(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 9 月 8 日 (08.09.2017)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2017/148252 A1

(51) 国际专利分类号:
H02J 3/38 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2017/073115

(22) 国际申请日: 2017 年 2 月 8 日 (08.02.2017)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201610114252.6 2016 年 3 月 1 日 (01.03.2016) CN

(71) 申请人: **甘肃省电力公司风电技术中心 (WIND POWER TECHNOLOGY CENTER OF GANSU ELECTRIC POWER COMPANY)** [CN/CN]; 中国甘肃省兰州市七里河区西津东路 648 号, Gansu 730050 (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)。 **国网甘肃省电力公司 (GANSU ELECTRIC POWER COMPANY OF STATE GRID)** [CN/CN]; 中国甘肃省兰州市城关区北滨河东路 8 号, Gansu 730046 (CN)。 **上海交通大学 (SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY)** [CN/CN]; 中国上海市闵行区东川路 800 号, Shanghai 200240 (CN)。

(72) 发明人: **汪宁渤 (WANG, Ningbo)**; 中国甘肃省兰州市安宁区万新北路 249 号, Gansu 730070 (CN)。 **路亮 (LU, Liang)**; 中国甘肃省兰州市安宁区万新北路 249 号, Gansu 730070 (CN)。 **丁坤 (DING, Kun)**; 中国甘肃省兰州市安宁区万新北路 249 号, Gansu 730070 (CN)。 **周识远 (ZHOU, Shiyuan)**; 中国甘肃省兰州市安宁区万新北路 249 号, Gansu 730070 (CN)。 **张琛 (ZHANG, Chen)**; 中国上海市闵行区东川路 800 号, Shanghai 200240 (CN)。 **李津 (LI, Jin)**; 中国甘肃省兰州市安宁区万新北路 249 号, Gansu 730070 (CN)。 **李征 (LI, Zheng)**; 中国上海市闵行区东川路 800 号, Shanghai 200240 (CN)。 **摆念宗 (BAI, Nianzong)**; 中国甘肃省兰州市安宁区万新北路 249 号, Gansu 730070 (CN)。 **陟晶 (ZHI, Jing)**; 中国甘肃省兰州市安宁区万新北路 249 号, Gansu 730070 (CN)。 **蔡旭 (CAI, Xu)**; 中国上海市闵行区东川路 800 号, Shanghai 200240 (CN)。 **蔡游明 (CAI, Youming)**; 中国上海市闵行区东川路 800 号, Shanghai 200240 (CN)。

(74) 代理人: **北京华进京联知识产权代理有限公司 (ACIP LAW OFFICE)**; 中国北京市海淀区知春路 7 号致真大厦 A1403, Beijing 100191 (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,

[见续页]

(54) Title: CONTROL METHOD AND CONTROL SYSTEM FOR ENHANCING ENDURANCE TO ANOMALOUS VOLTAGE FOR DOUBLY-FED INDUCTION GENERATOR

(54) 发明名称 : 提升双馈风电机组异常电压耐受能力的控制方法及控制系统

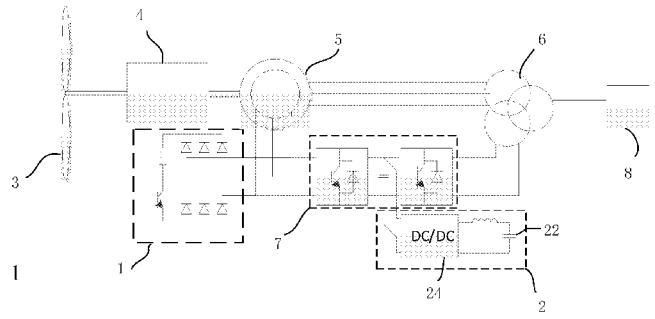


图 1

(57) Abstract: The present invention relates to a control method and system for enhancing endurance to an anomalous voltage for a doubly-fed induction generator. The method comprises: providing a doubly-fed induction generator connected to a power grid, wherein the doubly-fed induction generator comprises a supercapacitor energy storage device including a DC-DC converter and a supercapacitor, and the supercapacitor is electrically connected to a direct current busbar via the DC-DC converter; detecting a power grid voltage, and determining whether the power grid voltage indicates a fault; if the power grid voltage is determined to indicate a fault, then detecting the voltage of the direct current busbar, and determining whether the voltage of the direct current busbar exceeds a limit value; if the voltage of the direct current busbar is determined as exceeding the limit value, then performing, on the basis of an abnormal operating condition mode, coordinated control for an integrated system on the supercapacitor energy storage device and a current transformer; and if the power grid voltage is determined to restore to within a normal range, then performing, on the basis of a normal operating condition mode, coordinated control for an integrated system on the supercapacitor energy storage device and the current transformer.

(57) 摘要:

[见续页]

WO 2017/148252 A1

BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, 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, KH, KN, KP, KR, KW, 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)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。

本发明涉及一种提升风电机组异常电压耐受能力的控制方法和系统，包括：提供与电网连接的双馈风电机组，包括超级电容器储能装置，所述超级电容器储能装置包括 DC-DC 变换器和超级电容器，所述超级电容器通过所述 DC-DC 变换器与所述直流母线电连接；检测电网电压，并判断所述电网电压是否发生故障；当判断所述电网电压发生故障时，检测所述直流母线的电压，并判断所述直流母线的电压是否超过限定值；当判断所述直流母线的电压超过限定值时，对所述超级电容器储能装置和所述变流器按异常工况模式进行集成系统协调控制；以及当判断所述电网电压恢复正常范围时，对所述超级电容器储能装置和所述变流器按正常工况模式进行集成系统协调控制。

提升双馈风电机组异常电压耐受能力的控制方法及控制系统

相关申请

本申请要求 2016 年 3 月 1 日申请的，申请号为 201610114252.6，名称为“采用超级电容提升风电机组异常电压耐受能力的控制方法”的中国专利申请的优先权，在此将其全文引入作为参考。

技术领域

本发明属于风力发电运行控制领域，具体涉及一种提升双馈风电机组异常电压耐受能力的控制方法及控制系统。

背景技术

双馈风电机组由于定子直接联网，使其易受电网电压扰动的影响，目前风电并网标准只强调了风电机组的故障穿越能力，而对小值电网电压骤降，以及低、高电压耐受方面的要求不足，事实证明，这些方面同样对双馈风电机组的连续运行产生较大影响。

在高、低电压耐受方面，一般的要求是在-10%~10%之间可以正常运行，对更低、或更高电压情况下的运行能力没有具体要求。对于双馈风电机组，经简单分析可知，高电压下变流器输出电压不足导致功率难以馈入电网；低电压下变流器易产生过流，同时，机/网变流器容量不均衡还会导致母线电压升高，触发保护动作，通过变速-变桨的方式进行主动减载是缓解低电压过载的一种方法。在电网电压小值跌落情况下，目前多采用控制策略抑制转子过电流，这种方法需要转子变流器能够提供足够的电压，并且控制模型需要足够精确才能体现出效果，这在实际中是很难实现的。

在高、低电压耐受方面，目前还没有兼顾两者、较为完善的技术，针对低电压情况，虽然通过变桨-变速进行主动减载理论上可以防止变流器过载，但考虑电压波动是频繁事件，这种气动减载方案无疑增大了机组载荷，影响其使用寿命。

现有的一种基于超级电容器和蓄电池混合储能的双馈风力发电机励磁系统，该系统通过控制双馈电机的转子励磁，从而达到控制双馈电机定子侧输出的功率的特性，该方案的不足之处是励磁控制算法本身非常复杂，实现难度大、成本高昂，且风机故障期间由于转子侧变流器的短时切出特性，无法完成对机组的有效控制。

另外还有一种采用超级电容实现风电机组低电压穿越能力的装置。该方案中超级电容主要针对风电场故障期间低电压穿越所采用，无法根据调度指令完成正常运行期间的功率调节。此外，该方案需要在风电场中专门设置低电压穿越控制系统，存在实施投入较多，占用场地

较大等问题，未给出相应的运行控制策略。

发明内容

有鉴于此，需要提供一种提升风电机组异常电压耐受能力的控制方法及控制系统，以解决直流母线暂态不稳定，机组间断运行的问题。

一种提升风电机组异常电压耐受能力的控制方法，包括:

提供与电网连接的双馈风电机组，所述双馈风电机组包括风轮、齿轮箱、发电机、变流器及超级电容器储能装置，所述超级电容器储能装置包括 DC-DC 变换器和超级电容器，所述变流器包括网侧变流器、转子侧变流器及连接在所述网侧变流器和所述转子侧变流器之间的直流母线，所述超级电容器通过所述 DC-DC 变换器与所述直流母线电连接;

检测电网电压，并判断所述电网电压是否发生故障;

当判断所述电网电压发生故障时，检测所述直流母线的电压，并判断所述直流母线的电压是否超过限定值;

当判断所述直流母线的电压超过限定值时，对所述超级电容器储能装置和所述变流器按异常工况模式进行集成系统协调控制；以及

当判断所述电网电压恢复正常时，对所述超级电容器储能装置和所述变流器按正常工况模式进行集成系统协调控制。

一种提升风电机组异常电压耐受能力的控制系统，包括:

与电网连接的双馈风电机组，所述双馈风电机组包括风轮、齿轮箱、发电机、变流器及超级电容器储能装置，所述超级电容器储能装置包括 DC-DC 变换器和超级电容器，所述变流器包括网侧变流器、转子侧变流器及连接在所述网侧变流器和所述转子侧变流器之间的直流母线，所述超级电容器通过所述 DC-DC 变换器与所述直流母线电连接；以及

集成系统协调控制器，在所述直流母线的电压超过限定值时，所述集成系统协调控制器对所述超级电容器储能装置和所述变流器按异常工况模式进行集成系统协调控制，并且，在所述电网电压恢复正常时，所述集成系统协调控制器对所述超级电容器储能装置和所述变流器按正常工况模式进行集成系统协调控制。

本发明提供的采用超级电容器储能系统提升风电机组异常电压耐受能力的控制方法和控制系统，可用于提升双馈风电机组的故障运行能力，整体解决了双馈风电机组抵御电网电压小值暂态扰动、高/低电压下的连续运行问题，基本不改变风电机组原有控制策略，控制结构、算法简单可靠，效果好，不会对风电机组其它部件的运行和使用寿命产生影响。

附图说明

图 1 是本发明实施例双馈风电机组的主电路系统的结构示意图；

图 2 是图 1 中超级电容器储能装置的结构示意图；

图 3 是本发明实施例采用超级电容器储能系统提升风电机组异常电压耐受能力控制方法的集成系统协调控制流程图；

图 4 是图 3 中的网侧变流器的不同控制模式的控制过程示意图；

图 5 是图 3 中的超级电容器储能系统的不同控制模式的控制过程示意图；

图 6 是本发明实施例集成系统协调控制器的连接关系示意图。

具体实施方式

为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白，以下结合附图及实施例对本发明进行进一步详细说明。应当理解，此处所描述的具体实施例仅用以解释本发明，并不用于限定本发明。

本发明实施例提供一种提升风电机组异常电压耐受能力的控制方法，该方法通过在双馈风电机组中设置超级电容器储能装置 2 实现。请参阅图 1，本发明实施例还提供一种具有超级电容器储能系统的双馈风电机组，包括发电机 5、变流器 7 以及超级电容器储能装置 2。

所述双馈风电机组还可包括风轮 3 和齿轮箱 4，该风轮 3 通过齿轮箱 4 带动发电机 5 工作，从而使风能转换为电能。

所述双馈风电机组还可包括变压器 6。所述双馈风电机组通过变压器 6 接入电网 8。

所述双馈风电机组还可包括 crowbar 保护电路 1，所述 crowbar 保护电路 1 与所述转子连接，当所述变流器 7 的电压超过设定阈值时，所述 crowbar 保护电路 1 导通，旁路所述转子上的电流。该变压器 6（例如，箱变）可以为升压变压器，在一实施例中，该变压器 6 为额定容量 3MVA 的 0.69/35kV 升压变压器。

所述发电机 5 可以为双馈感应发电机，包括定子和转子，所述定子通过变压器 6 接入电网 8，所述转子通过变流器 7 接入电网 8。

请一并参阅图 2，所述超级电容器储能装置 2 的两端分别与变流器 7 的两条直流母线 78 电连接。所述变流器 7 可进一步包括通过两条直流母线 78 电连接的转子侧变流器 72 和网侧变流器 74，以及两端分别与两条直流母线 78 电连接的电容 76。该超级电容器储能装置 2 与该电容 76 并联。

该超级电容器储能装置 2 包括 DC-DC 变换器 24 和超级电容器 22。该超级电容器 22 加装在所述变流器 7 的直流母线 78 上，该超级电容器 22 通过 DC-DC 变换器 24 与变流器 7 的直流母线 78 电连接，具体是通过该 DC-DC 变换器 24 接入变流器 7 的两条直流母线 78。图 2 中超级电容器 22 的等效电路包括相互串联的等效电容 C_{sc} 和等效电阻 R_{res}。超级电容器 22 额

定电压优选在 450V~960V，功率和容量在理论上没上限，在一实施例中，超级电容电压 E_{sc} 的容量为 4F，功率为 350kW，额定电压为 800V。

该 DC-DC 变换器 24 优选为 buck-boost 双向变换器，由第一全控型开关 S1、第二全控开关 S2 以及升压电感 L 构成。电能从直流母线 78 的电容 76 转移到超级电容器 22 时对超级电容器 22 充电，DC-DC 变换器 24 工作在 buck 模式。电能从超级电容器 22 转移到直流母线 78 电容 76 时超级电容器 22 放电，DC-DC 变换器 24 工作在 boost 模式。通过调节所述 DC-DC 变换器中开关的占空比，具体是全控开关 S1 和/或 S2 的占空比，可以实现超级电容器 22 电压的调节，该占空比可以在 0~1 之间变化。DC-DC 变换器 24 的电压高于超级电容器 22 的电压。在一实施例中，为控制直流母线 78 的电压，该 DC-DC 变换器 24 在 buck 模式和 boost 模式之间不断的切换。

在一实施例中，该升压电感 L 的第一端与第一全控开关 S1 串联，并通过该第一全控开关 S1 连接至该变流器 7 的第一直流母线 78，该升压电感 L 的第二端与该超级电容器 22 第一电极电连接。该超级电容器 22 的第二电极与该变流器 7 的第二直流母线 78 电连接。该第二全控开关 S2 连接在该升压电感 L 的第一端与该超级电容器的第二电极之间。该第二全控开关 S2 与该超级电容器 22 均与该直流母线 78 的电容器 76 并联。

该第一全控开关 S1 包括并联的第一晶体管和第一二极管。该第一晶体管的漏极与第一二极管的阳极连接，并连接至该电感 L 的第一端。该第一晶体管的源极与该第一二极管的阴极连接，并连接至变流器 7 的一条直流母线 78。该第二全控开关 S2 包括并联的第二晶体管和第二二极管。该第二晶体管的源极与第二二极管的阴极连接，并连接至该电感 L 的第一端。该第二晶体管的漏极与第二二极管的阳极连接，并与该超级电容器 22 的第二电极电连接。

所述采用超级电容器储能装置提升风电机组异常电压耐受能力的控制方法能够保证直流母线 78 暂态稳定，保证机组不间断运行。

请参阅图 3，本发明实施例提升风电机组异常电压耐受能力的控制方法，还包括对超级电容器储能装置 2 和变流器 7 进行集成系统协调控制，该控制过程可包括:

检测电网电压，并判断电网电压是否发生故障;

当判断电网电压发生故障时，检测变流器 7 的直流母线 78 电压，并判断直流母线 78 电压是否超过限定值;

当判断直流母线 78 电压超过限定值时，将电网电压标志位设定为“异常”，并对超级电容器储能装置 2 和变流器 7 按异常工况模式进行集成系统协调控制;

当判断电网电压恢复正常时(即处于正常电网电压范围时)，将电网电压标志位设定为“正常”，并对超级电容器储能装置 2 和变流器 7 按正常工况模式进行集成系统协调控制。

所述检测电网电压并判断电网电压是否发生故障的步骤可在整个控制过程中持续进行。

该电网电压发生故障具体可以是电网电压高于或低于正常电网电压范围，该正常电网电压范围可以根据需要设定。该直流母线 78 电压限定值也可根据需要设定，例如限定值为 1.05p.u. (per unit)，即超过正常值的 5%。

所述集成系统协调控制具体可以包括网侧变流器控制以及超级电容器储能系统控制，该两种控制可以同时进行。

所述按异常工况模式进行集成系统协调控制，包括对网侧变流器按照异常工况模式进行控制，并对超级电容器储能装置 2 进行 boost 控制。所述按正常工况模式进行集成系统协调控制，包括对网侧变流器按照正常工况模式进行控制，并对超级电容器储能装置 2 进行 buck 控制。

请参阅图 4，网侧变流器根据所述电网电压标志位，存在“正常工况”和“异常工况”两个控制模式。当电网电压正常时（即处于正常电网电压范围内时），网侧变流器处于正常工况模式，网侧变流器控制直流母线 78 电压恒定，此时为“有功优先控制”模式，同时可以提供一定的无功/电压辅助控制。当电网电压异常时，电网电压高于正常电网电压范围的上限或低于正常电网电压范围的下限，网侧变流器处于异常工况模式，网侧变流器进行策略切换，不再控制母线电压，此时为“无功优先控制”模式。

在“无功优先控制”模式中，当电网电压低于正常电网电压范围的下限时，网侧变流器进行过励控制，从而支撑电网电压，并且在满足视在容量约束下，注入一定的有功功率。当电网电压高于正常电网电压范围的上限时，网侧变流器进行欠励控制，并且在满足视在容量约束下，注入一定的有功功率。欠励控制不仅有助于电网电压恢复，而且可以保证网侧变流器不因过调制而失去控制，即保证网侧变流器在异常电压下仍可控。

请参阅图 5，超级电容器储能系统的控制策略包括：boost 控制和 buck 控制。

由于“无功优先控制”模式时网侧变流器不再控制直流母线 78 电压，转子侧变流器输入的有功功率将导致直流母线 78 电压上升。该 boost 控制是当直流母线 78 电压超过限定值时（即电网电压标志位设定为“异常”时），将超级电容器 22 作为 DC-DC 变换器 24 的输入端，将直流母线 78 的电容 76 作为 DC-DC 变换器 24 的输出端，将直流母线 78 电压调整至正常直流母线 78 电压范围，即控制直流母线 78 电压。

该 boost 控制包括对直流母线 78 电压进行监测，通过控制第一和/或第二全控开关 S1 和/或 S2 的占空比，将直流母线 78 电压控制在正常直流母线 78 电压范围。该 boost 控制可包括通过控制第二全控开关 S2 的占空比，使超级电容器 22 对所述直流母线 78 的电容 76 进行充电/放电控制。当直流母线 78 电压大于正常直流母线电压范围的上限时，可以通过控制第二全控开关 S2 的占空比 d2（例如使 d2>0.5，且 d1=1-d2），使直流母线 78 对超级电容器 22 充电，电能从直流母线 78 的电容 76 转移到超级电容器 22，从而使直流母线 78 电压降低；当

直流母线 78 电压小于正常直流母线电压范围的下限时，可以通过控制第二全控开关 S2 的占空比 d2（例如使 d2<0.5，且 d1=1-d2），使直流母线 78 对超级电容器 22 放电，电能从超级电容器 22 转移到直流母线电容 76，从而使直流母线 78 电压上升，最终将直流母线 78 的电压控制在正常直流母线电压范围。

为了实现超级电容器储能系统与直流卸荷电路（即 crowbar 保护电路 1）对直流母线 78 电压的控制解耦，可以将所述直流母线 78 电压限定值设置成略小于直流卸荷电路的触发动作值，避免两者同时工作，造成直流母线 78 电压不稳定。除此之外，还需要考虑 boost 控制时超级电容器 22 的工作电压范围，动态调节增益系数，可以调节超级电容器 22 注入/吸收功率大小，防止超级电容器 22 电压超出工作范围。例如，将增益系数设定为“0”或“1”，当超级电容器 22 电压超出电压上/下限时，增益系数置“0”，超级电容器储能系统不再对变流器 7 直流母线 78 电压进行控制，否则为“1”，表示超级电容器储能系统对直流母线 78 电压进行控制。

超级电容器 22 具有允许的工作电压范围（例如 450V~960V），为了防止超级电容器 22 过压或欠压，通过 DC-DC 变换器 24 可实现对超级电容器 22 电压的控制，即 buck 控制。具体地，在该 boost 控制的同时监控直流母线 78 电压，当直流母线 78 电压恢复到正常直流母线范围时（即电网电压标志位设定为“正常”时），进行 buck 控制，将超级电容器 22 作为 DC-DC 变换器 24 的输出端，将直流母线电容 76 作为 DC-DC 变换器 24 的输入端，将超级电容器 22 的电压调整至正常超级电容器电压范围，即控制超级电容器 22 的电压。

该 buck 控制包括对超级电容器 22 的电压进行监测，通过控制第一和/或第二全控开关 S1 和/或 S2 的占空比，将超级电容器 22 的电压控制在正常超级电容器工作电压范围。该 buck 控制可包括通过控制第一全控开关 S1 的占空比，使直流母线电容 76 对所述超级电容器 22 进行充电/放电控制，当超级电容器 22 的电压大于正常超级电容器工作电压范围的上限时，可以通过控制第一全控开关 S1 的占空比 d1（例如使 d1>0.5，且 d2=1-d1），使超级电容器 22 放电，电能从超级电容器 22 转移到直流母线电容 76，使超级电容器 22 电压下降；当超级电容器 22 的电压小于正常超级电容器工作电压范围的下限时，可以通过控制第一全控开关 S1 的占空比 d1（例如使 d1<0.5，且 d2=1-d1），使超级电容器 22 充电，电能从直流母线 78 的电容 76 转移到超级电容器 22，使超级电容器 22 电压上升，最终实现对超级电容器 22 电压的调节。

请参阅图 6，本发明实施例还提供一种提升风电机组异常电压耐受能力的控制系统，包括所述双馈风电机组以及集成系统协调控制器 9。该集成系统协调控制器 9 对电网电压是否发生故障进行判断。当判断所述电网电压发生故障时，该集成系统协调控制器 9 对直流母线 78 的电压是否超过限定值进行判断。当所述直流母线 78 的电压超过限定值时，所述集成系

统协调控制器 9 对所述超级电容器储能装置 2 和所述变流器 7 按异常工况模式进行集成系统协调控制，并且，在所述电网电压恢复正常时，所述集成系统协调控制器 9 对所述超级电容器储能装置 2 和所述变流器 7 按正常工况模式进行集成系统协调控制。

所述集成系统协调控制器 9 包括变流器控制器 91 和储能装置控制器 92。所述储能装置控制器 92 和所述超级电容器储能装置 2 共同组成超级电容器储能系统。当所述直流母线 78 的电压超过限定值时，所述储能装置控制器 92 控制所述 DC-DC 变换器 24 中开关的占空比，进行 boost 控制；当判断所述电网电压恢复正常范围时，所述储能装置控制器 92 控制所述 DC-DC 变换器 24 中开关的占空比，进行 buck 控制。

所述储能装置控制器 92 进行 boost 控制，具体是将所述直流母线 78 电压控制在正常直流母线电压范围。

在一实施例中，当所述直流母线 78 电压大于正常直流母线电压范围的上限时，所述储能装置控制器 92 能够控制第二全控开关 S2 的占空比 d2（例如使 d2>0.5，且 d1=1-d2），使直流母线 78 对超级电容器 22 充电，电能从直流母线电容 76 转移到超级电容器 22，从而使直流母线 78 电压降低。当所述直流母线 78 电压小于正常直流母线电压范围的下限时，所述储能装置控制器 92 能够控制第二全控开关 S2 的占空比 d2（例如使 d2<0.5，且 d1=1-d2），使直流母线 78 对超级电容器 22 放电，电能从超级电容器 22 转移到直流母线电容 76，从而使直流母线 78 电压上升。

所述储能装置控制器 92 进行 buck 控制，具体是将所述超级电容器 22 的电压控制在正常超级电容器工作电压范围。

在一实施例中，当超级电容器 22 的电压大于正常超级电容器工作电压范围的上限时，所述储能装置控制器 92 能够控制第一全控开关 S1 的占空比 d1（例如使 d1>0.5，且 d2=1-d1），使超级电容器 22 放电，电能从超级电容器 22 转移到直流母线电容 76，使超级电容器 22 电压下降。当超级电容器 22 的电压小于正常超级电容器工作电压范围的下限时，所述储能装置控制器 92 能够控制第一全控开关 S1 的占空比 d1（例如使 d1<0.5，且 d2=1-d1），使超级电容器 22 充电，电能从直流母线的电容 76 转移到超级电容器 22，使超级电容器 22 电压上升，最终实现对超级电容器 22 电压的调节。

另外，所述提升风电机组异常电压耐受能力的控制系统还可以包括直流母线电压检测模块 93 以及电网电压检测模块 94。在一实施例中，还可以包括超级电容器电压检测模块 95。该直流母线电压检测模块 93、电网电压检测模块 94 及超级电容器电压检测模块 95 分别对电网电压、直流母线电压及超级电容器 22 电压进行检测，并将检测结果输入该集成系统协调控制器 9。

通过上述提升风电机组异常电压耐受能力的控制方法，超级电容储能系统可实现：

电网电压正常时，维持自身的工作电压；

电网电压异常时，由于网侧变流器切换到“无功优先控制”模式，为平衡机/网功率，此时超级电容器控制直流母线电压，保证风电机组连续运行，同时，超级电容器还能够抑制电网电压跌落引起的直流母线电压暂态过程。

本发明提供的一种采用超级电容储能系统提升风电机组异常电压耐受能力的控制方法，可用于提升双馈风电机组的故障运行能力，整体解决了双馈风电机组抵御电网电压小值暂态扰动、高/低电压下的连续运行问题，基本不改变风电机组原有控制策略，控制结构、算法简单可靠，效果好，不会对风电机组其它部件的运行和使用寿命产生影响。

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，均在申请待批的权利要求保护范围之内。

权 利 要 求

1、一种提升风电机组异常电压耐受能力的控制方法，包括:

提供与电网连接的双馈风电机组，所述双馈风电机组包括风轮、齿轮箱、发电机、变流器及超级电容器储能装置，所述超级电容器储能装置包括 DC-DC 变换器和超级电容器，所述变流器包括网侧变流器、转子侧变流器及连接在所述网侧变流器和所述转子侧变流器之间的直流母线，所述超级电容器通过所述 DC-DC 变换器与所述直流母线电连接;

检测电网电压，并判断所述电网电压是否发生故障;

当判断所述电网电压发生故障时，检测所述直流母线的电压，并判断所述直流母线的电压是否超过限定值;

当判断所述直流母线的电压超过限定值时，对所述超级电容器储能装置和所述变流器按异常工况模式进行集成系统协调控制；以及

当判断所述电网电压恢复正常时，对所述超级电容器储能装置和所述变流器按正常工况模式进行集成系统协调控制。

2、如权利要求 1 所述的提升风电机组异常电压耐受能力的控制方法，其特征在于，所述按异常工况模式进行集成系统协调控制，包括对所述网侧变流器按照异常工况模式进行控制，并对所述超级电容器储能装置进行 boost 控制；所述按正常工况模式进行集成系统协调控制，包括对所述网侧变流器按照正常工况模式进行控制，并对所述超级电容器储能装置进行 buck 控制。

3、如权利要求 2 所述的提升风电机组异常电压耐受能力的控制方法，其特征在于，所述对网侧变流器按照正常工况模式进行控制包括通过所述网侧变流器控制所述直流母线电压恒定。

4、如权利要求 2 所述的提升风电机组异常电压耐受能力的控制方法，其特征在于，所述对网侧变流器按照异常工况模式进行控制包括：所述变流器不再控制所述直流母线电压，并且：当所述电网电压低于正常电网电压范围的下限时，所述网侧变流器进行过励控制；以及当电网电压高于正常电网电压范围的上限时，所述网侧变流器进行欠励控制。

5、如权利要求 2 所述的提升风电机组异常电压耐受能力的控制方法，其特征在于，对所述超级电容器储能装置进行 boost 控制，包括控制所述直流母线电压。

6、如权利要求 2 所述的提升风电机组异常电压耐受能力的控制方法，其特征在于，对所述超级电容器储能装置进行 boost 控制，包括:

当所述直流母线电压大于正常直流母线电压范围的上限时，使电能从直流母线的电容转移到超级电容器，从而使直流母线电压降低；以及

当所述直流母线电压小于正常直流母线电压范围的下限时，使电能从超级电容器转移到

直流母线的所述电容，从而使直流母线电压上升。

7、如权利要求 2 所述的提升风电机组异常电压耐受能力的控制方法，其特征在于，对所述超级电容器储能装置进行 buck 控制，包括控制所述超级电容器的电压。

8、如权利要求 2 所述的提升风电机组异常电压耐受能力的控制方法，其特征在于，对所述超级电容器储能装置进行 buck 控制，包括:

当超级电容器的电压大于正常超级电容器工作电压范围的上限时，使电能从超级电容器转移到直流母线的电容，使超级电容器电压下降；以及

当超级电容器的电压小于正常正常超级电容器工作电压范围的下限时，使电能从直流母线的电容转移到超级电容器，使超级电容器电压上升。

9、一种提升风电机组异常电压耐受能力的控制系统，包括:

与电网连接的双馈风电机组，所述双馈风电机组包括风轮、齿轮箱、发电机、变流器及超级电容器储能装置，所述超级电容器储能装置包括 DC-DC 变换器和超级电容器，所述变流器包括网侧变流器、转子侧变流器及连接在所述网侧变流器和所述转子侧变流器之间的直流母线，所述超级电容器通过所述 DC-DC 变换器与所述直流母线电连接；以及

集成系统协调控制器，在所述直流母线的电压超过限定值时，所述集成系统协调控制器对所述超级电容器储能装置和所述变流器按异常工况模式进行集成系统协调控制，并且，在所述电网电压恢复正常时，所述集成系统协调控制器对所述超级电容器储能装置和所述变流器按正常工况模式进行集成系统协调控制。

10、如权利要求 9 所述的提升风电机组异常电压耐受能力的控制系统，其特征在于，所述直流母线包括第一直流母线和第二直流母线，所述 DC-DC 变换器包括电感、第一全控开关和第二全控开关，所述电感的第一端与所述第一全控开关串联，并通过所述第一全控开关连接至所述第一直流母线，所述电感的第二端与所述超级电容器的第一电极电连接，所述超级电容器的第二电极与所述第二直流母线电连接，所述第二全控开关电连接在所述电感的第一端与所述超级电容器的第二电极之间。

11、如权利要求 10 所述的提升风电机组异常电压耐受能力的控制系统，其特征在于，所述第一全控开关包括并联的第一晶体管和第一二极管，所述第一晶体管的漏极与第一二极管的阳极连接，并连接至所述电感的第一端，所述第一晶体管的源极与该第一二极管的阴极连接，并连接至所述第一直流母线；所述第二全控开关包括并联的第二晶体管和第二二极管，所述第二晶体管的源极与所述第二二极管的阴极连接，并连接至所述电感的第一端，所述第二晶体管的漏极与所述第二二极管的阳极连接，并与所述超级电容器的第二电极电连接。

12、如权利要求 9 所述的提升风电机组异常电压耐受能力的控制系统，其特征在于，所述集成系统协调控制器包括变流器控制器和储能装置控制器。

13、如权利要求 12 所述的提升风电机组异常电压耐受能力的控制系统，其特征在于，当所述直流母线的电压超过限定值时，所述储能装置控制器进行 boost 控制，控制所述直流母线电压。

14、如权利要求 13 所述的提升风电机组异常电压耐受能力的控制系统，其特征在于，当所述直流母线电压大于正常直流母线电压范围的上限时，所述储能装置控制器使电能从直流母线的电容转移到超级电容器，从而使直流母线电压降低；以及

当所述直流母线电压小于正常直流母线电压范围的下限时，所述储能装置控制器使电能从超级电容器转移到直流母线的所述电容，从而使直流母线电压上升。

15、如权利要求 12 所述的提升风电机组异常电压耐受能力的控制系统，其特征在于，当所述电网电压恢复正常时，所述储能装置控制器进行 buck 控制，控制所述超级电容器的电压。

16、如权利要求 15 所述的提升风电机组异常电压耐受能力的控制系统，其特征在于，当超级电容器的电压大于正常超级电容器工作电压范围的上限时，所述储能装置控制器使电能从超级电容器转移到直流母线的电容，使超级电容器电压下降；以及

当超级电容器的电压小于正常正常超级电容器工作电压范围的下限时，所述储能装置控制器使电能从直流母线的电容转移到超级电容器，使超级电容器电压上升。

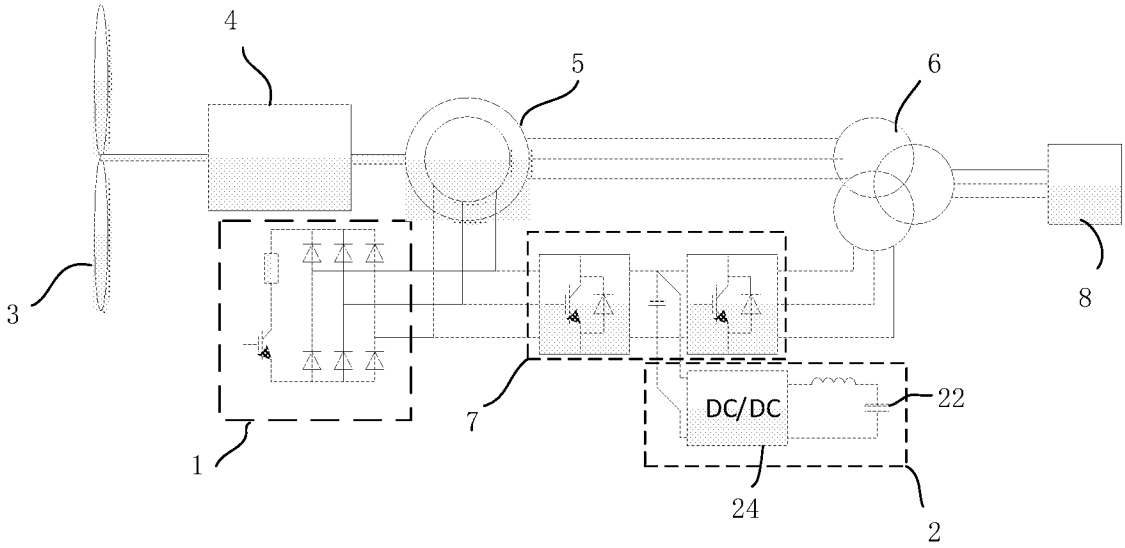


图 1

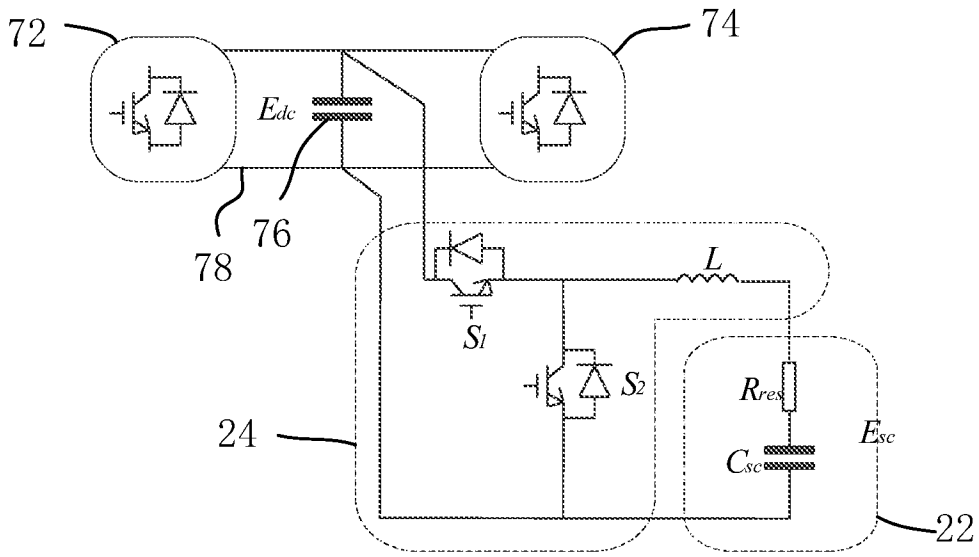


图 2

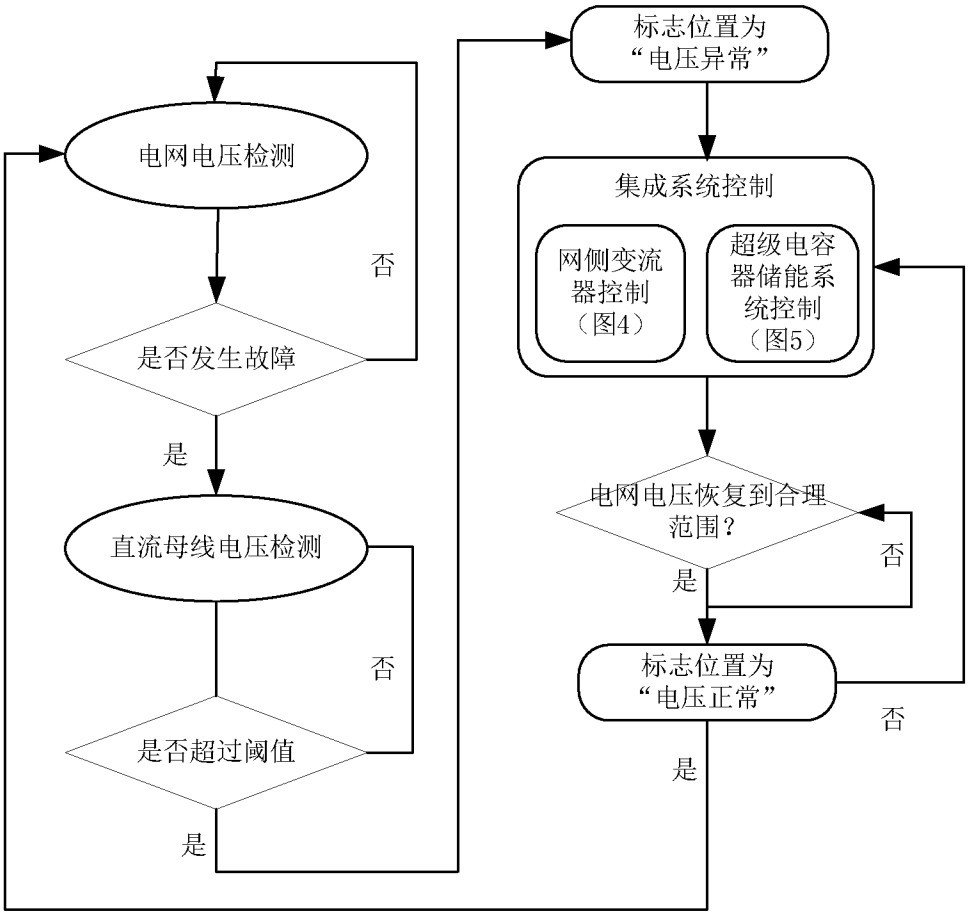

电网电压检测
否
是否发生故障
是
直流母线电压检测
否
是否超过阈值
是
标志位置为
“电压异常”
集成系统控制
网侧变流
器控制
（图4）
超级电容
器储能系
统控制
（图5）
电网电压恢复到合理
范围？
否
是
标志位置为
“电压正常”
否
是

图 3

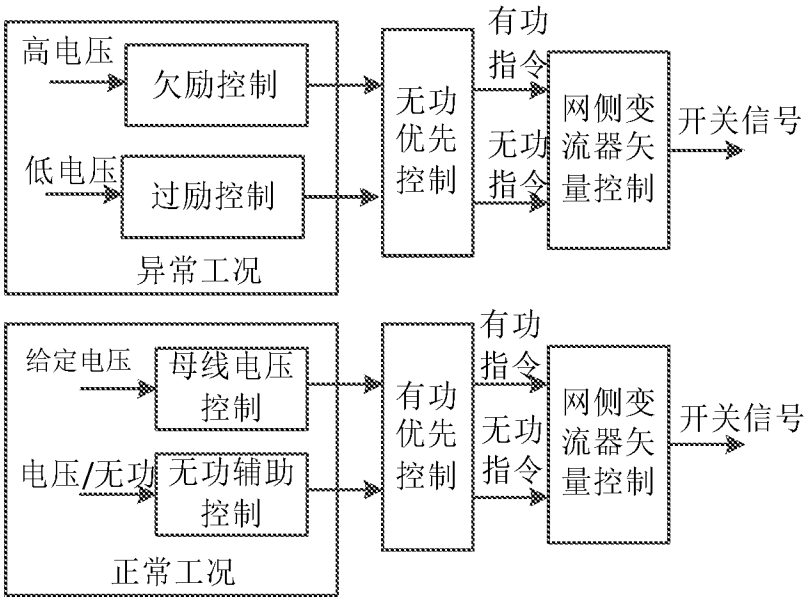

高电压
欠励控制
低电压
过励控制
异常工况
无功优先控制
有功指令
无功指令
网侧变流器矢量控制
开关信号
给定电压
母线电压控制
电压/无功
无功辅助控制
正常工况
有功优先控制
有功指令
无功指令
网侧变流器矢量控制
开关信号

图 4

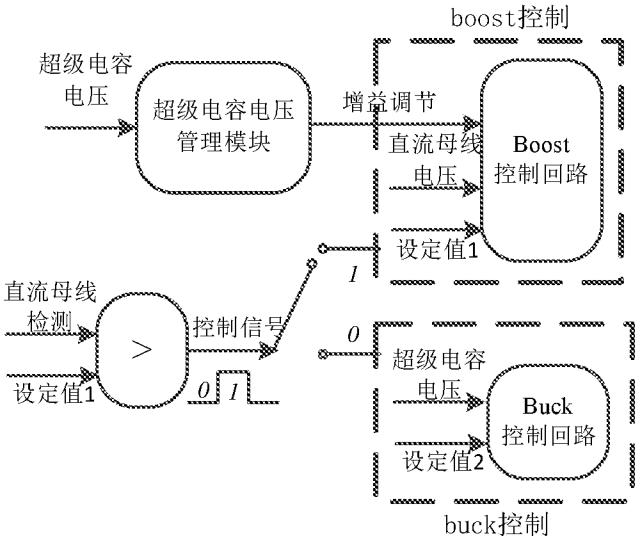

boost控制
超级电容
电压
超级电容电压
管理模块
增益调节
直流母线
电压
Boost
控制回路
设定值1
1
直流母线
检测
控制信号
>
设定值1
0
1
0
超级电容
电压
Buck
控制回路
设定值2
buck控制

图 5

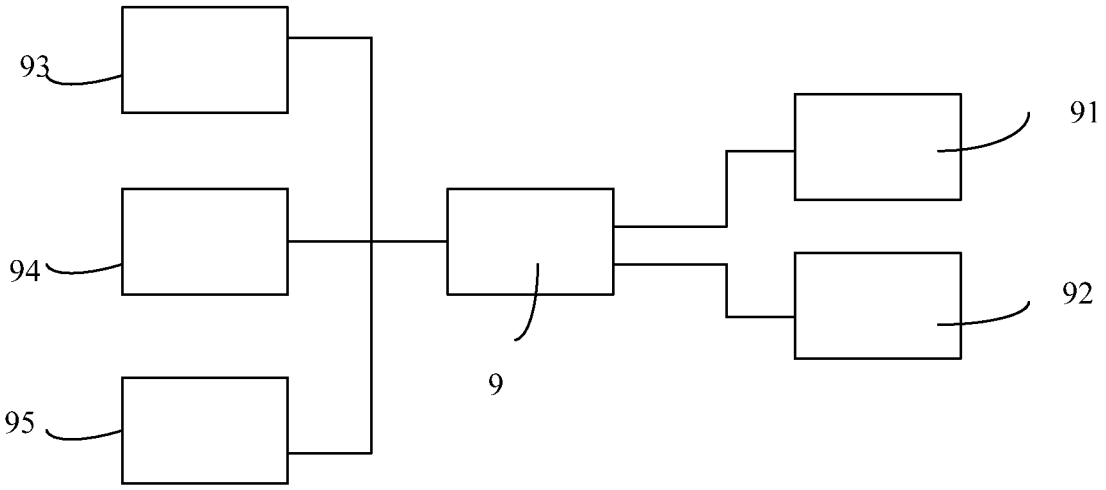


图 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2017/073115

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

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; H02M

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)

DWPI, SIPOABS, CNTXT, CNKI: DF, stored energy, transverter, wind, double w fed, capacitor, condenser, energy, storage, stored, accumulation, converter, inverter, abnormity, failure, fault, normal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 105634013 A (STATE GRID GANSU ELECTRIC POWER COMPANY et al.) 01 June 2016 (01.06.2016) claims 1-4, and description, paragraphs [0002]-[0031], and figures 1-5	1-16
X	GU, Jingming et al. "Research on Using Supercapacitor to Enhance the Tolerance of Doubly-Fed Wind Generator Under Low Voltage Fault" Electrical & Energy Management Technology, no. 17, 15 Septemebr 2014 (15.09.2014) , 1SSN:2095-8188, pages 38-43, and figure 1	1-16
X	CN 103078349 A (HOHAI UNIVERSITY) 01 May 2013 (01.05.2013) description, paragraphs [0002]-[0033], and figures 1-5	1-16
X	CN 103414205 A (STATE GRID CORPORATION OF CHINA et al.) 27 November 2013 (27.11.2013) description, paragraphs [0002]-[0035], and figures 1-4	1-16

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"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)

"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

"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

"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

"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

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
27 April 2017	04 May 2017
Name and mailing address of the ISA 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 WU, Wei Telephone No. (86-10) 62411688

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2017/073115

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 105634013 A	01 June 2016	None	
CN 103078349 A	01 May 2013	CN 103078349 B	20 July 2016
CN 103414205 A	27 November 2013	None	

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2017/073115

A. 主题的分类

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; H02M

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））

DWPI, SIPOABS, CNTXT, CNKI：风，双馈，DF，电容，储能，变流器，换流器，变换器，转换器，异常，故障，正常，wind, double w fed, capacitor, condenser, energy, storage, stored, accumulation, converter, inverter, abnormity, failure, fault, normal

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 105634013 A (国网甘肃省电力公司等) 2016年 6月 1日 (2016-06-01) 权利要求1-4，说明书第[0002]-[0031]段，附图1-5	1-16
X	顾静鸣等. "超级电容增强双馈风电机组电网低电压耐受能力的研究" 电器与能效管理技术, 第17期，2014年 9月 15日 (2014-09-15), ISSN：2095-8188, 第38-43页，图1	1-16
X	CN 103078349 A (河海大学) 2013年 5月 1日 (2013-05-01) 说明书第[0002]-[0033]段，附图1-5	1-16
X	CN 103414205 A (国家电网公司等) 2013年 11月 27日 (2013-11-27) 说明书第[0002]-[0035]段，附图1-4	1-16

☐ 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
2017年 4月 27日	2017年 5月 4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	受权官员 吴伟 电话号码 (86-10)62411688

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2017/073115

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 105634013 A	2016年 6月 1日	无	
CN 103078349 A	2013年 5月 1日	CN 103078349 B	2016年 7月 20日
CN 103414205 A	2013年 11月 27日	无	