

(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
2018 年 11 月 1 日 (01.11.2018)



(10) 国际公布号
WO 2018/196381 A1

- (51) 国际专利分类号:
H02J 3/36 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2017/114074
- (22) 国际申请日: 2017 年 11 月 30 日 (30.11.2017)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201710287488.4 2017年4月27日 (27.04.2017) CN
- (71) 申请人: 许继集团有限公司 (XJ GROUP CORPORATION) [CN/CN]; 中国河南省许昌市许继大道1298号, Henan 461000 (CN)。许继电气股份有限公司 (XJ ELECTRIC CO., LTD) [CN/CN]; 中国河南省许昌市许继大道1298号, Henan 461000 (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: 王瑶 (WANG, Yao); 中国河南省许昌市许继大道1298号, Henan 461000 (CN)。郝俊芳 (HAO, Junfang); 中国河南省许昌市许继大道1298号, Henan 461000 (CN)。严兵 (YAN, Bing); 中国

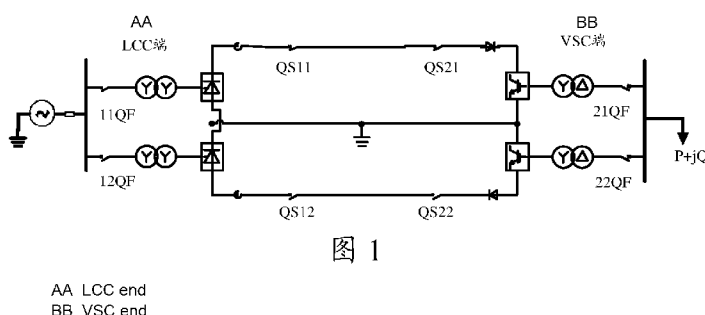
河南省许昌市许继大道1298号, Henan 461000 (CN)。王柏恒 (WANG, Baiheng); 中国河南省许昌市许继大道1298号, Henan 461000 (CN)。孔令凯 (KONG, Lingkai); 中国河南省许昌市许继大道1298号, Henan 461000 (CN)。张群 (ZHANG, Qun); 中国河南省许昌市许继大道1298号, Henan 461000 (CN)。范雪峰 (FAN, Xuefeng); 中国河南省许昌市许继大道1298号, Henan 461000 (CN)。

(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, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, 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,

(54) Title: PASSIVE CONTROL METHOD, DEVICE, AND STORAGE MEDIUM FOR BIPOLAR VOLTAGE SOURCE CONVERTER

(54) 发明名称: 双极电压源换流器无源控制方法、装置及存储介质



(57) Abstract: A passive control method, device, and storage medium for a bipolar voltage source converter (VSC). The method comprises: controlling one VSC polarity on an inverter side to unlock, performing constant alternating current voltage control thereon, controlling the other VSC polarity on the inverter side to lock phase with an outputted phase of the VSC polarity, and controlling said other VSC polarity to unlock after the phase locking. In this way, the present invention enables stable unlocking of the two VSC polarities, maintains a synchronized voltage phase between the two VSC polarities after the unlocking, and provides stable power supply to a same passive network.

(57) 摘要: 一种双极电压源换流器 (VSC) 无源控制方法、装置及存储介质, 其中, 方法包括: 通过控制逆变侧的其中一极 VSC 解锁后, 对其采用定交流电压控制, 然后控制逆变侧的另一极 VSC 对上述其中一极 VSC 输出的相位进行锁相, 锁相后控制另一极 VSC 解锁。能够实现两极 VSC 的平稳解锁, 解锁后两极 VSC 的电压相位保持同步, 并同时为同一无源网络稳定供电。

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))。

双极电压源换流器无源控制方法、装置及存储介质

相关申请的交叉引用

本申请基于申请号为 201710287488.4、申请日为 2017 年 04 月 27 日的中国专利申请提出，并要求该中国专利申请的优先权，该中国专利申请的全部内容在此引入本申请作为参考。

技术领域

本发明涉及直流输电技术领域，尤其涉及双极电压源换流器（Voltage Source Converter，VSC）无源控制方法、装置及存储介质。

背景技术

10 电网换相换流器高压直流输电系统（Line Commutated Converter Based High Voltage Direct Current，LCC-HVDC）已广泛地应用于大容量远距离输电和异步电网背靠背互联等场合，但其存在着逆变站换相失败、无法对无源系统供电、运行过程中需要消耗大量无功功率等缺点；而以全控型电力电子器件为基础的电压源型换流器高压直流输电系统（Voltage Source
15 Converter Based High Voltage Direct Current，VSC-HVDC）具有可独立控制有功功率和无功功率、不存在换相失败和可对无源系统供电等优点，但其较 LCC 建设成本高、输送容量小。在众多的 VSC-HVDC 输电拓扑中，模块化多电平换流器直流输电系统（Modular Multilevel Converter Based High Voltage Direct Current，MMC-HVDC）具备 VSC-HVDC 所有的优点，但由于
20 其造价昂贵、无法有效处理直流故障等缺点，使其不适合运用于长距离、大功率输电场合。

为了综合 LCC-HVDC 和 VSC-HVDC 这两种直流输电系统的优势，混合直流输电系统应运而生。混合直流输电系统的整流侧采用 LCC，逆变侧

采用 VSC，充分发挥了 LCC 直流输电系统容量大、距离远以及 VSC 不存在换相失败并可向无源交流系统供电的优点，具有较大的发展前景。

通常，在混合直流输电系统中，逆变侧 VSC 端可工作于有源模式和无源模式两种运行方式下。有源模式时，VSC 端子模块通过其连接的交流电网进行有源充电；无源模式时，VSC 端子模块通过其连接的直流线路进行无源充电。充电完成后，两种模式下 VSC 按照相应的控制方式解锁，实现直流输电系统的功率传输。

而直流系统中逆变侧的双极 VSC 接入同一无源网络时，仅采用整流侧提供的直流电压为两极 VSC 充电并解锁的方式，会在两极 VSC 解锁后存在电压的相位偏差，当两极 VSC 的电压相位偏差很大时，会对无源网络造成一定的冲击，冲击严重时将会导致直流输电系统不能稳定工作。并且，采用上述整流侧提供的直流电压为两极 VSC 充电并解锁的方式时，还存在两极 VSC 的功率协调控制问题。

发明内容

有鉴于此，本发明实施例期望提供一种双极 VSC 无源控制方法、装置及存储介质，至少解决具有双极 VSC 的直流系统接入同一无源网络的解锁控制问题。

为解决上述技术问题，本发明实施例提出一种双极 VSC 无源控制方法，包括：

逆变侧的第一极 VSC 和第二极 VSC 通过整流侧提供的直流电压进行无源充电；

控制逆变侧的第一极 VSC 解锁后，对所述第一极 VSC 采用定交流电压控制，得到第一极 VSC 的三相调制参考电压，从而建立网侧交流电压；控制逆变侧的第二极 VSC 对所述第一极 VSC 建立的网侧交流电压的相位进行锁相，锁相后控制所述第二极 VSC 解锁。

上述方案中, 所述定交流电压控制为:

对网侧交流电压参考值与网侧电压 d 轴分量的差进行相应的处理, 得到第一极调制电压 d 轴参考值;

对 0 与网侧电压 q 轴分量的差进行相应的处理, 得到第一极调制电压 q 轴参考值, 对所述第一极调制电压 d 轴参考值和第一极调制电压 q 轴参考值进行帕克反变换, 得到第一极 VSC 的三相调制参考电压值。

上述方案中, 所述第一极调制电压 d 轴参考值通过下式计算得到:

$$U_{d1_ref} = K_p (U_{ac_ref}^* - U_{ac_d}) + \int \frac{K_p}{T_i} (U_{ac_ref}^* - U_{ac_d}) dt ;$$

式中, U_{d1_ref} 为第一极调制电压 d 轴参考值, K_p 为比例系数, $U_{ac_ref}^*$ 为网侧交流电压参考值 U_{ac_ref} 的标幺值, U_{ac_d} 为网侧电压 d 轴分量, T_i 为积分时间常数;

所述第一极调制电压 q 轴参考值 U_{q1_ref} 通过下式计算得到:

$$U_{q1_ref} = K_p (0 - U_{ac_q}) + \int \frac{K_p}{T_i} (0 - U_{ac_q}) dt ;$$

式中, U_{q1_ref} 为第一极调制电压 q 轴参考值, K_p 为比例系数, U_{ac_q} 为网侧电压 q 轴分量, T_i 为积分时间常数。

上述方案中, 所述第二极 VSC 解锁后采用外环为功率环、内环为电流环的双环控制。

上述方案中, 所述外环为功率环、内环为电流环的双环控制包括: 对有功功率参考值与有功功率实测值的差进行比例和积分 (Proportional Integral, PI) 控制, 得到内环电流 d 轴参考值, 对无功功率参考值与无功功率实测值的差进行 PI 控制, 得到内环电流 q 轴参考值, 所述内环电流 d 轴参考值和所述内环电流 q 轴参考值经过内环电流控制器, 分别得到第二极调制电压 d 轴参考值和第二极调制电压 q 轴参考值, 进行帕克反变换, 得到第二极 VSC 的三相调制电压参考值。

为解决上述问题，本发明实施例还提出一种双极 VSC 无源控制装置，包括：充电单元和解锁控制单元，其中：

充电单元，配置为通过整流侧提供的直流电压对逆变侧的第一极 VSC 和第二极 VSC 进行无源充电；

5 解锁控制单元，配置为控制逆变侧的第一极 VSC 解锁后，对所述第一极 VSC 采用定交流电压控制，得到第一极 VSC 的三相调制参考电压，从而建立网侧交流电压；控制逆变侧的第二极 VSC 对所述第一极 VSC 建立的网侧交流电压的相位进行锁相，锁相后控制所述第二极 VSC 解锁。

上述方案中，所述解锁控制单元，还配置为对网侧交流电压参考值与网侧电压 d 轴分量的差进行相应的处理，得到第一极调制电压 d 轴参考值；
10 对 0 与网侧电压 q 轴分量的差进行相应的处理，得到第一极调制电压 q 轴参考值，对所述第一极调制电压 d 轴参考值和第一极调制电压 q 轴参考值进行帕克反变换，得到第一极 VSC 的三相调制参考电压值。

上述方案中，所述解锁控制单元包括计算单元，配置为通过下式计算
15 得到所述第一极调制电压 d 轴参考值：

$$U_{d1_ref} = K_p (U_{ac_ref}^* - U_{ac_d}) + \int \frac{K_p}{T_i} (U_{ac_ref}^* - U_{ac_d}) dt ;$$

式中， U_{d1_ref} 为第一极调制电压 d 轴参考值， K_p 为比例系数， $U_{ac_ref}^*$ 为网侧交流电压参考值 U_{ac_ref} 的标么值， U_{ac_d} 为网侧电压 d 轴分量， T_i 为积分时间常数；

20 以及，通过下式计算得到所述第一极调制电压 q 轴参考值 U_{q1_ref} ：

$$U_{q1_ref} = K_p (0 - U_{ac_q}) + \int \frac{K_p}{T_i} (0 - U_{ac_q}) dt ;$$

式中， U_{q1_ref} 为第一极调制电压 q 轴参考值， K_p 为比例系数， U_{ac_q} 为网侧电压 q 轴分量， T_i 为积分时间常数。

上述方案中，所述装置还包括：

双环控制单元，配置为对所述第二极 VSC 解锁后采用外环为功率环、内环为电流环的双环控制。

上述方案中，所述双环控制单元，还配置为对有功功率参考值与有功功率实测值的差进行 PI 控制，得到内环电流 d 轴参考值，对无功功率参考值与无功功率实测值的差进行 PI 控制，得到内环电流 q 轴参考值，所述内环电流 d 轴参考值和所述内环电流 q 轴参考值经过内环电流控制器，分别得到第二极调制电压 d 轴参考值和第二极调制电压 q 轴参考值，进行帕克反变换，得到第二极 VSC 的三相调制电压参考值。

本发明实施例还提供了一种计算机存储介质，所述计算机存储介质存储有计算机程序，该计算机程序配置为执行本发明实施例的上述双极 VSC 无源控制方法。

应用本发明实施例的双极 VSC 无源控制方法、装置及存储介质，具有以下有益效果：

通过控制逆变侧的其中一极 VSC 解锁后，对其采用定交流电压控制，然后控制逆变侧的另一极 VSC 对上述其中一极 VSC 输出的相位进行锁相，锁相后控制另一极 VSC 解锁。如此，实现了两极 VSC 的平稳解锁，解锁后两极 VSC 的电压相位保持同步，并同时为同一无源网络稳定供电。

附图说明

图 1 是本发明实施例提供的双极无源混合直流输电系统的拓扑结构示意图；

图 2 是本发明实施例提供的双极 VSC 中其中一极 VSC 的拓扑结构示意图；

图 3 是本发明实施例提供的双极 VSC 的极 1 控制器原理框图；

图 4 是本发明实施例提供的双极 VSC 的极 2 控制器原理框图；

图 5 是本发明实施例提供的双极 VSC 无源控制装置的组成结构示意图

图。

具体实施方式

下文中将参考附图并结合实施例来详细说明本发明。需要说明的是，在不冲突的情况下，本申请中的实施例及实施例中的特征可以相互组合。

5 如图 1 所示的双极无源混合直流输电系统，整流侧采用 LCC 接入交流电网，逆变侧采用 VSC 接入无源网络，LCC 端通过直流线路将功率送至 VSC 端，LCC 端直流侧串有平波电抗器，VSC 端直流侧串有二极管，VSC 端采用 MMC 结构，换流器由三相 6 个桥臂构成，每个桥臂由桥臂电感和数量相同的子模块构成，如图 2 所示，子模块采用半桥结构，包含 2 个 IGBT、
10 2 个反并联二极管和 1 个储能电容。

针对图 1 的混合直流系统，控制整流侧的双极 LCC 端解锁，利用双极 LCC 提供的稳定的直流电压，为逆变侧的极 1 和极 2（将双极 VSC 中先解锁的一极 VSC 称为极 1，后解锁的一极 VSC 称为极 2）的子模块中的电容器进行充电，充电完成后，解锁 VSC 端极 1，极 1 解锁后采用定交流电压
15 控制，建立 VSC 端交流侧的三相电压。由于 VSC 端极 1 和极 2 连接在同一个无源网络中，所以此时 VSC 端极 1 解锁后，其交流侧已存在交流电压，控制极 2 对极 1 输出的电压相位进行锁相，将极 2 的电压相位与极 1 的电压相位进行同步，然后以定有功功率控制和定无功功率控制方式对极 2 进行解锁。VSC 端极 2 解锁后，可通过控制极 2 输出的有功功率和无功功率
20 值完成两极的功率分配，实现有功功率和无功功率的双极协调控制。

当 VSC 端通过直流侧无源充电完成后，对 VSC 端极 1 进行解锁采用定交流电压控制，该控制过程包括：

如图 3 所示，对网侧交流电压参考值 U_{ac_ref} 的标幺值与网侧电压 d 轴分量 U_{ac_d} 的差进行控制，得到第一极调制电压 d 轴参考值 U_{d1_ref} ，对 0 与网
25 侧电压 q 轴分量 U_{ac_q} 的差进行控制，得到第一极调制电压 q 轴参考值 U_{q1_ref} ，

然后进行帕克反变换,得到极 1 的三相调制电压参考值 U_{a1_ref} 、 U_{b1_ref} 、 U_{c1_ref} 。
其中, U_{ac_ref} 从 0 以一定斜率增大,从而使建立的网侧交流电压平稳上升。

当 VSC 端极 1 解锁后,由于 VSC 端的两极连接在同一个无源网络中,所以此时 VSC 端极 2 的交流侧已存在交流电压,控制极 2 锁相极 1 的电压
5 相位,然后以定有功功率控制和定无功功率控制方式对极 2 进行解锁,极 2 的控制过程为:

如图 4 所示,对有功功率参考值 P_{ac_ref} 与有功功率实测值 P_{ac_meas} 的差进行 PI 控制,得到内环电流 d 轴参考值 I_{d_ref} ,对无功功率参考值 Q_{ac_ref} 与无功功率实测值 Q_{ac_meas} 的差进行 PI 控制,得到内环电流 q 轴参考值 I_{q_ref} ,经
10 过内环电流控制器分别得到第二极调制电压 d 轴参考值 U_{d2_ref} 和第二极调制电压 q 轴参考值 U_{q2_ref} ,进行帕克反变换得到极 2 的三相调制电压参考值 U_{a2_ref} 、 U_{b2_ref} 、 U_{c2_ref} 。其中, P_{ac_ref} 和 Q_{ac_ref} 从 0 以一定的升降速率增大或减小,从而使输出的有功功率与无功功率平稳变化。

然后,通过改变 VSC 端极 2 的 P_{ac_ref} 、 Q_{ac_ref} 和相应的升降速率参考值
15 完成两极的功率分配,实现有功功率和无功功率的双极协调控制。运行过程中,若极 2 发生故障,则极 2 停运,极 1 继续运行;若极 1 发生故障,则极 1 停运,同时极 2 控制策略切换为定交流电压控制并继续运行。

在实际实施时,利用整流侧 LCC 端解锁后建立直流电压,通过直流线路给逆变侧 VSC 端的子模块进行无源充电,然后解锁 VSC 端极 1,从而建
20 立 VSC 端交流侧三相电压,并在 VSC 端极 2 的交流侧产生交流电压,最后使极 2 锁相极 1 的电压相位后,以定有功功率和定无功功率控制方式将极 2 解锁。VSC 端极 2 解锁后,可通过控制极 2 输出的有功功率和无功功率值完成两极的功率分配,实现有功功率和无功功率的双极协调控制,逻辑简单,易于工程实现,能实现两极 VSC 的平稳解锁,同时为同一无源网络稳
25 定供电。

需要说明的是，本发明实施例提供的上述直流输电系统的双极 VSC 无源控制方法不仅仅适用于如图 1 所示的双极无源混合直流输电系统，即整流侧的换流器不限于 LCC，也可以是双极 VSC 或其他类型的换流器，只要整流侧的换流器能为逆变侧提供稳定的直流电压即可。

5 本实施例中解锁双极 LCC 的方式可以根据需要设定，既可以是同时解锁双极 LCC 为 VSC 端极 1 和极 2 的电容器充电，充电完成后再解锁极 1 和极 2；也可以采用先解锁极 1 对端的 LCC，再解锁极 2 对端 LCC 的方式，然后进行极 1 和极 2 的解锁；还可以在整流侧和逆变侧的两级进行分别解锁，如解锁极 1 对端的 LCC 后，解锁 VSC 端的极 1，再解锁极 2 对端的
10 LCC，最后解锁 VSC 端的极 2。

本发明实施例还提供了一种双极 VSC 无源控制装置，图 5 为本发明实施例双极 VSC 无源控制装置的组成结构示意图，如图 5 所示，包括充电单元 51 和解锁控制单元 52，

其中，充电单元 51，配置为对逆变侧的第一极 VSC 和第二极 VSC 通
15 过整流侧提供的直流电压进行无源充电；

解锁控制单元 52，配置为控制逆变侧的第一极 VSC 解锁后，对所述第一极 VSC 采用定交流电压控制，得到第一极 VSC 的三相调制参考电压；控制逆变侧的第二极 VSC 对所述第一极 VSC 输出的三相交流电压的相位进行锁相，锁相后控制所述第二极 VSC 解锁。

20 在一实施例中，所述解锁控制单元 52，还配置为对网侧交流电压参考值与网侧电压 d 轴分量的差进行相应的处理，得到第一极调制电压 d 轴参考值；

以及，对 0 与网侧电压 q 轴分量的差进行相应的处理，得到第一极调制电压 q 轴参考值，对所述第一极调制电压 d 轴参考值和第一极调制电压 q
25 轴参考值进行帕克反变换，得到第一极 VSC 的三相调制参考电压值。

在一实施例中，所述解锁控制单元 52 包括计算单元 521，配置为通过下式计算得到所述第一极调制电压 d 轴参考值：

$$U_{d1_ref} = K_p (U_{ac_ref}^* - U_{ac_d}) + \int \frac{K_p}{T_i} (U_{ac_ref}^* - U_{ac_d}) dt ;$$

式中， U_{d1_ref} 为第一极调制电压 d 轴参考值， K_p 为比例系数， $U_{ac_ref}^*$ 为网侧交流电压参考值 U_{ac_ref} 的标么值， U_{ac_d} 为网侧电压 d 轴分量， T_i 为积分时间常数；

以及，通过下式计算得到所述第一极调制电压 q 轴参考值 U_{q1_ref} ：

$$U_{q1_ref} = K_p (0 - U_{ac_q}) + \int \frac{K_p}{T_i} (0 - U_{ac_q}) dt ;$$

式中， U_{q1_ref} 为第一极调制电压 q 轴参考值， K_p 为比例系数， U_{ac_q} 为网侧电压 q 轴分量， T_i 为积分时间常数。

在一实施例中，所述装置还包括：

双环控制单元 53，配置为对所述第二极 VSC 解锁后采用外环为功率环、内环为电流环的双环控制。

在一实施例中，所述双环控制单元 53，还配置为对有功功率参考值与有功功率实测值的差进行 PI 控制，得到内环电流 d 轴参考值，对无功功率参考值与无功功率实测值的差进行 PI 控制，得到内环电流 q 轴参考值，所述内环电流 d 轴参考值和所述内环电流 q 轴参考值经过内环电流控制器，分别得到第二极调制电压 d 轴参考值和第二极调制电压 q 轴参考值，进行帕克反变换，得到第二极 VSC 的三相调制电压参考值。

上述实施例中所述的双极 VSC 无源控制装置，实际上是基于本发明方法流程的一种计算机解决方案，即一种软件构架，可以应用到换流站中，上述装置即为与方法流程相对应的处理进程。由于对上述方法的介绍已经足够清楚完整，且本实施例声称的装置实际上是一种软件构架，故不再详细描述。

本领域内的技术人员应明白，本发明的实施例可提供为方法、系统、或计算机程序产品。因此，本发明可采用硬件实施例、软件实施例、或结合软件和硬件方面的实施例的形式。而且，本发明可采用在一个或多个其中包含有计算机可用程序代码的计算机可用存储介质（包括但不限于磁盘
5 存储器和光学存储器等）上实施的计算机程序产品的形式。

本发明是参照根据本发明实施例的方法、设备（系统）、和计算机程序产品的流程图和/或方框图来描述的。应理解可由计算机程序指令实现流程图和/或方框图中的每一流程和/或方框、以及流程图和/或方框图中的流程和/或方框的结合。可提供这些计算机程序指令到通用计算机、专用计算机、
10 嵌入式处理机或其他可编程数据处理设备的处理器以产生一个机器，使得通过计算机或其他可编程数据处理设备的处理器执行的指令产生用于实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能的装置。

这些计算机程序指令也可存储在能引导计算机或其他可编程数据处理设备以特定方式工作的计算机可读存储器中，使得存储在该计算机可读存储器中的指令产生包括指令装置的制造品，该指令装置实现在流程图一个
15 流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能。

这些计算机程序指令也可装载到计算机或其他可编程数据处理设备上，使得在计算机或其他可编程设备上执行一系列操作步骤以产生计算机
20 实现的处理，从而在计算机或其他可编程设备上执行的指令提供用于实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能的步骤。

以上所述，仅为本发明的较佳实施例而已，并非用于限定本发明的保护范围。

工业实用性

本发明实施例中逆变侧的第一极 VSC 和第二极 VSC 通过整流侧提供的直流电压进行无源充电；控制逆变侧的第一极 VSC 解锁后，对所述第一极 VSC 采用定交流电压控制，得到第一极 VSC 的三相调制参考电压，从而建立网侧交流电压；控制逆变侧的第二极 VSC 对所述第一极 VSC 建立的网侧交流电压的相位进行锁相，锁相后控制所述第二极 VSC 解锁。如此，实现了两极 VSC 的平稳解锁，解锁后两极 VSC 的电压相位保持同步，并同时为同一无源网络稳定供电。

权利要求书

1、一种双极电压源换流器 VSC 无源控制方法，包括：

逆变侧的第一极 VSC 和第二极 VSC 通过整流侧提供的直流电压进行无源充电；

5 控制逆变侧的第一极 VSC 解锁后，对所述第一极 VSC 采用定交流电压控制，得到第一极 VSC 的三相调制参考电压，从而建立网侧交流电压；控制逆变侧的第二极 VSC 对所述第一极 VSC 建立的网侧交流电压的相位进行锁相，锁相后控制所述第二极 VSC 解锁。

2、根据权利要求 1 所述的方法，其中，所述定交流电压控制包括：

10 对网侧交流电压参考值与网侧电压 d 轴分量的差进行相应的处理，得到第一极调制电压 d 轴参考值；

对 0 与网侧电压 q 轴分量的差进行相应的处理，得到第一极调制电压 q 轴参考值，对所述第一极调制电压 d 轴参考值和第一极调制电压 q 轴参考值进行帕克反变换，得到第一极 VSC 的三相调制参考电压值。

15 3、根据权利要求 2 所述的方法，其中，所述第一极调制电压 d 轴参考值通过下式计算得到：

$$U_{d1_ref} = K_p (U_{ac_ref}^* - U_{ac_d}) + \int \frac{K_p}{T_i} (U_{ac_ref}^* - U_{ac_d}) dt ;$$

式中， U_{d1_ref} 为第一极调制电压 d 轴参考值， K_p 为比例系数， $U_{ac_ref}^*$ 为网侧交流电压参考值 U_{ac_ref} 的标幺值， U_{ac_d} 为网侧电压 d 轴分量， T_i 为积分
20 时间常数；

所述第一极调制电压 q 轴参考值 U_{q1_ref} 通过下式计算得到：

$$U_{q1_ref} = K_p (0 - U_{ac_q}) + \int \frac{K_p}{T_i} (0 - U_{ac_q}) dt ;$$

式中， U_{q1_ref} 为第一极调制电压 q 轴参考值， K_p 为比例系数， U_{ac_q} 为网

侧电压 q 轴分量, T_i 为积分时间常数。

4、根据权利要求 1 所述的方法，其中，所述第二极 VSC 解锁后采用外环为功率环、内环为电流环的双环控制。

5 5 根据权利要求 4 所述的方法, 其中, 所述外环为功率环、内环为电
流环的双环控制包括: 对有功功率参考值与有功功率实测值的差进行比例
和积分 PI 控制, 得到内环电流 d 轴参考值, 对无功功率参考值与无功功率
实测值的差进行 PI 控制, 得到内环电流 q 轴参考值, 所述内环电流 d 轴参
考值和所述内环电流 q 轴参考值经过内环电流控制器, 分别得到第二极调
制电压 d 轴参考值和第二极调制电压 q 轴参考值, 进行帕克反变换, 得到
10 第二极 VSC 的三相调制电压参考值。

6、一种双极电压源换流器 VSC 无源控制装置, 包括:

充电单元，配置为通过整流侧提供的直流电压对逆变侧的第一极 VSC 和第二极 VSC 进行无源充电；

解锁控制单元，配置为控制逆变侧的第一极 VSC 解锁后，对所述第一极 VSC 采用定交流电压控制，得到第一极 VSC 的三相调制参考电压，从而建立网侧交流电压；控制逆变侧的第二极 VSC 对所述第一极 VSC 建立的网侧交流电压的相位进行锁相，锁相后控制所述第二极 VSC 解锁。

7、根据权利要求6所述的装置，其中，

所述解锁控制单元，还配置为对网侧交流电压参考值与网侧电压 d 轴分量的差进行相应的处理，得到第一极调制电压 d 轴参考值；

以及,对 0 与网侧电压 q 轴分量的差进行相应的处理,得到第一极调制电压 q 轴参考值,对所述第一极调制电压 d 轴参考值和第一极调制电压 q 轴参考值进行帕克反变换,得到第一极 VSC 的三相调制参考电压值。

25 8、根据权利要求7所述的装置，其中，所述解锁控制单元包括计算单元，配置为通过下式计算得到所述第一极调制电压d轴参考值：

$$U_{d1_ref} = K_p (U_{ac_ref}^* - U_{ac_d}) + \int \frac{K_p}{T_i} (U_{ac_ref}^* - U_{ac_d}) dt ;$$

式中, U_{d1_ref} 为第一极调制电压 d 轴参考值, K_p 为比例系数, $U_{ac_ref}^*$ 为网侧交流电压参考值 U_{ac_ref} 的标幺值, U_{ac_d} 为网侧电压 d 轴分量, T_i 为积分时间常数;

5 以及, 通过下式计算得到所述第一极调制电压 q 轴参考值 U_{q1_ref} :

$$U_{q1_ref} = K_p (0 - U_{ac_q}) + \int \frac{K_p}{T_i} (0 - U_{ac_q}) dt ;$$

式中, U_{q1_ref} 为第一极调制电压 q 轴参考值, K_p 为比例系数, U_{ac_q} 为网侧电压 q 轴分量, T_i 为积分时间常数。

9、根据权利要求 6 所述的装置, 其中, 所述装置还包括:

10 双环控制单元, 配置为对所述第二极 VSC 解锁后采用外环为功率环、内环为电流环的双环控制。

10、根据权利要求 9 所述的装置, 其中,

所述双环控制单元, 还配置为对有功功率参考值与有功功率实测值的差进行 PI 控制, 得到内环电流 d 轴参考值, 对无功功率参考值与无功功率
15 实测值的差进行 PI 控制, 得到内环电流 q 轴参考值, 所述内环电流 d 轴参考值和所述内环电流 q 轴参考值经过内环电流控制器, 分别得到第二极调制电压 d 轴参考值和第二极调制电压 q 轴参考值, 进行帕克反变换, 得到第二极 VSC 的三相调制电压参考值。

11、一种计算机存储介质, 所述计算机存储介质中存储有计算机可执
20 行指令, 该计算机可执行指令用于执行权利要求 1 至 5 任一项所述的双极电压源换流器 VSC 无源控制方法。

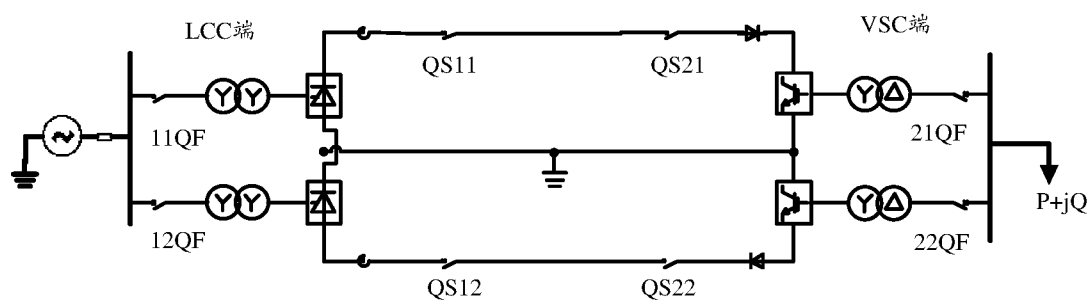


图 1

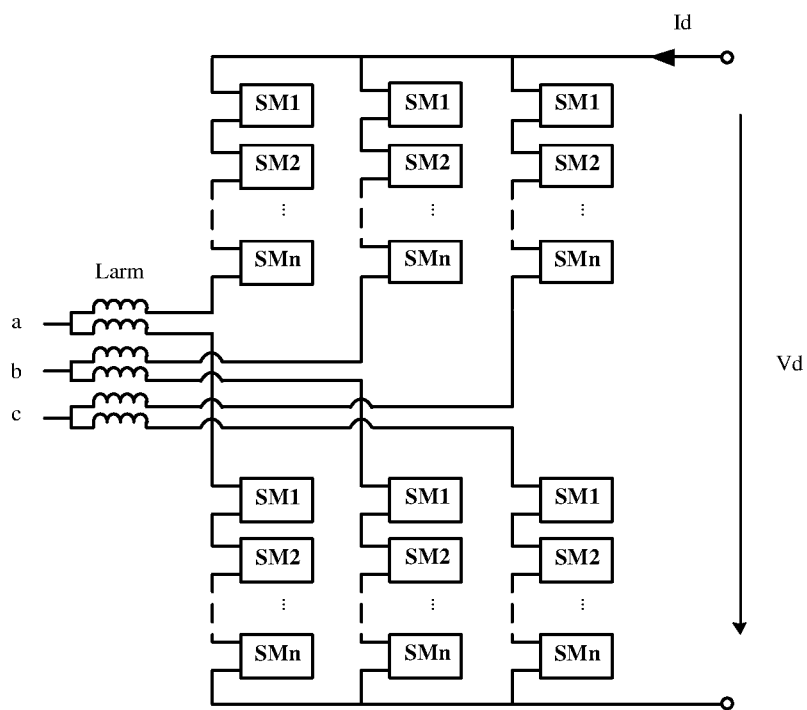


图 2

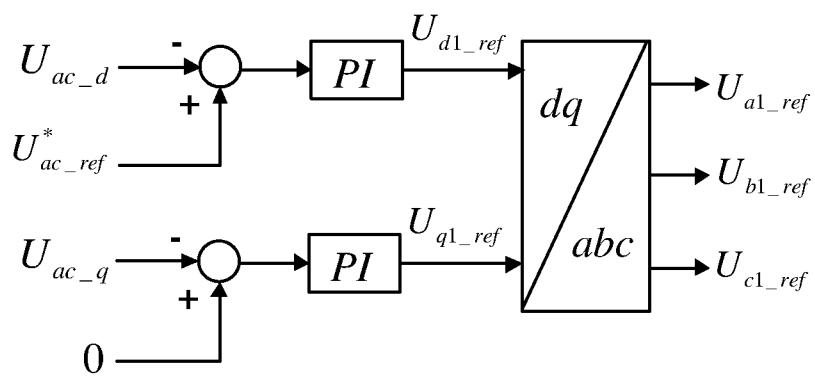


图 3

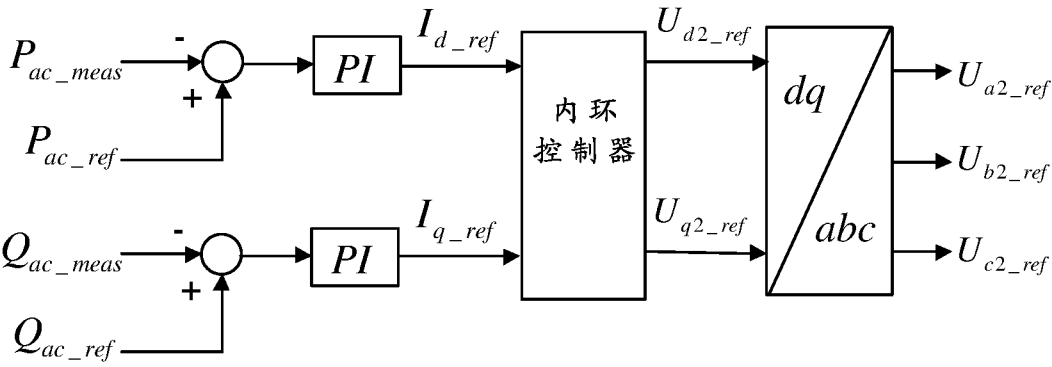


图 4

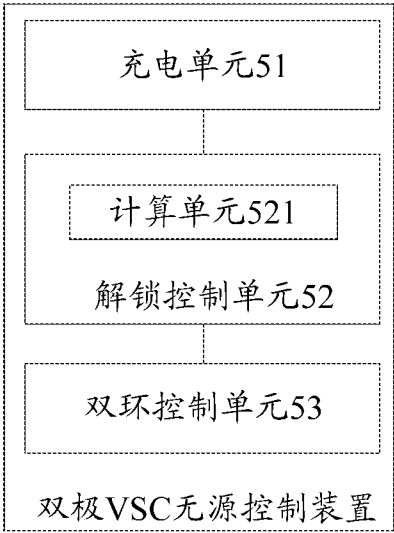


图 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2017/114074

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02J 3/36 (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)

CNPAT, WPI, EPODOC, CNKI: 许继电气股份有限公司, 许继集团有限公司, 国家电网公司, 直流输电系统, 电压源换流器, 双极, 两极, 第一极, 第二极, 解锁, 锁相, 相位, 偏差, 误差, 偏离, 协调, 同步, 匹配, LCC, VSC, dual, two, first, second, electrode, establish+, unlock+, phase, error, correspond+

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 107134800 A (XJ ELECTRIC CO., LTD. et al.), 05 September 2017 (05.09.2017), claims 1-10, description, paragraphs [0006]-[0053], and figures 1-4	1-10
A	CN 104821596 A (STATE GRID CORPORATION OF CHINA et al.), 05 August 2015 (05.08.2015), claims 1-2, description, paragraphs [0027]-[0034], and figures 1-6	1-11
A	CN 104362662 A (HUBEI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY), 18 February 2015 (18.02.2015), entire document	1-11
A	CN 104485683 A (NARI-RELAYS ELECTRIC CO., LTD. et al.), 01 April 2015 (01.04.2015), entire document	1-11
A	CN 105429165 A (HUBEI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY), 23 March 2016 (23.03.2016), entire document	1-11
A	US 2016268916 A1 (DRS CONSOLIDATED CONTROLS INC. et al.), 15 September 2016 (15.09.2016), entire document	1-11

☐ 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 08 February 2018	Date of mailing of the international search report 24 February 2018
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 FAN, Chunyan Telephone No. (86-10) 62413983

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2017/114074

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 107134800 A	05 September 2017	None	
CN 104821596 A	05 August 2015	None	
CN 104362662 A	18 February 2015	CN 104362662 B	24 August 2016
CN 104485683 A	01 April 2015	WO 2016101787 A1	30 June 2016
		CA 2970125 A1	30 June 2016
		EP 3211743 A1	30 August 2017
		KR 20170101903 A	06 September 2017
		IN 201717025364 A	10 November 2017
CN 105429165 A	23 March 2016	None	
US 2016268916 A1	15 September 2016	US 9621063 B2	11 April 2017

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2017/114074

A. 主题的分类

H02J 3/36(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))

CNPAT, WPI, EPODOC, CNKI:许继电气股份有限公司, 许继集团有限公司, 国家电网公司, 直流输电系统, 电压源换流器, 双极, 两极, 第一极, 第二极, 解锁, 锁相, 相位, 偏差, 误差, 偏离, 协调, 同步, 匹配, LCC, VSC, dual, two, first, second, electrode, establish+, unlock+, phase, error, correspond+

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 107134800 A (许继电气股份有限公司 等) 2017年 9月 5日 (2017 - 09 - 05) 权利要求1-10, 说明书第[0006]-[0053]段, 图1-4	1-10
A	CN 104821596 A (国家电网公司 等) 2015年 8月 5日 (2015 - 08 - 05) 权利要求1-2, 说明书第[0027]-[0034]段, 图1-6	1-11
A	CN 104362662 A (湖北工业大学) 2015年 2月 18日 (2015 - 02 - 18) 全文	1-11
A	CN 104485683 A (南京南瑞继保电气有限公司 等) 2015年 4月 1日 (2015 - 04 - 01) 全文	1-11
A	CN 105429165 A (湖北工业大学) 2016年 3月 23日 (2016 - 03 - 23) 全文	1-11
A	US 2016268916 A1 (DRS CONSOLIDATED CONTROLS INC. 等) 2016年 9月 15日 (2016 - 09 - 15) 全文	1-11

☐ 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

2018年 2月 8日

国际检索报告邮寄日期

2018年 2月 24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

樊春燕

电话号码 (86-10)62413983

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2017/114074

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	107134800	A	2017年 9月 5日	无			
CN	104821596	A	2015年 8月 5日	无			
CN	104362662	A	2015年 2月 18日	CN	104362662	B	2016年 8月 24日
CN	104485683	A	2015年 4月 1日	WO	2016101787	A1	2016年 6月 30日
				CA	2970125	A1	2016年 6月 30日
				EP	3211743	A1	2017年 8月 30日
				KR	20170101903	A	2017年 9月 6日
				IN	201717025364	A	2017年 11月 10日
CN	105429165	A	2016年 3月 23日	无			
US	2016268916	A1	2016年 9月 15日	US	9621063	B2	2017年 4月 11日

表 PCT/ISA/210 (同族专利附件) (2009年7月)