

(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
2014 年 10 月 23 日 (23.10.2014)



(10) 国际公布号
WO 2014/169709 A1

- (51) 国际专利分类号:
H02J 3/16 (2006.01) H02J 3/38 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2014/000421
- (22) 国际申请日: 2014 年 4 月 18 日 (18.04.2014)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201310136031.5 2013 年 4 月 18 日 (18.04.2013) 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)。 国网甘肃省电力公司 (STATE GRID GANSU ELECTRIC POWER CORPORATION) [CN/CN]; 中国甘肃省兰州市城关区北滨河东路 8 号, Gansu 730000 (CN)。 甘肃省电力公司风电技术中心 (GANSU ELECTRIC POWER CORPORATION WIND POWER TECHNOLOGY CENTER) [CN/CN]; 中国甘肃省兰州市七里河区西津东路 475 号, Gansu 730050 (CN)。 华北电

力大学 (NORTH CHINA ELECTRIC POWER UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国北京市昌平区回龙观镇北农路 2 号, Beijing 102206 (CN)。

- (72) 发明人: 汪宁渤 (WANG, Ningbo); 中国甘肃省兰州市七里河区西津东路 475 号, Gansu 730050 (CN)。 刘文颖 (LIU, Wenying); 中国甘肃省兰州市七里河区西津东路 475 号, Gansu 730050 (CN)。 靳丹 (JIN, Dan); 中国甘肃省兰州市七里河区西津东路 475 号, Gansu 730050 (CN)。 王佳明 (WANG, Jiaming); 中国甘肃省兰州市七里河区西津东路 475 号, Gansu 730050 (CN)。 马彦宏 (MA, Yanhong); 中国甘肃省兰州市七里河区西津东路 475 号, Gansu 730050 (CN)。 梁才 (LIANG, Cai); 中国甘肃省兰州市七里河区西津东路 475 号, Gansu 730050 (CN)。 赵龙 (ZHAO, Long); 中国甘肃省兰州市七里河区西津东路 475 号, Gansu 730050 (CN)。 李亚龙 (LI, Yalong); 中国甘肃省兰州市七里河区西津东路 475 号, Gansu 730050 (CN)。 周强 (ZHOU, Qiang); 中国甘肃省兰州市七里河区西津东路 475 号, Gansu 730050 (CN)。 文晶 (WEN, Jing); 中国甘肃省兰州市七里河区西津东路 475 号, Gansu 730050 (CN)。

[见续页]

(54) Title: REACTIVE VOLTAGE OPTIMIZATION CONTROL METHOD FOR CENTRALIZED GRID-INTEGRATION OF WIND POWER AND SOLAR POWER

(54) 发明名称: 风电和光电集中并网的无功电压优化控制方法

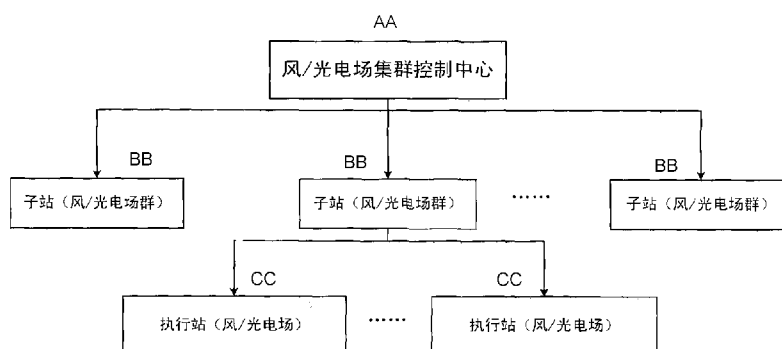


图 1 / FIG.1

AA Wind/solar power field cluster control center
BB Substation (wind/solar power field group)
CC Execution station (wind/solar power field)

(57) Abstract: Disclosed is a reactive voltage optimization control method for centralized grid-integration of wind power and solar power in the technical field of grid-integration control of wind power and solar power, comprising: an execution station used for controlling a single wind power field/solar power field is established, a substation used for controlling the execution station is established, and a main station used for controlling all substations is established; set voltage reference values (U_{ref}) of every substation are calculated by the main station; 3σ rule is employed for processing the U_{ref} , and a set voltage reference value range is acquired; substation high voltage-side bus voltages are adjusted to allow same to fall within the set voltage reference value range; and, if the substation high voltage-side bus voltages fail to fall within the set voltage reference value range, then an apparatus in the wind power field/solar power field is adjusted via the execution station. The present invention provides guidance for an electric power system in actual operation.

(57) 摘要:

[见续页]



WO 2014/169709 A1



黄蓉 (HUANG, Rong); 中国甘肃省兰州市七里河区西津东路 475 号, Gansu 730050 (CN)。**葛润东 (GE, Rundong)**; 中国甘肃省兰州市七里河区西津东路 475 号, Gansu 730050 (CN)。**李津 (LI, Jin)**; 中国甘肃省兰州市七里河区西津东路 475 号, Gansu 730050 (CN)。**徐鹏 (XU, Peng)**; 中国甘肃省兰州市七里河区西津东路 475 号, Gansu 730050 (CN)。

(74) **代理人: 北京中恒高博知识产权代理有限公司 (BEIJING CHINAGOURB INTELLECTUAL PROPERTY AGENT LTD.)**; 中国北京市朝阳区东土城路 8 号林达大厦 A 座 23 层 A 室, Beijing 100013 (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,

LT, 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, 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))。

本发明公开了风电和光电并网控制技术领域中的一种风电和光电集中并网的无功电压优化控制方法。包括: 设置用于控制单个风电场/光电场的执行站, 设置用于控制执行站的子站, 设置用于控制所有子站的主站; 主站计算每个子站的设定电压参考值 U_{ref} ; 采用 3σ 法处理设定电压参考值 U_{ref} , 得到设定电压参考值区间; 调节子站高压侧母线电压, 以使其落入设定电压参考值区间中; 如果子站高压侧母线电压未落入设定电压参考值区间中, 则通过执行站调节风电场/光电场中的设备。本发明为实际运行的电力系统提供了指导。

风电和光电集中并网的无功电压优化控制方法

技术领域

本发明属于风电和光电并网控制技术领域，尤其涉及一种风电和光电集中并网的无功电压优化控制方法。

背景技术

为改善能源结构，加强环保建设，大规模风/光伏发电基地陆续建成，形成了风/光电集中并网的运行模式。风/光电场集群化、规模化加剧了风/光电不稳定性对电网电压的影响，导致电压频繁波动，给无功电压优化控制层次衔接带来困难。因此建立一种适应大规模风/光电集中并网的无功电压优化控制模式具有重要意义。

目前，无功电压优化控制均没考虑大规模风/光电集中并网对电网电压的影响，需要建立一种适应大规模风/光电集中并网的无功电压优化控制模式。

发明内容

本发明的目的在于，提出一种风电和光电集中并网的无功电压优化控制方法，用于解决大规模风/光电集中并网的随机性和波动性对电网电压造成的影响，以提高电网电压的运行质量。

为了实现上述目的，本发明提出的技术方案是，一种风电和光电集中并网的无功电压优化控制方法，其特征是所述方法包括：

步骤 1：在单个风电场/光电场的汇集点设置用于控制单个风电场/光电场的执行站，在风电场/光电场的集群并网点设置用于控制执行站的子站，设置用于控制所有子站的主站；

步骤 2：主站通过子站和执行站采集每个风电场/光电场的电力数据，并根据采集的数据计算每个子站的设定电压参考值 U_{ref} ；

步骤 3：采用 3σ 法处理设定电压参考值 U_{ref} ，得到设定电压参考值区间 $[U_{ref-min}, U_{ref-max}]$ ；

步骤 4：调节子站高压侧母线电压，以使其落入设定电压参考值区间 $[U_{ref-min}, U_{ref-max}]$ 中；

步骤 5：如果子站高压侧母线电压未落入设定电压参考值区间 $[U_{ref-min}, U_{ref-max}]$ 中，则通过执行站调节风电场/光电场中的设备；具体是，当需要降低电压时，则减少容性补偿设备的投入和/或增加感性补偿设备的投入；当需要提高电压时，则增加容性补偿设备的投入和/或减少感性补偿设备的投入。

所述步骤 3 具体是：

步骤 101：将设定电压参考值 U_{ref} 作为数学期望 μ ，即令 $\mu = U_{ref}$ ；

步骤 102：计算子站的无功电压控制灵敏度 S ，其计算公式为 $S = (J_{QV} - J_{Q\theta} J_{P\theta}^{-1} J_{PV})$ ；其中 $J_{P\theta}$ 、 J_{PV} 、 $J_{Q\theta}$ 和 J_{QV} 分别为雅各比矩阵， $J_{P\theta}$ 为将 $\Delta P / \Delta \theta$ 的元素列在一起形成的雅各比矩阵， J_{PV} 为将 $\Delta P / \Delta V$ 的元素列在一起形成的雅各比矩阵， $J_{Q\theta}$ 为将 $\Delta Q / \Delta \theta$ 的元素列在一起形成的雅各比矩阵， J_{QV} 为将 $\Delta Q / \Delta V$ 的元素列在一起形成的雅各比矩阵， ΔP 、 ΔQ 、 $\Delta \theta$ 和 ΔV 分别为子站的有功微增量、无功微增量、电压相角微增量及幅值微增量；

步骤 103：确定每个子站的最小可调节设备的容量值 Q_{min} ；

步骤 104：根据公式 $\sigma = \sqrt{S^{-1} Q_{min}}$ 计算方差 σ ，将 $[\mu - 3\sigma, \mu + 3\sigma]$ 作为设定电压参考值区间。

本发明提供的控制方法，综合考虑了大规模风/光电集中接入系统后，电源频繁波动对无功电压优化控制的影响，通过全网优化进行分层控制，同时电压参考值的采用 3σ 法进行处理，使得优化控制模式能适应风/光电场电压频繁波动的特点，增加实施控制可行性，为实际运行的电力系统提供指导。

本发明的其它特征和优点将在随后的说明书中阐述，并且，部分地从说明书中变得显而易见，或者通过实施本发明而了解。本发明的目的和其他优点可通过在所写的说明书、权利要求书、以及附图中所特别指出的结构来实现和获得。

下面通过附图和实施例，对本发明的技术方案做进一步的详细描述。

附图说明

附图用来提供对本发明的进一步理解，并且构成说明书的一部分，与本发明的实施例一起用于解释本发明，并不构成对本发明的限制。在附图中：

图 1 是适应于大规模风电/光电集中并网的三级优化控制体系示意图；

图 2 是无功优化功能结构示意图；

图 3 无功电压三级优化控制模式示意图；

图 4 是一个含大规模风/光电基地的区域电力系统示意图；

图 5 是一个含大规模风/光电基地的三级无功电压控制结构图。

具体实施方式

以下结合附图对本发明的优选实施例进行说明，应当理解，此处所描述的优选实施例仅用于说明和解释本发明，并不用于限定本发明。

实施例 1

本发明提供的风电和光电集中并网的无功电压优化控制方法包括：

步骤 1：在单个风电场/光电场的汇集点设置用于控制单个风电场/光电场的执行站，在风电场/光电场的集群并网点设置用于控制执行站的子站，设置用于控制所有子站的主站。

在本发明中，主站可虚设，完成全网无功优化的目标；子站装设在风/光电场集群并网点，完成二级电压控制；执行站装设在单个风/光电场汇集点，完成一级电压控制。适应与大规模风电/光电集中并网的三级优化控制体系具体结构如图 1 所示。

步骤 2：主站通过子站和执行站采集每个风电场/光电场的电力数据，并根据采集的数据计算每个子站的设定电压参考值 U_{ref} 。

以牛拉法潮流计算作为基础，进行状态估计，利用改进微分进化算法计算以全网网损最小为目标的最优潮流分布。其中，主站计算 U_{ref} 的过程包括潮流计算、状态估计、优化计算。计算所用实时数据由 SCADA 系统提供。SCADA 系统将电网实时数据进行远方采集、处理，再提供给潮流计算、状态估计和优化计算，从而求取出 U_{ref} 。图 2 为无功优化功能体系示意图，图 3 为无功电压三级优化控制模式示意图。

步骤 3：采用 3σ 法处理设定电压参考值 U_{ref} ，得到设定电压参考值区间 $[U_{ref-min}, U_{ref-max}]$ 。

首先近似认为电压微小波动符合正态分布规律，基于正态分布 3σ 法，得出置信度为 99% 的执行区间 $[\mu - 3\sigma, \mu + 3\sigma]$ 。在此区间内认为电压波动微小，不需要进行电压优化调整，超出此范围才进行优化调整。

采用 3σ 法处理设定电压参考值 U_{ref} 的过程具体是：

步骤 101：将设定电压参考值 U_{ref} 作为数学期望 μ ，即令 $\mu = U_{ref}$ 。

步骤 102：利用公式：

$$S = (J_{QV} - J_{Q\theta} J_{P\theta}^{-1} J_{PV}) \quad (1) ;$$

计算子站的无功电压控制灵敏度 S ，其中

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_{P\theta} & J_{PV} \\ J_{Q\theta} & J_{QV} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \theta \\ \Delta V \end{bmatrix} \quad (2) ;$$

$$\Delta Q = (J_{QV} - J_{Q\theta} J_{P\theta}^{-1} J_{PV}) \Delta V \quad (3) ;$$

公式 (1)、(2) 和 (3) 中， $J_{P\theta}$ 、 J_{PV} 、 $J_{Q\theta}$ 和 J_{QV} 分别为雅各比矩阵， $J_{P\theta}$ 为将 $\Delta P / \Delta \theta$ 的元素列在一起形成的雅各比矩阵， J_{PV} 为将 $\Delta P / \Delta V$ 的元素列在一起形成的雅各比矩阵， $J_{Q\theta}$ 为将 $\Delta Q / \Delta \theta$ 的元素列在一起形成的雅各比矩阵， J_{QV} 为将 $\Delta Q / \Delta V$ 的元素列在一起形成的雅各比矩阵， ΔP 、 ΔQ 、 $\Delta \theta$ 和 ΔV 分别为子站的有功微增量、无功微增量、电压相角微增量及幅值微增量。雅各比矩阵中的各元素是由网络结构自身决定，已知特定电网的电抗等网络参数和拓扑结构时，利用节点电压法等方法即可求取。

步骤 103：确定每个子站的最小可调节设备的容量值 Q_{min} 。

实际电网中每一个子站都安装有不同的无功补偿设备，其中电容电抗器等设备为阶跃式调节，有固定容量和可调节方式。 Q_{min} 就是指某一个子站中可以调节的最小的一个设备的容量。主站可通过 SCADA 系统软件来召唤每个子站无功补偿设备详细信

息，从而获得 $Q_{\min}$ 值。

步骤 104：根据公式 $\sigma = \sqrt{S^{-1}Q_{\min}}$ 计算方差 σ ，将 $[\mu - 3\sigma, \mu + 3\sigma]$ 作为设定电压参考值区间。

在步骤 3 中，法指：在以 μ 为数学期望， σ 为标准差的正态分布中，符合正态分布的概率密度函数落在以 μ 为中心， 3σ 为长度的区间内的概率大于 99.7%。因此将这种用 μ 为中心， 3σ 为长度的区间来近似代表整个正态函数的概率密度分布的方法简称 3σ 法。本申请中认为电压运行波动符合以 σ 为标准差的正太分布规律，则运行电压落在此区间的概率大于 99.7%，可用此区间作为电压参考值区间代替电压参考值；

在步骤 3 中，当需要降低电压时，则减少容性补偿设备的投入和/或增加感性补偿设备的投入；当需要提高电压时，则增加容性补偿设备的投入和/或减少感性补偿设备的投入；其中，电压的判断依据是子站电压是否落在 $[\mu - 3\sigma, \mu + 3\sigma]$ 区间之内，若落在其中，则不需要调节；否则当子站电压大于 $\mu + 3\sigma$ 时，需要降低电压，当子站电压小于 $\mu - 3\sigma$ 时，需要提高电压。

步骤 4：调节子站高压侧母线电压，以使其落入设定电压参考值区间 $[U_{ref-\min}, U_{ref-\max}]$ 中。

子站调节为就地调节，调节方式种类可多样，其中一种是按照无功补偿设备响应时间快慢来选择设备动作的先后顺序，调节的对象为 SVG（静止无功发生器）、SVC（静止式无功补偿装置）、电容电抗器等无功补偿设备。

子站调节是一个连续循环过程，可以在中间设置间断点，即如果电压合格（即子站高压侧母线电压落在区域 $[U_{ref-\min}, U_{ref-\max}]$ ）或者无功补偿设备调节容量用尽，则停止调节。

在步骤 4 中，调节子站电压是通过调节子站自有的无功补偿设备来实现的，调节子站电压的具体过程可以依据子站无功补偿设备调节策略来执行，策略可根据实际情况制定，种类多样，如根据无功补偿设备的动作时间快慢来制定的某子站调节策略为首先调节 SVC，其次调节电容电抗器，最后调节变压器分接头；

步骤 5：如果子站高压侧母线电压未落入设定电压参考值区间

$[U_{ref-min}, U_{ref-max}]$ 中, 则通过执行站调节风电场/光电场中的设备; 具体是, 当需要降低电压时, 则减少容性补偿设备的投入和/或增加感性补偿设备的投入; 当需要提高电压时, 则增加容性补偿设备的投入和/或减少感性补偿设备的投入。

当子站调节措施使用完毕, 但电压仍超出范围 $[U_{ref-min}, U_{ref-max}]$, 由子站向下级执行站发令, 进行一级电压调控。调控设备包括电容电抗、SVC (静止式无功补偿装置) /SVG (静止无功发生器) 及风/光电发电机自身调节系统。电容电抗、SVC (静止式无功补偿装置) /SVG (静止无功发生器) 及风/光电发电机自身调节系统均具有接收指令的控制接口, 当其中一个接收到调节命令 (目标电压值) 后, 可以根据子站高压侧母线电压的高低进行调节。具体调节过程为实际电压值高于目标电压值时, 减少容性补偿设备的投入或增加感性补偿设备的投入, 反之亦然。调节到实际电压值与目标电压值之差小于设定门槛值时即可满足要求, 停止调节或者直到所有调节设备容量用尽为止。

实施例 2

图 4 是一个含大规模风/光电基地的区域电力系统示意图, 以此为例, 本发明提供的无功电压优化控制方法包括:

步骤 1: 根据图 4 所示实际电网网架结构, 建立三级无功优化控制体系, 如图 5 所示。

步骤 2: 全网无功优化计算。在大规模风/光电入网无功综合优化控制主站进行状态估计、潮流计算及优化计算, 得到 9 个子站的电压调控参考值 $U_{ref1} - U_{ref9}$ 。

步骤 3: 采用 3σ 法处理 U_{ref} 。基于步骤 2 潮流计算结果, 计算 9 个子站的无功电压灵敏度系数 S_1-S_9 , 再计算每个子站的最小可调节无功补偿设备 $Q_{min1}-Q_{min9}$, 从而计算出 $\sigma_1 - \sigma_9$, 最终得到 9 个子站各自的电压调节控制区间 $[U_{ref-min}, U_{ref-max}]$ 。

步骤 4: 二级电压调控。以设定参考值区间为调控目标进行, 当子站电压超出范围 $[U_{ref-min}, U_{ref-max}]$ 时, 进行子站调节, 直至满足此电压范围。其中子站电压是指子站高压侧母线电压。

步骤 5：一级电压调控。当子站调节措施使用完毕但电压仍超出区间 $[U_{ref-min}, U_{ref-max}]$ 时，由子站向下级执行站发令，进行一级电压调控，即通过执行站对设备进行调控。调控设备包括电容电抗、SVC（静止式无功补偿装置）/SVG（静止无功发生器）及风/光电发电机自身调节系统。

根据上述方法对图 4 所示案例进行计算分析，结果如表 1，表 2 所示。

表 1：无功优化子站电压参考值计算结果

子站 参数	干北	干西	干东	桥北	桥湾	桥西	红柳	玉门	瓜州
Uref	354	356	357	355	357	352	356	352	357
Urefmin	352	353	355	354	355	351	353	350	355
Urefmax	356	359	359	356	359	353	359	354	359

表 2：电压调控子站无功补偿设备动作次数/天统计结果

子站 调节次数	干北	干西	干东	桥北	桥湾	桥西	红柳	玉门	瓜州
Uref 调节	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10
[Urefmin , Urefmax] 调节	3	2	2	4	2	1	3	2	2

上述实例分析表明：本方法克服了传统无功优化控制模式中电压调控参考值固定的问题，从而能适应大规模风/光电集中接入电网时，系统电压频繁波动的情况，在顾忌调节效果的同时，减少了无功补偿设备调节动作的次数。为大规模风/光电集中接入的电网优化运行提供指导。

最后应说明的是：以上所述仅为本发明的优选实施例而已，并不用于限制本发明，尽管参照前述实施例对本发明进行了详细的说明，对于本领域的技术人员来说，其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改，或者对其中部分技术特征进行等同替换。凡在本发明的精神和原则之内，所作的任何修改、等同替换、改进等，均应包含在本发明的保护范围之内。

权利要求书

1. 一种风电和光电集中并网的无功电压优化控制方法，其特征是所述方法包括：

步骤 1：在单个风电场/光电场的汇集点设置用于控制单个风电场/光电场的执行站，在风电场/光电场的集群并网点设置用于控制执行站的子站，设置用于控制所有子站的主站；

步骤 2：主站通过子站和执行站采集每个风电场/光电场的电力数据，并根据采集的数据计算每个子站的设定电压参考值 U_{ref} ；

步骤 3：采用 3σ 法处理设定电压参考值 U_{ref} ，得到设定电压参考值区间 $[U_{ref-min}, U_{ref-max}]$ ；

步骤 4：调节子站高压侧母线电压，以使其落入设定电压参考值区间 $[U_{ref-min}, U_{ref-max}]$ 中；

步骤 5：如果子站高压侧母线电压未落入设定电压参考值区间 $[U_{ref-min}, U_{ref-max}]$ 中，则通过执行站调节风电场/光电场中的设备。

2. 根据权利要求 1 所述的优化控制方法，其特征是所述步骤 3 具体是：

步骤 101：将设定电压参考值 U_{ref} 作为数学期望 μ ，即令 $\mu = U_{ref}$ ；

步骤 102：计算子站的无功电压控制灵敏度 S ，其计算公式为：

$$S = (J_{QV} - J_{Q\theta} J_{P\theta}^{-1} J_{PV})$$
；其中 $J_{P\theta}$ 、 J_{PV} 、 $J_{Q\theta}$ 和 J_{QV} 分别为雅各比矩阵， $J_{P\theta}$ 为将 $\Delta P / \Delta \theta$ 的元素列在一起形成的雅各比矩阵， J_{PV} 为将 $\Delta P / \Delta V$ 的元素列在一起形成的雅各比矩阵， $J_{Q\theta}$ 为将 $\Delta Q / \Delta \theta$ 的元素列在一起形成的雅各比矩阵， J_{QV} 为将 $\Delta Q / \Delta V$ 的元素列在一起形成的雅各比矩阵， ΔP 、 ΔQ 、 $\Delta \theta$ 和 ΔV 分别为子站的有功微增量、无功微增量、电压相角微增量及幅值微增量；

步骤 103：确定每个子站的最小可调节设备的容量值 Q_{min} ；

步骤 104: 根据公式 $\sigma = \sqrt{S^{-1}Q_{\min}}$ 计算方差 σ , 将 $[\mu - 3\sigma, \mu + 3\sigma]$ 作为设定电压参考值区间。

3. 根据权利要求 1 或 2 所述的优化控制方法, 其特征是所述步骤 3 具体是:

当需要降低电压时, 则减少容性补偿设备的投入和/或增加感性补偿设备的投入;
当需要提高电压时, 则增加容性补偿设备的投入和/或减少感性补偿设备的投入;

其中, 电压的判断依据是子站电压是否落在 $[\mu - 3\sigma, \mu + 3\sigma]$ 区间之内, 若落在其中, 则不需要调节; 否则当子站电压大于 $\mu + 3\sigma$ 时, 需要降低电压, 当子站电压小于 $\mu - 3\sigma$ 时, 需要提高电压。

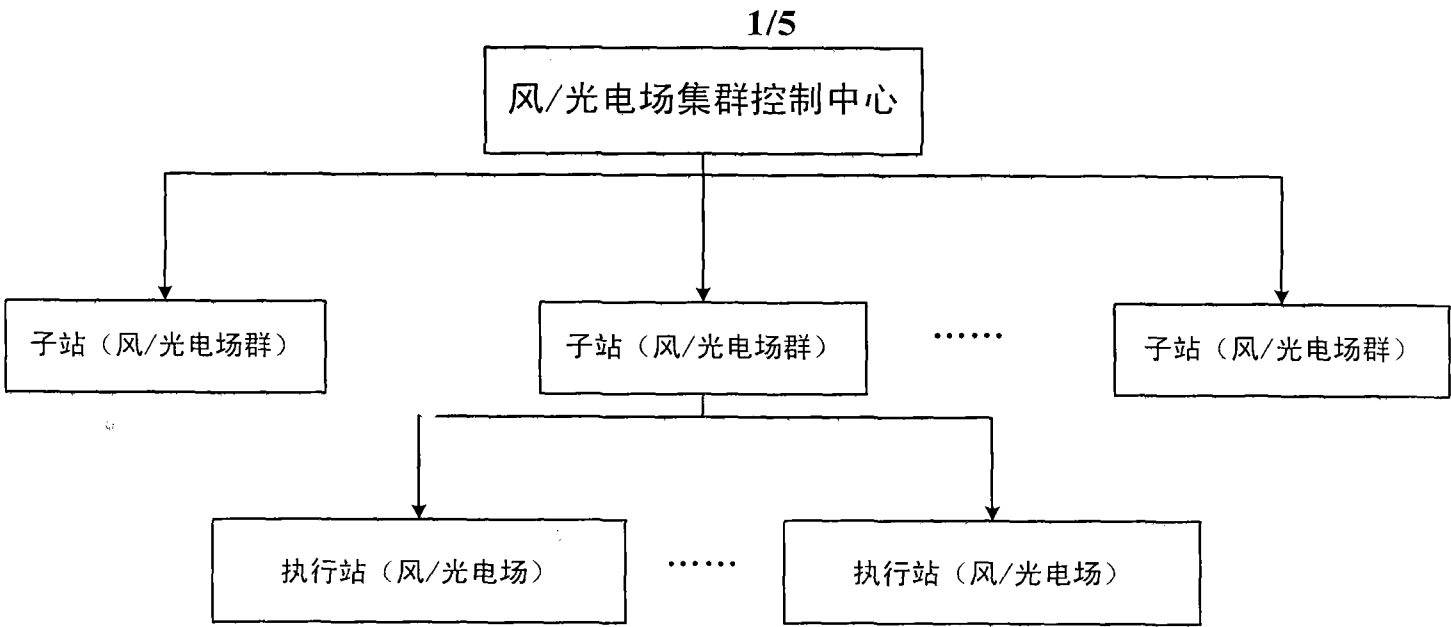


图 1

2/5

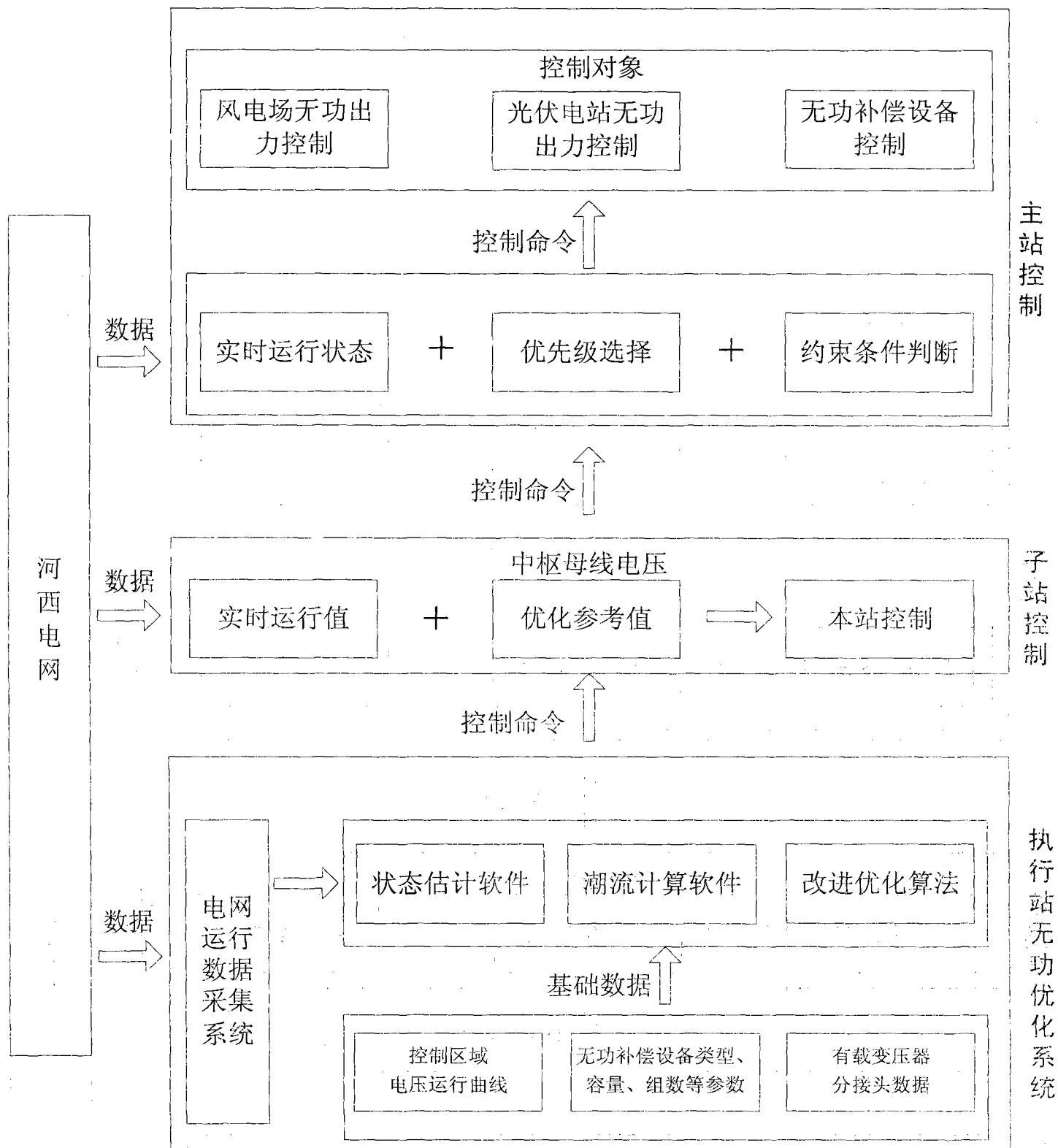


图 2

3/5

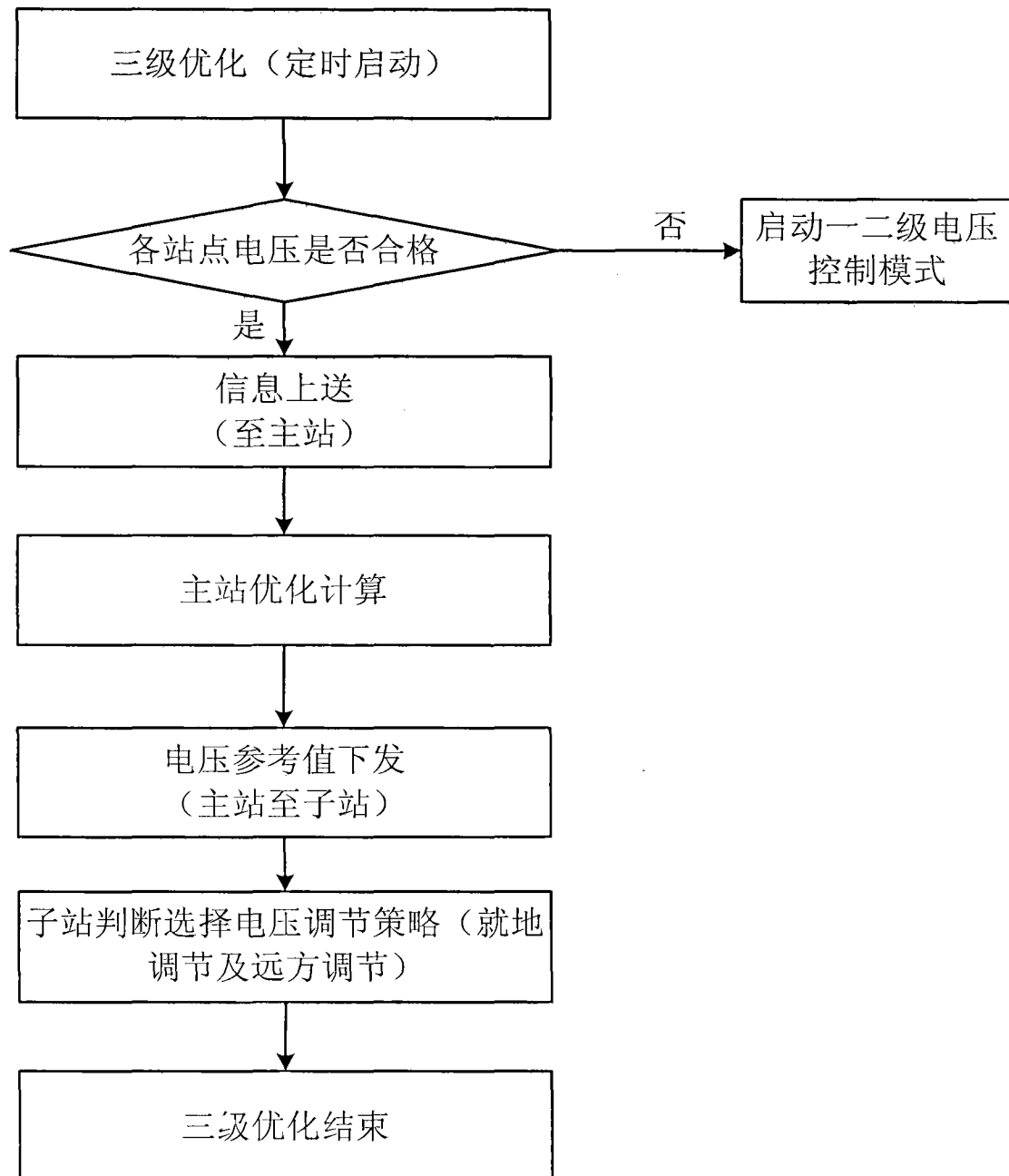


图 3

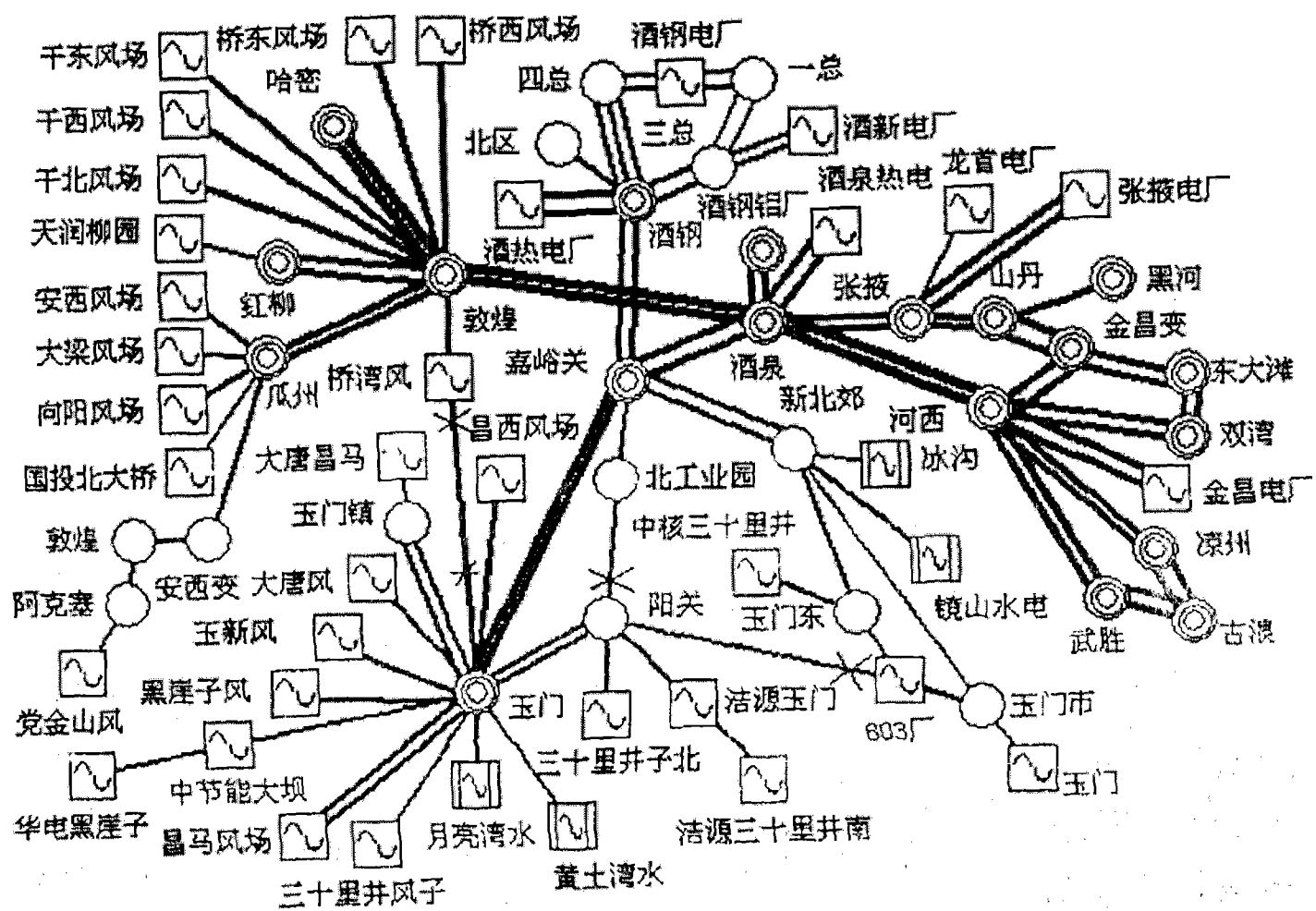


图 4

5/5

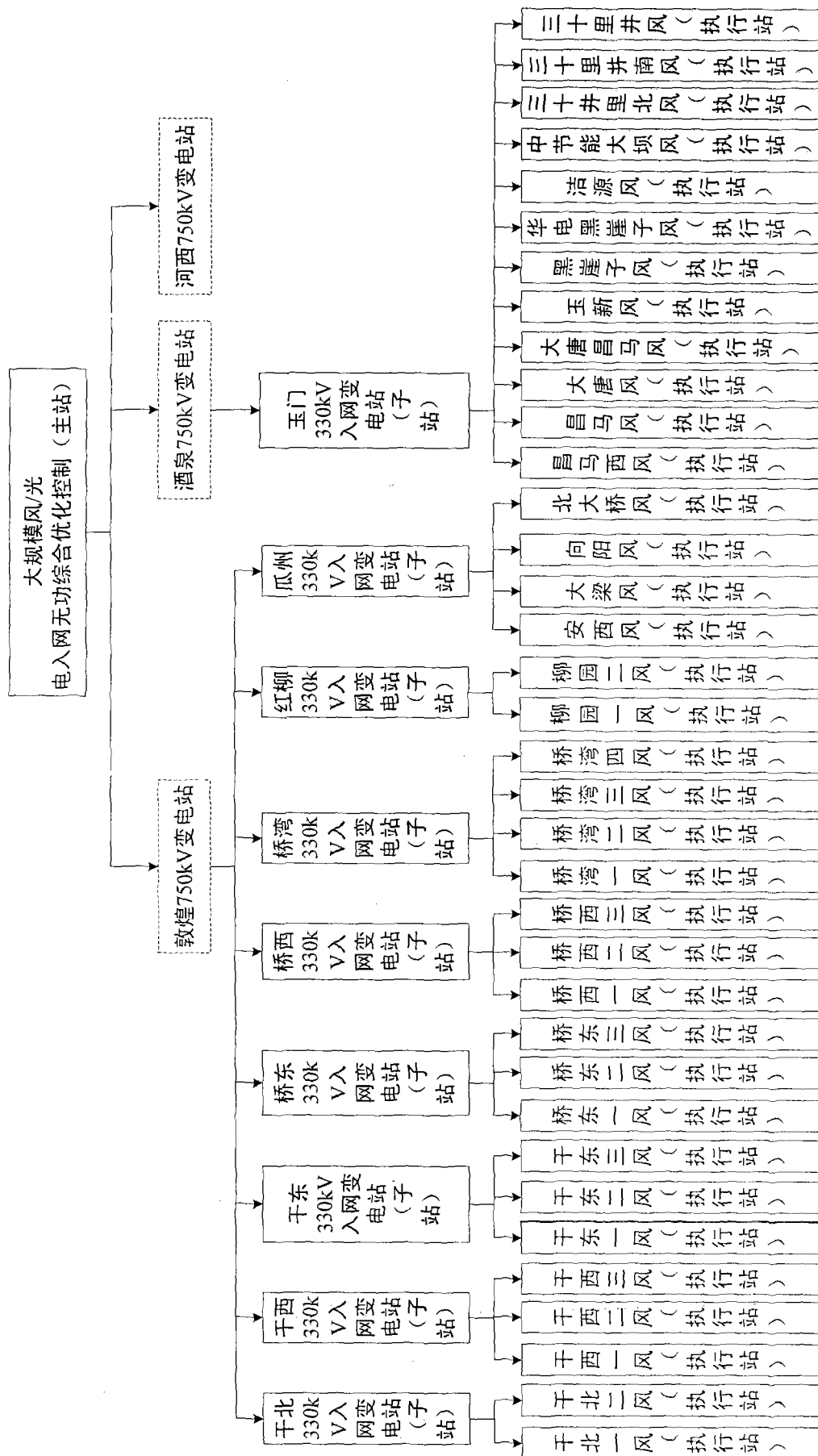


图 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2014/000421

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02J 3/16 (2006.01) i; H02J 3/38 (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)

CNABS, CNTXT, CNKI, WPI, EPODOC, IEEE: wind power generation, solar energy, wind w power, photovoltaic, reactive w power, voltage, optimiz+, hierarchical

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	LIANG, Jifeng. "Research on Reactive Voltage Characteristics and Control of Grid Based on Large Scale Wind Power Concentrated Access". CHINA MASTER'S THESES FULL-TEXT DATABASE (ELECTRONIC JOURNALS), number 1, 15 January 2013 (15.01.2013), sections 2.4-2.5, chapters 3-4	1, 3
PX	CN 103208803 A (STATE GRID CORPORATION OF CHINA et al.), 17 July 2013 (17.07.2013), claims 1-2	1-3
A	CN 102684207 A (ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE OF GANSU ELECTRIC POWER CORP. et al.), 19 September 2012 (19.09.2012), the whole document	1-3
A	CN 102570471 A (SHANDONG UNIVERSITY et al.), 11 July 2012 (11.07.2012), the whole document	1-3
A	US 2010025994 A1 (GENERAL ELECTRIC CO.), 04 February 2010 (04.02.2010), 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 02 July 2014 (02.07.2014)	Date of mailing of the international search report 16 July 2014 (16.07.2014)
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 LI, Wei Telephone No.: (86-10) 61648117

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2014/000421

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 103208803 A	17.07.2013	None	
CN 102684207 A	19.09.2012	WO 2013174145 A1	28.11.2013
CN 102570471 A	11.07.2012	None	
US 2010025994 A1	04.02.2010	EP 2161444 A2	10.03.2010
		US 7839024 B2	23.11.2010
		CN 101640419 A	03.02.2010

A. 主题的分类		
H02J 3/16(2006.01)i; H02J 3/38(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))		
CNABS, CNTXT, CNKI, WPI, EPODOC, IEEE, 光伏, 风电, 风力发电, 太阳能, 电压, 无功, 优化, 分层, wind w power, photovoltaic, reactive w power, voltage, optimiz+, hierarchical		
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
X	梁纪峰. “基于大规模风电集中接入电网的无功电压特性及控制研究” 《中国优秀硕士学位论文全文数据库(电子期刊)》, 第1期, 2013年 1月 15日 (2013 - 01 - 15), 第2.4-2.5节, 第3-4章	1, 3
PX	CN 103208803A (国家电网公司等) 2013年 7月 17日 (2013 - 07 - 17) 权利要求1-2	1-3
A	CN 102684207A (甘肃省电力公司电力科学研究院等) 2012年 9月 19日 (2012 - 09 - 19) 全文	1-3
A	CN 102570471A (山东大学等) 2012年 7月 11日 (2012 - 07 - 11) 全文	1-3
A	US 2010025994A1 (GENERAL ELECTRIC CO.) 2010年 2月 04日 (2010 - 02 - 04) 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		国际检索报告邮寄日期
2014年 7月 02日		2014年 7月 16日
ISA/CN的名称和邮寄地址		受权官员
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		李炜
传真号 (86-10)62019451		电话号码 (86-10)61648117

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2014/000421

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	103208803A	2013年 7月 17日	无		
CN	102684207A	2012年 9月 19日	WO	2013174145A1	2013年 11月 28日
CN	102570471A	2012年 7月 11日	无		
US	2010025994A1	2010年 2月 04日	EP	2161444A2	2010年 3月 10日
			US	7839024B2	2010年 11月 23日
			CN	101640419A	2010年 2月 03日