

(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
2016 年 9 月 15 日 (15.09.2016)



(10) 国际公布号
WO 2016/141683 A1

- (51) 国际专利分类号:
H02J 3/00 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2015/087811
- (22) 国际申请日: 2015 年 8 月 21 日 (21.08.2015)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201510104497.6 2015 年 3 月 10 日 (10.03.2015) 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: 赵珊珊 (ZHAO, Shanshan); 中国北京市海淀区清河小营东路 15 号, Beijing 100192 (CN)。 宋晓辉 (SONG, Xiaohui); 中国北京市海淀区清河小

营东路 15 号, Beijing 100192 (CN)。 孟晓丽 (MENG, Xiaoli); 中国北京市海淀区清河小营东路 15 号, Beijing 100192 (CN)。 盛万兴 (SHENG, Wanxing); 中国北京市海淀区清河小营东路 15 号, Beijing 100192 (CN)。

(74) 代理人: 北京安博达知识产权代理有限公司 (AM-BOYNA INTELLECTUAL PROPERTY AGENT CO.,LTD.); 中国北京市海淀区大钟寺 13 号院 1 号楼华杰大厦 B215 号, Beijing 100098 (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。

[见续页]

(54) Title: IMPLEMENTATION METHOD FOR ENERGY INTERNET ABSORBING LARGE-SCALE DISTRIBUTED POWER SUPPLY

(54) 发明名称: 适用于消纳大规模分布式电源的能源互联网的实现方法

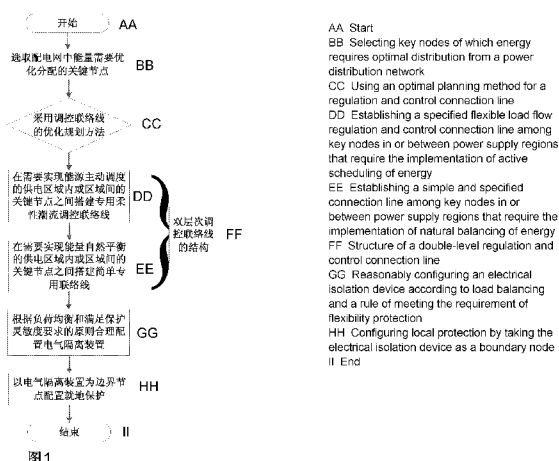


图1

(57) Abstract: An implementation method for an energy Internet absorbing a large-scale distributed power supply. The method comprises: firstly, according to a network structure and load characteristics of a closed-loop operating power distribution network and the grid-connection situation of distributed power supplies, selecting key nodes of which energy requires optimal distribution from the power distribution network; and then optimally configuring a double-level regulation and control connection line among the selected key nodes, and reasonably configuring an electrical isolation device in the closed-loop operating power distribution network, so as to configure local protection by taking the electrical isolation device as a boundary node. By means of the method, the problems of reasonable flow and optimal configuration of energy in a complex closed-loop operating power distribution network containing large-scale distributed power supplies can be effectively solved; and flexible scheduling, scheduling as required and optimal scheduling of energy can be realized on the premise of meeting the requirements of system security and reliability, so that a cost-effective solution is provided for an energy Internet at a level of constructing a power distribution network.

(57) 摘要:

[见续页]



WO 2016/141683 A1



(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)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。

一种适用于消纳大规模分布式电源的能源互联网的实现方法。该方法首先根据闭环运行配电网的网络结构、负荷特性和分布式电源并网情况选取配电网中能量需要优化分配的关键节点, 然后在已选取的关键节点之间优化配置双层次调控联络线, 并在闭环运行配电网中合理配置电气隔离装置, 以电气隔离装置为边界节点配置就地保护。该方法能够有效地解决含大规模分布式电源的闭环运行的复杂配电网中能量合理流动和优化分配的问题, 在满足系统安全可靠性的要求下实现能源的灵活调度、按需调度和优化调度, 为构建配电网层面上的能源互联网提供了一种经济有效的解决方案。

适用于消纳大规模分布式电源的能源互联网的实现方法

技术领域：

本发明涉及配电网技术领域，更具体涉及一种适用于消纳大规模分布式电源的能源互联网的实现方法。

背景技术：

传统配电网多采用“闭环设计、开环运行”的方式，潮流则根据电网拓扑结构的特点呈现自然分布。但随着大规模分布式电源并网以及更高供电可靠性的需求不断增强，未来配电网将逐渐发展为具有可再生、分布式、互联性、智能化等特征的能源互联网，实现广域范围内能源的灵活调度、按需调度和优化调度，满足大规模分布式电源的安全可靠接入与广域能源共享，保证系统的高供电可靠性以及良好的电能质量和经济效益。

对比上述未来配电网的新需求和新特征，现有电网的结构和实现方式存在问题：一方面，现有电网结构不具备能量的合理流动和优化分配的功能，无法实现广域范围内能源的灵活调度、按需调度和优化调度；另一方面，现有电网闭环运行或大量分布式电源并网后，短路电流过大，继电保护和安全自动装置无法满足系统安全可靠性的要求。

由于现有电网的结构和实现方式无法适应未来配电网的新需求和新特征，因此有必要提出一种能源互联网的实现方法来解决以下两个问题：1) 实现配电网中能量的合理流动和优化分配；2) 满足系统的安全可靠性的要求。

目前，解决配电网中能量的合理调节和分配问题的现有技术方案主要有以下两种：

(1) 在不同的区域电网之间设置联络线路，如新加坡“梅花状”的配电网中“花瓣”间的联络线路，从而实现区域电网之间的互联，提高系统的供电可靠性。但它仍存在以下不足之处，一方面区域电网之间只是通过简单的联络线实现互联，潮流仍呈现自然分布，且无法双向调节、按需调节和快速灵活调节；另一方面，由于区域内存在一些能量无法合理流动和分配的节点，因此无法实现区域内能源的灵活调度、按需调度和优化调度。

(2) 在原输电线路上加装柔性交流输电(FACTS)装置，解决输电网中局部潮流迂回等不合理分布的问题。但是，由于网络结构没有改变，FACTS 装置只能影响局部潮流分布的情况，无法解决广域范围内能源的灵活调度、按需调度和全局优化调度的问题。

此外，对于电网闭环运行或大量分布式电源并网后短路电流过大的问题，常用的限流措施是加装限流电抗器，但在减小短路电流的同时也会增大线路的电气距离，产生较大的电压降，降低电能质量，而且现有配电网中的继电保护方式也难以满足系统的安全

可靠性的要求。

发明内容：

本发明的目的是提供一种适用于消纳大规模分布式电源的能源互联网的实现方法，解决含大规模分布式电源的闭环运行的复杂配电网中能量合理流动和优化分配的问题，在满足系统安全可靠性的要求下实现能源的灵活调度、按需调度和优化调度。

为实现上述目的，本发明采用下述技术方案实现：一种适用于消纳大规模分布式电源的能源互联网的实现方法，该能源互联网为含大规模分布式电源的闭环运行的复杂配电网，所述方法包括：

根据闭环运行配电网的网络结构、负荷特性和分布式电源并网情况，选取配电网中能量需要优化分配的关键节点；

在已选取的关键节点之间优化配置双层次调控联络线，实现潮流的快速灵活调控和能量的优化分配；

在闭环运行配电网中配置电气隔离装置，实现闭环运行配电网中短路电流的限制和故障的隔离；

以所述电气隔离装置为边界节点配置就地保护，实现区域故障的诊断、隔离和自动恢复。

本发明提供一种适用于消纳大规模分布式电源的能源互联网的实现方法，所述的能量需要优化分配的关键节点包括：分布式电源的并网点或用户系统的公共连接点、网络中出现过负荷现象的节点、要求高供电可靠性的一级负荷或二级负荷节点、网络中的电压薄弱节点或出现过电压现象的节点。通过关键节点的选取能够解决闭环运行配电网中能量无法合理分配环节严重制约系统供电能力的问题。

本发明提供一种适用于消纳大规模分布式电源的能源互联网的实现方法，所述优化配置的双层次调控联络线包括：根据能量最优分配及投资运行经济性的原则通过优化规划法，在需要实现能源主动调度的供电区域内或区域间的两个以上关键节点之间搭建专用柔性潮流调控联络线，在需要实现能量自然平衡的供电区域内或区域间的两个以上关键节点之间搭建简单专用联络线，形成了双层次调控联络线的结构。在含大规模分布式电源的闭环运行的复杂配电网中，通过所述双层次调控联络线结构能够解决能量合理流动和优化分配的问题，实现广域范围内能源的灵活调度、按需调度和优化调度。

本发明提供一种适用于消纳大规模分布式电源的能源互联网的实现方法，根据潮流最优调控要求及投资运行经济性的原则通过优化计算得到所述专用柔性潮流调控联络线

上的柔性配电装置 D-FACTS 的安装位置和容量。

本发明提供一种适用于消纳大规模分布式电源的能源互联网的实现方法，所述专用柔性潮流调控联络线上的柔性配电装置 D-FACTS 选择统一潮流控制器 UPFC 或静止同步补偿器 STATCOM 或静止同步串联补偿器 SSSC 或晶闸管可控串联补偿器 TCSC。通过 D-FACTS 装置能够实现潮流的双向调节、按需调节和可控调节。

本发明提供一种适用于消纳大规模分布式电源的能源互联网的实现方法，确定所述电气隔离装置的安装位置的过程包括：

负荷加权计算，其中，负荷的加权系数根据负荷的重要性确定，一级负荷的加权系数最大，二级负荷次之，三级负荷的加权系数最小；

根据负荷均衡的原则对闭环运行线路划分区段；

校验区段间的电气距离是否满足保护灵敏度的要求，若不满足，则重新划分区段使其电气距离满足保护灵敏度的要求；

在所述区段分割点处安装电气隔离装置。通过所述过程能够实现不同区段的故障隔离和短路电流的限制，便于多级保护的配合，保证良好电压质量，还能达到防雷击、防干扰等效果。

本发明提供一种适用于消纳大规模分布式电源的能源互联网的实现方法，所述电气隔离装置的配置原则：供电回路中各个节点的可能流经的短路电流均应满足系统最大短路电流水平的要求；能够实现系统中可靠有效的故障隔离；能够满足系统安全保护的需要。

本发明提供一种适用于消纳大规模分布式电源的能源互联网的实现方法，所述电气隔离装置包括隔离变压器或电力电子变流装置。

本发明提供一种适用于消纳大规模分布式电源的能源互联网的实现方法，所述隔离变压器形式包括无载调压或有载调压或高阻抗或二次绕组分裂的隔离变压器或根据配电系统的电压及短路电流情况选择两种以上的所述隔离变压器形式的组合。若配电系统电压无法满足要求，可采用有载调压隔离变压器，保证良好的电压质量，否则，可采用无载调压隔离变压器；若系统短路电流无法满足要求，可采用高阻抗且二次绕组分裂的隔离变压器，减小短路电流；若系统电压和短路电流均无法满足要求，可采用有载调压高阻抗且二次绕组分裂的隔离变压器。

本发明提供一种适用于消纳大规模分布式电源的能源互联网的实现方法，所述电气隔离装置根据等效阻抗参数、安装容量参数和数量参数进行选择。

本发明提供一种适用于消纳大规模分布式电源的能源互联网的实现方法，所述电气隔离装置的等效阻抗参数、安装容量和数量的配置原则为：满足供电回路上各个线路区段的电气隔离的要求、供电回路中各个节点的可能流经的短路电流均满足电力系统最大短路电流水平的要求和在保证电力系统安全可靠运行的前提下，尽量满足全寿命周期内的经济性和投资合理性。

本发明提供一种适用于消纳大规模分布式电源的能源互联网的实现方法，以所述电气隔离装置为边界节点配置的就地保护的具体类型可以视配电网的具体情况而定，可以选择纵联差动保护或电流速断保护或过电流保护或过负荷保护或单相接地保护。此外，闭环运行的主供线路还应配置纵联差动保护，下游的辐射状分支线路可采用三段式电流保护。通过所述的继电保护实现可靠的多级保护配合以及区域故障的诊断、隔离和自动恢复。

和最接近的现有技术比，本发明提供技术方案具有以下有益效果：

1、本发明提供的技术方案通过双层次调控联络线的优化方法实现能源互联网中能量的主动调控和自然平衡，允许潮流双向调节、按需调节和快速灵活调节，潮流调控效果显著、可靠，有效地解决了含大规模分布式电源的闭环运行的复杂配电网中能量合理流动和优化分配的问题，从而实现能源的灵活调度、按需调度和优化调度，为构建配电网层面上的能源互联网提供了一种经济有效的解决方案；

2、本发明提供的技术方案能够很好地满足系统安全可靠性的要求，因为它既能够有效限制含大规模分布式电源的闭环运行的复杂配电网故障时的短路电流，保证良好的供电质量，又可以通过可靠的多级保护配合实现区域故障的诊断、隔离和自动恢复，同时还能达到防雷击、防干扰等效果；

3、本发明提供的技术方案简单有效，便于运行维护以及推广应用；

4、本发明提供的技术方案不仅能够充分调动和利用配电网中的各种分布式资源，提高配电网对分布式电源的接纳能力，为大规模分布式电源的安全接入提供了一种经济有效的解决方案，而且能够提高资产利用率，最大限度的发挥电网的供电能力，在保证供电质量和可靠性的前提下大大提高电网运行的经济性。

附图说明

图 1 为本发明提供的一种适用于消纳大规模分布式电源的能源互联网的实现方法的总体流程图；

图 2 为本发明提供的双层次调控联络线的结构示意图；

图 3 为本发明提供的适用于消纳大规模分布式电源的能源互联网的实现方法应用于手拉手单环网的结构示意图；

图4为本发明提供的适用于消纳大规模分布式电源的能源互联网的实现方法应用于三电源拉手环网的结构示意图。

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。

本发明提供的一种适用于消纳大规模分布式电源的能源互联网的实现方法的总体流程图如图 1 所示，该能源互联网络为含大规模分布式电源的闭环运行的复杂配电网，其具体实施方式如下：

1、根据闭环运行配电网的网络结构、负荷特性和分布式电源并网情况，选取配电网中能量需要优化分配的关键节点。

由于含大规模分布式电源的闭环运行配电网中存在一些能量无法合理流动和分配的节点，严重限制了闭环运行的复杂配电网的供电能力，所以选取它们作为配置专用联络线的关键节点。

配电网中能量需要优化分配的关键节点主要包括以下节点：1) 分布式电源的并网点或用户系统的公共连接点；2) 网络中无法长期持续满足用电需求的重负荷节点或者经常出现负荷现象的节点；3) 对供电可靠性要求比较高的重要负荷节点，一般为一级负荷或二级负荷节点；4) 系统中的薄弱节点，如系统中不满足电压稳定裕度要求的或经常出现过电压的节点；5) 其它能量需要优化分配的网络重要节点，如无法达到优化计算中能量分配指标要求的网络节点。

关键节点的合理选取是经济有效地配置专用联络线的基础，能够促进潮流的合理分布和能量的优化分配。

2、在已选取的关键节点之间优化配置双层次调控联络线，实现潮流的快速灵活调控和能量的优化分配，通过下述步骤建立双层次调控联络线的结构如图 2 所示：

①根据能量最优分配及投资运行经济性的原则通过优化规划法，在需要实现能源主动调度的供电区域内或区域间的两个以上关键节点之间搭建专用柔性潮流调控联络线；

②根据潮流最优调控要求及投资运行经济性的原则采用优化算法计算专用柔性潮流调控联络线上的 D-FACTS 的安装位置和容量；

③根据能量最优分配及投资运行经济性的原则通过优化规划法，在需要实现能量自然平衡的供电区域内或区域间的两个以上关键节点之间搭建简单专用联络线；

④ 为双层次调控联络线配置合理的线路保护。

步骤①和步骤③中可以通过优化规划的方法在重要供电区域内或区域间的两个以上关键节点之间搭建专用柔性潮流调控联络线实现能源的主动调度，在一般供电区域内或区域间的两个以上关键节点之间搭建简单专用联络线实现能量的自然平衡。其中，优化规划法的基本原则是：保证潮流的快速灵活调控；保证能量的合理流动和优化分配；保证专用联络线路在全寿命周期内的经济性和投资合理性。

步骤②中优化计算的基本要求是：在保证潮流快速灵活调控的前提下，应尽量满足 D-FACTS 装置在全寿命周期内的经济性；考虑电压静态特性的条件下，选择使 D-FACTS 装置容量最小的安装方案和控制策略。

双层次调控联络线包括专用柔性潮流调控联络线和简单专用联络线。专用柔性潮流调控联络线是指为了实现潮流的快速灵活调控而加装柔性配电（D-FACTS）装置的专用联络线路。其中 D-FACTS 装置包括统一潮流控制器（UPFC）、静止同步补偿器（STATCOM）、静止同步串联补偿器（SSSC）、晶闸管可控串联补偿器（TCSC）、静止无功补偿器（SVC）等。若在专用联络线路上加装的是 UPFC 装置，则称为含 UPFC 的专用柔性潮流调控联络线，以此类推，可得出含不同柔性配电装置的专用柔性潮流调控联络线。而简单专用联络线是指为了实现不同节点之间的联络而设置的专用线路，其中线路上不加装 D-FACTS 装置。它是与专用柔性潮流调控联络线相对的概念。

由此，在含大规模分布式电源的闭环运行的复杂配电网中，通过优化配置专用柔性潮流调控联络线和简单专用联络线形成双层次调控联络线的结构，解决能量合理流动和优化分配的问题，实现广域范围内能源的灵活调度、按需调度和优化调度。

3、在闭环运行配电网中合理配置电气隔离装置，实现闭环运行的配电网中短路电流的限制和故障的隔离，具体包括下述步骤：

① 依据负荷均衡和满足保护灵敏度的原则对闭环运行线路进行合理地划分区段，确定电气隔离装置的安装位置；

② 选择系统中所配置的电气隔离装置的具体类型；

③ 确定系统中所配置的电气隔离装置的具体参数。

电气隔离装置配置的总体原则：供电回路中各个节点的可能流经的短路电流均应满足系统最大短路电流水平的要求；能够实现系统中可靠有效的故障隔离；能够满足系统安全保护的需要。

步骤①中确定电气隔离装置的安装位置的方法：1）负荷加权计算；2）根据负荷均

衡的原则对闭环运行线路合理地划分区段；3）校验区段间的电气距离是否满足保护灵敏度的要求，若不满足，则重新划分区段使其电气距离满足保护灵敏度的要求；4）在所述区段分割点处安装电气隔离装置。其中，负荷的加权系数根据负荷的重要性确定，一级负荷的加权系数最大，二级负荷次之，三级负荷的加权系数最小。

步骤②中电气隔离装置可以采用隔离变压器或电力电子变流装置等具有电气隔离功能的设备。其中，隔离变压器可以采用以下基本形式：无载调压的隔离变压器、有载调压的隔离变压器、高阻抗的隔离变压器、二次绕组分裂的隔离变压器。也可以根据配电系统的电压及短路电流情况选择两种以上的所述隔离变压器形式的组合。若配电系统电压无法满足要求，可采用有载调压隔离变压器，保证良好的电压质量，否则，可采用无载调压隔离变压器；若系统短路电流无法满足要求，可采用高阻抗且二次绕组分裂的隔离变压器，减小短路电流；若系统电压和短路电流均无法满足要求，可采用有载调压高阻抗且二次绕组分裂的隔离变压器。若合理配置电气隔离装置后供电回路中节点的最大短路电流仍无法满足系统允许的短路电流水平的要求，可装设限流电抗器以减小短路电流，例如采用以下两种形式：1）一台限流电抗器与一台有载调压的隔离变压器；2）一台限流电抗器与两台隔离变压器，两台变压器中至少有一台有载调压的隔离变压器。这样既能够达到限制短路电流的目的，又可以保证良好的电能质量。

步骤③中电气隔离装置的参数选择主要考虑等效阻抗、安装容量和数量等。

为了有效地限制含大规模分布式电源的闭环运行的配电网故障时的短路电流，电气隔离装置的等效阻抗可以根据系统最大运行方式下可能流经该回路的最大短路电流确定，具体可由下式确定：

$$\begin{cases} I_d = m \cdot \frac{1}{X_{\Sigma}^* + X_{iso}^*} \cdot \frac{S_B}{\sqrt{3}U_B} \leq I_{\max_heat} \\ i_{ch} = \sqrt{2}K_{ch}I_d \leq I_{\max_dyna} \end{cases} \quad (1)$$

式中： I_d ——短路点的短路电流合成电流； m ——合成电流与正序电流的比值； X_{Σ}^* ——除电气隔离装置等效阻抗之外的合成阻抗标幺值； X_{iso}^* ——电气隔离装置等效阻抗的标幺值； S_B ——基准容量； U_B ——基准电压； $I_{\max_heat}$ ——设备允许的热稳定电流； i_{ch} ——短路时的冲击电流； K_{ch} ——冲击系数； $I_{\max_dyna}$ ——设备允许的动稳定电流。

若电气隔离装置本身的阻抗无法满足式（1）的要求，可以考虑在电气隔离装置附近装设限流电抗器。

电气隔离装置的安装容量和数量的配置原则：满足供电回路上各个线路区段的电气隔离的要求；供电回路中各个节点的可能流经的短路电流均应满足系统最大短路电流水

平的要求；在保证系统安全可靠运行的前提下，应尽可能满足全寿命周期内的经济性和投资合理性。

如果电气隔离装置选择隔离变压器，则隔离变压器的配置具体包括隔离变压器的选型、安装数量和位置的选择等。

隔离变压器的选型可以从容量、等效阻抗等方面考虑。隔离变压器的容量应根据该回路需要输送的最大容量确定，不仅要考虑现在的最大负荷情况，而且应该考虑未来 5~10 年的负荷发展情况。隔离变压器的等效阻抗可以参照式（1）确定。

隔离变压器的安装数量和位置的确定方法可以参照上述的电气隔离装置的安装数量和位置的确定法。

4、以电气隔离装置为边界节点配置就地保护，实现区域故障的诊断、隔离和自动恢复。

就地保护的具体类型可以视配电网的具体情况而定，如纵联差动保护、电流速断保护、过电流保护、过负荷保护、单相接地保护等。

此外，闭环运行的主供线路还应配置纵联差动保护，下游的辐射状分支线路可采用三段式电流保护。

实施例 1：

下面以手拉手单环网为例，对本发明的技术方案说明如下：

一个手拉手单环网由“两纵一横”的三条馈线组成，母线 I 和母线 II 可以是不同变电站或同一变电站的不同母线，也可以是同一变电站的同一母线，每条馈线划分为两个区段，编号为 L_1 、 L_2 、...、 L_6 ，节点 a 和 b 为分布式电源的并网点，节点 c 和 d 为无法长期持续满足用电需求的重负荷节点。本发明提供的适用于消纳大规模分布式电源的能源互联网的实现方法应用于手拉手单环网的结构示意图如图 3 所示。其中， L_7 为含 UPFC 的专用柔性潮流调控联络线， L_8 为简单专用联络线，二者构成了双层次调控联络线的结构。 L_7 上的 UPFC 装置一端通过变压器并联接入系统，另一端通过另一变压器串联接入系统。电气隔离装置采用有载调压高阻抗且二次绕组分裂的隔离变压器，六台隔离变压器的编号为 T_1 、 T_5 、 T_7 、 T_{10} 、 T_{13} 、 T_{14} 。本发明的技术方案包括下述实施步骤：

（1）根据手拉手单环网的网络结构、负荷特性和分布式电源并网情况，选取分布式电源的并网点（节点 a、b）和无法长期持续满足用电需求的重负荷节点（节点 c、d）作为能量需要优化分配的关键节点。

（2）采用配电网优化规划的方法，在重要供电区域内的两个关键节点 a 和 d 之间搭

建专用柔性潮流调控联络线实现能源的主动调度。

(3) 专用柔性潮流调控联络线上加装 UPFC 装置, UPFC 的一端通过变压器并联接入系统, 其另一端通过另一变压器串联接入系统, 在考虑电压静态特性的条件下, 选择使 UPFC 装置容量最小的安装方案和控制策略。

(4) 采用配电网优化规划的方法, 在一般供电区域内的两个关键节点 b 和 c 之间搭建简单专用联络线实现能量的自然平衡, 由此形成了双层次调控联络线的结构。

(5) 选择纵联差动保护作为双层次调控联络线的主保护, 纵联差动保护采用双通道的光纤电流差动保护, 并具有通道检测功能。

(6) 依据负荷均衡和满足保护灵敏度的原则对手拉手单环网进行合理地划分区段, 确定电气隔离装置的安装位置, 其中电气隔离装置采用有载调压高阻抗且二次绕组分裂的隔离变压器。

(7) 确定系统中所配置的隔离变压器的具体参数。隔离变压器的容量根据该回路需要输送的最大容量确定, 隔离变压器的等效阻抗和数量根据系统最大运行方式下可能流经该回路的最大短路电流确定, 具体可参照式 (1)。

(8) 以隔离变压器为边界节点配置就地保护, 具体包括纵联差动保护、过电流保护、过负荷保护和单相接地保护等。此外, 闭环运行的主供线路配置纵联差动保护, 下游的辐射状分支线路采用三段式电流保护。纵联差动保护采用双通道的光纤电流差动保护, 并具有通道检测功能。

实施例 2:

下面以三电源拉手环网为例, 对本发明的技术方案说明如下:

一个三电源拉手环网由“三纵一横”的四条馈线组成, 母线 I、II 和 III 可以是不同变电站或同一变电站的不同母线, 也可以是同一变电站的同一母线, 每条馈线划分为两个区段, 编号为 L_1 、 L_2 、...、 L_8 , 节点 a 和 c 为无法长期持续满足用电需求的重负荷节点, 节点 b 为分布式电源的并网点。本发明提供的适用于消纳大规模分布式电源的能源互联网的实现方法应用于三电源拉手环网的结构示意图如图 4 所示。其中, L_9 为含 UPFC 的专用柔性潮流调控联络线, L_{10} 为简单专用联络线, 二者构成了双层次调控联络线的结构。 L_9 上的 UPFC 装置一端通过变压器并联接入系统, 另一端通过另一变压器串联接入系统。电气隔离装置采用有载调压高阻抗且二次绕组分裂的隔离变压器, 八台隔离变压器的编号为 T_1 、 T_4 、 T_5 、 T_6 、 T_{10} 、 T_{11} 、 T_{13} 、 T_{14} 。本发明的技术方案包括下述实施步骤:

(1) 根据三电源拉手环网的网络结构、负荷特性和分布式电源并网情况, 选取分布

式电源的并网点（节点 b）和无法长期持续满足用电需求的重负荷节点（节点 a 和 c）作为能量需要优化分配的关键节点。

（2）采用配电网优化规划的方法，在重要供电区域内的两个关键节点 a 和 b 之间搭建专用柔性潮流调控联络线实现能源的主动调度。

（3）专用柔性潮流调控联络线上加装 UPFC 装置，UPFC 的一端通过变压器并联接入系统，其另一端通过另一变压器串联接入系统，在考虑电压静态特性的条件下，选择使 UPFC 装置容量最小的安装方案和控制策略。

（4）采用配电网优化规划的方法，在一般供电区域内的两个关键节点 b 和 c 之间搭建简单专用联络线实现能量的自然平衡，由此形成了双层次调控联络线的结构。

（5）选择纵联差动保护作为双层次调控联络线的主保护，纵联差动保护采用双通道的光纤电流差动保护，并具有通道检测功能。

（6）依据负荷均衡和满足保护灵敏度的原则对三电源拉手环网进行合理地划分区段，确定电气隔离装置的安装位置，其中电气隔离装置采用有载调压高阻抗且二次绕组分裂的隔离变压器。

（7）确定系统中所配置的隔离变压器的具体参数。隔离变压器的容量根据该回路需要输送的最大容量确定，隔离变压器的等效阻抗和数量根据系统最大运行方式下可能流经该回路的最大短路电流确定，具体可参照式（1）。

（8）以隔离变压器为边界节点配置就地保护，具体包括纵联差动保护、过电流保护、过负荷保护和单相接地保护等。此外，闭环运行的主供线路配置纵联差动保护，下游的辐射状分支线路采用三段式电流保护。纵联差动保护采用双通道的光纤电流差动保护，并具有通道检测功能。

最后应当说明的是：以上实施例仅用以说明本发明技术方案而非对其限制，所属领域的普通技术人员尽管参照上述实施例应当理解：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权利要求保护范围之内。

权 利 要 求

1、一种适用于消纳大规模分布式电源的能源互联网的实现方法，该能源互联网为含大规模分布式电源的闭环运行的复杂配电网，其特征在于：所述方法包括：

根据闭环运行配电网的网络结构、负荷特性和分布式电源并网情况，选取配电网中能量需要优化分配的关键节点；

在已选取的关键节点之间优化配置双层次调控联络线；

在闭环运行配电网中配置电气隔离装置；

以所述电气隔离装置为边界节点配置就地保护。

2、如权利要求1所述的一种适用于消纳大规模分布式电源的能源互联网的实现方法，其特征在于：所述的能量需要优化分配的关键节点包括：分布式电源的并网点或用户系统的公共连接点、网络中出现过负荷现象的节点、要求高供电可靠性的一级负荷或二级负荷节点、网络中的电压薄弱节点或出现过电压现象的节点。

3、如权利要求1所述的一种适用于消纳大规模分布式电源的能源互联网的实现方法，其特征在于：所述优化配置的双层次调控联络线包括：根据能量最优分配及投资运行经济性的原则通过优化规划法，在需要实现能源主动调度的供电区域内或区域间的两个以上关键节点之间搭建专用柔性潮流调控联络线，在需要实现能量自然平衡的供电区域内或区域间的两个以上关键节点之间搭建简单专用联络线，形成了双层次调控联络线的结构。

4、如权利要求3所述的一种适用于消纳大规模分布式电源的能源互联网的实现方法，其特征在于：根据潮流最优调控要求及投资运行经济性的原则通过优化计算得到所述专用柔性潮流调控联络线上的柔性配电装置 D-FACTS 的安装位置和容量。

5、如权利要求4所述的一种适用于消纳大规模分布式电源的能源互联网的实现方法，其特征在于：所述专用柔性潮流调控联络线上的柔性配电装置 D-FACTS 选择统一潮流控制器 UPFC 或静止同步补偿器 STATCOM 或静止同步串联补偿器 SSSC 或晶闸管可控串联补偿器 TCSC。

6、如权利要求1所述的一种适用于消纳大规模分布式电源的能源互联网的实现方法，其特征在于：确定所述电气隔离装置的安装位置的过程包括：

负荷加权计算；

根据负荷均衡的原则对闭环运行线路划分区段；

校验区段间的电气距离是否满足保护灵敏度的要求，若不满足，则重新划分区段使其电气距离满足保护灵敏度的要求；

在所述区段分割点处安装电气隔离装置。

7、如权利要求1或6所述的一种适用于消纳大规模分布式电源的能源互联网的实现方法，其特征在于：所述电气隔离装置包括隔离变压器或电力电子变流装置。

8、如权利要求7所述的一种适用于消纳大规模分布式电源的能源互联网的实现方法，其特征在于：所述隔离变压器形式包括无载调压或有载调压或高阻抗或二次绕组分裂的隔离变压器或根据配电系统的电压及短路电流情况选择两种以上的所述隔离变压器形式的组合。

9、如权利要求1或6所述的一种适用于消纳大规模分布式电源的能源互联网的实现方法，其特征在于：所述电气隔离装置根据等效阻抗参数、安装容量参数和数量参数进行选择。

10、如权利要求9所述的一种适用于消纳大规模分布式电源的能源互联网的实现方法，其特征在于：所述电气隔离装置的等效阻抗参数、安装容量和数量的配置原则为：满足供电回路上各个线路区段的电气隔离的要求、供电回路中各个节点的可能流经的短路电流均满足电力系统最大短路电流水平的要求和在保证电力系统安全可靠运行的前提下，尽量满足全寿命周期内的经济性和投资合理性。

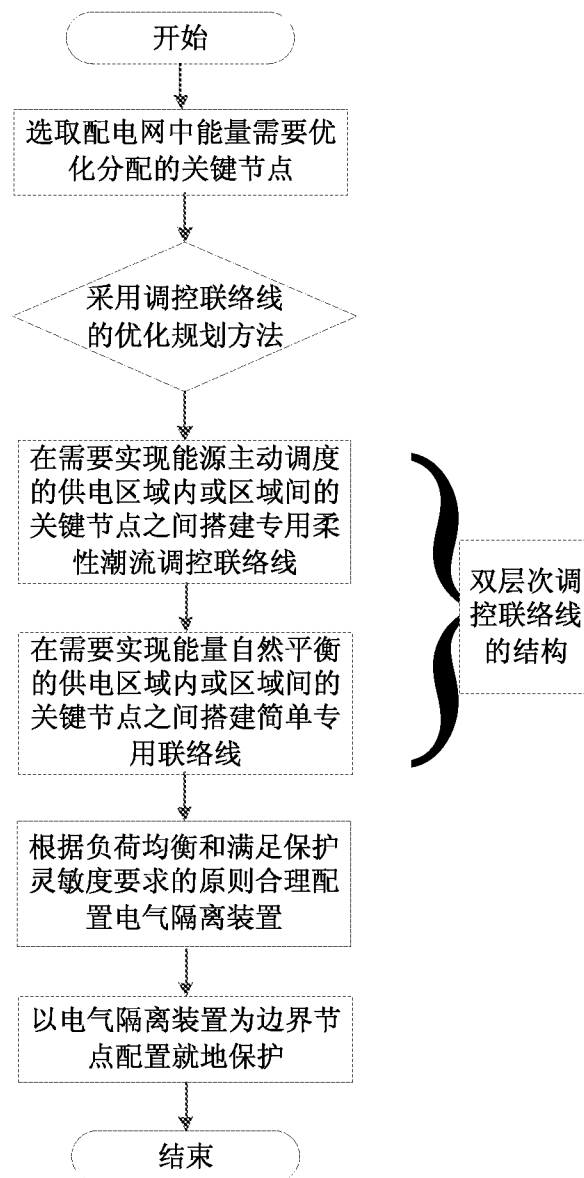


图 1

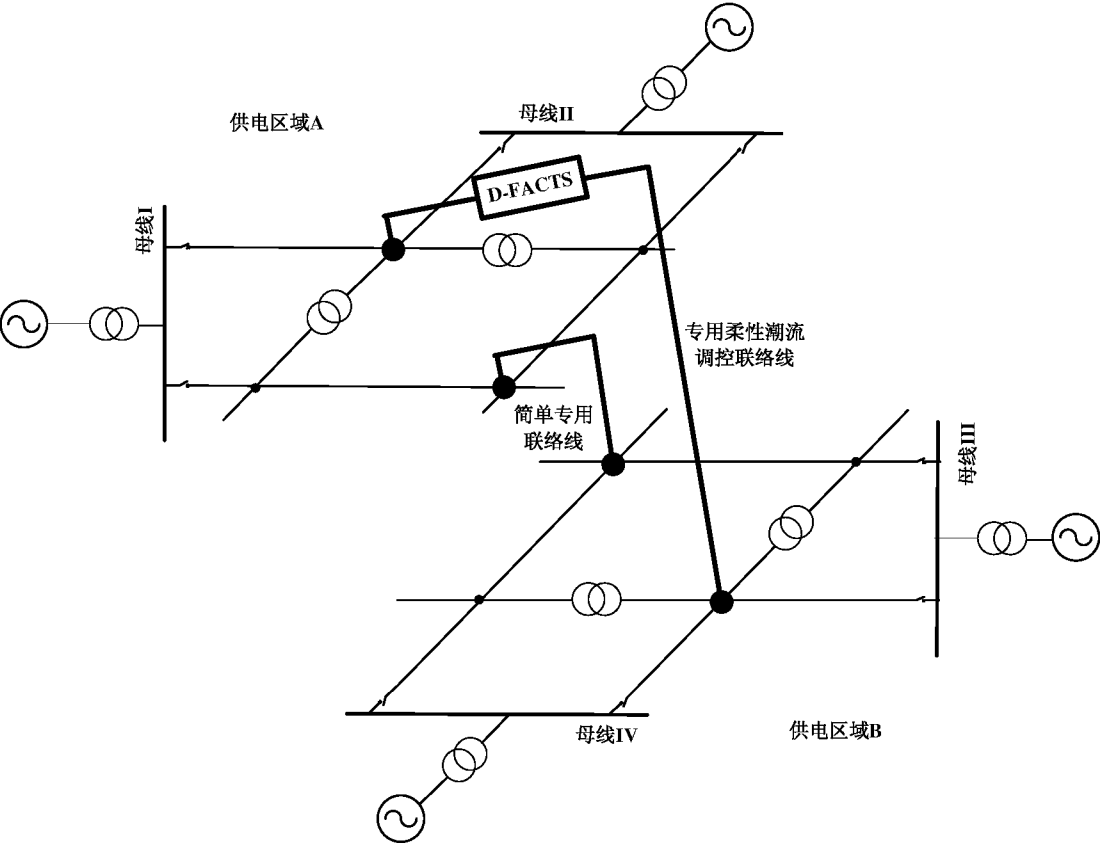


图 2

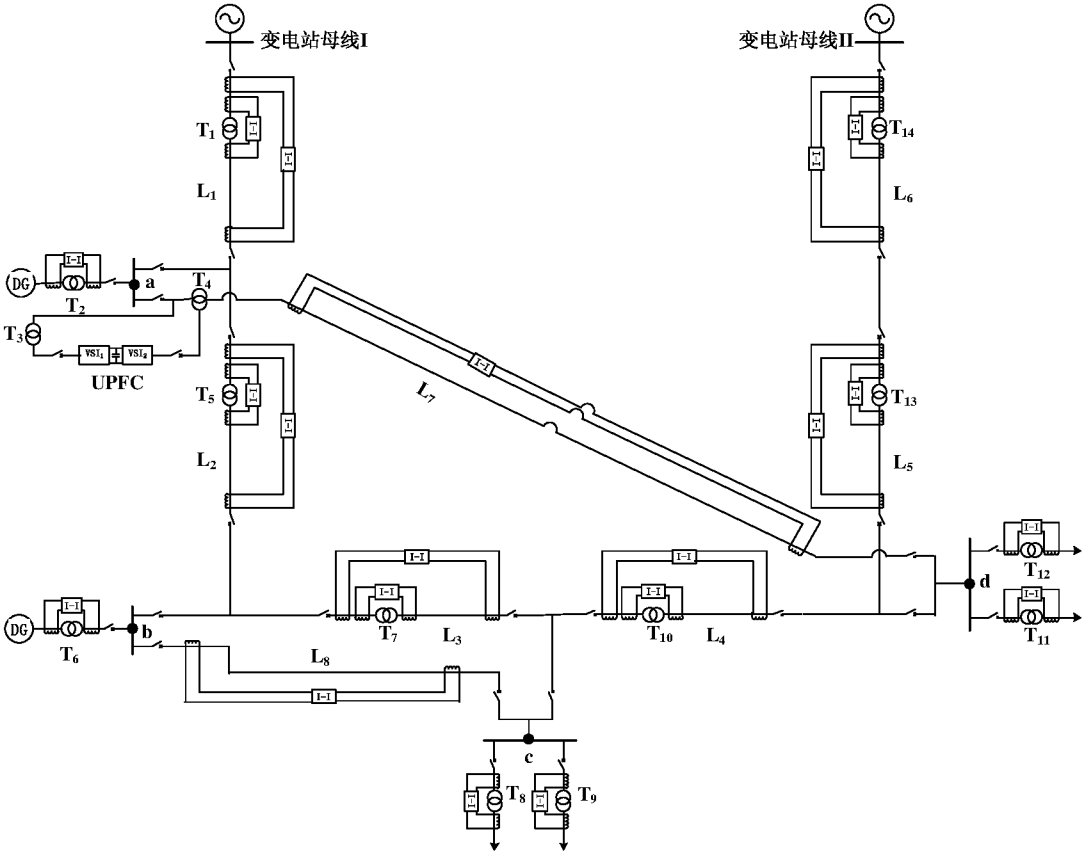


图 3

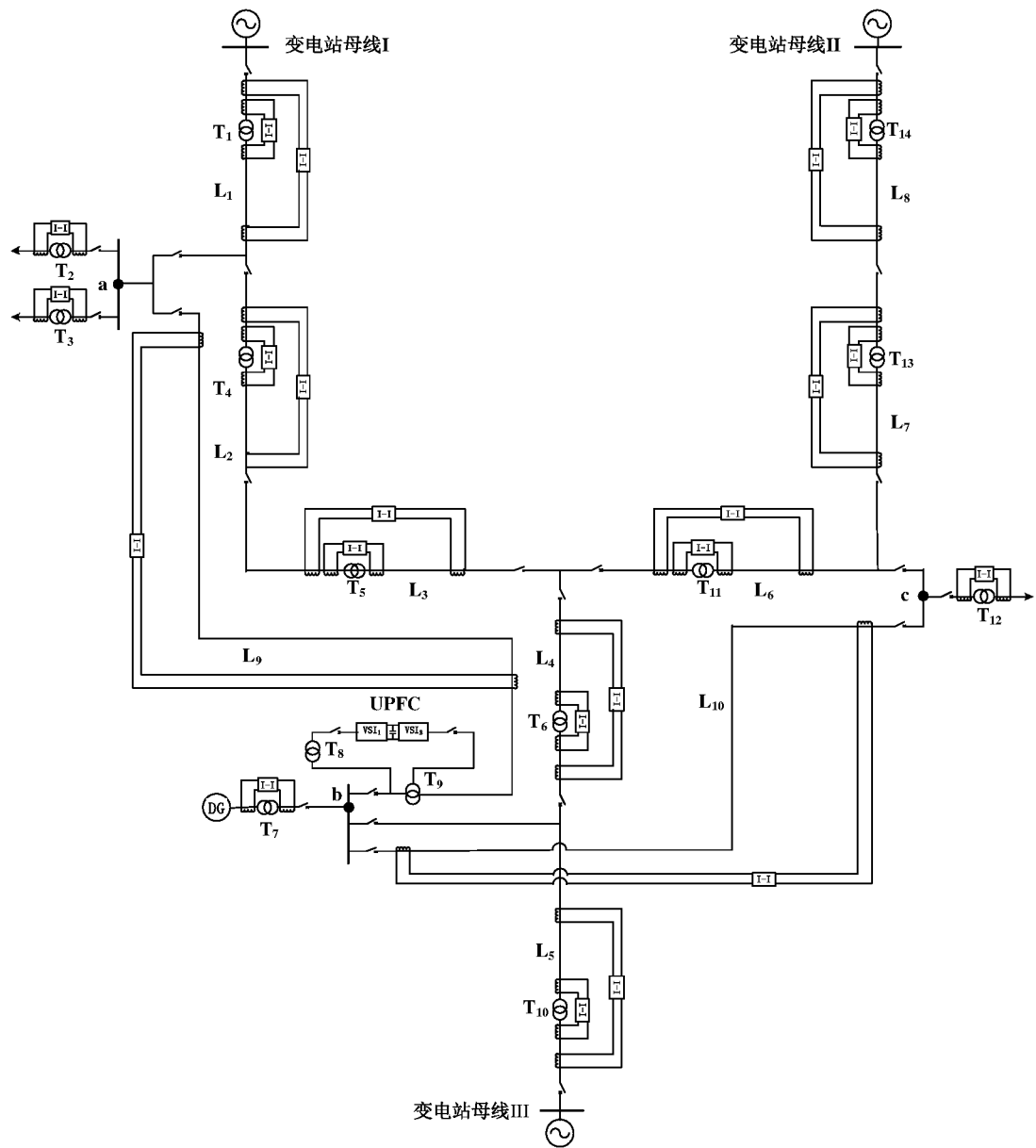


图 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2015/087811

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)

WPI, EPODOC, CNPAT, CNTXT, CNKI: distribute power supply, distribute network, connecting line, distribute, power supply, network, optimize, closed ring, load, control, protect

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 104659780 A (STATE GRID CORPORATION OF CHINA et al.), 27 May 2015 (27.05.2015), claims 1-10, description, pages 1-8, and figures 1-4	1-10
A	CN 103311953 A (ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE OF GUANGDONG POWER GRID CORPORATION et al.), 18 September 2013 (18.09.2013), description, paragraphs [0032]-[0056], and figures 1-2	1-10
A	CN 104361413 A (STATE GRID CORPORATION OF CHINA et al.), 18 February 2015 (18.02.2015), the whole document	1-10

☐ 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 17 November 2015 (17.11.2015)	Date of mailing of the international search report 01 December 2015 (01.12.2015)
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 HAN, Beibei Telephone No.: (86-10) 62089273

International application No.
PCT/CN2015/087811

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)) WPI, EPDOC, CNPAT, CNTXT, CNKI: 分布式电源, 配电网, 优化, 闭环, 负荷, 调控, 联络线, 保护, distribute, power supply, network, optimize, closed ring, load, control, protect		
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 104659780 A (国家电网公司等) 2015年 5月 27日 (2015 - 05 - 27) 权利要求1-10, 说明书第1-8页, 图1-4	1-10
A	CN 103311953 A (广东电网公司电力科学研究院等) 2013年 9月 18日 (2013 - 09 - 18) 说明书第[0032]-[0056]段, 图1-2	1-10
A	CN 104361413 A (国家电网公司等) 2015年 2月 18日 (2015 - 02 - 18) 全文	1-10
☐ 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 11月 17日		国际检索报告邮寄日期 2015年 12月 1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 韩蓓蓓 电话号码 (86-10)62089273

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2015/087811

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	104659780	A	2015年 5月 27日	无	
CN	103311953	A	2013年 9月 18日	CN 103311953	B 2015年 8月 5日
CN	104361413	A	2015年 2月 18日	无	