

(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
2019 年 6 月 27 日 (27.06.2019)



(10) 国际公布号
WO 2019/119872 A1

(51) 国际专利分类号:
H02P 21/22 (2016.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2018/103625

(22) 国际申请日: 2018 年 8 月 31 日 (31.08.2018)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201711385478.0 2017 年 12 月 20 日 (20.12.2017) CN

(71) 申请人: 广州汽车集团股份有限公司 (GUANGZHOU AUTOMOBILE GROUP CO., LTD.) [CN/CN]; 中国广东省广州市越秀区东风中路 448-458 号成悦大厦 23 楼, Guangdong 510030 (CN)。

(72) 发明人: 夏铸亮 (XIA, Zhuliang); 中国广东省广州市越秀区东风中路 448-458 号成悦大厦 23 楼, Guangdong 510030 (CN)。 刘伟 (LIU, Wei); 中国广东省广州市越秀区东风中路 448-458 号成悦大厦 23 楼, Guangdong 510030 (CN)。 覃兴琨 (QIN, Xingkun); 中国广东省广州市越秀区东风中路 448-458 号成悦大厦 23 楼, Guangdong 510030 (CN)。 张慧忠 (ZHANG, Huizhong); 中国广东省广州市越秀区东风中路 448-458 号成悦大厦 23 楼, Guangdong 510030 (CN)。 廖展图 (LIAO, Zhantu); 中国广东省广州市越秀区东风中路 448-458 号成悦大厦 23 楼, Guangdong 510030 (CN)。 赵小坤 (ZHAO, Xiaokun); 中国广东省广州市越秀区东风中路 448-458 号成悦大厦 23 楼, Guangdong 510030 (CN)。

(54) **Title:** METHOD FOR CONTROLLING DIRECT CURRENT BUS DISCHARGE, SYSTEM, COMPUTER EQUIPMENT, AND STORAGE MEDIUM

(54) 发明名称: 控制直流母线放电方法、系统、计算机设备及存储介质

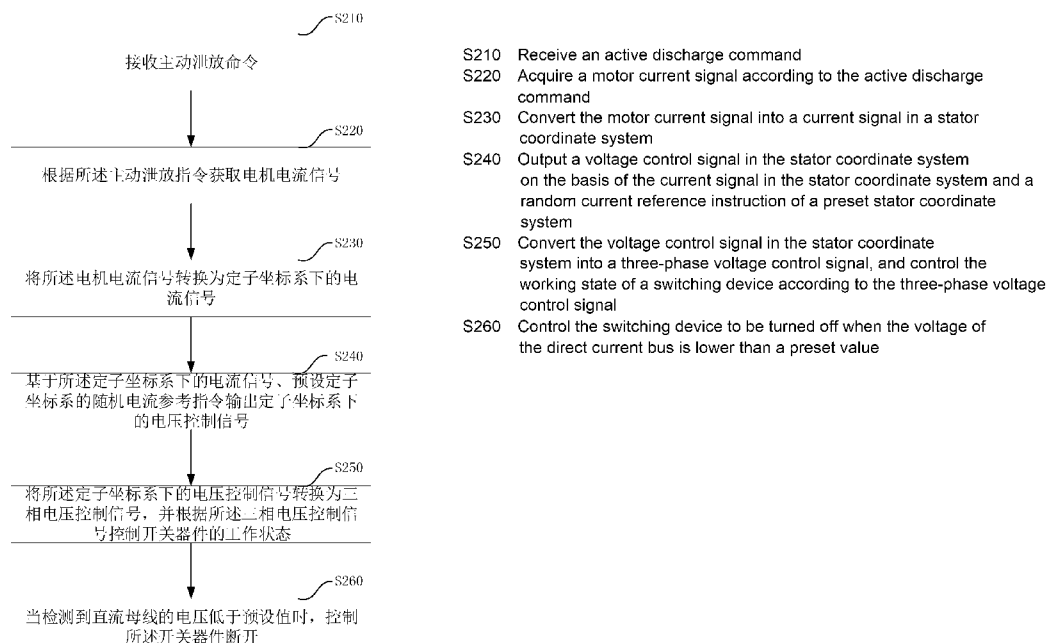


图 2

(57) **Abstract:** The present invention relates to a method for controlling direct current bus discharge, comprising: receiving an active discharge command; acquiring a motor current signal according to the active discharge command; converting the motor current signal into a current signal in a stator coordinate system; outputting a voltage control signal in the stator coordinate system on the basis of the current signal in the stator coordinate system and a random current reference instruction of a preset stator coordinate system; converting the voltage control signal in the stator coordinate system into a three-phase voltage control signal, and controlling the working state of a

(74) 代理人: 广州华进联合专利商标代理有限公司 (ADVANCE CHINA IP LAW OFFICE); 中国广东省广州市天河区珠江东路6号4501房 (部位: 自编01-03和08-12单元) (仅限办公用途), Guangdong 510623 (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, 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))。

switching device according to the three-phase voltage control signal. The working state of a switching device is controlled by outputting a voltage control signal by means of a current signal in a stator coordinate system and a random current reference instruction of a preset stator coordinate system such that a motor controller discharges, and thus the problem wherein there is no way to prevent stator current from generating mechanical torque when a rotor position sensor fails, and therefore residual electrical energy on a high-voltage direct current bus cannot be quickly discharged is solved.

(57) 摘要: 本发明涉及一种控制直流母线放电方法, 包括: 接收主动泄放命令; 根据所述主动泄放指令获取电机电流信号; 将所述电机电流信号转换为定子坐标系下的电流信号; 基于所述定子坐标系下的电流信号、预设定子坐标系的随机电流参考指令输出定子坐标系下的电压控制信号; 将所述定子坐标系下的电压控制信号转换为三相电压控制信号, 并根据所述三相电压控制信号控制开关器件的工作状态。通过定子坐标系下的电流信号、预设定子坐标系的随机电流参考指令输出定子坐标系下的电压控制信号控制开关器件的工作状态, 使电机控制器放电, 解决了当转子位置传感器失效时, 将无法防止定子电流产生机械扭矩, 从而导致无法迅速将高压直流母线上残余电能泄放掉的问题。

控制直流母线放电方法、系统、计算机设备及存储介质

技术领域

本发明涉及电力系统技术领域，特别是涉及一种控制直流母线放电方法、
5 系统、计算机设备及存储介质。

背景技术

采用永磁同步电机作为驱动电机的电动产品高压系统，由动力电池包（高压电池包）、驱动电机逆变器（电机控制器）、永磁同步电机和其他高压用电器组成。每个用电器高压直流输入侧一般都有储能电容。在严重故障情况下，
10 动力电池包内部继电器断开，停止给高压回路供电，但是高压直流母线上的电容会因残余电能而有高压，这些高电压可能会造成接触者触电。因此安全规范中会要求在电池包内部继电器断开后，通过一定的办法迅速（比如 2s 内）将高压直流母线上残余电能泄放掉（比如低于 60V）。这种放电过程被称为高压系
15 统的主动放电。

目前的高压系统的主动放电的方法，在放电过程中，需要转子位置传感器（如旋转变压器 Resolver）来获取永磁同步电机转子转角，然后根据转子转角控制定子电流（只有 D 轴电流，没有 Q 轴电流），以防止定子电流产生机械扭矩。但是，当转子位置传感器失效时，将无法防止定子电流产生机械扭矩，从而导
20 致无法迅速将高压直流母线上残余电能泄放掉。

发明内容

基于此，有必要针对当转子位置传感器失效时，将无法防止定子电流产生机械扭矩，从而导致无法迅速将高压直流母线上残余电能泄放掉的问题，提供
25 一种控制直流母线放电方法、系统、计算机设备及存储介质。

一种控制直流母线放电方法，包括：

接收主动泄放命令；

根据所述主动泄放指令获取电机电流信号；

将所述电机电流信号转换为定子坐标系下的电流信号；

基于所述定子坐标系下的电流信号、预设定子坐标系的随机电流参考指令输出定子坐标系下的电压控制信号；

将所述定子坐标系下的电压控制信号转换为三相电压控制信号，并根据所述三相电压控制信号控制开关器件的工作状态。

在其中一个实施例中，还包括步骤：当检测到直流母线的电压低于预设值时，控制所述开关器件断开。

在其中一个实施例中，所述随机电流参考指令的随机电流参考信号包括 α 轴分量电流和 β 轴分量电流，其中， α 轴分量电流的期望值为 0， β 轴分量电流的期望值为 0， α 轴分量电流的方差与 β 轴分量电流的方差相同， α 轴分量电流的协方差， β 轴分量电流的协方差为 0。

在其中一个实施例中，所述将所述定子坐标系下的电压控制信号转换为三相电压控制信号，并根据所述三相电压控制信号控制开关器件的工作状态步骤还包括：

将所述定子坐标系下的电压控制信号通过逆 Clarke 变换转换为三相电压控制信号；

将三相电压控制信号采用脉冲宽度调制，产生 PWM 信号；

使 PWM 信号控制开关器件的工作状态。

在其中一个实施例中，采用 Clarke 变换将所述电机电流信号转换为定子坐标系下的电流信号。

在其中一个实施例中，一种控制直流母线放电系统，包括：

主动泄放命令接收模块，用于接收主动泄放命令；

获取信号模块，用于根据所述主动泄放指令获取电机电流信号

信号转换模块，用于将所述电机电流信号转换为定子坐标系下的电流信号；

信号输出模块，用于基于所述定子坐标系下的电流信号、预设定子坐标系的随机电流参考指令输出定子坐标系下的电压控制信号；

控制模块，用于将所述定子坐标系下的电压控制信号转换为三相电压控制信号，并根据所述三相电压控制信号控制开关器件的工作状态。

在其中一个实施例中，还包括：检测模块，用于当检测到直流母线的电压低于预设值时，控制所述开关器件断开。

在其中一个实施例中，控制模块包括：

信号转换单元，用于将所述定子坐标系下的电压控制信号通过逆 Clarke 变换转换为三相电压控制信号；

信号调制单元，用于将三相电压控制信号采用脉冲宽度调制，产生 PWM 信号；

控制单元，用于使 PWM 信号控制开关器件的工作状态。

在其中一个实施例中，一种计算机设备，包括存储器、处理器以及存储在所述存储器上并可在所述处理器上运行的计算机程序，所述处理器执行所述计算机程序时实现所述的控制直流母线放电方法。

在其中一个实施例中，一种存储介质，其上存储有计算机程序，该程序被处理器执行时实现所述的控制直流母线放电方法。

上述控制直流母线放电方法、系统、计算机设备及存储介质，通过定子坐标系下的电流信号、预设定子坐标系的随机电流参考指令输出定子坐标系下的电压控制信号控制开关器件的工作状态，使电机控制器放电，解决了当转子位置传感器失效时，将无法防止定子电流产生机械扭矩，从而导致无法迅速将高压直流母线上残余电能泄放掉的问题。

附图说明

图 1 为本发明的电动汽车高压系统和电机控制器原理图；

图 2 为本发明一个实施例中控制直流母线放电方法的流程示意图；

图 3 为本发明一个实施例中控制直流母线放电方法的流程示意图；

图 4 为本发明一个实施例中控制直流母线放电方法的过程示意图；

图 5 为本发明一个实施例中控制直流母线放电系统的结构示意图；

图 6 为本发明一个实施例中控制直流母线放电系统的结构示意图。

具体实施方式

为使本发明的目的、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的详细说明。应当理解，此处所描述的具体实施方式仅仅用以解释本发明，并不限定本发明的保护范围。

5 请参阅图 1，采用永磁同步电机作为驱动电机的电动汽车高压系统，由动力电池包（高压电池包）、驱动电机逆变器（电机控制器）、永磁同步电机和其他高压用电器组成。每个用电器高压直流输入侧一般都有储能电容 C_{bus} 、 C_0 。在严重故障情况下，动力电池包内部继电器断开，停止给高压回路供电，但是高压直流母线上的电容会因残余电能而有高压，这些高电压有危害乘员、维修
10 人员的潜在安全。因此整车安全规范中会要求在电池包内部继电器断开后，通过一定的办法迅速（比如 2s 内）将高压直流母线上残余电能泄放掉（比如低于 60V）。这种放电过程被称为高压系统的主动放电。因此，需要通过电压控制器控制开关 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 、 Q_4 、 Q_5 、 Q_6 将高压直流母线上残余电能泄放掉。

图 2 示出了一个实施例中的控制直流母线放电方法，其包括如下步骤 S210
15 至步骤 S250。

步骤 S210，接收主动泄放命令。

其中，当需要泄放高压母线上的电流时，电机控制器接收到主动泄放命令。该主动泄放指令可以是由整车控制器 VCU（vehicle control unit）发出的。在整车出现故障、整车高压系统下电等情况下，整车控制器会发出主动泄放指令。

20 步骤 S220，根据所述主动泄放指令获取电机电流信号。

其中，电机电流信号为电机三相电流信号，当接收到主动泄放指令时，通过电流传感器（一种检测装置，能检测到被测电流的信息，并能将检测到的信息，按一定规律变换成为符合一定标准需要的电信号或其他所需形式的信息输出，以满足信息的传输、处理、存储、显示、记录和控制等要求）获取的电机
25 三相电流信号。

步骤 S230，将所述电机电流信号转换为定子坐标系下的电流信号；

其中，定子坐标系下的电流坐标 (I_α, I_β) 是直接和电机的三相电流 (I_a, I_b, I_c) 一一对应的，他们之间的转换关系是一个常数矩阵，矩阵系数不包含转子的

转动角度 θ 。这样的坐标系，可以看成是一个捆绑在电机定子上的坐标系，因此习惯上称之为“定子坐标系”。

具体地，电机电流信号包括 A 相电流 I_a 、B 相电流 I_b 、C 相电流 I_c ，通过电流传感器获取的电机电流信号为三相电流信号 I_a 、 I_b 、 I_c 。对三相电流信号 I_a 、 I_b 、 I_c 经过 Clarke（克拉克）变换（Clarke 变换将原来的三相电流简化成两相电流，从三相定子 A—B—C 坐标系变换到两相定子 α — β 坐标系。也称为 3/2 变换）（ $abc \rightarrow \alpha\beta$ ）后变成定子坐标系下的电流信号 I_α 、 I_β 。

步骤 S240，基于所述定子坐标系下的电流信号、预设定子坐标系的随机电流参考指令输出定子坐标系下的电压控制信号。

其中，预设定子坐标系的随机电流参考指令可以由控制器内部产生，预设定子坐标系的随机电流参考指令中包含随机电流参考值信息，其预设定子坐标系的随机电流参考值为 $I_\alpha^* I_\beta^*$ 。将定子坐标系下的电流信号 I_α 、 I_β 、预设定子坐标系的随机电流参考指令中的预设定子坐标系的随机电流参考值 $I_\alpha^* I_\beta^*$ 一同输入反馈控制单元。经过控制运算后，反馈控制单元输出定子坐标系下的电压控制信号 $U_\alpha^* U_\beta^*$ 。所述随机电流参考指令的随机电流参考信号包括 α 轴分量电流 I_α^* 和 β 轴分量电流 I_β^* 。其中， α 轴分量电流 I_α^* 和 β 轴分量电流 I_β^* 可以是随机的，可以是任意一种随机序列，其只要满足： α 轴分量电流 I_α^* 的期望值为 0， β 轴分量电流 I_β^* 的期望值为 0， α 轴分量电流 I_α^* 的方差与 β 轴分量电流 I_β^* 的方差相同， α 轴分量电流 I_α^* 的协方差， β 轴分量电流 I_β^* 的协方差为 0。该需满足的条件具体可表示为：

$$\begin{cases} E[I_\alpha^*] = 0 \\ E[I_\beta^*] = 0 \\ E[(I_\alpha^*)^2] = E[(I_\beta^*)^2] \\ E[I_\alpha^* I_\beta^*] = 0 \end{cases} \quad (1)$$

举例来说， $I_\alpha^* I_\beta^*$ 的可以独立地选择如下均匀分布：

$$f(i) = \begin{cases} \frac{1}{0.4I_{rate}} & |i| \leq 0.2I_{rate} \\ 0 & |i| > 0.2I_{rate} \end{cases} \quad (2)$$

$f(i)$ 为电流指令 i 的概率密度函数。

由于电流的控制一般是固定频率的离散控制，每个控制周期都会有一对随机的电流指令，记为 $I_{\alpha,k}^*$ 和 $I_{\beta,k}^*$ ，下标 k 表示第 k 个控制周期。不同周期之间的随机电流指令之间的关系可由相关函数（或功率密度谱）表述。本发明 I_{α}^* 和 I_{β}^* 的时间序列可以是白噪声序列，也可以是按照其他一定目的设计的具有特定相关函数的序列。

具体地，预设定子坐标系的随机电流参考指令为随机白噪声电流。

放电过程中，随机白噪声电流功率频谱宽，其高频部分会因为集肤效应而增大电阻损耗，从而加快残余电能泄放速度。由于电流指令为随机序列，所以产生的转矩是随机变化的转矩，转矩的期望值为零，因此实际几乎不会产生有效的扭矩，分析如下：

假设转子坐标 D 轴正向和定子坐标 α 轴正向夹角为 θ ，那么此时的转矩 T_e 和 $I_{\alpha}I_{\beta}$ 的关系为：

$$T_e = \frac{3}{2} (I_{\beta} \cos(\theta) - I_{\alpha} \sin(\theta)) \left[\psi_m + (L_d - L_q) (I_{\alpha} \cos(\theta) + I_{\beta} \sin(\theta)) \right] \quad (3)$$

将式（1）结合（3）分析可得：

$$E[T_e] = 0 \quad (4)$$

即转矩的期望值为零，实际电机转矩表现为平均为零的高频随机波动转矩。

步骤 S250，将所述定子坐标系下的电压控制信号转换为三相电压控制信号，并根据所述三相电压控制信号控制开关器件的工作状态。这里的开关器件可以是图 1 中所示的开关器件 Q1、Q2、Q3、Q4、Q5 和 Q6。

其中，请参阅图 3，所述将所述定子坐标系下的电压控制信号转换为三相电压控制信号，并根据所述三相电压控制信号控制开关器件的工作状态步骤还包括步骤 S252 至 S256：

步骤 S252，将所述定子坐标系下的电压控制信号通过逆克拉克变换转换为三相电压控制信号；

步骤 S254，将三相电压控制信号采用脉冲宽度调制，产生 PWM 信号；

步骤 S256, 使 PWM 信号控制开关器件的工作状态。

进一步地, 反馈控制单元输出定子坐标下的电压指令 $U_{\alpha}^* U_{\beta}^*$ 经过逆 Clarke 变换 (将原来的两相绕组上的电压回路方程式简化成三相绕组上的电压回路方程式, 从两相定子 $\alpha-\beta$ 坐标系变换到两相定子 A—B—C 坐标系) 后 ($\alpha\beta \rightarrow abc$) 5 变成三相电压指令 (U_a^* 、 U_b^* 、 U_c^*)。三相电压指令 (U_a^* 、 U_b^* 、 U_c^*) 经过脉冲宽度 (PWM) 调制 (脉冲宽度调制是一种模拟控制方式, 其根据相应载荷的变化来调制晶体管基极或 MOS 管栅极的偏置, 来实现晶体管或 MOS 管导通时间的改变, 从而实现开关稳压电源输出的改变) 后, 产生各个开关器件的 PWM 信号, 从而控制逆变器工作, 使得电机电流跟随电流指令 $I_{\alpha}^* I_{\beta}^*$ 变化。

10 具体地, PWM 波调制方式选择 5 步 SVPWM 调制。由于选择 5 步 SVPWM 调制, 产生的纹波电流更大, 更有利于损耗电流。

上述控制直流母线放电方法, 采用在定子坐标系下对电流进行控制, 而在定子坐标系下控制电流就不用 θ 信号, 就能使电机控制器放电, 解决了当转子位置传感器失效时, 将无法防止定子电流产生机械扭矩, 从而导致无法迅速将 15 高压直流母线上残余电能泄放掉的问题。

上述控制直流母线放电方法, 即便永磁同步电机转子位置传感器失效, 仍然可以通过电机绕组进行高压泄放, 且泄放过程中几乎不会对转子产生有效的扭矩, 同时放电效率可以得到提高。

请参阅图 2, 在其中一个实施例中, 一种控制直流母线放电方法在步骤 S210 20 至步骤 S250 之后还包括步骤 S260。

步骤 S260, 当检测到直流母线的电压低于预设值时, 控制所述开关器件断开。

其中, 预设值可以是到达不会对人体造成伤害的电压值范围, 如 60V 以下。在放电过程中, 对直流母线的电压进行实时检测, 当检测到直流母线电压达到 25 安全电压要求后, 电机控制器停止主动放电。

上述的控制直流母线放电方法, 在放电任务完成后会自动停止放电, 避免一直处于状态。

请参阅图 4, 在其中一个实施例中, 一种控制直流母线放电方法, 通过电流传感器获取的电机三相电流信号 I_a 、 I_b 、 I_c , I_a 、 I_b 、 I_c 经过 Clarke (克拉克) 变换后变成定子坐标系下的电流信号 I_α 、 I_β , 并由控制器软件内部产生定子坐标系下的随机电流参考指令 I_α^* 、 I_β^* , 将定子坐标系下的电流信号 I_α 、 I_β 和定子坐标系下的随机电流参考指令 I_α^* 、 I_β^* 一同送入反馈控制单元。经过控制运算后, 反馈控制单元输出定子坐标下的电压指令 U_α^* 、 U_β^* 经过逆 Clarke 变换后 ($\alpha\beta \rightarrow abc$) 变成三相电压指令 (U_a^* 、 U_b^* 、 U_c^*)。三相电压指令经过 PWM 调制后, 产生控制 Q1...Q6 各个开关器件的逆变电路驱动 PWM 信号, 从而控制逆变器工作, 使得电机电流跟随电流指令 I_α^* 、 I_β^* 变化。

请参阅图 5, 本申请还提供一种控制直流母线放电系统, 包括: 主动泄放命令接收模块 310、获取信号模块 320、信号转换模块 330、信号输出模块 340、控制模块 350。

主动泄放命令接收模块 310, 用于接收主动泄放命令;

其中, 当需要泄放高压母线上的电流时, 电机控制器接收到主动泄放命令。

获取信号模块 320, 用于根据所述主动泄放指令获取电机电流信号;

其中, 电机电流信号为电机三相电流信号, 当接收到主动泄放指令时, 通过电流传感器 (电流传感器, 是一种检测装置, 能感受到被测电流的信息, 并能将检测感受到的信息, 按一定规律变换成为符合一定标准需要的电信号或其他所需形式的信息输出, 以满足信息的传输、处理、存储、显示、记录和控制等要求) 获取的电机三相电流信号。

信号转换模块 330, 用于将所述电机电流信号转换为定子坐标系下的电流信号;

其中, 定子坐标系下的电流坐标 (I_α , I_β) 是直接和电机的三相电流 (I_a 、 I_b 、 I_c) 一一对应的, 他们之间的转换关系是一个常数矩阵, 矩阵系数不包含转子的转动角度 θ 。这样的坐标系, 可以看成是一个捆绑在电机定子上的坐标系, 因此习惯上称之为“定子坐标系”。

具体地, 电机电流信号为 I_a 、 I_b 、 I_c , 通过电流传感器获取的电机电流信号为 I_a 、 I_b 、 I_c 。 (I_a 、 I_b 、 I_c) 经过 Clarke (克拉克) 变换 (Clarke 变换将原来的三

相电流简化成两相电流，从三相定子 A—B—C 坐标系变换到两相定子 α — β 坐标系。也称为 3/2 变换) ($abc \rightarrow \alpha\beta$) 后变成定子坐标系下的电流信号 $I_\alpha I_\beta$ 。

信号输出模块 340，用于基于所述定子坐标系下的电流信号、预设定子坐标系的随机电流参考指令输出定子坐标系下的电压控制信号；

5 其中，预设定子坐标系的随机电流参考指令是由控制器软件内部产生，预设定子坐标系的随机电流参考指令中包含随机电流参考值信息，其预设定子坐标系的随机电流参考值为 $I_\alpha^* I_\beta^*$ 。将定子坐标系下的电流信号 $I_\alpha I_\beta$ 、预设定子坐标系的随机电流参考指令中的预设定子坐标系的随机电流参考值 $I_\alpha^* I_\beta^*$ 一同输入反馈控制单元。经过控制运算后，反馈控制单元输出定子坐标系下的电压控制
10 信号 $U_\alpha^* U_\beta^*$ 。所述定子坐标系下的电流信号、预设定子坐标系的随机电流参考指令输出定子坐标系下的电压控制信号步骤中的随机电流参考指令满足以下条件：随机电流参考信号 I_α^* 和 I_β^* 的期望值都为 0、随机电流参考信号 I_α^* 和 I_β^* 的方差相同、随机电流参考信号 I_α^* 和 I_β^* 的协方差为 0。

进一步地，软件内部产生的 $I_\alpha^* I_\beta^*$ 电流指令是随机的，可以是任意一种随机
15 序列，只要满足如下要求：

$$\begin{cases} E[I_\alpha^*] = 0 \\ E[I_\beta^*] = 0 \\ E[(I_\alpha^*)^2] = E[(I_\beta^*)^2] \\ E[I_\alpha^* I_\beta^*] = 0 \end{cases} \quad (1)$$

举例来说， $I_\alpha^* I_\beta^*$ 的可以独立地选择如下均匀分布：

$$f(i) = \begin{cases} \frac{1}{0.4I_{rate}} & |i| \leq 0.2I_{rate} \\ 0 & |i| > 0.2I_{rate} \end{cases} \quad (2)$$

$f(i)$ 为电流指令 i 的概率密度函数。

20 由于电流的控制一般是固定频率的离散控制，每个控制周期都会有一对随机的电流指令，记为 $I_{\alpha,k}^*$ 和 $I_{\beta,k}^*$ ，下标 k 表示第 k 个控制周期。不同周期之间的随机电流指令之间的关系可由相关函数（或功率密度谱）表述。本发明 I_α^* 和 I_β^* 的时间序列可以是白噪声序列，也可以是按照其他一定目的设计的具有特定相

关函数的序列。

具体地，预设定子坐标系的随机电流参考指令为随机白噪声电流。

放电过程中，随机白噪声电流功率频谱宽，其高频部分会因为集肤效应而增大电阻损耗，从而加快残余电能泄放速度。由于电流指令为随机序列，所以产生的转矩是随机变化的转矩，转矩的期望值为零，因此实际几乎不会产生有效的
5 的扭矩，分析如下：

假设转子坐标 D 轴正向和定子坐标 α 轴正向夹角为 θ ，那么此时的转矩 T_e 和 $I_\alpha I_\beta$ 的关系为：

$$T_e = \frac{3}{2} (I_\beta \cos(\theta) - I_\alpha \sin(\theta)) \left[\psi_m + (L_d - L_q) (I_\alpha \cos(\theta) + I_\beta \sin(\theta)) \right] \quad (3)$$

将式 (1) 结合 (3) 分析可得：

$$E[T_e] = 0 \quad (4)$$

10 即转矩的期望值为零，实际电机转矩表现为平均为零的高频随机波动转矩。

控制模块 350，用于将所述定子坐标系下的电压控制信号转换为三相电压控制信号，并根据所述三相电压控制信号控制开关器件的工作状态。

其中，请参阅图 6，控制模块 350 还包括：信号转换单元 352、信号调制单元 354、控制单元 356。

15 信号转换单元 352，用于将所述定子坐标系下的电压控制信号通过逆克拉克变换转换为三相电压控制信号；

信号调制单元 354，用于将三相电压控制信号采用脉冲宽度调制，产生 PWM 信号；

控制单元 356，用于使 PWM 信号控制开关器件的工作状态。

20 进一步地，反馈控制单元输出定子坐标下的电压指令 $U_\alpha^* U_\beta^*$ 经过逆 Clarke 变换（将原来的两相绕组上的电压回路方程式简化成三相绕组上的电压回路方程式，从两相定子 $\alpha-\beta$ 坐标系变换到两相定子 A—B—C 坐标系）后 ($\alpha\beta \rightarrow abc$) 变成三相电压指令 (U_a^* 、 U_b^* 、 U_c^*)。三相电压指令 (U_a^* 、 U_b^* 、 U_c^*) 经过脉冲宽度 (PWM) 调制（脉冲宽度调制是一种模拟控制方式，其根据相应载荷的

变化来调制晶体管基极或 MOS 管栅极的偏置，来实现晶体管或 MOS 管导通时间的改变，从而实现开关稳压电源输出的改变）后，产生各个开关器件的 PWM 信号，从而控制逆变器工作，使得电机电流跟随电流指令 $I_{\alpha}^* I_{\beta}^*$ 变化。

具体地，PWM 波调制方式选择 5 步 SVPWM 调制。由于选择 5 步 SVPWM 调制，产生的纹波电流更大，更有利于损耗电流。

上述控制直流母线放电系统，采用在定子坐标系下对电流进行控制，而在定子坐标系下控制电流就不用 θ 信号，就能使电机控制器放电，解决了当转子位置传感器失效时，将无法防止定子电流产生机械扭矩，从而导致无法迅速将高压直流母线上残余电能泄放掉的问题。

上述控制直流母线放电系统，即便永磁同步电机转子位置传感器失效，仍然可以通过电机绕组进行高压泄放，且泄放过程中几乎不会对转子产生有效的扭矩，同时放电效率可以得到提高。

请参阅图 5，在其中一个实施例中，一种控制直流母线放电系统，还包括检测模块。

检测模块，用于当检测到直流母线的电压低于预设值时，控制所述开关器件断开。

其中，预设值可以是到达不会对人体造成伤害的电压值范围，如 60V 以下。在放电过程中，对直流母线的电压进行实时检测，当检测到直流母线电压达到安全电压要求后，电机控制器停止主动放电。

上述的控制直流母线放电系统，在放电任务完成后会自动停止放电，避免一直处于状态。

此外，本领域普通技术人员可以理解实现上述实施例方法中的全部或部分流程，是可以通过计算机程序来指令相关的硬件来完成，所述的程序可存储于一非易失性的计算机可读取存储介质中，如本发明实施例中，该程序可存储于计算机系统的存储介质中，并被该计算机系统至少一个处理器执行，以实现包括如上述各控制直流母线放电方法的实施例的流程。

为此，在一个实施例中，还提供一种存储介质，其上存储有计算机程序，

其中，该程序被处理器执行时实现如上述各实施例中的任意一种控制直流母线放电方法。其中，所述的存储介质可为磁碟、光盘、只读存储记忆体（Read-Only Memory, ROM）或随机存储记忆体（Random Access Memory, RAM）等。

5 该计算机存储介质，其存储的计算机程序，通过实现包括如上述各控制直流母线放电方法的实施例的流程，从而可以通过采用在定子坐标系下对电流进行控制，而在定子坐标系下控制电流就不用 θ 信号，就能使电机控制器放电，解决了当转子位置传感器失效时，将无法防止定子电流产生机械扭矩，从而导致无法迅速将高压直流母线上残余电能泄放掉的问题。

10 此外，在一个实施例中，还提供一种计算机设备，该计算机设备包括存储器、处理器及存储在存储器上并可在处理器上运行的计算机程序，其中，处理器执行所述程序时实现如上述各实施例中的任意一种控制直流母线放电方法。

该计算机设备，其处理器执行程序时，通过采用在定子坐标系下对电流进行控制，而在定子坐标系下控制电流就不用 θ 信号，就能使电机控制器放电，解决了当转子位置传感器失效时，将无法防止定子电流产生机械扭矩，从而导致
15 无法迅速将高压直流母线上残余电能泄放掉的问题。

以上所述实施例的各技术特征可以进行任意的组合，为使描述简洁，未对上述实施例中的各个技术特征所有可能的组合都进行描述，然而，只要这些技术特征的组合不存在矛盾，都应当认为是本说明书记载的范围。

20 以上所述实施例仅表达了本发明的几种实施方式，其描述较为具体和详细，但并不能因此而理解为对发明专利范围的限制。应当指出的是，对于本领域的普通技术人员来说，在不脱离本发明构思的前提下，还可以做出若干变形和改进，这些都属于本发明的保护范围。因此，本发明的保护范围应以所附权利要求要求为准。

权利要求书

1、一种控制直流母线放电方法，其特征在于，包括：

接收主动泄放命令；

根据所述主动泄放指令获取电机电流信号；

5 将所述电机电流信号转换为定子坐标系下的电流信号；

基于所述定子坐标系下的电流信号、预设定子坐标系的随机电流参考指令
输出定子坐标系下的电压控制信号；

将所述定子坐标系下的电压控制信号转换为三相电压控制信号，并根据所述三相电压控制信号控制开关器件的工作状态。

10 2、根据权利要求1所述的控制直流母线放电方法，其特征在于，还包括步骤：当检测到直流母线的电压低于预设值时，控制所述开关器件断开。

3、根据权利要求1所述的控制直流母线放电方法，其特征在于，所述随机电流参考指令的随机电流参考信号包括 α 轴分量电流和 β 轴分量电流，其中， α 轴分量电流的期望值为0， β 轴分量电流的期望值为0， α 轴分量电流的方差与 β
15 轴分量电流的方差相同， α 轴分量电流的协方差， β 轴分量电流的协方差为0。

4、根据权利要求1所述的控制直流母线放电方法，其特征在于，所述将所述定子坐标系下的电压控制信号转换为三相电压控制信号，并根据所述三相电压控制信号控制开关器件的工作状态步骤还包括：

20 将所述定子坐标系下的电压控制信号通过逆Clarke变换转换为三相电压控制信号；

将三相电压控制信号采用脉冲宽度调制，产生PWM信号；

使PWM信号控制开关器件的工作状态。

5、根据权利要求1所述的控制直流母线放电方法，其特征在于，采用Clarke变换将所述电机电流信号转换为定子坐标系下的电流信号。

25 6、一种控制直流母线放电系统，其特征在于，包括：

主动泄放命令接收模块，用于接收主动泄放命令；

获取信号模块，用于根据所述主动泄放指令获取电机电流信号；

信号转换模块，用于将所述电机电流信号转换为定子坐标系下的电流信号；

信号输出模块，用于基于所述定子坐标系下的电流信号、预设定子坐标系的随机电流参考指令输出定子坐标系下的电压控制信号；

控制模块，用于将所述定子坐标系下的电压控制信号转换为三相电压控制
5 信号，并根据所述三相电压控制信号控制开关器件的工作状态。

7、根据权利要求6所述的控制高压系统放电系统，其特征在于，还包括：
检测模块，用于当检测到直流母线的电压低于预设值时，控制所述开关器件断
开。

8、根据权利要求6所述的控制高压系统放电系统，其特征在于，控制模块
10 包括：

信号转换单元，用于将所述定子坐标系下的电压控制信号通过逆 Clarke 变
换转换为三相电压控制信号；

信号调制单元，用于将三相电压控制信号采用脉冲宽度调制，产生 PWM 信
号；

15 控制单元，用于使 PWM 信号控制开关器件的工作状态。

9、一种计算机设备，包括存储器、处理器以及存储在所述存储器上并可在
所述处理器上运行的计算机程序，其特征在于，所述处理器执行所述计算机程
序时实现如权利要求1至5任意一项所述的控制直流母线放电方法。

10、一种存储介质，其上存储有计算机程序，其特征在于，该程序被处理
20 器执行时实现如权利要求1至5任意一项所述的控制直流母线放电方法。

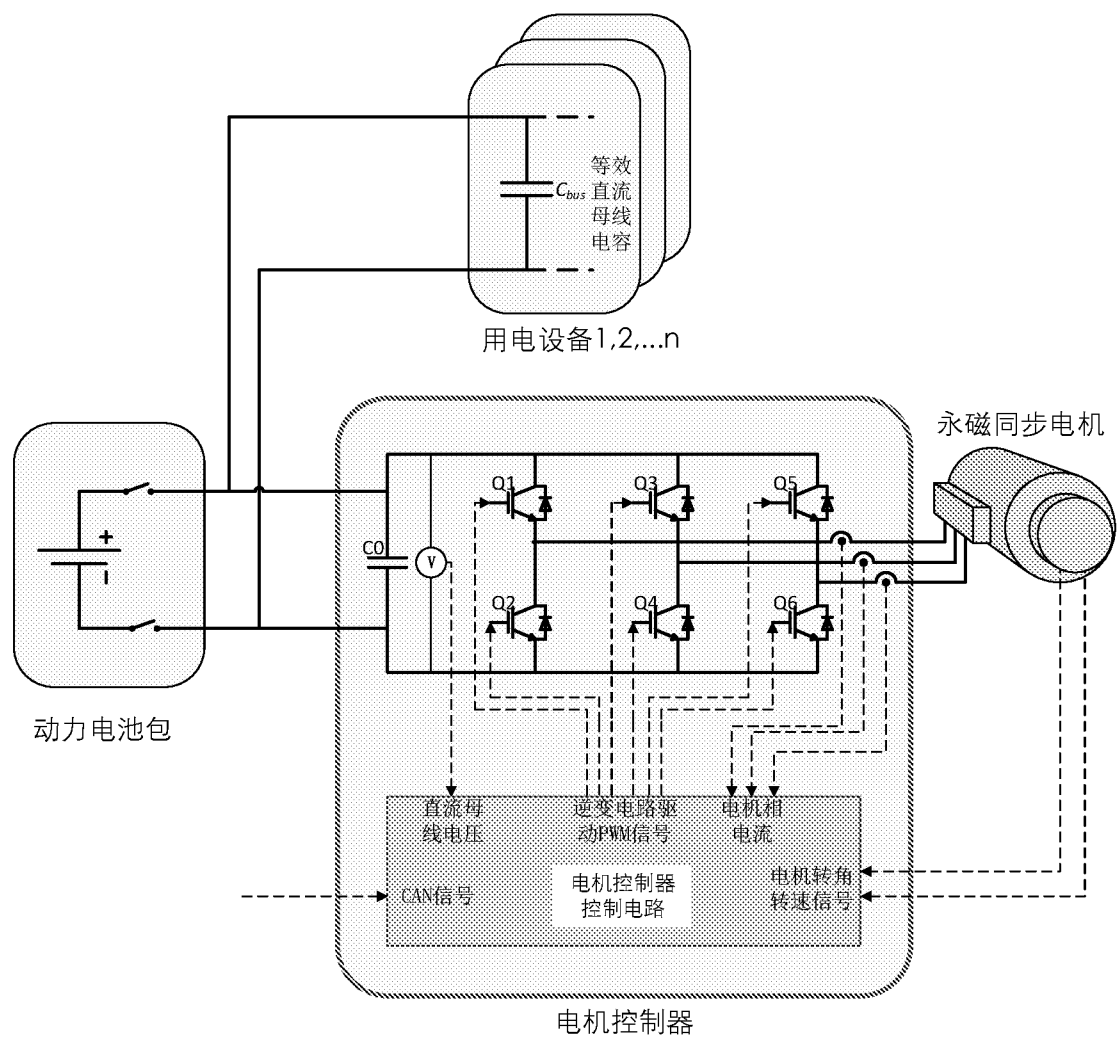


图 1

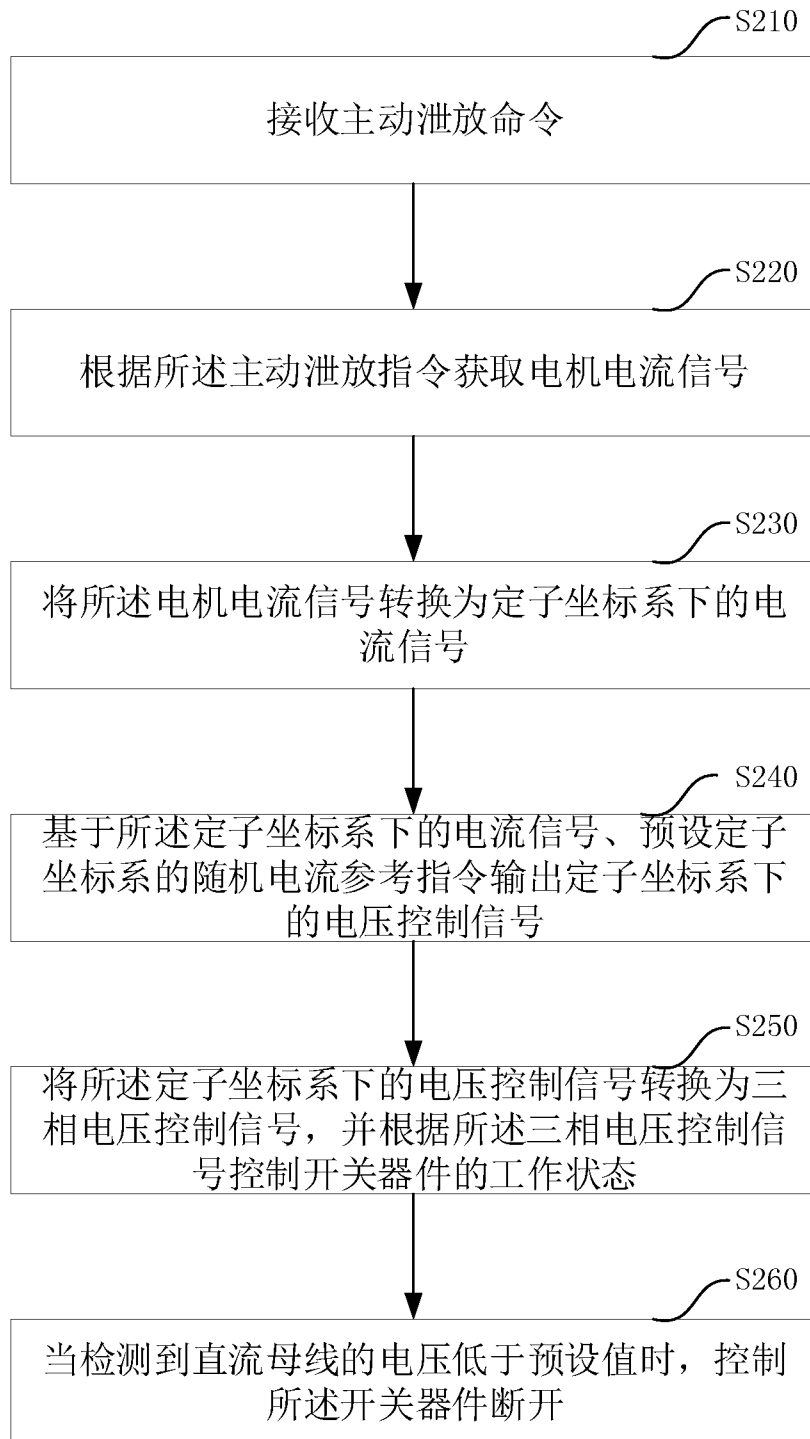


图 2

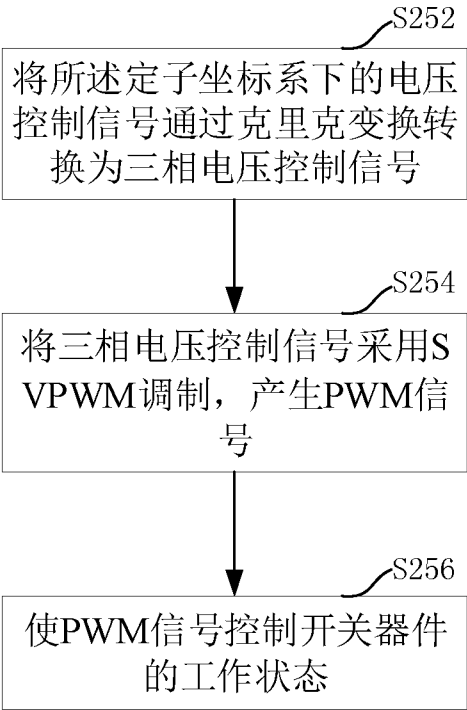


图 3

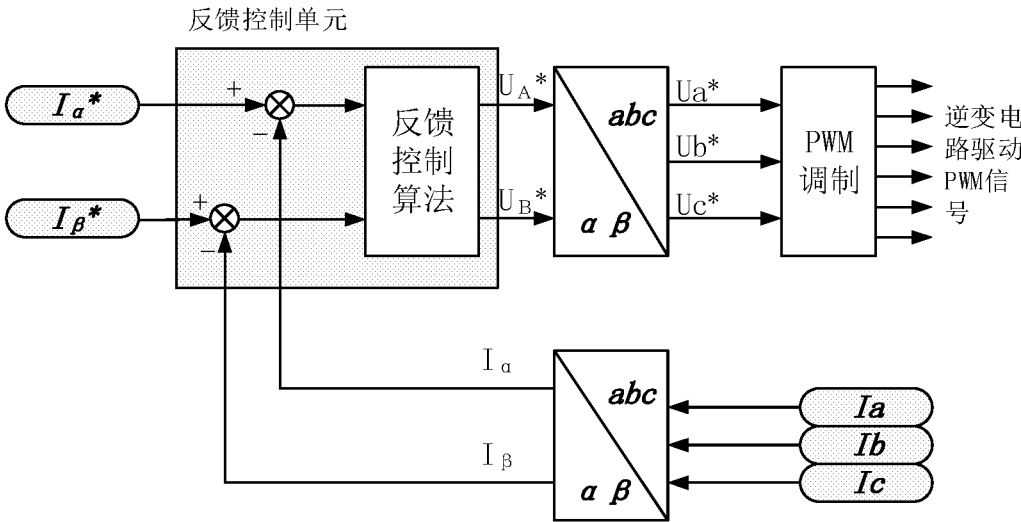


图 4

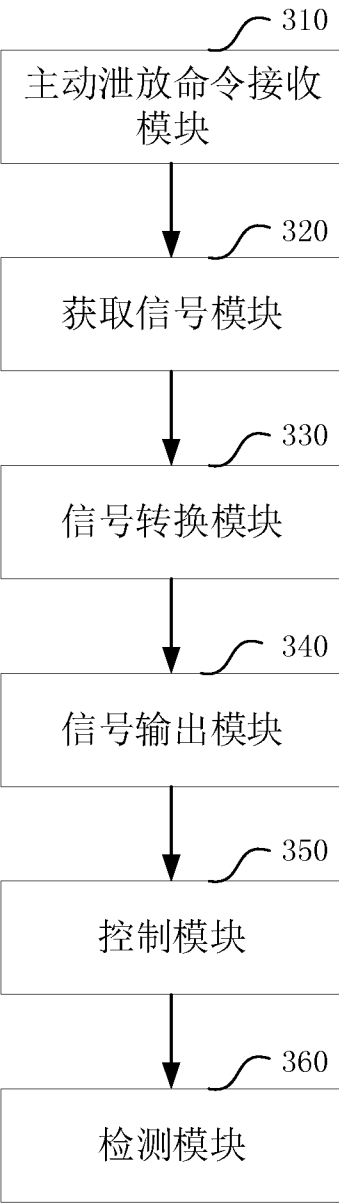


图 5

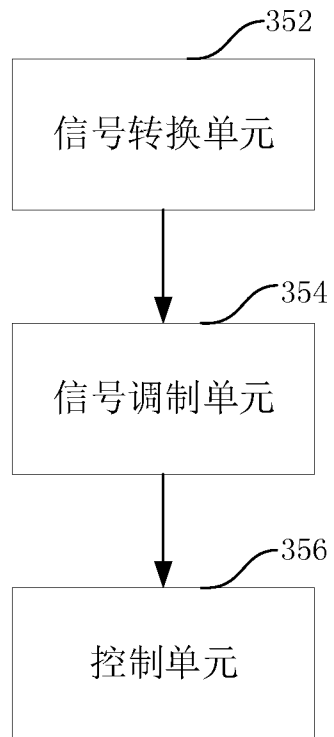


图 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2018/103625

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02P 21/22(2016.01)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)

H02P 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)

CNABS; CNTXT; VEN; CNKI: 母线电容, 放电, 泄放, 逆变, 电机, 电压, 检测, 电流, 采样, 取样, 变换, 故障, bus capacitor, discharge, inverter, motor, voltage, detect, current, monitor, sense, fault, clarke, park

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	CN 105270182 A (UNITED AUTOMOTIVE ELECTRONIC SYSTEMS CO., LTD.) 27 January 2016 (2016-01-27) description, paragraphs [0025]-[0032], and figures 1-4	1-10
Y	CN 106505527 A (GUANGDONG MIDEA REFRIGERATION EQUIPMENT CO., LTD.) 15 March 2017 (2017-03-15) description, paragraphs [0039]-[0108], and figures 1 and 2	1-10



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

09 October 2018

Date of mailing of the international search report

22 November 2018

Name and mailing address of the ISA/CN

State Intellectual Property Office of the P. R. China (ISA/
CN)
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing
100088
China

Authorized officer

Facsimile No. (86-10)62019451

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2018/103625

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	105270182	A	27 January 2016	CN	105270182	B	12 January 2018
CN	106505527	A	15 March 2017	WO	2018113388	A1	28 June 2018

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2018/103625

A. 主题的分类 H02P 21/22 (2016.01) 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) H02P 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)) CNABS; CNTXT; VEN; CNKI: 母线电容, 放电, 泄放, 逆变, 电机, 电压, 检测, 电流, 采样, 取样, 变换, 故障, bus capacitor, discharge, inverter, motor, voltage, detect, current, monitor, sense, fault, clarke, park											
C. 相关文件 <table border="1"> <thead> <tr> <th>类 型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Y</td> <td>CN 105270182 A (联合汽车电子有限公司) 2016年 1月 27日 (2016 - 01 - 27) 说明书第 [0025] - [0032] 段, 附图 1-4</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>CN 106505527 A (广东美的制冷设备有限公司) 2017年 3月 15日 (2017 - 03 - 15) 说明书第 [0039] - [0108] 段, 附图 1、2</td> <td>1-10</td> </tr> </tbody> </table>			类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	Y	CN 105270182 A (联合汽车电子有限公司) 2016年 1月 27日 (2016 - 01 - 27) 说明书第 [0025] - [0032] 段, 附图 1-4	1-10	Y	CN 106505527 A (广东美的制冷设备有限公司) 2017年 3月 15日 (2017 - 03 - 15) 说明书第 [0039] - [0108] 段, 附图 1、2	1-10
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求									
Y	CN 105270182 A (联合汽车电子有限公司) 2016年 1月 27日 (2016 - 01 - 27) 说明书第 [0025] - [0032] 段, 附图 1-4	1-10									
Y	CN 106505527 A (广东美的制冷设备有限公司) 2017年 3月 15日 (2017 - 03 - 15) 说明书第 [0039] - [0108] 段, 附图 1、2	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 2018年 10月 9日		国际检索报告邮寄日期 2018年 11月 22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 周素梅 电话号码 (86-512) 88995780									

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2018/103625

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	105270182	A	2016年 1月 27日	CN	105270182	B	2018年 1月 12日
CN	106505527	A	2017年 3月 15日	WO	2018113388	A1	2018年 6月 28日