联立求解反映实测运行轨迹的多个运行点之间关联关系的方程组，得到各个母线负荷有功和无功对母线电压的灵敏度，考虑负荷控制的优先级和代价，在可控的无功设备投切和负荷控制措施空间中，搜索满足各个母线电压安全稳定要求且控制代价最小的无功设备投切和负荷控制措施，与基于就地量控制的技术相比，降低了电压安全稳定紧急控制的代价，提高了控制精度。本发明依据实时检测到的母线电压低于其电压安全稳定紧急控制启动门槛值，再通过对预决策控制措施的适应性校核后，对电力系统实施紧急控制，较好地实现可靠性和实时性之间的平衡。总之，本发明提高了电压安全稳定紧急控制的可靠性、实时性和精度的综合性能，可实现防止电压失去安全稳定的协调优化紧急控制。

附图说明

图 1 为本发明方法的步骤 1 至步骤 6 的流程图。

图 2 为本发明方法的步骤 7 至步骤 8 的流程图。

具体实施方式

下面参照附图并结合实例对本发明作进一步详细描述。

图 1 中步骤 1 描述的是, 汇集基于同步测量的电压安全稳定监控设备集中所有母线的电压和支路潮流信息, 并按设定的采样存储周期 T_0 存储这些信息, 得到包括最新同步测量时刻 t_0 信息在内的实测历史信息, 进入步骤 2)。步骤 1) 的目的是用于获取新的同步测量信息, 以备下述步骤进行控制决策计算。其中, T_0 可设置为 0.02s。

图 1 中步骤 2 描述的是, 若汇集的 t_0 时刻的电压安全稳定监控设备集中所有母线的电压都分别大于等于相应母线电压控制的计算启动门槛值或其中至少有 1 个母线的电压小于等于相应母线电压的故障状态门槛值(通常可设置为 0.6p.u), 则返回步骤 1); 若汇集的 t_0 时刻的电压安全稳定监控设备集中所有母线的电压都分别大于等于相应母线电压的紧急控制启动门槛值且其中至少有 1 个母线的电压小于相应母线电压控制的计算启动门槛值, 则进入步骤 3); 若汇集的 t_0 时刻的电压安全稳定监控设备集中所有母线的电压都分别大于相应母线电压的故障状态门槛值且其中至少有 1 个母线的电压小于相应母线电压的紧急控制启动门槛值, 则将电压小于相应母线电压的紧急控制启动门槛值的母线过滤出来, 构成电压待控母线集, 进入步骤 8)。

所述母线电压控制的计算启动门槛值大于相应母线电压的紧急控制启动门槛值, 母线电压的紧急控制启动门槛值大于相应母线电压的安全稳定临界值, 母线电压的安全稳定临界值大于相应母线电压的故障状态门槛值; 各个母线电压的安全稳定临界值可以通过离线分析整定, 也可以通过在线计算整定。通常电压安全稳定监控设备集中第 i 个母线电压控制的计算启动门槛值可以设为 $1.09 v_{s,i}$ (其中 $v_{s,i}$ 为电压安全稳定监控设备集中第 i 个母线电压的安全稳定临界值), 紧急控制启动门槛值可以设为 $1.04 v_{s,i}$, 故障状态门槛值可以设为 $0.5 v_{s,i}$ 。

图 1 中步骤 3 描述的是,若汇集的实测历史信息所对应的时间长度 T 与设定的灵敏度计算采样周期 T_s 之比小于 4,则返回步骤 1),否则,将 t_0 时刻作为第 1 个采样时刻点,以 T_s 对实测历史信息进行采样,使得第 2 个采样时刻点为 $t_0 - T_s$ 时刻,第 3 个采样时刻点为 $t_0 - 2T_s$ 时刻,第 4 个采样时刻点为 $t_0 - 3T_s$ 时刻,第 5 个采样时刻点为 $t_0 - 4T_s$ 时刻,进入步骤 4)。

其中, T_s 设置为实测历史信息的采样存储周期 T_0 的整数倍,通常可将 T_s 设置为 $2T_0$;

图 1 中步骤 4 描述的是,基于相邻的两个采样时刻点的母线电压和支路潮流同步测量信息,建立反映两个采样时刻点之间各个母线的电压变化量、负荷有功变化量、负荷及无功补偿设备总无功变化量与各个母线注入有功对母线电压的灵敏度、注入无功对母线电压的灵敏度以及电网中其它因素引起母线电压的变化量的关联方程组,将各个母线注入有功对母线电压的灵敏度和注入无功对母线电压的灵敏度,以及在 T_s 内电网中其它因素引起母线电压的变化量作为变量,并假设在不同的两个相邻采样时刻点的关联方程组中,这些变量是相同的,采用优化方法联立求解 4 个反映相邻的两个采样时刻点运行状态之间关系的关联方程组,若有最优解且是唯一解,则将最优解作为相应的变量的最新解,并将 t_0 时刻作为最新解所关联的时刻 t_r ,进入步骤 5),否则,进入步骤 5)。

在步骤 4) 中分别通过方程组 (1) - (4) 来表示从第 1 个采样时刻点开始,相邻的 2 个采样时刻点之间各个母线的电压变化量、负荷有功变化量、负荷及无功补偿设备总无功变化量与各个母线注入有功对母线电压的灵敏度、注入无功对母线电压的灵敏度以及电网中其它因素引起母线电压的变化量的关系,有功、无功都以流入母线为正:

$$v_{0,i} - v_{1,i} = \sum_{j=1}^m [\lambda_{P,i,j} (P_{0,j} - P_{1,j}) + \lambda_{Q,i,j} (Q_{0,j} - Q_{1,j})] + \sum_{j=m+1}^M [\lambda_{Q,i,j} (Q_{0,j} - Q_{1,j})] + \Delta V_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

$$v_{1,i} - v_{2,i} = \sum_{j=1}^m [\lambda_{P,i,j} (P_{1,j} - P_{2,j}) + \lambda_{Q,i,j} (Q_{1,j} - Q_{2,j})] + \sum_{j=m+1}^M [\lambda_{Q,i,j} (Q_{1,j} - Q_{2,j})] + \Delta V_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

$$v_{2,i} - v_{3,i} = \sum_{j=1}^m [\lambda_{P,i,j} (P_{2,j} - P_{3,j}) + \lambda_{Q,i,j} (Q_{2,j} - Q_{3,j})] + \sum_{j=m+1}^M [\lambda_{Q,i,j} (Q_{2,j} - Q_{3,j})] + \Delta V_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

$$v_{3,i} - v_{4,i} = \sum_{j=1}^m [\lambda_{P,i,j} (P_{3,j} - P_{4,j}) + \lambda_{Q,i,j} (Q_{3,j} - Q_{4,j})] + \sum_{j=m+1}^M [\lambda_{Q,i,j} (Q_{3,j} - Q_{4,j})] + \Delta V_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

其中, n 为电压的同步测量信息中母线的个数, m 为负荷的同步测量信息中母线的个数, M 为无功的同步测量信息中母线的个数, 在求解方程组 (1) - (4) 之前, 需要将同步测量信息中所有负荷的母线排在前面, 没有负荷、只有无功补偿设备的母线排在后面, $v_{0,i}$ 、 $v_{1,i}$ 、 $v_{2,i}$ 、 $v_{3,i}$ 和 $v_{4,i}$ 分别为第 1 至第 5 个采样时刻点电压安全稳定监控设备集中第 i 个母线的电压, $\lambda_{P,i,j}$ 、 $\lambda_{Q,i,j}$ 分别为电压安全稳定监控设备集中第 j 个母线的注入有功对第 i 个母线电压的灵敏度和注入无功对第 i 个母线电压的灵敏度, $P_{0,j}$ 、 $P_{1,j}$ 、 $P_{2,j}$ 、 $P_{3,j}$ 和 $P_{4,j}$ 分别为第 1 至第 5 个采样时刻点电压安全稳定监控设备集中第 j 个母线同步测量信息中负荷的总有功, $Q_{0,j}$ 、 $Q_{1,j}$ 、 $Q_{2,j}$ 、 $Q_{3,j}$ 和 $Q_{4,j}$ 分别为第 1 至第 5 个采样时刻点电压安全稳定监控设备集中第 j 个母线同步测量信息中负荷与无功补偿设备的总无功, ΔV_i 为电网中其它因

素引起电压安全稳定监控设备集中第 i 个母线电压的变化量。

通过优化方法求解公式 (5) 来计算 $\lambda_{P,i,j}$ (其中, $i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m$)、 $\lambda_{Q,i,j}$ (其中, $i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, M$) 和 ΔV_i (其中, $i=1, 2, \dots, n$)。

$$\begin{aligned} \min \{ & \sum_{i=1}^n \{ (v_{0,i} - v_{1,i}) - \sum_{j=1}^m [\lambda_{P,i,j} (P_{0,j} - P_{1,j}) + \lambda_{Q,i,j} (Q_{0,j} - Q_{1,j})] - \sum_{j=m+1}^M [\lambda_{Q,i,j} (Q_{0,j} - Q_{1,j})] - \Delta V_i \}^2 \\ & + \sum_{i=1}^n \{ (v_{1,i} - v_{2,i}) - \sum_{j=1}^m [\lambda_{P,i,j} (P_{1,j} - P_{2,j}) + \lambda_{Q,i,j} (Q_{1,j} - Q_{2,j})] - \sum_{j=m+1}^M [\lambda_{Q,i,j} (Q_{1,j} - Q_{2,j})] - \Delta V_i \}^2 \\ & + \sum_{i=1}^n \{ (v_{2,i} - v_{3,i}) - \sum_{j=1}^m [\lambda_{P,i,j} (P_{2,j} - P_{3,j}) + \lambda_{Q,i,j} (Q_{2,j} - Q_{3,j})] - \sum_{j=m+1}^M [\lambda_{Q,i,j} (Q_{2,j} - Q_{3,j})] - \Delta V_i \}^2 \\ & + \sum_{i=1}^n \{ (v_{3,i} - v_{4,i}) - \sum_{j=1}^m [\lambda_{P,i,j} (P_{3,j} - P_{4,j}) + \lambda_{Q,i,j} (Q_{3,j} - Q_{4,j})] - \sum_{j=m+1}^M [\lambda_{Q,i,j} (Q_{3,j} - Q_{4,j})] - \Delta V_i \}^2 \} \end{aligned} \quad (5)$$

图 1 中步骤 5 描述的是, 若各个母线注入有功对母线电压的灵敏度和注入无功对母线电压的灵敏度, 以及在 T_s 内电网中其它因素引起母线电压的变化量的解已获得、且 $t_0 - t_r$ 小于等于设定的灵敏度有效时间 (通常可设为 0.3s), 则将汇集的 t_0 时刻的所有母线中电压小于相应母线电压的预决策控制门槛值的母线过滤出来, 构成电压预决策控制母线集, 对于电压预决策控制母线集非空的情况, 进入步骤 6), 对于电压预决策控制母线集为空的情况, 返回步骤 1); 否则, 返回步骤 1)。

所述母线电压的预决策控制门槛值大于相应母线电压的紧急控制启动门槛值, 通常电压安全稳定监控设备集中第 i 个母线电压的预决策控制门槛值可以设为 $1.06 v_{s,i}$ (其中 $v_{s,i}$ 为电压安全稳定监控设备集中第 i 个母线电压的安全稳定临界值)。

图 1 中步骤 6 描述的是, 将母线注入有功对母线电压的灵敏度大于设置的

母线注入有功对母线电压的灵敏度门槛值且可控的母线负荷过滤出来，构成母线负荷控制措施集，将母线注入无功对母线电压的灵敏度大于设置的母线注入无功对母线电压的灵敏度门槛值且可控的母线负荷过滤出来，加入到母线负荷控制措施集，将母线注入无功对母线电压的灵敏度大于设置的母线注入无功对母线电压的灵敏度门槛值且可切除的母线并联电抗器和可投入的母线并联电容器过滤出来，构成母线无功补偿设备控制措施集，若母线负荷控制措施集非空或母线无功补偿设备控制措施集非空，进入步骤 7)，否则，返回步骤 1)。

所述可控的母线负荷是指连接到该母线的可控的负荷支路。

图 1 中步骤 7 描述的是，建立以切负荷的控制代价最小为目标函数，考虑不同切负荷措施的控制优先级、负荷转供和切负荷措施中有功与无功是一体的、以及负荷转供、切负荷和投退无功补偿设备后满足电压预决策控制母线集中各个母线电压的增量大于等于相应母线电压的紧急控制启动门槛值与其电压安全稳定临界值之差的约束条件的 01 整数规划模型，通过求解 01 整数规划模型来计算电压安全稳定预决策紧急控制措施，若能够得到最优解，则将与其中任一最优解相应的负荷转供措施、切负荷措施与投退无功补偿设备措施作为最新的电压安全稳定预决策紧急控制措施，并将电压预决策控制母线集和 t_0 时刻作为最新的电压安全稳定预决策紧急控制措施所关联的电压预决策控制母线集和时刻 t_0 ，返回步骤 1)，否则，返回步骤 1)。

在步骤 7) 中通过求解以公式 (6) 表示目标函数、以公式 (7) 表示约束条件的 01 整数规划模型，来计算电压安全稳定预决策紧急控制措施，有功、无功都以流入母线为正：

$$\min(\sum_{r=1}^R \sum_{d=1}^{D_r} (-P_{E.r.0.d} C_{r.0.d} x_{r.d})) \quad (6)$$

$$\begin{cases}
\sum_{r=1}^R \sum_{d=1}^{D_r} [(\lambda_{P,k,k_0} P_{E,r,0,d} + \lambda_{Q,k,k_0} Q_{E,r,0,d}) x_{r,d}] \\
+ \sum_l^L \{[(\lambda_{P,k,k_1} - \lambda_{P,k,k_2}) P_{F,0,l} + (\lambda_{Q,k,k_1} - \lambda_{Q,k,k_2}) Q_{F,0,l}] x_l\} \\
+ \sum_{a=1}^A (\lambda_{Q,k,k_3} Q_{G,0,a} y_a) - \sum_{b=1}^B (\lambda_{Q,k,k_4} Q_{H,0,b} z_b) \leq v_{s,k} - v_{c,k} \quad k=1,2,\dots,K \\
x_{r+1,d} = 0, \quad x_{r,d} = 0 \quad r=1,2,\dots,R-1 \\
x_{r+1,d} = 1, \quad x_{r,d} = 0 \mid 1 \quad r=1,2,\dots,R-1 \\
x_l = 0 \mid 1 \quad l=1,2,\dots,L \\
y_a = 0 \mid 1 \quad a=1,2,\dots,A \\
z_b = 0 \mid 1 \quad b=1,2,\dots,B
\end{cases} \quad (7)$$

其中, R 为母线负荷控制措施集中切除负荷支路的优先级数, D_r 为母线负荷控制措施集中优先级为 r 的可切负荷支路数, r 越大, 优先级越高, 越优先切除, $x_{r,d}$ 取值为 0 或 1, 等于 0 表示不切除该负荷, 等于 1 表示切除该负荷, 当 $x_{r+1,d}$ 等于 0 时, $x_{r,d}$ 只能等于 0, 当 $x_{r+1,d}$ 等于 1 时, $x_{r,d}$ 可以等于 0, 也可以等于 1, $P_{E,r,0,d}$ 、 $Q_{E,r,0,d}$ 分别为 t_0 时刻优先级为 r 的可切负荷支路中第 d 个负荷支路的有功和无功, $C_{r,0,d}$ 为 t_0 时刻切除优先级为 r 的负荷支路中第 d 个负荷支路的控制代价, K 为电压预决策控制母线集中母线数, λ_{P,k,k_0} 、 λ_{Q,k,k_0} 分别为优先级为 r 的可切负荷支路中第 d 个负荷支路所连接的电压安全稳定监控设备集中第 k_0 个母线的注入有功对电压预决策控制母线集中第 k 个母线电压的灵敏度和注入无功对电压预决策控制母线集中第 k 个母线电压的灵敏度;

L 为母线负荷控制措施集中可转供负荷支路数, λ_{P,k,k_1} 、 λ_{Q,k,k_1} 分别为其中第 l 个可转供负荷支路在转供前所连接的电压安全稳定监控设备集中第 k_1 个母线的注入有功对电压预决策控制母线集中第 k 个母线电压的灵敏度和注入无功对电压预决策控制母线集中第 k 个母线电压的灵敏度, λ_{P,k,k_2} 、 λ_{Q,k,k_2} 分别为其中第 l 个可转供负荷支路在转供后所连接的电压安全稳定监控设备集中第 k_2 个母线的注入

有功对电压预决策控制母线集中第 k 个母线电压的灵敏度和注入无功对电压预决策控制母线集中第 k 个母线电压的灵敏度, $P_{F,0,l}$ 、 $Q_{F,0,l}$ 分别为 t_0 时刻其中第 l 个可转供负荷支路的有功和无功, x_l 取值为 0 或 1, 等于 0 表示不转供该负荷支路, 等于 1 表示转供该负荷支路;

A 为母线无功补偿设备控制措施集中可切除的并联电抗器支路数, λ_{Q,k,k_3} 为其中第 a 个并联电抗器所连接的电压安全稳定监控设备集中第 k_3 个母线的注入无功对电压预决策控制母线集中第 k 个母线电压的灵敏度, $Q_{G,0,a}$ 为 t_0 时刻其中第 a 个并联电抗器切除的无功, y_a 取值为 0 或 1, 等于 0 表示不切除该并联电抗器支路, 等于 1 表示切除该并联电抗器支路;

B 为母线无功补偿设备控制措施集中可投入的并联电容器支路数, λ_{Q,k,k_4} 为其中第 b 个并联电容器所连接的电压安全稳定监控设备集中第 k_4 个母线的注入无功对电压预决策控制母线集中第 k 个母线电压的灵敏度, $Q_{H,0,b}$ 为 t_0 时刻其中第 b 个并联电容器投入后的无功, 采用并联电容器投入的容抗及相连的母线在 t_0 时刻的电压来计算, z_b 取值为 0 或 1, 等于 0 表示不投入该并联电容器支路, 等于 1 表示投入该并联电容器支路;

$v_{s,k}$ 、 $v_{c,k}$ 分别为 t_0 时刻电压预决策控制母线集中第 k 个母线的电压安全稳定临界值和紧急控制启动门槛值。

图 1 中步骤 8 描述的是, 若最新的电压安全稳定预决策紧急控制措施已获得、且 $t_0 - t_c$ 小于等于设定的预决策紧急控制措施的有效时间 (通常可设为 0.3s), 则对于最新的电压安全稳定预决策紧急控制措施所关联的电压预决策控制母线集与电压待控母线集的交集非空的情况, 将最新的电压安全稳定预决策紧急控制措施直接实施, 返回步骤 1), 对于最新的电压安全稳定预决策紧急控制措施所关联的电压预决策控制母线集与电压待控母线集的交集是空集的情况, 返回

步骤 1); 否则, 返回步骤 1)。

虽然本发明已以较佳实施例公开如上, 但实施例并不是用来限定本发明的。在不脱离本发明之精神和范围内, 所做的任何等效变化或润饰, 同样属于本发明之保护范围。因此本发明的保护范围应当以本申请的权利要求所界定的内容为准。

权 利 要 求 书

1、基于同步测量信息的电压安全稳定自适应紧急控制方法，其特征在于：

1) 汇集基于同步测量的电压安全稳定监控设备集中所有母线的电压和支路潮流信息，并按设定的采样存储周期 T_0 存储这些信息，得到包括最新同步测量时刻 t_0 信息在内的实测历史信息，进入步骤2)；

2) 若汇集的 t_0 时刻的电压安全稳定监控设备集中所有母线的电压都分别大于等于相应母线电压控制的计算启动门槛值或其中至少有1个母线的电压小于等于相应母线电压的故障状态门槛值，则返回步骤1)；若汇集的 t_0 时刻的电压安全稳定监控设备集中所有母线的电压都分别大于等于相应母线电压的紧急控制启动门槛值且其中至少有1个母线的电压小于相应母线电压控制的计算启动门槛值，则进入步骤3)；若汇集的 t_0 时刻的电压安全稳定监控设备集中所有母线的电压都分别大于相应母线电压的故障状态门槛值且其中至少有1个母线的电压小于相应母线电压的紧急控制启动门槛值，则将电压小于相应母线电压的紧急控制启动门槛值的母线过滤出来，构成电压待控母线集，进入步骤8)；

所述母线电压控制的计算启动门槛值大于相应母线电压的紧急控制启动门槛值，母线电压的紧急控制启动门槛值大于相应母线电压的安全稳定临界值，母线电压的安全稳定临界值大于相应母线电压的故障状态门槛值；

3) 若汇集的实测历史信息所对应的时间长度 T 与设定的灵敏度计算采样周期 T_s 之比小于4，则返回步骤1)，否则将 t_0 时刻作为第1个采样时刻点，以 T_s 对实测历史信息进行采样，使得第2个采样时刻点为 $t_0 - T_s$ 时刻，第3个采样时刻点为 $t_0 - 2T_s$ 时刻，第4个采样时刻点为 $t_0 - 3T_s$ 时刻，第5个采样时刻点为 $t_0 - 4T_s$ 时刻，进入步骤4)；

其中， T_s 设置为实测历史信息的采样存储周期 T_0 的整数倍；

4) 基于相邻的两个采样时刻点的母线电压和支路潮流同步测量信息，建立反映两个采样时刻点之间各个母线的电压变化量、负荷有功变化量、负荷及无功补偿设备总无功变化量与各个母线注入有功对母线电压的灵敏度、注入无功

权 利 要 求 书

对母线电压的灵敏度以及电网中其它因素引起母线电压的变化量的关联方程组，将各个母线注入有功对母线电压的灵敏度和注入无功对母线电压的灵敏度，以及在 t_s 内电网中其它因素引起母线电压的变化量作为变量，并假设在不同的两个相邻采样时刻点的关联方程组中，这些变量是相同的，采用优化方法联立求解4个反映相邻的两个采样时刻点运行状态之间关系的关联方程组；若有最优解且是唯一解，则将最优解作为相应的变量的最新解，并将 t_0 时刻作为最新解所关联的时刻 t_r ，进入步骤5)，否则，进入步骤5)；

5) 若各个母线注入有功对母线电压的灵敏度和注入无功对母线电压的灵敏度，以及在 t_s 内电网中其它因素引起母线电压的变化量的解已获得、且 t_0-t_r 小于等于设定的灵敏度有效时间，则将汇集的 t_0 时刻的所有母线中电压小于相应母线电压的预决策控制门槛值的母线过滤出来，构成电压预决策控制母线集，对于电压预决策控制母线集非空的情况，进入步骤6)，对于电压预决策控制母线集为空的情况，返回步骤1)；

否则，返回步骤1)；

所述母线电压的预决策控制门槛值大于相应母线电压的紧急控制启动门槛值；

6) 将母线注入有功对母线电压的灵敏度大于设置的母线注入有功对母线电压的灵敏度门槛值且可控的母线负荷过滤出来，构成母线负荷控制措施集，将母线注入无功对母线电压的灵敏度大于设置的母线注入无功对母线电压的灵敏度门槛值且可控的母线负荷过滤出来，加入到母线负荷控制措施集，将母线注入无功对母线电压的灵敏度大于设置的母线注入无功对母线电压的灵敏度门槛值且可切除的母线并联电抗器和可投入的母线并联电容器过滤出来，构成母线无功补偿设备控制措施集，若母线负荷控制措施集非空或母线无功补偿设备控制措施集非空，进入步骤7)，否则，返回步骤1)；

所述可控的母线负荷是指连接到该母线的可控的负荷支路；

权 利 要 求 书

7) 建立以切负荷的控制代价最小为目标函数, 考虑不同切负荷措施的控制优先级、负荷转供和切负荷措施中有功与无功是一体的、以及负荷转供、切负荷和投退无功补偿设备后满足电压预决策控制母线集中各个母线电压的增量大于等于相应母线电压的紧急控制启动门槛值与其电压安全稳定临界值之差的约束条件的 01 整数规划模型, 通过求解 01 整数规划模型来计算电压安全稳定预决策紧急控制措施;

若能够得到最优解, 则将与其中任一最优解相应的负荷转供措施、切负荷措施与投退无功补偿设备措施作为最新的电压安全稳定预决策紧急控制措施, 并将电压预决策控制母线集和 t_0 时刻作为最新的电压安全稳定预决策紧急控制措施所关联的电压预决策控制母线集和时刻 t_c , 再返回步骤 1), 否则返回步骤 1);

8) 若最新的电压安全稳定预决策紧急控制措施已获得、且 $t_0 - t_c$ 小于等于设定的预决策紧急控制措施的有效时间, 则对于最新的电压安全稳定预决策紧急控制措施所关联的电压预决策控制母线集与电压待控母线集的交集非空的情况, 将最新的电压安全稳定预决策紧急控制措施直接实施, 返回步骤 1), 对于最新的电压安全稳定预决策紧急控制措施所关联的电压预决策控制母线集与电压待控母线集的交集是空集的情况, 返回步骤 1);

否则, 返回步骤 1)。

2、根据权利要求 1 所述的基于同步测量信息的电压安全稳定自适应紧急控制方法, 其特征在于, 在步骤 4) 中分别通过方程组 (1) - (4) 来表示从第 1 个采样时刻点开始, 相邻的 2 个采样时刻点之间各个母线的电压变化量、负荷有功变化量、负荷及无功补偿设备总无功变化量与各个母线注入有功对母线电压的灵敏度、注入无功对母线电压的灵敏度以及电网中其它因素引起母线电压的变化量的关系, 有功、无功都以流入母线为正:

权 利 要 求 书

$$v_{0,i} - v_{1,i} = \sum_{j=1}^m [\lambda_{P,i,j}(P_{0,j} - P_{1,j}) + \lambda_{Q,i,j}(Q_{0,j} - Q_{1,j})] + \sum_{j=m+1}^M [\lambda_{Q,i,j}(Q_{0,j} - Q_{1,j})] + \Delta V_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

$$v_{1,i} - v_{2,i} = \sum_{j=1}^m [\lambda_{P,i,j}(P_{1,j} - P_{2,j}) + \lambda_{Q,i,j}(Q_{1,j} - Q_{2,j})] + \sum_{j=m+1}^M [\lambda_{Q,i,j}(Q_{1,j} - Q_{2,j})] + \Delta V_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

$$v_{2,i} - v_{3,i} = \sum_{j=1}^m [\lambda_{P,i,j}(P_{2,j} - P_{3,j}) + \lambda_{Q,i,j}(Q_{2,j} - Q_{3,j})] + \sum_{j=m+1}^M [\lambda_{Q,i,j}(Q_{2,j} - Q_{3,j})] + \Delta V_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

$$v_{3,i} - v_{4,i} = \sum_{j=1}^m [\lambda_{P,i,j}(P_{3,j} - P_{4,j}) + \lambda_{Q,i,j}(Q_{3,j} - Q_{4,j})] + \sum_{j=m+1}^M [\lambda_{Q,i,j}(Q_{3,j} - Q_{4,j})] + \Delta V_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

其中, n 为电压的同步测量信息中母线的个数, m 为负荷的同步测量信息中母线的个数, M 为无功的同步测量信息中母线的个数, 在求解方程组 (1) - (4) 之前, 需要将同步测量信息中所有负荷的母线排在前面, 没有负荷、只有无功补偿设备的母线排在后面, $v_{0,i}$ 、 $v_{1,i}$ 、 $v_{2,i}$ 、 $v_{3,i}$ 和 $v_{4,i}$ 分别为第 1 至第 5 个采样时刻点电压安全稳定监控设备集中第 i 个母线的电压, $\lambda_{P,i,j}$ 、 $\lambda_{Q,i,j}$ 分别为电压安全稳定监控设备集中第 j 个母线的注入有功对第 i 个母线电压的灵敏度和注入无功对第 i 个母线电压的灵敏度, $P_{0,j}$ 、 $P_{1,j}$ 、 $P_{2,j}$ 、 $P_{3,j}$ 和 $P_{4,j}$ 分别为第 1 至第 5 个采样时刻点电压安全稳定监控设备集中第 j 个母线同步测量信息中负荷的总有功, $Q_{0,j}$ 、 $Q_{1,j}$ 、 $Q_{2,j}$ 、 $Q_{3,j}$ 和 $Q_{4,j}$ 分别为第 1 至第 5 个采样时刻点电压安全稳定监控设备集中第 j 个母线同步测量信息中负荷与无功补偿设备的总无功, ΔV_i 为电网中其它因素引起电压安全稳定监控设备集中第 i 个母线电压的变化量;

权 利 要 求 书

通过优化方法求解公式 (5) 来计算 $\lambda_{P,i,j}$ 、 $\lambda_{Q,i,j}$ 和 ΔV_i :

$$\begin{aligned} \min \{ & \sum_{i=1}^n \{ (v_{0,i} - v_{1,i}) - \sum_{j=1}^m [\lambda_{P,i,j}(P_{0,j} - P_{1,j}) + \lambda_{Q,i,j}(Q_{0,j} - Q_{1,j})] - \sum_{j=m+1}^M [\lambda_{Q,i,j}(Q_{0,j} - Q_{1,j})] - \Delta V_i \}^2 \\ & + \sum_{i=1}^n \{ (v_{1,i} - v_{2,i}) - \sum_{j=1}^m [\lambda_{P,i,j}(P_{1,j} - P_{2,j}) + \lambda_{Q,i,j}(Q_{1,j} - Q_{2,j})] - \sum_{j=m+1}^M [\lambda_{Q,i,j}(Q_{1,j} - Q_{2,j})] - \Delta V_i \}^2 \\ & + \sum_{i=1}^n \{ (v_{2,i} - v_{3,i}) - \sum_{j=1}^m [\lambda_{P,i,j}(P_{2,j} - P_{3,j}) + \lambda_{Q,i,j}(Q_{2,j} - Q_{3,j})] - \sum_{j=m+1}^M [\lambda_{Q,i,j}(Q_{2,j} - Q_{3,j})] - \Delta V_i \}^2 \\ & + \sum_{i=1}^n \{ (v_{3,i} - v_{4,i}) - \sum_{j=1}^m [\lambda_{P,i,j}(P_{3,j} - P_{4,j}) + \lambda_{Q,i,j}(Q_{3,j} - Q_{4,j})] - \sum_{j=m+1}^M [\lambda_{Q,i,j}(Q_{3,j} - Q_{4,j})] - \Delta V_i \}^2 \} \end{aligned} \quad (5)$$

。

3、根据权利要求 1 所述的基于同步测量信息的电压安全稳定自适应紧急控制方法，其特征在于，在步骤 7) 中通过求解以公式 (6) 表示目标函数、以公式 (7) 表示约束条件的 01 整数规划模型，来计算电压安全稳定预决策紧急控制措施，有功、无功都以流入母线为正：

$$\min \left(\sum_{r=1}^R \sum_{d=1}^{D_r} (-P_{E,r,0,d} C_{r,0,d} x_{r,d}) \right) \quad (6)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{r=1}^R \sum_{d=1}^{D_r} [(\lambda_{P,k,k_0} P_{E,r,0,d} + \lambda_{Q,k,k_0} Q_{E,r,0,d}) x_{r,d}] \\ \quad + \sum_l^L \{ [(\lambda_{P,k,k_1} - \lambda_{P,k,k_2}) P_{F,0,l} + (\lambda_{Q,k,k_1} - \lambda_{Q,k,k_2}) Q_{F,0,l}] x_l \} \\ \quad + \sum_{a=1}^A (\lambda_{Q,k,k_3} Q_{G,0,a} y_a) - \sum_{b=1}^B (\lambda_{Q,k,k_4} Q_{H,0,b} z_b) \leq v_{s,k} - v_{c,k} \quad k=1,2,\dots,K \\ x_{r+1,d} = 0, \quad x_{r,d} = 0 \quad r=1,2,\dots,R-1 \\ x_{r+1,d} = 1, \quad x_{r,d} = 0 \mid 1 \quad r=1,2,\dots,R-1 \\ x_l = 0 \mid 1 \quad l=1,2,\dots,L \\ y_a = 0 \mid 1 \quad a=1,2,\dots,A \\ z_b = 0 \mid 1 \quad b=1,2,\dots,B \end{array} \right. \quad (7)$$

其中，R 为母线负荷控制措施集中切除负荷支路的优先级数， D_r 为母线负

权 利 要 求 书

荷控制措施集中优先级为 r 的可切负荷支路数, r 越大, 优先级越高, 越优先切除, $x_{r,d}$ 取值为 0 或 1, 等于 0 表示不切除该负荷, 等于 1 表示切除该负荷, 当 $x_{r+1,d}$ 等于 0 时, $x_{r,d}$ 只能等于 0, 当 $x_{r+1,d}$ 等于 1 时, $x_{r,d}$ 可以等于 0, 也可以等于 1, $P_{E,r,0,d}$ 、 $Q_{E,r,0,d}$ 分别为 t_0 时刻优先级为 r 的可切负荷支路中第 d 个负荷支路的有功和无功, $C_{r,0,d}$ 为 t_0 时刻切除优先级为 r 的负荷支路中第 d 个负荷支路控制代价, K 为电压预决策控制母线集中母线数, λ_{P,k,k_0} 、 λ_{Q,k,k_0} 分别为优先级为 r 的可切负荷支路中第 d 个负荷支路所连接的电压安全稳定监控设备集中第 k_0 个母线的注入有功对电压预决策控制母线集中第 k 个母线电压的灵敏度和注入无功对电压预决策控制母线集中第 k 个母线电压的灵敏度;

L 为母线负荷控制措施集中可转供负荷支路数, λ_{P,k,k_1} 、 λ_{Q,k,k_1} 分别为其中第 l 个可转供负荷支路在转供前所连接的电压安全稳定监控设备集中第 k_1 个母线的注入有功对电压预决策控制母线集中第 k 个母线电压的灵敏度和注入无功对电压预决策控制母线集中第 k 个母线电压的灵敏度, λ_{P,k,k_2} 、 λ_{Q,k,k_2} 分别为其中第 l 个可转供负荷支路在转供后所连接的电压安全稳定监控设备集中第 k_2 个母线的注入有功对电压预决策控制母线集中第 k 个母线电压的灵敏度和注入无功对电压预决策控制母线集中第 k 个母线电压的灵敏度, $P_{F,0,l}$ 、 $Q_{F,0,l}$ 分别为 t_0 时刻其中第 l 个可转供负荷支路的有功和无功, x_l 取值为 0 或 1, 等于 0 表示不转供该负荷支路, 等于 1 表示转供该负荷支路;

A 为母线无功补偿设备控制措施集中可切除的并联电抗器支路数, λ_{Q,k,k_3} 为其中第 a 个并联电抗器所连接的电压安全稳定监控设备集中第 k_3 个母线的注入无功对电压预决策控制母线集中第 k 个母线电压的灵敏度, $Q_{G,0,a}$ 为 t_0 时刻其中第 a 个并联电抗器切除的无功, y_a 取值为 0 或 1, 等于 0 表示不切除该并联电抗器支路, 等于 1 表示切除该并联电抗器支路;

B 为母线无功补偿设备控制措施集中可投入的并联电容器支路数, λ_{Q,k,k_4} 为

权 利 要 求 书

其中第 b 个并联电容器所连接的电压安全稳定监控设备集中第 k 个母线的注入无功对电压预决策控制母线集中第 k 个母线电压的灵敏度, $Q_{H,0,b}$ 为 t_0 时刻其中第 b 个并联电容器投入后的无功, 采用并联电容器投入的容抗及相连的母线在 t_0 时刻的电压来计算, z_b 取值为 0 或 1, 等于 0 表示不投入该并联电容器支路, 等于 1 表示投入该并联电容器支路;

$v_{s,k}$ 、 $v_{c,k}$ 分别为 t_0 时刻电压预决策控制母线集中第 k 个母线的电压安全稳定临界值和紧急控制启动门槛值。

说明书附图

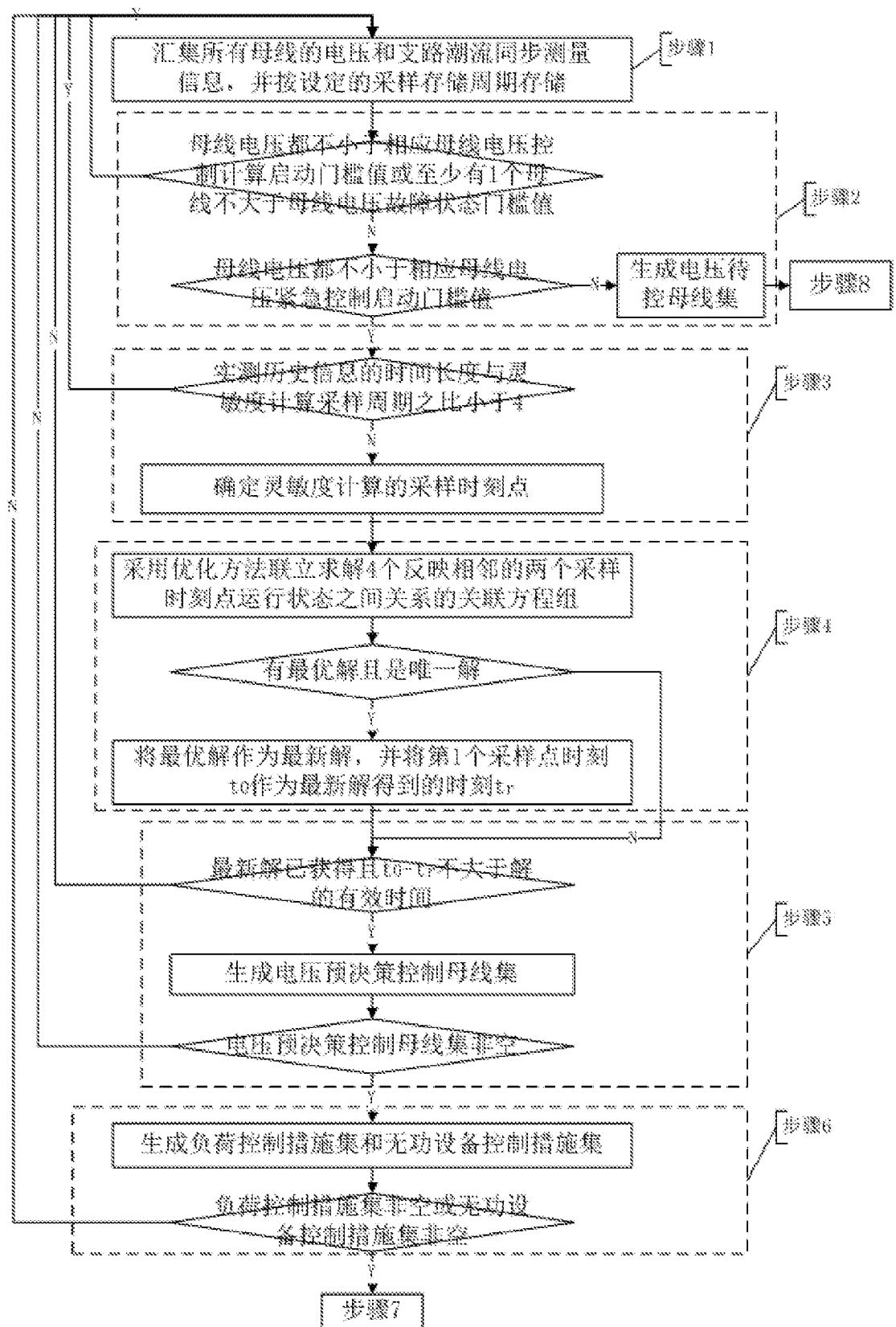


图 1

说明书附图

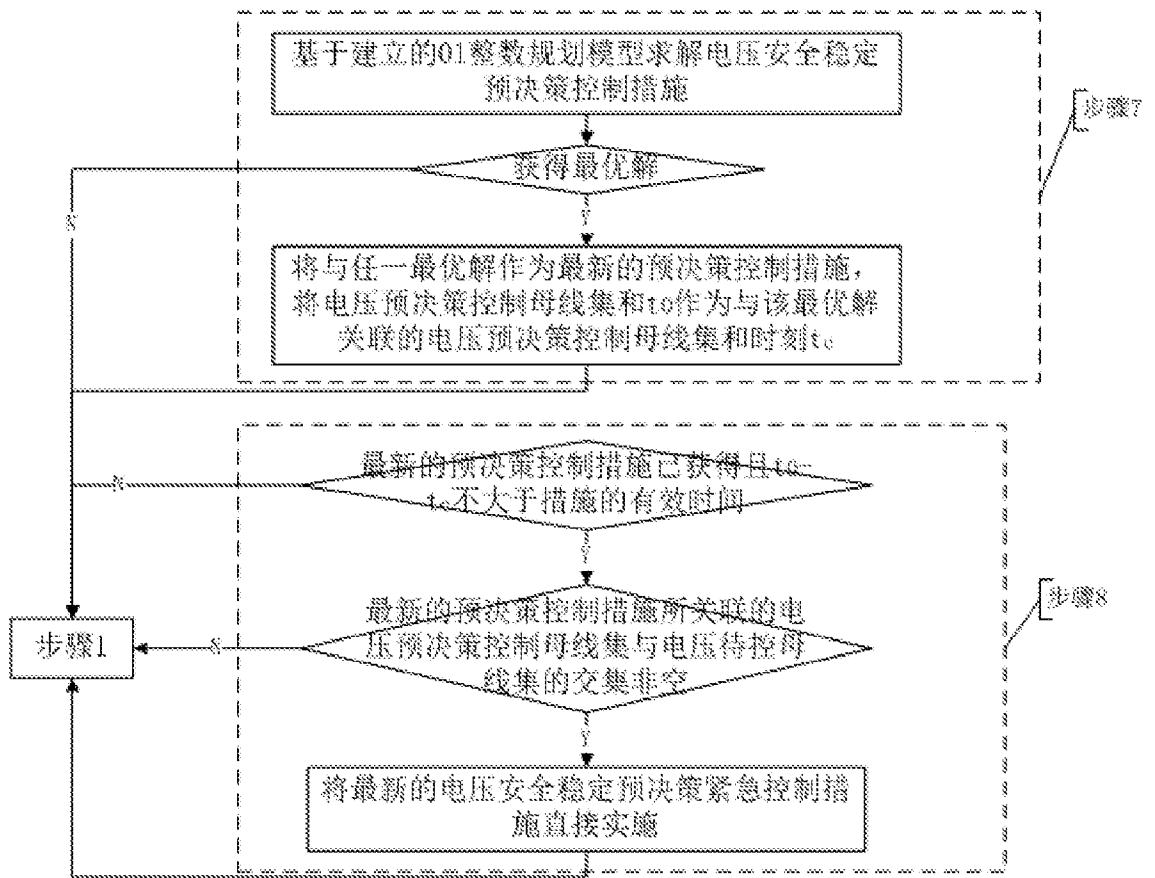


图 2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2014/089402

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02J 3/12 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H02J, H02H

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

WPI, EPODOC, CNPAT, CNKI: power flow calculation, equation group; synchronous w measur+, bus w voltage, emergency W control+, flow, equation, reactive W power

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 103715694 A (NARI GROUP CORPORATION et al.), 09 April 2014 (09.04.2014), see claims 1-3	1-3
A	CN 101819243 A (STATE GRID ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUE et al.), 01 September 2010 (01.09.2010), see description, paragraphs 26-34, and figure 1	1-3
A	CN 102545172 A (STATE GRID ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUE et al.), 04 July 2012 (04.07.2012), see the whole document	1-3

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date	“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	“&” document member of the same patent family
“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 05 January 2015 (05.01.2015)	Date of mailing of the international search report 20 January 2015 (20.01.2015)
Name and mailing address of the ISA/CN: State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No.: (86-10) 62019451	Authorized officer ZHANG, Haichun Telephone No.: (86-10) 62411781

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2014/089402

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 103715694 A	09 April 2014	None	
CN 101819243 A	01 September 2010	CN 101819243 B	16 January 2013
CN 102545172 A	04 July 2012	CN 102545172 B	17 September 2014
		WO 2013097506 A1	04 July 2013

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2014/089402

A. 主题的分类

H02J 3/12 (2006.01) i

按照国际专利分类 (IPC) 或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献 (标明分类系统和分类号)

H02J, H02H

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库 (数据库的名称, 和使用的检索词 (如使用))

WPI, EPODOC, CNPAT, CNKI: 同步测量, 母线电压, 紧急控制, 潮流计算, 方程组, 无功; synchronous w measur+, bus w voltage, emergency w control+, flow, equation, reactive w power

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
PX	CN 103715694 A (南京南瑞集团公司 等) 2014年 4月 09日 (2014 - 04 - 09) 见权利要求1-3	1-3
A	CN 101819243 A (国网电力科学研究院 等) 2010年 9月 01日 (2010 - 09 - 01) 见说明书第26-34段, 附图1	1-3
A	CN 102545172 A (国网电力科学研究院 等) 2012年 7月 04日 (2012 - 07 - 04) 见全文	1-3

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2015年 1月 05日

国际检索报告邮寄日期

2015年 1月 20日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中华人民共和国国家知识产权局 (ISA/CN)
北京市海淀区蓟门桥西土城路6号
100088 中国

传真号 (86-10) 62019451

授权官员

张海春

电话号码 (86-10) 62411781

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2014/089402

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	103715694	A	2014年 4月 09日	无			
CN	101819243	A	2010年 9月 01日	CN	101819243	B	2013年 1月 16日
CN	102545172	A	2012年 7月 04日	CN	102545172	B	2014年 9月 17日
				WO	2013097506	A1	2013年 7月 04日

表 PCT/ISA/210 (同族专利附件) (2009年7月)