

(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
2017 年 2 月 23 日 (23.02.2017)



(10) 国际公布号
WO 2017/028631 A1

- (51) 国际专利分类号:
H02J 3/00 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2016/087806
- (22) 国际申请日: 2016 年 6 月 30 日 (30.06.2016)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201510511777.9 2015 年 8 月 19 日 (19.08.2015) CN
- (71) 申请人: 中国电力科学研究院 (CHINA ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE) [CN/CN]; 中国北京市海淀区清河小营东路 15 号, Beijing 100192 (CN)。 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)。
- (72) 发明人: 吕颖 (LV, Ying); 中国北京市海淀区清河小营东路 15 号, Beijing 100192 (CN)。 于之虹 (YU, Zhihong); 中国北京市海淀区清河小营东路 15 号, Beijing 100192 (CN)。 鲁广明 (LU, Guangming); 中

国北京市海淀区清河小营东路 15 号, Beijing 100192 (CN)。 严剑峰 (YAN, Jianfeng); 中国北京市海淀区清河小营东路 15 号, Beijing 100192 (CN)。 康建东 (KANG, Jiandong); 中国北京市海淀区清河小营东路 15 号, Beijing 100192 (CN)。 解梅 (XIE, Mei); 中国北京市海淀区清河小营东路 15 号, Beijing 100192 (CN)。 邱健 (QIU, Jian); 中国北京市海淀区清河小营东路 15 号, Beijing 100192 (CN)。 谢昶 (XIE, Chang); 中国北京市海淀区清河小营东路 15 号, Beijing 100192 (CN)。 戴红阳 (DAI, Hongyang); 中国北京市海淀区清河小营东路 15 号, Beijing 100192 (CN)。 贾育培 (JIA, Yupei); 中国北京市海淀区清河小营东路 15 号, Beijing 100192 (CN)。

- (74) 代理人: 北京派特恩知识产权代理有限公司 (CHINA PAT INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE); 中国北京市海淀区海淀南路 21 号中关村知识产权大厦 B 座 2 层, Beijing 100080 (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,

[见续页]

(54) Title: MULTI-FAULT COORDINATED INTEGRATIVE DECISION-MAKING ASSISTANCE METHOD FOR STATIC SECURITY AND STORAGE MEDIUM

(54) 发明名称: 多故障协调的静态安全综合辅助决策方法及存储介质

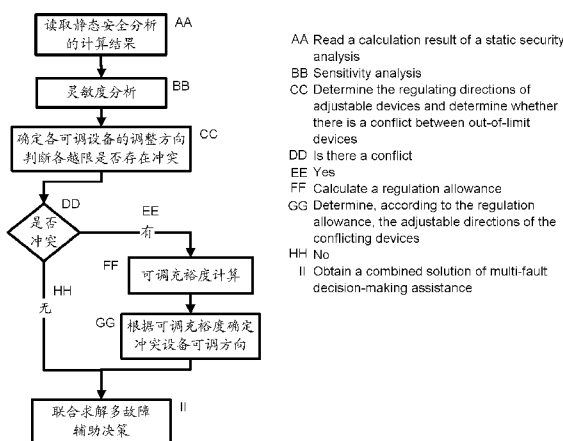


图 1

(57) Abstract: A multi-fault coordinated integrative decision-making assistance method for static security and a storage medium. Said method comprises the steps of: 1) reading a calculation result of a static security analysis; 2) analyzing the sensitivities of an out-of-limit device and a faulty device; 3) determining, according to the relationship of sensitivity between the out-of-limit device and an adjustable device, a regulating direction of the adjustable device required by the out-of-limit device; if there is a plurality of devices that are out-of-limit, determining whether there is a conflict in regulating direction between the adjustable devices of the out-of-limit devices; 4) if there is no conflict in regulating direction between the adjustable devices of the out-of-limit devices, performing step 5); if there is a conflict in regulating direction between the adjustable devices of the out-of-limit devices, calculating an index of regulation allowance, and determining, according to the regulation allowance, the regulating directions of the conflicting adjustable devices; 5) obtaining a multi-fault coordinated integrative decision-making assistance solution for static security.

(57) 摘要:

[见续页]



WO 2017/028631 A1



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。

(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)。

(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

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。

一种多故障协调的静态安全综合辅助决策方法及存储介质。该方法包括步骤: 1) 读取静态安全分析的计算结果; 2) 对越限设备和故障设备进行灵敏度分析; 3) 根据越限设备与可调设备的灵敏度关系, 确定越限设备所需要的可调设备的调整方向; 如果有多个设备越限, 则判断各越限设备的可调设备是否存在调整方向的冲突; 4) 如果各越限设备的可调设备不存在冲突, 则进行步骤 5); 如果各越限设备的可调设备存在调整方向的冲突, 则计算可调充裕度指标, 并根据可调充裕度确定冲突的可调设备的调整方向; 5) 多故障协调静态安全综合辅助决策求解。

多故障协调的静态安全综合辅助决策方法及存储介质

技术领域

本发明涉及一种辅助决策方法，具体涉及一种多故障协调的静态安全综合辅助决策方法及存储介质。

5 背景技术

电网安全关系国家安全。大电网的安全稳定控制是电网安全稳定运行的重要保障。随着我国大区电网互联的快速发展、特高压电网建设的稳步推进，电网运行的技术水平和复杂程度越来越高，电网运行控制的难度越来越大。在此背景下，亟需全面把握这样一个特大型电网的运行规律，研发先进的大电网安全稳定控制技术，提升驾驭大电网安全稳定经济运行的能力。

按作用的时间场景，安全稳定控制可分为两种控制形式。一种是预防控制，指电力系统正常运行时由于某种原因（运行方式恶化或扰动）处于警戒状态，为提高运行安全裕度，使电力系统恢复至安全状态而进行的控制。预防控制在扰动未发生时就改变系统的运行点，使处于警戒状态的运行点引入安全状态。预防控制一般是通过调度人员发出调度命令，由厂、站运行值班人员进行操作实现。

另一种是紧急控制，即当电力系统由于扰动进入紧急状态或特急状态时，为防止系统稳定破坏、防止运行参数严重超出允许范围，以及防止事故进一步扩大造成严重停电而进行的控制。紧急控制是在检测到特定扰动后，改变系统的稳定边界，使故障后的运行点处于稳定状态。紧急控制一般通过安全稳定控制系统自动实现。

调度辅助决策的任务是需找一个满足安全稳定要求的运行点。这个问题

题可以看成是一个约束优化问题，约束是在系统运行和预想故障下安全稳定
性满足要求。与紧急控制不同，调度辅助决策根据在线安全稳定分析应
用的预警信息，综合利用稳态、动态数据，对电网当前运行中存在的故障
越限，以量化分析为基础，对改善系统安全稳定性所需的敏感控制对象进
5 行识别，确定可调设备，确定满足多类稳定约束且控制代价优化的调度辅
助策略，消除或缓解电网实时或者预想故障后的越限情况，为电网的安全
运行提供前瞻性的调整策略支持。

辅助决策是为改变当前电网运行点提供建议，在存在多个安全越限问
题时，控制措施不能只针对某一问题，因为不可能为需要解决的每个安全
10 越限问题分别提供希望的运行点。辅助决策提供给调度运行人员的建议应
该是整体解决方案，即针对存在的所有静态安全越限问题，而不是分别提
出解决每个问题的建议，同时应确保不能引发新的越限问题。因此，针对
某一潮流断面，辅助决策要综合协调各个越限问题的需要，使改变后的系
统运行点能满足所有静态安全约束。其中需要解决的关键问题有：

15 对越限设备进行灵敏度分析：

针对越限设备，需要进行灵敏度分析，找出最有效的调整设备，以消
除或减轻设备越限，一般的可调设备包括发电机和负荷。调整发电机出力
或负荷会引起故障设备上潮流的变化，故障设备上潮流的变化会进而引起
故障设备开断后越限设备上潮流。因此，也需要计算可调设备对故障设备
20 的灵敏度，以及故障设备和越限设备之间的潮流转移分布因子。

判断多设备越限对可调设备的调整需求是否存在冲突：

如果有多个设备越限，多设备越限对可调设备的调整需求可能存在冲
突，需要对此进行判断。根据各越限设备与可调设备的灵敏度关系，确定
各越限设备所需要的可调设备的调整方向。不同设备越限对可调设备的调
25 整方向可能存在冲突，即针对某设备越限对其可调设备进行功率调整，会

引起其它设备的越限加重。

确定冲突可调设备的调整方向：

静态安全分析多故障辅助决策是一个多目标优化问题，由多个不等式组成。对于控制变量向量，需要明确每个控制变量的调整方向，这是静态安全分析多故障辅助决策的关键点。对于多故障引起越限，当其可调设备即控制变量不存在冲突时，其调整方向容易确定；对于第其可调设备存在冲突的情况，需要根据一定的原则确定调整方向。

多故障协调静态安全综合辅助决策求解：

调度辅助决策的任务是需找一个满足安全稳定要求的运行点。这个问题可以看成是一个约束优化问题，约束是在系统运行和预想故障下安全稳定满足要求。在存在多个安全越限问题时，控制措施不能只针对某一问题，因为不可能为需要解决的每个安全越限问题分别提供希望的运行点。多故障协调辅助决策提供给调度运行人员的建议应该是整体解决方案，即针对存在的所有静态安全越限问题，而不是分别提出解决每个问题的建议，同时应确保不能引发新的越限问题。

发明内容

为解决上述现有技术中的不足，本发明实施例的目的是提供一种多故障协调的静态安全综合辅助决策方法及存储介质，本发明实施例所要解决的技术问题是多故障协调静态安全综合辅助决策。此方法针对静态安全分析发现的基态有功潮流越限和 N-1 后有功潮流越限，通过发电机、负荷功率调整等预先指定的可选调整措施，计算可选调整设备对越限设备的灵敏度信息。针对多个故障引起越限的情况，判断不同故障越限的调整措施是否存在冲突。对调整设备存在冲突的情况，计算各越限设备的可调充裕度指标，优先根据可调充裕度低的越限设备的调整需求确定冲突可调设备的调整方向。最后在保证全系统发电-负荷整体平衡的前提下，通过联合优化

求解，确定静态安全辅助决策调整方案，以消除或减轻系统的越限和重载问题，提高系统的静态安全性。

本发明实施例的目的是采用下述技术方案实现的：

本发明实施例提供一种多故障协调的静态安全综合辅助决策方法，其改进之处在于，所述方法包括下述步骤：

1) 辅助决策程序读取静态安全分析的计算结果，得到基态越限重载信息和故障后的越限信息，得到需要调整有功功率的支路列表和对应的预想故障信息，包括越限设备名称、越限百分百、支路额定功率和故障设备名称；所述越限设备包括线路、变压器与输电断面，然后计算得到越限设备的有功功率调整需求；

2) 对越限设备和故障设备进行灵敏度分析：根据预先设定的可调设备（故障设备为静态安全分析计算中预想发生 N-1 故障的设备，越限设备为 N-1 故障后设备潮流超过限额的设备，可调设备是为消除越限可以进行调整潮流的设备）调整范围得到可调发电机和负荷列表，针对步骤 1) 确定的越限设备和故障设备进行灵敏度求解，得到越限设备有功功率与可调设备有功功率间的灵敏度关系，故障设备有功功率与可调设备有功功率间的灵敏度关系，得到故障设备有功功率和越限设备有功功率之间的潮流转移分布因子；

3) 根据步骤 2) 得到的越限设备有功功率与可调设备有功功率间的灵敏度关系，确定越限设备所需要的可调设备的调整方向；如果有多个设备越限，则判断各越限设备的可调设备是否存在调整方向的冲突；

4) 如果各越限设备的可调设备不存在冲突，则进行步骤 5)；

如果各越限设备的可调设备存在调整方向的冲突，则计算可调充裕度指标，然后根据可调充裕度确定冲突的可调设备的调整方向；

5) 多故障协调静态安全综合辅助决策求解：根据步骤 1) 确定的越限

设备的有功功率调整需求, 步骤 2) 确定的越限设备有功功率与可调设备有功功率间的灵敏度, 故障设备有功功率与可调设备有功功率间的灵敏度, 故障设备有功功率与越限设备有功功率间的潮流转移分布因子, 步骤 3) 和步骤 4) 确定的冲突可调设备的调整方向和调整范围, 建立联合求解方程组, 以调整量或调整代价最小为优化目标, 调用线性优化软件通过优化求解得到多故障协调的静态安全辅助决策结果。

上述方案中, 所述步骤 1) 中, 读取静态安全分析的计算结果, 针对变压器越限, 根据变压器的额定容量和越限百分百计算得到消除越限所需调整的有功功率 (指的是变压器容量减去额定容量); 额定容量为视在功率, 即有功功率和无功功率的平方和的平方根, 按照固定功率因数 (固定功率因数指的是有功和无功的比) 计算变压器从越限容量到额定容量所需调整的有功功率。

上述方案中, 所述步骤 1) 中, 读取静态安全分析的计算结果, 针对线路电流越限, 根据线路的额定电流和越限百分百计算得到消除越限所需调整的有功功率; 线路电流根据线路视在功率和线路电压计算得到, 视在功率为有功功率和无功功率的平方和的平方根, 按照固定功率因素计算线路从越限电流到额定电流所需调整的有功功率。

上述方案中, 所述步骤 1) 中, 读取静态安全分析的计算结果, 针对输电断面越限, 根据输电断面的有功功率极限和越限百分百计算得到消除越限所需调整的有功功率。

上述方案中, 所述步骤 2) 中, 为避免平衡机对灵敏度的影响, 可调发电机和负荷功率调整时, 由同一电气岛内的所有其他机组根据可调容量按比例承担相应的反向功率调整, 然后根据越限设备有功功率的变化量计算灵敏度; 当越限设备为输电断面时, 输电断面和可调发电机、负荷的灵敏度为断面组成支路与可调发电机、负荷的灵敏度的总加 (输电断面由 2 条

线路组成,断面和发电机的灵敏度等于线路 1 和发电机的灵敏度加上线路 2 和发电机的灵敏度)。

上述方案中,所述步骤 2) 包括下述步骤:

- <1>灵敏度分析,确定控制变量和控制目标间的灵敏度关系;控制变量
5 包括节点有功、发电机有功和负荷有功;控制目标为支路有功;采用 $P-\theta$ 解耦模型求解灵敏度,某支路的有功潮流调整公式如下:

$$\Delta P_{ij} = B_{ij}\Delta\theta_i - B_{ij}\Delta\theta_j$$

根据 $P-\theta$ 解耦模型,节点注入有功功率和节点相角有如下关系式:

$$[\Delta P] = [B'] [\Delta\theta]$$

- 10 由上述两式得到下式,即节点有功和支路有功功率间的灵敏度关系:

$$[\Delta P_{ij}] = [H] [B']^{-1} [\Delta P]$$

- 式中, ΔP_{ij} 表示支路有功的调整量, B_{ij} 表示根据 $P-\theta$ 解耦模型建立的支路导纳矩阵 B 中的元素, $\Delta\theta_i$ 表示状态变量节点 i 相角的变化量; θ_j 表示状态变量节点 j 相角的变化量, $[\Delta P]$ 表示节点有功调整量向量, $[B']$ 表示根据
15 $P-\theta$ 解耦模型建立的支路导纳矩阵, $\Delta\theta$ 表示状态变量节点相角调整量向量, $[\Delta P]$ 表示节点有功调整量向量, $[H]$ 是根据式 $\Delta P_{ij} = B_{ij}\Delta\theta_i - B_{ij}\Delta\theta_j$ 建立起来的稀疏矩阵;

- <2>确定故障设备有功功率和越限设备有功功率之间的潮流转移分布因子: 支路开断后引起电网中其它支路有功潮流的变化, 其它支路有功潮流
20 的变化用分布因子来描述, 采用 $P-\theta$ 解耦模型求解潮流转移分布因子; 电网中有支路 l 开断, 其两端节点是 i, j , 开断前支路 l 上的有功潮流是 P_l , 假定支路开断前后节点注入有功功率不变, 则求出支路 l 开断后的电压和相角, 进而求出支路 l 开断后支路 k 上的有功潮流, 进一步求出支路 l 和支路 k 之间的潮流分布因子, 如下式所示:

$$D_{k-l} = \frac{X_{k-l} / x_k}{1 - X_{l-l} / x_l}, \quad X_{k-l} = M_k^T X M_l$$

式中：\$X\$ 为公式 \$\Delta P_{ij} = B_{ij} \Delta \theta_i - B_{ij} \Delta \theta_j\$ 中元素 \$B_{ij}\$ 所在的支路导纳矩阵 \$B\$ 的逆矩阵，\$M_l\$ 和 \$M_k\$ 为支路 \$l\$ 和支路 \$k\$ 和节点矩阵的关联向量，由 1 和 -1 构成，支路首端节点为 1，支路末端节点为 -1；\$D_{k-l}\$ 为支路 \$l\$ 和支路 \$k\$ 之间的潮流分布因子、\$X_{k-l}\$ 为支路 \$k\$ 和支路 \$l\$ 的互电抗、\$X_{l-l}\$ 为支路 \$l\$ 和支路 \$l\$ 的互电抗、\$x_k\$ 为支路 \$k\$ 的电抗、\$x_l\$ 为支路 \$l\$ 的电抗。

上述方案中，所述步骤 2) 中，为避免平衡机对灵敏度的影响，可调发电机、负荷功率调整时，由同一电气岛内的所有其他机组根据可调容量按比例承担相应的反向功率调整，然后根据故障设备有功功率的变化量计算灵敏度。

上述方案中，所述步骤 2) 中，计算得到故障设备有功功率和越限设备有功功率之间的潮流转移分布因子，当越限设备为输电断面时，故障设备到输电断面的分布因子为故障设备到断面组成支路分布因子的总加。

上述方案中，所述步骤 3) 中，确定各越限设备所需要的可调设备的调整方向；针对基态越限，根据越限设备和可调设备的灵敏度关系，以减少越限设备的有功功率为目标确定可调设备的调整方向。

上述方案中，所述步骤 3) 中，确定各越限设备所需要的可调设备的调整方向；针对故障后设备越限，对可调设备进行功率调整后，故障后越限设备的有功功率变化量包括：①基态下越限设备和可调设备的灵敏度乘以可调设备调整量，②为基态下故障设备和可调设备的灵敏度乘以可调设备调整量再乘以故障设备与越限设备的潮流转移分布因子；根据可调设备功率调整后的故障后越限设备的有功功率变化量，确定为减少故障后越限设备的有功功率所需的可调设备的调整方向。

上述方案中，所述步骤 3) 中，多设备越限包括三种情况：一是不同越

限设备相互独立，即针对单个越限设备对其可调设备进行功率调整不影响其它设备越限；二是不同设备越限对部分可调设备的调整需求方向一致，即针对某设备越限对其可调设备进行功率调整会引起其它设备的越限减轻；三是不同设备越限的调整措施存在冲突，即针对某设备越限对其可调设备进行功率调整，会引起其它设备的越限加重。

上述方案中，所述步骤4)中，计算可调充裕度指标包括：

针对每个故障越限 j ，将其可调设备 $[u_j]$ 分为两部分 $[u_j^1]$ 和 $[u_j^2]$ ，分别为不存在冲突的可调设备和存在冲突的可调设备；

评估故障越限 j 的可调充裕度如下式所示：

$$C_j = \frac{\sum [L_j] \cdot [\Delta u_j^1]}{\Delta P_j}$$

式中： ΔP_j 是消除故障越限 j 所需的有功功率调整量， $[\Delta u_j^1]$ 是不冲突可调设备的最大有功功率可调整量， $[L_j]$ 是越限设备有功功率和可调设备有功功率之间的灵敏度关系矩阵；可调充裕度 C_j 越大表示其可选择的调整设备越充足， C_j 大于 1 表示仅调整不冲突可调设备就能消除故障越限 j ， C_j 小于 1 表示仅调整不冲突可调设备不能消除故障越限 j ，需要调整冲突的可调设备才有能消除越限。

上述方案中，所述步骤4)中，对于存在调整冲突的可调设备，优先分配给可调充裕度低的故障越限，对于故障越限 j 和故障越限 i 的冲突可调设备 $[u]$ ，如果故障越限 j 、 i 的可调充裕度都大于 1 则不需要调整冲突的可调设备；

如果故障越限 j 的可调充裕度大于 1 而故障越限 i 的可调充裕度小于 1 则根据故障越限 i 的调整需求确定冲突可调设备 $[u]$ 的调整方向；

如果故障越限 j 、 i 的可调充裕度都小于 1 则必然有 1 个故障越限无法达到调整目标，需要增大可调设备的可调范围或扩大可调设备对象集合。

上述方案中，所述步骤5)中，通过对发电和负荷给定不同的代价权重系数，即单位调整量引起的经济损失代价，使得优先调整发电机。

本发明实施例提供的多故障协调静态安全综合辅助决策方法及存储介质易于实现，能够解决多故障静态安全越限对可调设备的调整需求存在冲突时的协调优化问题，自动给出综合辅助决策调整策略。满足大规模电网在安全稳定经济运行、各级电网一体化联合安全评估与协调优化调度等多方面对技术创新的要求，具体为：

1) 根据静态安全分析的计算结论，进行静态安全辅助决策计算，包括基态越限辅助决策，故障后越限辅助决策，给出调整建议。

2) 能够对越限设备进行灵敏度分析，包括越限设备有功功率和可调设备有功功率之间的灵敏度，故障设备有功功率和可调设备有功功率之间的灵敏度，故障设备有功功率和越限设备有功功率之间的潮流转移分布因子。

3) 能够对线路电流越限、主变容量越限、输电断面有功越限进行辅助决策计算，给出调整建议。

4) 能够对单个设备越限进行辅助决策计算，也能够对多个设备越限进行辅助决策计算。

5) 通过计算可调充裕度，评估为消除该设备越限可采取的调整措施的充裕性，为多个设备越限对可调设备的调整需求存在矛盾时的决策提供依据。

6) 实现了多故障协调的静态安全辅助决策，能够解决多设备越限的调整措施存在冲突时的协调问题。

附图说明

图1是本发明实施例提供的多故障协调的静态安全综合辅助决策方法的流程图。

具体实施方式

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。

以下描述和附图充分地示出本发明的具体实施方案，以使本领域的技术人员能够实践它们。其他实施方案可以包括结构的、逻辑的、电气的、过程的以及其他的改变。实施例仅代表可能的变化。除非明确要求，否则单独的组件和功能是可选的，并且操作的顺序可以变化。一些实施方案的部分和特征可以被包括在或替换其他实施方案的部分和特征。本发明的实施方案的范围包括权利要求书的整个范围，以及权利要求书的所有可获得的等同物。在本文中，本发明的这些实施方案可以被单独地或总地用术语“发明”来表示，这仅仅是为了方便，并且如果事实上公开了超过一个的发明，不是要自动地限制该应用的范围为任何单个发明或发明构思。

本发明实施例中所涉及的专业数据及缩略语如下：

静态安全分析：安全分析功能对多种给定运行方式（状态）进行预想事故分析，对会引起线路过负荷、电压越限和发电机功率越限等对电网安全运行构成威胁的故障进行警示，从而对整个电网的安全水平进行评估，找出系统的薄弱环节。预想事故集一般包括线路开断、发电机和变压器开断。如果只考虑预想事故后稳态运行状态下的安全性，而不考虑动态过程，则称为静态安全分析。

静态安全辅助决策：针对静态安全分析结论为静态不安全的潮流数据，对越限设备进行灵敏度分析，确定辅助决策调整方案，以消除或减轻系统越限和过载问题，提高系统的静态安全性。

灵敏度分析：电力系统中各种量如支路功率、母线电压及母线注入功率等之间的相互影响程度称为灵敏度。灵敏度分析是电力系统规划决策及运行控制中经常用到的方法，可以量化的计算出某项运行指标与控制变量之间的关系以确定该变量与系统的影响，从而进一步提出改善该运行指标

的措施。

本发明实施例提供的多故障协调的静态安全综合辅助决策方法的流程图；如图 1 所示，包括下述步骤：

1) 辅助决策程序读取静态安全分析的计算结果，得到基态越限重载信息
5 息和故障后的越限信息，得到需要调整有功功率的支路列表和对应的预想故障信息，包括越限设备名称、越限百分百、支路额定功率和故障设备名称，越限设备包括线路、变压器与输电断面，然后计算得到越限设备的有功功率调整需求。

静态安全分析的结果文件格式如下：

10 <SAOUT_OVER::国调 soft=国调>

ID_Name Type C_Range Perc limit SAType OLEFlag

开断元件名称 越限元件类型 越限元件名称 越限百分比 限值电流
下限 计算值

NOFAULT0000 9 赤峰北部受电 41.9 350 -350 -496

15 NOFAULT0000 5 安徽.虎滩 4711 线路 -1.67 0.23902 0 235

NOFAULT0000 33 内蒙.神华亿利电厂/5#T -3.39 150 0 144

山东.滨大线 5 山东.大信线 7.04 0.31869 0 341

东北.阿科二线 5 东北.阿鲁线 25.74 0.76836 0 966

</SAOUT_OVER::国调>

20 针对变压器越限，根据变压器的额定容量和越限百分百计算得到消除越限所需调整的有功功率。额定容量为视在功率，即有功功率和无功功率的平方和的平方根，按照固定功率因数（固定功率因数指的是有功和无功的比）计算变压器从越限的容量到额定容量所需调整的有功功率。

25 针对线路电流越限，根据线路的额定电流和越限百分百计算得到消除越限所需调整的有功功率。线路电流根据线路视在功率和线路电压计算得到，视在功率为有功功率和无功功率的平方和的平方根，按照固定功率因

数计算线路从越限电流到额定电流所需调整的有功功率。

针对输电断面越限，根据输电断面的有功功率极限和越限百分百计算得到消除越限所需调整的有功功率（指的是变压器容量减去额定容量）。

2) 根据预先设定的可调设备调整范围得到可调发电机和负荷列表，针对步骤 1) 确定的越限设备和故障设备进行灵敏度求解，得到可调发电机、负荷的有功功率和越限设备、故障设备有功功率间的灵敏度关系，得到故障设备有功功率和越限设备有功功率之间的潮流转移分布因子。故障设备为静态安全分析计算中预想发生 N-1 故障的设备，越限设备为 N-1 故障后设备潮流超过限额的设备，可调设备是为消除越限可以进行调整潮流的设备。

首先进行灵敏度分析，确定控制变量（节点有功，包括发电机有功、负荷有功）和控制目标（支路有功）间的灵敏度关系。采用 $P-\theta$ 解耦模型求解灵敏度，某支路的有功潮流调整公式为：

$$\Delta P_{ij} = B_{ij} \Delta \theta_i - B_{ij} \Delta \theta_j \quad (1)$$

根据 $P-\theta$ 解耦模型，节点注入有功功率和节点相角有如下关系式：

$$[\Delta P] = [B'] [\Delta \theta] \quad (2)$$

由式 (1) 和 (2) 得到式 (3)，即节点有功和支路有功功率间的灵敏度关系。

$$[\Delta P_{ij}] = [H] [B']^{-1} [\Delta P] \quad (3)$$

式中， ΔP_{ij} 表示支路有功的调整量， B_{ij} 表示根据 $P-\theta$ 解耦模型建立的支路导纳矩阵 B 中的元素， $\Delta \theta_i$ 表示状态变量节点 i 相角的变化量； θ_j 表示状态变量节点 j 相角的变化量， $[\Delta P]$ 表示节点有功调整量向量， $[B']$ 表示根据 $P-\theta$ 解耦模型建立的支路导纳矩阵， $\Delta \theta$ 表示状态变量节点相角调整量向

量, $[\Delta P]$ 表示节点有功调整量向量, $[H]$ 是根据式 $\Delta P_{ij} = B_{ij}\Delta\theta_i - B_{ij}\Delta\theta_j$ 建立起来的稀疏矩阵;

为避免平衡机对灵敏度的影响, 可调发电机、负荷功率调整时, 由同一电气岛内的所有其他机组根据可调容量按比例承担相应的反向功率调整, 然后根据越限设备有功功率的变化量计算灵敏度。当越限设备为输电断面时, 输电断面和可调发电机、负荷的灵敏度为断面组成支路与可调发电机、负荷的灵敏度的总加 (比如输电断面由 2 条线路组成, 断面和发电机的灵敏度等于线路 1 和发电机的灵敏度加上线路 2 和发电机的灵敏度)。

当支路开断后会引发电网中其它支路有功潮流的变化, 用分布因子来描述。采用 $P-\theta$ 解耦模型求解分布因子。另电网中有支路 l 开断, 其两端节点是 i, j , 开断前支路 l 上的有功潮流是 P_l , 假定支路开断前后节点注入有功功率不变, 则求出支路 l 开断后的电压和相角, 就可以求出支路 l 开断后支路 k 上的有功潮流, 进一步求出支路 l 和支路 k 之间的潮流分布因子, 如式 (4)。

$$D_{k-l} = \frac{X_{k-l}/x_k}{1 - X_{l-l}/x_l}, \quad X_{k-l} = M_k^T X M_l \quad (4)$$

其中: X 为公式 (1) 中 B 矩阵的逆矩阵, M_l 和 M_k 为支路 l 和支路 k 和节点矩阵的关联向量, 由 1 和 -1 构成, 支路首端节点为 1, 支路末端节点为 -1; D_{k-l} 为支路 l 和支路 k 之间的潮流分布因子, X_{k-l} 为支路 k 和支路 l 的互电抗, X_{l-l} 为支路 l 和支路 l 的互电抗, x_k 为支路 k 的电抗, x_l 为支路 l 的电抗。

当越限设备为输电断面时, 故障设备到输电断面的分布因子为故障设备到断面组成支路分布因子的总加。

3) 根据步骤 2) 得到的越限设备与可调设备的灵敏度关系, 确定各越限设备所需要的可调设备的调整方向。

针对基态越限，根据越限设备和可调设备的灵敏度关系，以减少越限设备的有功功率为目标确定可调设备的调整方向。

针对故障后设备越限，对可调设备进行功率调整后，故障后越限设备的有功功率变化量由两部分组成，第一部分为基态下越限设备和可调设备的灵敏度乘以可调设备调整量，第二部分为基态下故障设备和可调设备的灵敏度乘以可调设备调整量再乘以故障设备与越限设备的潮流转移分布因子。根据可调设备功率调整后的故障后越限设备的有功功率变化量，确定为减少故障后越限设备的有功功率所需的可调设备的调整方向。

如果有多个设备越限，则判断各越限设备的可调设备是否存在调整方向的冲突。多设备越限可分为三种情况：一是不同越限设备相互独立，即针对单个越限设备对其可调设备进行功率调整不影响其它设备越限；二是不同设备越限对部分可调设备的调整需求方向一致，即针对某设备越限对其可调设备进行功率调整会引起其它设备的越限减轻；三是不同设备越限的调整措施存在冲突，即针对某设备越限对其可调设备进行功率调整，会引起其它设备的越限加重。

4) 如果各越限设备的可调设备不存在冲突，则直接进行步骤 5)。如果各越限设备的可调设备存在调整方向的冲突，则计算可调充裕度指标，然后根据可调充裕度确定冲突可调设备的调整方向。

首先针对每个故障越限 j ，将其可调设备 $[u_j]$ 分为两部分 $[u_j^1]$ 和 $[u_j^2]$ ，分别为不存在冲突的可调设备和存在冲突的可调设备；

然后评估故障越限 j 的可调充裕度 $C_j = \frac{\sum [L_j] \cdot [\Delta u_j^1]}{\Delta P_j}$ ， ΔP_j 是消除故障越限 j 所需的调整量， $[\Delta u_j^1]$ 是不冲突可调设备的最大可调整量， $[L_j]$ 是越限设备和可调设备之间的灵敏度关系矩阵，可调充裕度 C_j 越大表示其可选择的调整设备越充足， C_j 大于 1 表示仅调整不冲突可调设备就能消除故障越

限 j , C_j 小于 1 表示仅调整不冲突可调设备不能消除故障越限 j , 需要调整冲突的可调设备才有可能消除越限;

对于存在调整冲突的可调设备, 优先分配给可调充裕度低的故障越限, 如对于故障越限 j 和故障越限 i 的冲突可调设备 $[u]$, 如果故障越限 j 、 i 的可调充裕度都大于 1 则不需要调整冲突的可调设备, 如果故障越限 j 的可调充裕度大于 1 而故障越限 i 的可调充裕度小于 1 则根据故障越限 i 的调整需求确定冲突可调设备 $[u]$ 的调整方向, 如果故障越限 j 、 i 的可调充裕度都小于 1 则必然有 1 个故障越限无法达到调整目标, 需要增大可调设备的可调范围或扩大可调设备对象集合。

5) 根据步骤 1) 确定的各越限设备的有功功率调整需求, 步骤 2) 确定的越限设备有功功率与可调设备有功功率间的灵敏度, 故障设备有功功率与可调设备有功功率间的灵敏度, 故障设备有功功率与越限设备有功功率间的潮流转移分布因子, 步骤 3) 和步骤 4) 确定的可调设备的调整方向和可调范围, 建立联合求解方程组, 如式 (5) ~ (7)。式 (5) 为等式约束, $[u]$ 表示自变量或可控制变量的向量, 如发电机的有功出力; $[x]$ 表示应变量或状态变量的向量, 如各节点的电压、相角 $[p]$ 表示参数变量或不可控变量的向量, 如网络的电导、电纳等。等式约束描述的是系统中各变量存在的等式关系, 如基尔霍夫定律确定的功率平衡约束。

式 (6) 为预想事故约束, 是由包含在预想事故一览表中各预想事故的运行约束所组成的约束条件。式 (7) 为优化目标, 以调整量或调整代价最小为优化目标, 通过优化求解得到多故障协调的静态安全辅助决策结果。调整代价为调整量乘以单位调整量的经济损失, 以调整代价最小为优化目标时, 可以通过对发电和负荷给定不同的代价权重系数, 即单位调整量引起的经济损失代价, 使得优先调整发电机。

$$[g([x], [u], [p])] = [0] \quad (5)$$

$$[h^j([x^j], [u], [p])] \leq [0] \quad (6)$$

$$\min F([x], [u]) \leq [0] \quad (7)$$

本发明实施例提出的多故障协调静态安全辅助决策是针对预防控制的实现方式，即以监控预警和在线评估技术为基础，采用“风险预警、预测校核”的方式，根据系统的在线运行信息，按当时或以后短时可能的变化情况，进行各类预想事故仿真，如仿真结果出现静态安全越限问题，则启动相应的控制策略计算，通过在线优化电网运行方案，消除可能出现的不安全因素，为调度运行人员提供控制决策建议。调度辅助决策可以实现大电网安全防御体系有效的“关口前移”，防患未然。

本发明实施例还提出一种计算机可读存储介质，该存储介质包括一组指令，所述指令用于执行以上所述的多故障协调的静态安全综合辅助决策方法。

以上实施例仅用以说明本发明的技术方案而非对其限制，尽管参照上述实施例对本发明进行了详细的说明，所属领域的普通技术人员依然可以对本发明的具体实施方式进行修改或者等同替换，这些未脱离本发明精神和范围的任何修改或者等同替换，均在申请待批的本发明的权利要求保护范围之内。

工业实用性

本发明实施例通过发电机、负荷功率调整等预先指定的可选调整措施，计算可选调整设备对越限设备的灵敏度信息。针对多个故障引起越限的情况，判断不同故障越限的调整措施是否存在冲突。对调整设备存在冲突的情况，计算各越限设备的可调充裕度指标，优先根据可调充裕度低的越限设备的调整需求确定冲突可调设备的调整方向。最后在保证全系统发电-负荷整体平衡的前提下，通过联合优化求解，确定静态安全辅助决策调整方案，以消除或减轻系统的越限和重载问题，提高系统的静态安全性。

权利要求书

1、一种多故障协调的静态安全综合辅助决策方法，包括下述步骤：

1) 辅助决策程序读取静态安全分析的计算结果，得到基态越限重载信息和故障后的越限信息，得到需要调整有功功率的支路列表和对应的预想故障信息，包括越限设备名称、越限百分百、支路额定功率和故障设备名称；所述越限设备包括线路、变压器与输电断面，然后计算得到越限设备的有功功率调整需求；

2) 对越限设备和故障设备进行灵敏度分析：根据预先设定的可调设备调整范围得到可调发电机和负荷列表，针对步骤 1) 确定的越限设备和故障设备进行灵敏度求解，得到越限设备有功功率与可调设备有功功率间的灵敏度关系，故障设备有功功率与可调设备有功功率间的灵敏度关系，得到故障设备有功功率和越限设备有功功率之间的潮流转移分布因子；

3) 根据步骤 2) 得到的越限设备有功功率与可调设备有功功率间的灵敏度关系，确定越限设备所需要的可调设备的调整方向；如果有多个设备越限，则判断各越限设备的可调设备是否存在调整方向的冲突；

4) 如果各越限设备的可调设备不存在冲突，则进行步骤 5)；

如果各越限设备的可调设备存在调整方向的冲突，则计算可调充裕度指标，然后根据可调充裕度确定冲突的可调设备的调整方向；

5) 多故障协调静态安全综合辅助决策求解：根据步骤 1) 确定的越限设备的有功功率调整需求，步骤 2) 确定的越限设备有功功率与可调设备有功功率间的灵敏度，故障设备有功功率与可调设备有功功率间的灵敏度，故障设备有功功率与越限设备有功功率间的潮流转移分布因子，步骤 3) 和步骤 4) 确定的冲突可调设备的调整方向和调整范围，建立联合求解方程组，以调整量或调整代价最小为优化目标，调用线性优化软件通过优化求解得到多故障协调的静态安全辅助决策结果。

2、如权利要求1所述的多故障协调的静态安全综合辅助决策方法，其中，所述步骤1)中，读取静态安全分析的计算结果，针对变压器越限，根据变压器的额定容量和越限百分百计算得到消除越限所需调整的有功功率；额定容量为视在功率，即有功功率和无功功率的平方和的平方根，按照固定功率因数计算变压器从越限容量到额定容量所需调整的有功功率。

3、如权利要求1所述的多故障协调的静态安全综合辅助决策方法，其中，所述步骤1)中，读取静态安全分析的计算结果，针对线路电流越限，根据线路的额定电流和越限百分百计算得到消除越限所需调整的有功功率；线路电流根据线路视在功率和线路电压计算得到，视在功率为有功功率和无功功率的平方和的平方根，按照固定功率因素计算线路从越限电流到额定电流所需调整的有功功率。

4、如权利要求1所述的多故障协调的静态安全综合辅助决策方法，其中，所述步骤1)中，读取静态安全分析的计算结果，针对输电断面越限，根据输电断面的有功功率极限和越限百分百计算得到消除越限所需调整的有功功率。

5、如权利要求1所述的多故障协调的静态安全综合辅助决策方法，其中，所述步骤2)中，为避免平衡机对灵敏度的影响，可调发电机和负荷功率调整时，由同一电气岛内的所有其他机组根据可调容量按比例承担相应的反向功率调整，然后根据越限设备有功功率的变化量计算灵敏度；当越限设备为输电断面时，输电断面和可调发电机、负荷的灵敏度为断面组成支路与可调发电机、负荷的灵敏度的总加。

6、如权利要求1所述的多故障协调的静态安全综合辅助决策方法，其中，所述步骤2)包括下述步骤：

<1>灵敏度分析，确定控制变量和控制目标间的灵敏度关系；控制变量包括节点有功、发电机有功和负荷有功；控制目标为支路有功；采用 $P-\theta$ 解

耦模型求解灵敏度，某支路的有功潮流调整公式如下：

$$\Delta P_{ij} = B_{ij}\Delta\theta_i - B_{ij}\Delta\theta_j$$

根据 $P-\theta$ 解耦模型，节点注入有功功率和节点相角有如下关系式：

$$[\Delta P] = [B'] [\Delta\theta]$$

5 由上述两式得到下式，即节点有功和支路有功功率间的灵敏度关系：

$$[\Delta P_{ij}] = [H] [B']^{-1} [\Delta P]$$

式中， ΔP_{ij} 表示支路有功的调整量， B_{ij} 表示根据 $P-\theta$ 解耦模型建立的支路导纳矩阵 B 中的元素， $\Delta\theta_i$ 表示状态变量节点 i 相角的变化量； θ_j 表示状态变量节点 j 相角的变化量， $[\Delta P]$ 表示节点有功调整量向量， $[B']$ 表示根据
10 $P-\theta$ 解耦模型建立的支路导纳矩阵， $\Delta\theta$ 表示状态变量节点相角调整量向量， $[\Delta P]$ 表示节点有功调整量向量， $[H]$ 是根据式 $\Delta P_{ij} = B_{ij}\Delta\theta_i - B_{ij}\Delta\theta_j$ 建立起来的稀疏矩阵；

<2>确定故障设备有功功率和越限设备有功功率之间的潮流转移分布因子：支路开断后引起电网中其它支路有功潮流的变化，其它支路有功潮流的变化用分布因子来描述，采用 $P-\theta$ 解耦模型求解潮流转移分布因子；
15 电网中有支路 l 开断，其两端节点是 i, j ，开断前支路 l 上的有功潮流是 P_l ，假定支路开断前后节点注入有功功率不变，则求出支路 l 开断后的电压和相角，进而求出支路 l 开断后支路 k 上的有功潮流，进一步求出支路 l 和支路 k 之间的潮流分布因子，如下式所示：

$$20 \quad D_{k-l} = \frac{X_{k-l}/x_k}{1 - X_{l-l}/x_l}, \quad X_{k-l} = M_k^T X M_l$$

式中： X 为公式 $\Delta P_{ij} = B_{ij}\Delta\theta_i - B_{ij}\Delta\theta_j$ 中元素 B_{ij} 所在的支路导纳矩阵 B 的逆矩阵， M_l 和 M_k 为支路 l 和支路 k 和节点矩阵的关联向量，由 1 和 -1 构成，支路首端节点为 1，支路末端节点为 -1； D_{k-l} 为支路 l 和支路 k 之间的潮流分布因子、 X_{k-l} 为支路 k 和支路 l 的互电抗、 X_{l-l} 为支路 l 和支路 l 的互电抗、

x_k 为支路 k 的电抗、 x_l 为支路 l 的电抗。

7、如权利要求 1 所述的多故障协调的静态安全综合辅助决策方法，其中，所述步骤 2) 中，为避免平衡机对灵敏度的影响，可调发电机、负荷功率调整时，由同一电气岛内的所有其他机组根据可调容量按比例承担相应的反向功率调整，然后根据故障设备有功功率的变化量计算灵敏度。

8、如权利要求 1 所述的多故障协调的静态安全综合辅助决策方法，其中，所述步骤 2) 中，计算得到故障设备有功功率和越限设备有功功率之间的潮流转移分布因子，当越限设备为输电断面时，故障设备到输电断面的分布因子为故障设备到断面组成支路分布因子的总加。

9、如权利要求 1 所述的多故障协调的静态安全综合辅助决策方法，其中，所述步骤 3) 中，确定各越限设备所需要的可调设备的调整方向；针对基态越限，根据越限设备和可调设备的灵敏度关系，以减少越限设备的有功功率为目标确定可调设备的调整方向。

10、如权利要求 1 所述的多故障协调的静态安全综合辅助决策方法，其中，所述步骤 3) 中，确定各越限设备所需要的可调设备的调整方向；针对故障后设备越限，对可调设备进行功率调整后，故障后越限设备的有功功率变化量包括：①基态下越限设备和可调设备的灵敏度乘以可调设备调整量，②为基态下故障设备和可调设备的灵敏度乘以可调设备调整量再乘以故障设备与越限设备的潮流转移分布因子；根据可调设备功率调整后的故障后越限设备的有功功率变化量，确定为减少故障后越限设备的有功功率所需的可调设备的调整方向。

11、如权利要求 1 所述的多故障协调的静态安全综合辅助决策方法，其中，所述步骤 3) 中，多设备越限包括三种情况：一是不同越限设备相互独立，即针对单个越限设备对其可调设备进行功率调整不影响其它设备越限；二是不同设备越限对部分可调设备的调整需求方向一致，即针对某设

备越限对其可调设备进行功率调整会引起其它设备的越限减轻；三是不同设备越限的调整措施存在冲突，即针对某设备越限对其可调设备进行功率调整，会引起其它设备的越限加重。

12、如权利要求 1 所述的多故障协调的静态安全综合辅助决策方法，
5 其中，所述步骤 4) 中，计算可调充裕度指标包括：

针对每个故障越限 j ，将其可调设备 $[u_j]$ 分为两部分 $[u_j^1]$ 和 $[u_j^2]$ ，分别为不存在冲突的可调设备和存在冲突的可调设备；

评估故障越限 j 的可调充裕度如下式所示：

$$C_j = \frac{\sum [L_j] \cdot [\Delta u_j^1]}{\Delta P_j}$$

10 式中： ΔP_j 是消除故障越限 j 所需的有功功率调整量， $[\Delta u_j^1]$ 是不冲突可调设备的最大有功功率可调整量， $[L_j]$ 是越限设备有功功率和可调设备有功功率之间的灵敏度关系矩阵；可调充裕度 C_j 越大表示其可选择的调整设备越充足， C_j 大于 1 表示仅调整不冲突可调设备就能消除故障越限 j ， C_j 小于 1 表示仅调整不冲突可调设备不能消除故障越限 j ，需要调整冲突的可调设备
15 才有能消除越限。

13、如权利要求 12 所述的多故障协调的静态安全综合辅助决策方法，其中，所述步骤 4) 中，对于存在调整冲突的可调设备，优先分配给可调充裕度低的故障越限，对于故障越限 j 和故障越限 i 的冲突可调设备 $[u]$ ，如果故障越限 j 、 i 的可调充裕度都大于 1 则不需要调整冲突的可调设备；

20 如果故障越限 j 的可调充裕度大于 1 而故障越限 i 的可调充裕度小于 1 则根据故障越限 i 的调整需求确定冲突可调设备 $[u]$ 的调整方向；

如果故障越限 j 、 i 的可调充裕度都小于 1 则必然有 1 个故障越限无法达到调整目标，需要增大可调设备的可调范围或扩大可调设备对象集合。

14、如权利要求 1 所述的多故障协调的静态安全综合辅助决策方法，

其中，所述步骤 5) 中，通过对发电和负荷给定不同的代价权重系数，即单位调整量引起的经济损失代价，使得优先调整发电机。

15、一种计算机可读存储介质，该存储介质包括一组指令，所述指令用于执行权利要求 1 至 14 任一项所述的多故障协调的静态安全综合辅助决策方法。

5

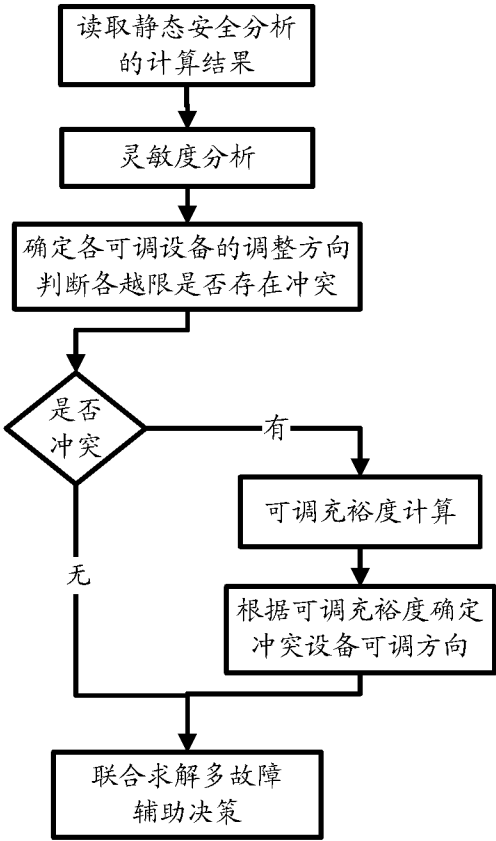


图 1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2016/087806

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02J 3/00 (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

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)

CNPAT, WPI, EPODOC, CNKI, IEEE: fault, failure, static, safety, security, auxiliary decision

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 102982230 A (CHINA ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE; STATE GRID CORPORATION OF CHINA), 20 March 2013 (20.03.2013), the whole document	1-15
A	CN 102222162 A (STATE GRID ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE; NARI GROUP CORPORATION), 19 October 2011 (19.10.2011), the whole document	1-15
A	YU, Yijun et al., "Assistant Decision-Making for Static Security Analysis Based on Outage Sensitivity", ELECTRIC POWER, vol. 46, no. 3, 31 March 2013 (31.03.2013), ISSN: 1004-9649, pages 53-57	1-15
A	YU, Zhihong et al., "A Computational Approach of Preventive Control Strategy With Multi-Contingency Constraints for Power Grid Transient Stability", POWER SYSTEM TECHNOLOGY, vol. 38, no. 6, 30 June 2014 (30.06.2014), ISSN: 1000-3673, pages 1554-1560	1-15

☐ 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 22 July 2016 (22.07.2016)	Date of mailing of the international search report 08 August 2016 (08.08.2016)
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 XU, Zhenxia Telephone No.: (86-10) 62411785

International application No.
PCT/CN2016/087806

Form PCT/ISA/210 (patent family annex) (July 2009)

A. 主题的分类 H02J 3/00 (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 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)) CNPAT, WPI, EPDOC, CNKI, IEEE: 故障, 静态, 安全, 辅助决策, fault, failure, static, safety, security, auxiliary decision		
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
A	CN 102982230 A (中国电力科学研究院 国家电网公司) 2013年 3月 20日 (2013 - 03 - 20) 全文	1-15
A	CN 102222162 A (国网电力科学研究院 南京南瑞集团公司) 2011年 10月 19日 (2011 - 10 - 19) 全文	1-15
A	於益军等. “基于开断灵敏度的静态安全分析辅助决策” 中国电力, 第46卷, 第3期, 2013年 3月 31日 (2013 - 03 - 31), ISSN: 1004-9649, 53-57页	1-15
A	于之虹等. “暂态稳定多故障协调预防控制策略在线计算方法” 电网技术, 第38卷, 第6期, 2014年 6月 30日 (2014 - 06 - 30), ISSN: 1000-3673, 1554-1560页	1-15
☐ 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 2016年 7月 22日	国际检索报告邮寄日期 2016年 8月 8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) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10) 62019451	授权官员 徐珍霞 电话号码 (86-10) 62411785	

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2016/087806

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	102982230	A	2013年 3月 20日	无	
CN	102222162	A	2011年 10月 19日	无	