



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 113708359 A

(43)申请公布日 2021. 11. 26

(21)申请号 202010436154.0

(22)申请日 2020.05.21

(71)申请人 中车株洲电力机车研究所有限公司

地址 412001 湖南省株洲市石峰区时代路
169号

(72)发明人 王跃 文字良 梅文庆 张志学
李程 吕永灿 苏亮亮 彭赞
周振邦 吴奕

(74)专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227

代理人 刘志红

(51)Int.Cl.

H02J 1/10(2006.01)

H02M 3/158(2006.01)

H02J 7/00(2006.01)

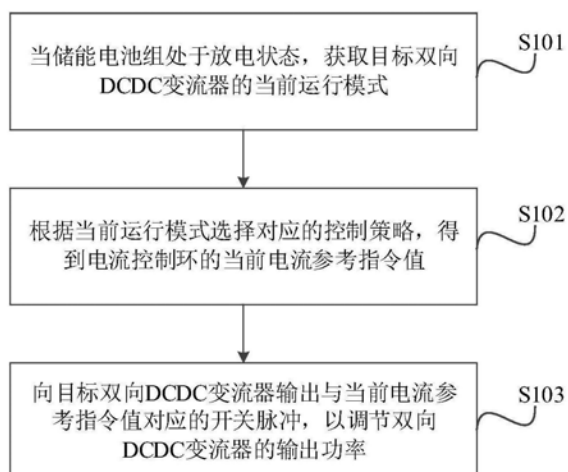
权利要求书3页 说明书11页 附图4页

(54)发明名称

一种双向DCDC变流器控制方法、系统及相关组件

(57)摘要

本申请公开了一种双向DCDC变流器控制方法,应用于直流组网电力推进系统,该双向DCDC变流器控制方法包括:当所述储能电池组处于放电状态,获取目标双向DCDC变流器的当前运行模式;根据当前运行模式选择对应的控制策略,得到电流控制环的当前电流参考指令值;向目标双向DCDC变流器输出与当前电流参考指令值对应的开关脉冲,以调节双向DCDC变流器的输出功率。本申请能够根据目标双向DCDC变流器的当前运行模式对其输出功率进行精确控制,提高了直流组网电力推进系统的运行稳定性。本申请还公开了一种双向DCDC变流器控制系统、装置、计算机可读存储介质及直流组网电力推进系统,具有以上有益效果。



1. 一种双向DCDC变流器控制方法,其特征在于,应用于直流组网电力推进系统,所述直流组网电力推进系统包括储能电池组,该双向DCDC变流器控制方法包括:

当所述储能电池组处于放电状态,获取目标双向DCDC变流器的当前运行模式;

根据当前运行模式选择对应的控制策略,得到电流控制环的当前电流参考指令值;

向所述目标双向DCDC变流器输出与当前电流参考指令值对应的开关脉冲,以调节所述双向DCDC变流器的输出功率。

2. 根据权利要求1所述的双向DCDC变流器控制方法,其特征在于,所述获取目标双向DCDC变流器的当前运行模式的过程具体包括:

通过能量管理系统获取目标双向DCDC变流器的当前运行模式。

3. 根据权利要求1所述的双向DCDC变流器控制方法,其特征在于,当前运行模式为:

所述目标双向DCDC变流器与柴油发电机变流器并联运行带负载工况;

或,所述目标双向DCDC变流器与其他双向DCDC变流器并联运行带负载工况;

或,所述目标双向DCDC变流器独立带负载工况;

或,所述目标双向DCDC变流器与直流电网并网运行带负载工况。

4. 根据权利要求3所述的双向DCDC变流器控制方法,其特征在于,所述根据当前运行模式选择对应的控制策略,得到电流控制环的当前电流参考指令值的过程具体包括:

当当前运行模式为所述目标双向DCDC变流器与柴油发电机变流器并联运行带负载工况,通过P-V下垂控制得到当前直流电压参考指令值;

根据当前直流电压参考指令值得到第一辅助电流值;

获取当前反馈电流值,根据当前反馈电流值和所述第一辅助电流值得到电流控制环的当前电流参考指令值。

5. 根据权利要求3所述的双向DCDC变流器控制方法,其特征在于,所述根据当前运行模式选择对应的控制策略,得到电流控制环的当前电流参考指令值的过程具体包括:

当当前运行模式为所述目标双向DCDC变流器与其他双向DCDC变流器并联运行带负载工况,通过P-V下垂控制得到当前直流电压参考指令值;

根据当前直流电压参考指令值得到第一辅助电流值;

通过SOC-I下垂控制得到第二辅助电流值;

获取当前反馈电流值,根据当前反馈电流值、所述第一辅助电流值、所述第二辅助电流值得到电流控制环的当前电流参考指令值。

6. 根据权利要求5所述的双向DCDC变流器控制方法,其特征在于,所述通过SOC-I下垂控制得到第二辅助电流值的过程具体为:

通过第一关系式得到第二辅助电流值,所述第一关系式为

$$\Delta I_i = n \cdot (SOC_i - \overline{SOC});$$

其中, ΔI_i 为所述第二辅助电流值, SOC_i 为第 i 个储能电池组的荷电状态, $\overline{SOC}$ 为所有在线运行的储能电池组的荷电状态的平均值, n 为比例系数。

7. 根据权利要求3所述的双向DCDC变流器控制方法,其特征在于,所述根据当前运行模式选择对应的控制策略,得到电流控制环的当前电流参考指令值的过程具体包括:

当当前运行模式为所述目标双向DCDC变流器与直流电网并网运行带负载工况,获取目

标电压；

通过预同步操作得到当前直流电压参考指令值；

根据当前直流电压参考指令值得到第一辅助电流值；

获取当前反馈电流值，根据当前反馈电流值和所述第一辅助电流值得到电流控制环的当前电流参考指令值，以使目标双向DCDC变流器的直流母线电压稳定在所述目标电压。

8. 根据权利要求7所述的双向DCDC变流器控制方法，其特征在于，所述通过预同步操作得到当前直流电压参考指令值的过程具体为：

通过第二关系式得到当前直流电压参考指令值，所述第二关系式为

$$U = U_0 + \Delta U_{\text{syn}} = U_0 + \frac{k_{\text{dc}}}{s}(U_{\text{shore}} - U)$$
， U 为当前直流电压参考指令值， U_0 为直流电压初始值， ΔU_{syn} 为叠加在 U_0 上的直流母线电压同步信号， k_{dc} 为所述目标双向DCDC变流器的直流母线电压的积分系数， U_{shore} 为所述目标电压。

9. 根据权利要求4-6任意一项所述的双向DCDC变流器控制方法，其特征在于，所述通过P-V下垂控制得到当前直流电压参考指令值的过程具体为：

通过第三关系式和第四关系式得到当前直流电压参考指令值；

其中，所述第三关系式为
$$\begin{cases} V_i^* = V_{\text{max}} - m_i \cdot P_i \\ m_i = \frac{V_{\text{max}} - V_{\text{min}}}{P_{\text{max}i}} \end{cases}$$
，所述第四关系式为 $P_0 = (i_a + i_b + i_c) \cdot U_{\text{bat}}; m_i$

为第*i*个变流器的下垂系数， V_i^* 为第*i*个变流器的输出直流电压参考值， V_{max} 和 V_{min} 分别为并联变流器所允许的最大工作电压和最小工作电压， $P_{\text{max}i}$ 为第*i*个变流器的最大输出功率， P_i 为第*i*个变流器稳态工作时的输出功率， P_0 为所述目标双向DCDC变流器输出有功功率， i_a 、 i_b 、 i_c 为三相桥臂电流， U_{bat} 为所述储能电池组的端电压。

10. 根据权利要求1-8任意一项所述的双向DCDC变流器控制方法，其特征在于，该双向DCDC变流器控制方法还包括：

当所述储能电池组处于充电状态，获取当前电流参考指令值；

向所述目标双向DCDC变流器输出与当前电流参考指令值对应的开关脉冲，以便通过直流母线对所述储能电池组充电；

其中，所述获取当前电流参考指令值的过程具体包括：

获取所述储能电池组的端电压；

当所述端电压小于或等于预设电压值时，根据预设电流值、电流反馈值得到当前电流参考指令值；

当所述端电压大于所述预设电压值时，根据所述端电压和所述电压参考指令值得到第三辅助电流值，根据所述第三辅助电流值、所述电流反馈值得到当前电流参考指令值。

11. 根据权利要求9所述的双向DCDC变流器控制方法，其特征在于，所述获取当前电流参考指令值的过程还包括：

根据SOC-I下垂控制得到第四辅助电流值；

相应的，所述根据预设电流值、电流反馈值得到当前电流参考指令值的过程具体为：

根据预设电流值、所述第四辅助电流值、电流反馈值得到当前电流参考指令值；

相应的，所述根据所述第三辅助电流值、所述电流反馈值得到当前电流参考指令值的

过程具体为：

根据所述第四辅助电流值、所述第三辅助电流值、所述电流反馈值得到当前电流参考指令值。

12. 一种双向DCDC变流器控制系统，其特征在于，应用于直流组网电力推进系统，所述直流组网电力推进系统包括储能电池组，该双向DCDC变流器控制系统包括：

获取模块，用于当所述储能电池组处于放电状态，获取目标双向DCDC变流器的当前运行模式；

计算模块，用于根据当前运行模式选择对应的控制策略，得到电流控制环的当前电流参考指令值；

驱动模块，用于向所述目标双向DCDC变流器输出与当前电流参考指令值对应的开关脉冲，调节以调节所述双向DCDC变流器的输出功率。

13. 一种双向DCDC变流器控制装置，其特征在于，包括：

存储器，用于存储计算机程序；

处理器，用于执行所述计算机程序时实现如权利要求1-11任意一项所述的双向DCDC变流器控制方法的步骤。

14. 一种计算机可读存储介质，其特征在于，所述计算机可读存储介质上存储有计算机程序，所述计算机程序被处理器执行时实现如权利要求1-11任意一项所述的双向DCDC变流器控制方法的步骤。

15. 一种直流组网电力推进系统，其特征在于，包括如权利要求13所述的双向DCDC变流器控制装置。

一种双向DCDC变流器控制方法、系统及相关组件

技术领域

[0001] 本申请涉及直流电网领域,特别涉及一种双向DCDC变流器控制方法、系统及相关组件。

背景技术

[0002] 随着电力功率器件、新能源发电以及储能技术的日趋成熟,直流综合电网系统的技术和经济优势逐渐体现,高铁、船舶、海上平台等直流组网已成为新一代电力推进系统领域研究的热点。与交流组网系统相比,直流组网电力推进系统的优势主要表现在以下几方面,一是蓄电池储能、光伏发电、柴油发电机组等常见分布式电源均为直流电或者非工频交流电,采用直流组网便于多种分布式电源的灵活接入,省去配电板及部分变压器,大大降低系统体积、重量;二是直流组网电力推进系统中交流发电机组可根据不同负载调整转速,保证系统按照最优的能耗曲线工作,提升系统的整体效率;三是直流组网电力推进系统不存在交流组网的频率稳定和无功稳定问题,供电可靠性相对更高。

[0003] 在直流组网电力推进系统中,储能双向DCDC变流器肩负直流母线电压匹配、蓄电池充放电管理以及电网能量调节等功能,其控制性能优劣直接关系到直流组网电力推进系统中多类型电源并联运行优化控制、动态能量协调控制以及多运行模式稳定切换的成败。在直流组网电力推进系统的实际应用中,双向DCDC变流器可以运行在多种工况,目前,在不同工况下,对DCDC的控制均采用电压下垂控制,但是仅对双向DCDC变流器进行电压下垂控制无法满足其所有运行工况下直流组网推进系统对调节双向DCDC变流器的输出功率的不同需求,如双向DCDC变流器与其他不同类型变流器联合运行带负载或其独立运行带负载时,直流组网推进系统需要双向DCDC变流器输出不同的功率,因此,现有的单一控制方案,无法实现对DCDC变流器输出功率的精确控制,导致直流组网电力推进系统运行不稳定。

[0004] 因此,如何提供一种解决上述技术问题的方案是本领域技术人员目前需要解决的问题。

发明内容

[0005] 本申请的目的是提供一种双向DCDC变流器控制方法、系统、装置、计算机可读存储介质及直流组网电力推进系统,能够根据目标双向DCDC变流器的当前运行模式对其输出功率进行精确控制,提高了直流组网电力推进系统的运行稳定性当前运行模式。

[0006] 为解决上述技术问题,本申请提供了一种双向DCDC变流器控制方法,应用于直流组网电力推进系统,所述直流组网电力推进系统包括储能电池组,该双向DCDC变流器控制方法包括:

[0007] 当所述储能电池组处于放电状态,获取目标双向DCDC变流器的当前运行模式;

[0008] 根据当前运行模式选择对应的控制策略,得到电流控制环的当前电流参考指令值;

[0009] 向所述目标双向DCDC变流器输出与当前电流参考指令值对应的开关脉冲,以调节

双向DCDC变流器的输出功率。

[0010] 优选的,所述获取目标双向DCDC变流器的当前运行模式的过程具体包括:

[0011] 通过能量管理系统获取目标双向DCDC变流器的当前运行模式。

[0012] 优选的,当前运行模式为:

[0013] 所述目标双向DCDC变流器与柴油发电机变流器并联运行带负载工况;

[0014] 或,所述目标双向DCDC变流器与其他双向DCDC变流器并联运行带负载工况;

[0015] 或,所述目标双向DCDC变流器独立带负载工况;

[0016] 或,所述目标双向DCDC变流器与直流电网并网运行带负载工况。

[0017] 优选的,所述根据当前运行模式选择对应的控制策略,得到电流控制环的当前电流参考指令值的过程具体包括:

[0018] 当当前运行模式为所述目标双向DCDC变流器与柴油发电机变流器并联运行带负载工况,通过P-V下垂控制得到当前直流电压参考指令值;

[0019] 根据当前直流电压参考指令值得到第一辅助电流值;

[0020] 获取当前反馈电流值,根据当前反馈电流值和所述第一辅助电流值得到电流控制环的当前电流参考指令值。

[0021] 优选的,所述根据当前运行模式选择对应的控制策略,得到电流控制环的当前电流参考指令值的过程具体包括:

[0022] 当当前运行模式为所述目标双向DCDC变流器与其他双向DCDC变流器并联运行带负载工况,通过P-V下垂控制得到当前直流电压参考指令值;

[0023] 根据当前直流电压参考指令值得到第一辅助电流值;

[0024] 通过SOC-I下垂控制得到第二辅助电流值;

[0025] 获取当前反馈电流值,根据当前反馈电流值、所述第一辅助电流值、所述第二辅助电流值得到电流控制环的当前电流参考指令值。

[0026] 优选的,所述通过SOC-I下垂控制得到第二辅助电流值的过程具体为:

[0027] 通过第一关系式得到第二辅助电流值,所述第一关系式为 $\Delta I_i = n \cdot (SOC_i - \overline{SOC})$;

[0028] 其中, ΔI_i 为所述第二辅助电流值, SOC_i 为第 i 个储能电池组的荷电状态, $\overline{SOC}$ 为所有在线运行的储能电池组的荷电状态的平均值, n 为比例系数。

[0029] 优选的,所述根据当前运行模式选择对应的控制策略,得到电流控制环的当前电流参考指令值的过程具体包括:

[0030] 当当前运行模式为所述目标双向DCDC变流器与直流电网并网运行带负载工况,获取目标电压;

[0031] 通过预同步操作得到当前直流电压参考指令值;

[0032] 根据当前直流电压参考指令值得到第一辅助电流值;

[0033] 获取当前反馈电流值,根据当前反馈电流值和所述第一辅助电流值得到电流控制环的当前电流参考指令值,以使目标双向DCDC变流器的直流母线电压稳定在所述目标电压。

[0034] 优选的,所述通过预同步操作得到当前直流电压参考指令值的过程具体为:

[0035] 通过第二关系式得到当前直流电压参考指令值,所述第二关系式为

$U = U_0 + \Delta U_{\text{syn}} = U_0 + \frac{k_{\text{dc}}}{s}(U_{\text{shore}} - U)$, U 为当前直流电压参考指令值, U_0 为直流电压初始值, ΔU_{syn} 为叠加在 U_0 上的直流母线电压同步信号, k_{dc} 为所述目标双向 DCDC 变流器的直流母线电压的积分系数, U_{shore} 为所述目标电压。

[0036] 优选的, 所述通过 P-V 下垂控制得到当前直流电压参考指令值的过程具体为:

[0037] 通过第三关系式和第四关系式得到当前直流电压参考指令值;

[0038] 其中, 所述第三关系式为 $\begin{cases} V_i^* = V_{\max} - m_i \cdot P_i \\ m_i = \frac{V_{\max} - V_{\min}}{P_{\max i}} \end{cases}$, 所述第四关系式为 $P_0 = (i_a + i_b + i_c) \cdot$

u_{bat} ; m_i 为第 i 个变流器的下垂系数, V_i^* 为第 i 个变流器的输出直流电压参考值, $V_{\max}$ 和 $V_{\min}$ 分别为并联变流器所允许的最大工作电压和最小工作电压, $P_{\max i}$ 为第 i 个变流器的最大输出功率, P_i 为第 i 个变流器稳态工作时的输出功率, P_0 为所述目标双向 DCDC 变流器输出有功功率, i_a 、 i_b 、 i_c 为三相桥臂电流, u_{bat} 为所述储能电池组的端电压。

[0039] 优选的, 该双向 DCDC 变流器控制方法还包括:

[0040] 当所述储能电池组处于充电状态, 获取当前电流参考指令值;

[0041] 向所述目标双向 DCDC 变流器输出与当前电流参考指令值对应的开关脉冲, 以便通过直流母线对所述储能电池组充电;

[0042] 其中, 所述获取当前电流参考指令值的过程具体包括:

[0043] 获取所述储能电池组的端电压;

[0044] 当所述端电压小于或等于预设电压值时, 根据预设电流值、电流反馈值得到当前电流参考指令值;

[0045] 当所述端电压大于所述预设电压值时, 根据所述端电压和所述电压参考指令值得到第三辅助电流值, 根据所述第三辅助电流值、所述电流反馈值得到当前电流参考指令值。

[0046] 优选的, 所述获取当前电流参考指令值的过程还包括:

[0047] 根据 SOC-I 下垂控制得到第四辅助电流值;

[0048] 相应的, 所述根据预设电流值、电流反馈值得到当前电流参考指令值的过程具体为:

[0049] 根据预设电流值、所述第四辅助电流值、电流反馈值得到当前电流参考指令值;

[0050] 相应的, 所述根据所述第三辅助电流值、所述电流反馈值得到当前电流参考指令值的过程具体为:

[0051] 根据所述第四辅助电流值、所述第三辅助电流值、所述电流反馈值得到当前电流参考指令值。

[0052] 为解决上述技术问题, 本申请还提供了一种双向 DCDC 变流器控制系统, 应用于直流组网电力推进系统, 所述直流组网电力推进系统包括储能电池组, 该双向 DCDC 变流器控制系统包括:

[0053] 获取模块, 用于当所述储能电池组处于放电状态, 获取目标双向 DCDC 变流器的当前运行模式;

[0054] 计算模块, 用于根据当前运行模式选择对应的控制策略, 得到电流控制环的当前电流参考指令值;

[0055] 驱动模块,用于向所述目标双向DCDC变流器输出与当前电流参考指令值对应的开关脉冲,以调节双向DCDC变流器的输出功率。

[0056] 为解决上述技术问题,本申请还提供了一种双向DCDC变流器控制装置,包括:

[0057] 存储器,用于存储计算机程序;

[0058] 处理器,用于执行所述计算机程序时实现如上文任意一项所述的双向DCDC变流器控制方法的步骤。

[0059] 为解决上述技术问题,本申请还提供了一种计算机可读存储介质,所述计算机可读存储介质上存储有计算机程序,所述计算机程序被处理器执行时实现如上文任意一项所述的双向DCDC变流器控制方法的步骤。

[0060] 为解决上述技术问题,本申请还提供了一种直流组网电力推进系统,包括如上文所述的双向DCDC变流器控制装置。

[0061] 本申请提供了一种双向DCDC变流器控制方法,首先获取目标双向DCDC变流器在储能电池组的放电状态中的当前运行模式,如目标双向DCDC变流器与其他不同类型变流器联合运行带负载或目标双向DCDC变流器独立运行带负载等,根据当前运行模式选择对应的控制策略得到电流控制环的电流参考指令值,以生成对应的开关脉冲,对目标双向DCDC变流器中的开关器件进行控制,从而调节双向DCDC变流器的输出功率,本申请根据目标双向DCDC变流器的当前运行模式对其输出功率进行精确控制,满足直流组网电力推进系统对双向DCDC变流器在其当前运行模式下的输出功率需求,提高了直流组网电力推进系统的运行稳定性。本申请还提供了一种双向DCDC变流器控制系统、装置、计算机可读存储介质及直流组网电力推进系统,具有和上述双向DCDC变流器控制方法相同的有益效果。

附图说明

[0062] 为了更清楚地说明本申请实施例,下面将对实施例中所需要使用的附图做简单的介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本申请的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0063] 图1为本申请所提供的一种船舶直流组网系统的结构示意图;

[0064] 图2为本申请所提供的一种双向DCDC变流器主电路拓扑结构图;

[0065] 图3为本申请所提供的一种双向DCDC变流器控制方法的步骤流程图;

[0066] 图4为本申请所提供的一种双向DCDC变流器多运行模式放电控制原理图;

[0067] 图5为本申请所提供的一种P-V下垂曲线设置示意图;

[0068] 图6为本申请所提供的一种储能电池组处于充电状态下双向DCDC变流器控制方法的步骤流程图;

[0069] 图7为本申请所提供的一种双向DCDC变流器充电控制原理图;

[0070] 图8为本申请所提供的一种双向DCDC变流器控制系统的结构示意图。

具体实施方式

[0071] 本申请的核心是提供一种双向DCDC变流器控制方法、系统、装置、计算机可读存储介质及直流组网电力推进系统,能够根据目标双向DCDC变流器的当前运行模式对其输出功率进行精确控制,提高了直流组网电力推进系统的运行稳定性。当前运行模式

[0072] 为使本申请实施例的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合本申请实施例中的附图,对本申请实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例是本申请一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本申请中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本申请保护的范围。

[0073] 为便于理解本申请所提供的双向DCDC变流器控制方法,下面对本申请所适用的直流组网推进系统及双向DCDC变流器进行介绍,以图1所示的某型号直流组网型船舶为例进行说明,船舶直流组网系统分为左舷直流组网和右舷直流组网2个子系统。每个直流组网子系统均包括发电机整流器①、储能双向DCDC变流器②、日用负载供电变流器③、主推进电机逆变器④、侧推进电机逆变器⑤等5个变流器构成。5个变流器的直流侧以直流母线(左右舷直流母线分别记为DC_Bus1、DC_Bus2)作为公共连接点,左、右舷直流母线可通过直流断路器进行分、合,从而实现组网运行或独立运行。日用负荷三相供电变流器将直流母线电压转换成幅值、频率可控的交流电压,通过变压器连接三相380V工频交流母线给船舶日用负荷供电,左、右舷交流母线(分别记为交流母线1、交流母线2)通过交流断路器分、合,同样可实现组网运行或独立运行。此外,船舶直流组网系统可通过右舷直流母线与直流岸电并网或交流母线与交流岸电并网实现船舶靠岸期间的电力不间断供应。

[0074] 请参照图2,图2为本申请实施例所提供的一种双向DCDC变流器主电路拓扑图,为实现能量双向流动以及储能单元的合理充/放电,储能电池组通过双向DCDC变流器接入直流母线。图中 U_{bat} 和 U_{dc} 分别为双向DCDC变流器的低压侧电压和高压侧电压,分别对应储能电池组的端电压和直流母线电压, L 为滤波电感, $T_1 \sim T_6$ 为开关器件, $D_1 \sim D_6$ 为反并联续流二极管; i_a 、 i_b 、 i_c 分别为三相桥臂电流,以从储能电池组流出方向为电流正方向。当然除了如图2所示的结构,也可将双向DCDC变流器由两电平改为三电平或者更多电平,在此对双向DCDC变流器并联桥臂数也不做限制。

[0075] 双向DCDC变流器根据直流组网电力推进系统对储能电池组充放电的需要,分别以Boost(放电)和Buck(充电)两种工况控制能量按不同方向流动。当双向DCDC变流器处于Boost工况时, T_2 、 T_4 、 T_6 作为主控开关, T_1 、 T_3 、 T_5 保持关断状态,能量由储能电池组流向直流母线,储能电池组处于放电状态;当双向DCDC变流器处于Buck工况时, T_1 、 T_3 、 T_5 作为主控开关, T_2 、 T_4 、 T_6 保持关断状态,能量由直流母线流向储能电池组,储能电池组处于充电状态。

[0076] 下面对本申请所提供的双向DCDC变流器控制方法进行详细说明。

[0077] 请参照图3,图3为本申请所提供的一种双向DCDC变流器控制方法的步骤流程图,该双向DCDC变流器控制方法包括:

[0078] S101:当储能电池组处于放电状态,获取目标双向DCDC变流器的当前运行模式;

[0079] 具体的,当监测到储能电池组处于放电状态,目标双向DC-DC变流器与其它分布式电源协调控制功率输出以稳定直流母线电压,保证直流组网推进系统稳定。目标双向DC-DC变流器根据分布式电源不同组合方式以及是否与直流电网并网等包括但不限于以下四种运行模式:目标双向DCDC变流器与柴油发电机变流器并联运行带负载工况、目标双向DCDC变流器与其他双向DCDC变流器并联运行带负载工况、目标双向DCDC变流器独立带负载工况、或目标双向DCDC变流器与直流电网并网运行带负载工况中,当前运行模式为上述任意一种。直流组网电力推进系统中可以包括多个双向DCDC变流器,目标双向DCDC变流器为当前需要控制的任意一个双向DCDC变流器。

[0080] 本实施例中,可以按预设获取周期获取目标双向DCDC变流器的当前运行模式,也可以在接收到获取指令后再获取目标双向DCDC变流器的当前运行模式,本实施例对获取目标双向DCDC变流器的当前运行模式的触发条件不做限定,作为一种优选的实施例,具体可以通过能量管理系统获取目标双向DCDC变流器的当前运行模式,以提高获取效率。

[0081] S102:根据当前运行模式选择对应的控制策略,得到电流控制环的当前电流参考指令值;

[0082] S103:向目标双向DCDC变流器输出与当前电流参考指令值对应的开关脉冲,以调节双向DCDC变流器的输出功率。

[0083] 可以理解的是,在不同的运行工况下,需要采用不同的控制策略,以满足当前需求的输出功率,这里的控制策略具体可以指对电压控制环的设置及对电流控制环的设置,通过电压控制环、电流控制环根据获取到的当前直流电压参考指令值、当前电流参考指令值以及反馈电压值、反馈电流值对目标双向DCDC变流器的输出功率进行调节,以使其达到与当前运行模式对应的目标输出功率。具体的,参照图4所示,电流控制器根据当前电流参考指令值得到对应的控制信号并发送给PWM发生器,以便PWM发生器输出对应的开关脉冲控制目标双向DCDC变流器中的开关器件的导通/关断,从而调节目标双向DCDC变流器的输出功率。

[0084] 具体的,目标双向DC-DC变流器处于放电工况(储能蓄电池处于放电过程)的不同模式下的控制策略如图4所示,图4以直流组网型船舶为例,当目标双向DCDC变流器与柴油发电机变流器并联运行带负载时,可以采用P-V下垂控制,以实现DC-DC变流器与柴油发电机变流器按容量比例分配功率输出;当目标双向DCDC变流器与其他双向DCDC变流器并联运行带负载时,可以采用SOC-I下垂控制,以实现左、右舷DC-DC变流器按储能蓄电池组SOC容量比例分配功率输出;当目标双向DCDC变流器独立带负载时,可以在DC-DC功率允许条件下采用恒定输出电压控制策略,保持直流母线稳定;目标双向DCDC变流器与直流电网并网运行带负载时,可以采用在并网前通过调节直流母线电压与岸电电压相同,实现与岸电平滑并网。以下分别对各个运行模式所采用的控制策略进行详细说明:

[0085] 作为一种优选的实施例,根据当前运行模式选择对应的控制策略,得到电流控制环的当前电流参考指令值的过程具体包括:

[0086] 当当前运行模式为目标双向DCDC变流器与柴油发电机变流器并联运行带负载工况,通过P-V下垂控制得到当前直流电压参考指令值;

[0087] 根据当前直流电压参考指令值得到第一辅助电流值;

[0088] 获取当前反馈电流值,根据当前反馈电流值和第一辅助电流值得到电流控制环的当前电流参考指令值。

[0089] 具体的,当DC-DC变流器与柴油发电机变流器并联运行带负载时,采用P-V下垂控制实现两种变流器按各自容量的比例分配功率输出。下垂曲线如图5所示,其中,G1、G2分别

表示两个并联的变流器,各变流器的下垂控制曲线方程即第三关系式为
$$\begin{cases} V_i^* = V_{\max} - m_i \cdot P_i \\ m_i = \frac{V_{\max} - V_{\min}}{P_{\max i}} \end{cases},$$

其中, m_i 为第*i*个变流器的下垂系数, V_i^* 为第*i*个变流器的输出直流电压参考值, $V_{\max}$ 和 $V_{\min}$ 分别为并联变流器所允许的最大工作电压和最小工作电压, $P_{\max i}$ 为第*i*个变流器的最大输出

功率, P_i 为第 i 个变流器稳态工作时的输出功率, 目标双向DCDC变流器输出有功功率 P_0 的计算式即第四关系式 $P_0 = (i_a + i_b + i_c) \cdot u_{bat}$, 将 P_0 经过低通滤波后的数值 P 代入第三关系式即可计算输出当前直流电压参考指令值。电压控制环中的电压控制器根据当前直流电压参考指令值和实际反馈的直流母线电压得到第一辅助电流值, 将第一辅助电流值和采集到的三相桥臂电流做差, 即可得到当前电流参考指令值, 电流控制器根据当前电流参考指令值生成对应的控制信号给PWM发生器, 以便PWM发生器输出对应的开关脉冲控制目标双向DCDC变流器的开关器件。

[0090] 作为一种优选的实施例, 根据当前运行模式当前运行模式选择对应的控制策略, 得到电流控制环的当前电流参考指令值的过程具体包括:

[0091] 当当前运行模式当前运行模式为目标双向DCDC变流器与其他双向DCDC变流器并联运行带负载工况, 通过P-V下垂控制得到当前直流电压参考指令值;

[0092] 根据当前直流电压参考指令值得到第一辅助电流值;

[0093] 通过SOC-I下垂控制得到第二辅助电流值;

[0094] 获取当前反馈电流值, 根据当前反馈电流值、第一辅助电流值、第二辅助电流值得到电流控制环的当前电流参考指令值。

[0095] 具体的, 当左、右舷DCDC变流器并联带负载运行时, 在保留两个DCDC变流器电压控制环采用P-V下垂控制的基础上, 在电流控制环中引入SOC-I下垂控制, 以保证放电过程中在线运行的DCDC变流器对应储能电池组SOC状态的均衡。SOC-I下垂控制的基本原理是将各储能电池组 SOC_i 与全部在线运行的储能电池组平均值 $\overline{SOC}$ 的差值经比例环节 (比例系数为 n) 后叠加到当前参考电流指令中, 从而改变储能电池组的充放电电流, 实现SOC状态的均衡控制。由第一关系式为 $\Delta I_i = n \cdot (SOC_i - \overline{SOC})$ 可知, 当两个储能电池组SOC状态不均衡时, ΔI_i 不为零, 将引起两个DCDC变流器对应储能电池组充放电功率的差异, 使两个储能电池组的SOC不均衡逐渐减小直至平衡。

[0096] 作为一种优选的实施例, 根据当前运行模式当前运行模式选择对应的控制策略, 得到电流控制环的当前电流参考指令值的过程具体包括:

[0097] 当当前运行模式当前运行模式为目标双向DCDC变流器与直流电网并网运行带负载工况, 获取目标电压;

[0098] 通过预同步操作得到当前直流电压参考指令值;

[0099] 根据当前直流电压参考指令值得到第一辅助电流值;

[0100] 获取当前反馈电流值, 根据当前反馈电流值和第一辅助电流值得到电流控制环的当前电流参考指令值, 以使目标双向DCDC变流器的直流母线电压稳定在目标电压。具体的, 在目标双向DCDC变流器接收到与直流岸电并网指令时, 其直流母线电压值与直流岸电电压之间可能存在一定的偏差。如果对其直流母线电压不加以控制, 则DC-DC储能变流器并入直流岸电后会产生较大的电流冲击, 甚至导致并网切换失败。本实施例采用在电压控制环中加入预同步环节使目标双向DCDC变流器的直流母线电压跟踪直流岸电电压, 以降低并网切换过程中的冲击电流, 实现无缝切换。直流母线电压预同步控制原理参照第二关系式所示,

第二关系式为 $U = U_0 + \Delta U_{syn} = U_0 + \frac{k_{dc}}{s} (U_{shore} - U)$, 其中, U 为当前直流电压参考指令值,

U_0 为直流电压初始值, ΔU_{syn} 为叠加在 U_0 上的直流母线电压同步信号, k_{dc} 为目标双向DCDC变流器的直流母线电压的积分系数, U_{shore} 为目标电压。

[0101] 参照图4所示,可设置一个开关S进行运行模式的切换,当开关S切换到4,则在电压控制环中加入预同步操作,预同步操作的输出 U 为当前直流电压参考指令值 u_{dc}^* ,其中, U_0 为进入预同步环节时,直流电压初始值,当开关S切换到触点1,即退出预同步操作,此时,复位直流母线同步积分控制器,在电压控制环中加入P-V下垂控制,P-V下垂控制的输出 V_i^* 即图4中的 u_{dcref} 为当前直流电压参考指令值 u_{dc}^* 。

[0102] 进一步的,当目标双向DCDC变流器独立带负载时,可以复用并联带负载工况的控制框架,将下垂系数置0即可。

[0103] 可见,本实施例中首先获取目标双向DCDC变流器在储能电池组的放电状态中的当前运行模式,如目标双向DCDC变流器与其他不同类型变流器联合运行带负载或目标双向DCDC变流器独立运行带负载等,根据当前运行模式选择对应的控制策略得到电流控制环的电流参考指令值,以生成对应的开关脉冲,对目标双向DCDC变流器中的开关器件进行控制,从而调节双向DCDC变流器的输出功率,本申请根据目标双向DCDC变流器的当前运行模式对其输出功率进行精确控制,满足直流组网电力推进系统对双向DCDC变流器在其当前运行模式下的输出功率需求,提高了直流组网电力推进系统的运行稳定性。

[0104] 请参照图6,图6为本申请所提供的一种储能电池组处于充电状态下双向DCDC变流器控制方法的步骤流程图,该双向DCDC变流器控制方法在上述实施例的基础上还包括:

[0105] S201:当储能电池组处于充电状态,获取储能电池组的端电压;

[0106] S202:根据SOC-I下垂控制得到第四辅助电流值;

[0107] S203:判断所述端电压是否大于预设电压值,若是,执行S204,若否,执行S205;

[0108] S204:根据端电压和电压参考指令值得到第三辅助电流值,根据第四辅助电流值、第三辅助电流值、电流反馈值得到当前电流参考指令值。

[0109] S205:根据预设电流值、第四辅助电流值、电流反馈值得到当前电流参考指令值;

[0110] S206:向目标双向DCDC变流器输出与当前电流参考指令值对应的开关脉冲,以便通过直流母线对储能电池组充电。

[0111] 进一步的,当目标双向DCDC变流器处于充电工况(即储能电池组处于充电过程)采用如图7所示电压外环-电流内环双环控制策略,为避免储能电池组过充或过流,本实施例中采用分段式充电模式,即在充电前期采用恒流充电,当前电流参考指令值设为恒定值 i_{L}^* ,电压控制环不工作;当储能电池组的端电压上升达到预设电压值,再采用恒压充电,电压控制环投入工作,电压参考指令值设为恒定值 u_{bat}^* ,根据反馈得到的储能电池组的端电压进行闭环控制,当前电流参考指令值由恒定值切换为电压控制环的输出,其中电压控制环输出初始值定为 i_{L}^* 以保证恒流充电与恒压充电的平滑切换。三相DCDC模块采用移相PWM调制降低输出纹波。在电流控制环中加入SOC-I下垂保证充电状态中各在线运行DCDC变流器对应储能电池组SOC状态的均衡。

[0112] 综上所述,本申请针对直流组网电力推进系统中的储能双向DCDC变流器,提出了一种基于电压环P-V下垂、电流环SOC-I下垂的双下垂控制策略,可实现DCDC变流器模块间,与发电机变流器间的功率分配/转移精确控制策略,采用预同步环节实现DC-DC变流器与陆上直流供电网的平滑并/离网控制。

[0113] 请参照图8,图8为本申请所提供的一种双向DCDC变流器控制系统的结构示意图,应用于直流组网电力推进系统,直流组网电力推进系统包括储能电池组,该双向DCDC变流器控制系统包括:

[0114] 获取模块1,用于当储能电池组处于放电状态,获取目标双向DCDC变流器的当前运行模式当前运行模式;

[0115] 计算模块2,用于根据当前运行模式当前运行模式选择对应的控制策略,得到电流控制环的当前电流参考指令值;

[0116] 驱动模块3,用于向目标双向DCDC变流器输出与当前电流参考指令值对应的开关脉冲,以调节双向DCDC变流器的输出功率。

[0117] 可见,本实施例中首先获取目标双向DCDC变流器在储能电池组的放电状态中的当前运行模式,如目标双向DCDC变流器与其他不同类型变流器联合运行带负载或目标双向DCDC变流器独立运行带负载等,根据当前运行模式选择对应的控制策略得到电流控制环的电流参考指令值,以生成对应的开关脉冲,对目标双向DCDC变流器中的开关器件进行控制,从而调节双向DCDC变流器的输出功率,本申请根据目标双向DCDC变流器的当前运行模式对其输出功率进行精确控制,满足直流组网电力推进系统对双向DCDC变流器在其当前运行模式下的输出功率需求,提高了直流组网电力推进系统的运行稳定性。

[0118] 作为一种优选的实施例,获取模块1具体用于:

[0119] 通过能量管理系统获取目标双向DCDC变流器的当前运行模式当前运行模式。

[0120] 作为一种优选的实施例,当前运行模式当前运行模式为:

[0121] 目标双向DCDC变流器与柴油发电机变流器并联运行带负载工况;

[0122] 或,目标双向DCDC变流器与其他双向DCDC变流器并联运行带负载工况;

[0123] 或,目标双向DCDC变流器独立带负载工况;

[0124] 或,目标双向DCDC变流器与直流电网并网运行带负载工况。

[0125] 作为一种优选的实施例,计算模块2包括:

[0126] 第一计算单元,用于当当前运行模式当前运行模式为目标双向DCDC变流器与柴油发电机变流器并联运行带负载工况,通过P-V下垂控制得到当前直流电压参考指令值;

[0127] 第二计算单元,用于根据当前直流电压参考指令值得到第一辅助电流值;

[0128] 第一获取单元,用于获取当前反馈电流值,根据当前反馈电流值和第一辅助电流值得到电流控制环的当前电流参考指令值。

[0129] 作为一种优选的实施例,计算模块2包括:

[0130] 第四计算单元,用于当当前运行模式当前运行模式为目标双向DCDC变流器与其他双向DCDC变流器并联运行带负载工况,通过P-V下垂控制得到当前直流电压参考指令值;

[0131] 第五计算单元,用于根据当前直流电压参考指令值得到第一辅助电流值;

[0132] 第六计算单元,用于通过SOC-I下垂控制得到第二辅助电流值;

[0133] 第二获取单元,用于获取当前反馈电流值,根据当前反馈电流值、第一辅助电流值、第二辅助电流值得到电流控制环的当前电流参考指令值。

[0134] 作为一种优选的实施例,第六计算单元具体用于:

[0135] 通过第一关系式得到第二辅助电流值,第一关系式为 $\Delta I_i = n \cdot (SOC_i - \overline{SOC})$;

[0136] 其中, ΔI_i 为第二辅助电流值, SOC_i 为第 i 个储能电池组的荷电状态, $\overline{SOC}$ 为所有在线运行的储能电池组的荷电状态的平均值, n 为比例系数。

[0137] 作为一种优选的实施例, 计算模块2包括:

[0138] 第七计算单元, 用于当当前运行模式当前运行模式为目标双向DCDC变流器与直流电网并网运行带负载工况, 获取目标电压;

[0139] 第八计算单元, 用于通过预同步操作得到当前直流电压参考指令值, 根据当前直流电压参考指令值得到第一辅助电流值;

[0140] 第三获取单元, 用于获取当前反馈电流值, 根据当前反馈电流值和第一辅助电流值得到电流控制环的当前电流参考指令值, 以使目标双向DCDC变流器的直流母线电压稳定在目标电压。

[0141] 作为一种优选的实施例, 通过预同步操作得到当前直流电压参考指令值的过程具体为:

[0142] 通过第二关系式得到当前直流电压参考指令值, 第二关系式为

$$U = U_0 + \Delta U_{syn} = U_0 + \frac{k_{dc}}{s}(U_{shore} - U),$$
 U 为当前直流电压参考指令值, U_0 为直流电压初始值, ΔU_{syn} 为叠加在 U_0 上的直流母线电压同步信号, k_{dc} 为目标双向DCDC变流器的直流母线电压的积分系数, U_{shore} 为目标电压。

[0143] 作为一种优选的实施例, 通过P-V下垂控制得到当前直流电压参考指令值的过程具体为:

[0144] 通过第三关系式和第四关系式得到当前直流电压参考指令值;

[0145] 其中, 第三关系式为
$$\begin{cases} V_i^* = V_{max} - m_i \cdot P_i \\ m_i = \frac{V_{max} - V_{min}}{P_{maxi}} \end{cases}$$
, 第四关系式为 $P_0 = (i_a + i_b + i_c) \cdot u_{bat}$; m_i 为第 i

个变流器的下垂系数, V_i^* 为第 i 个变流器的输出直流电压参考值, V_{max} 和 V_{min} 分别为并联变流器所允许的最大工作电压和最小工作电压, P_{maxi} 为第 i 个变流器的最大输出功率, P_i 为第 i 个变流器稳态工作时的输出功率, P_0 为目标双向DCDC变流器输出有功功率, i_a 、 i_b 、 i_c 为三相桥臂电流, u_{bat} 为储能电池组的端电压。

[0146] 作为一种优选的实施例, 该双向DCDC变流器控制系统还包括:

[0147] 充电控制模块, 用于当储能电池组处于充电状态, 获取当前电流参考指令值; 向目标双向DCDC变流器输出与当前电流参考指令值对应的开关脉冲, 以便通过直流母线对储能电池组充电;

[0148] 其中, 获取当前电流参考指令值的过程具体包括:

[0149] 获取储能电池组的端电压;

[0150] 当端电压小于或等于预设电压值时, 根据预设电流值、电流反馈值得到当前电流参考指令值;

[0151] 当端电压大于预设电压值时, 根据端电压和电压参考指令值得到第三辅助电流值, 根据第三辅助电流值、电流反馈值得到当前电流参考指令值。

[0152] 作为一种优选的实施例, 获取当前电流参考指令值的过程还包括:

[0153] 根据SOC-I下垂控制得到第四辅助电流值;

- [0154] 相应的,根据预设电流值、电流反馈值得到当前电流参考指令值的过程具体为:
- [0155] 根据预设电流值、第四辅助电流值、电流反馈值得到当前电流参考指令值;
- [0156] 相应的,根据第三辅助电流值、电流反馈值得到当前电流参考指令值的过程具体为:
- [0157] 根据第四辅助电流值、第三辅助电流值、电流反馈值得到当前电流参考指令值。
- [0158] 另一方面,本申请提供了一种双向DCDC变流器控制装置,包括:
- [0159] 存储器,用于存储计算机程序;
- [0160] 处理器,用于执行所述计算机程序时实现如上文任意一项所述的双向DCDC变流器控制方法的步骤。
- [0161] 对于本申请所提供的一种双向DCDC变流器控制装置的介绍请参照上述实施例,本申请在此不再赘述。
- [0162] 本申请所提供的一种双向DCDC变流器控制装置具有和上述双向DCDC变流器控制方法相同的有益效果。
- [0163] 另一方面,本申请提供了一种计算机可读存储介质,所述计算机可读存储介质上存储有计算机程序,所述计算机程序被处理器执行时实现如上文任意一项所述的双向DCDC变流器控制方法的步骤。
- [0164] 对于本申请所提供的一种计算机可读存储介质的介绍请参照上述实施例,本申请在此不再赘述。
- [0165] 本申请所提供的一种计算机可读存储介质具有和上述双向DCDC变流器控制方法相同的有益效果。
- [0166] 另一方面,本申请提供了一种直流组网电力推进系统,包括如上文所述的双向DCDC变流器控制装置。
- [0167] 对于本申请所提供的一种直流组网电力推进系统的介绍请参照上述实施例,本申请在此不再赘述。
- [0168] 本申请所提供的一种直流组网电力推进系统具有和上述双向DCDC变流器控制方法相同的有益效果。
- [0169] 还需要说明的是,在本说明书中,诸如第一和第二等之类的关系术语仅仅用来将一个实体或者操作与另一个实体或操作区分开来,而不一定要求或者暗示这些实体或操作之间存在任何这种实际的关系或者顺序。而且,术语“包括”、“包含”或者其任何其他变体意在涵盖非排他性的包含,从而使得包括一系列要素的过程、方法、物品或者设备不仅包括那些要素,而且还包括没有明确列出的其他要素,或者是还包括为这种过程、方法、物品或者设备所固有的要素。在没有更多限制的状况下,由语句“包括一个……”限定的要素,并不排除在包括所述要素的过程、方法、物品或者设备中还存在另外的相同要素。
- [0170] 对所公开的实施例的上述说明,使本领域专业技术人员能够实现或使用本申请。对这些实施例的多种修改对本领域的专业技术人员来说将是显而易见的,本文中所定义的一般原理可以在不脱离本申请的精神或范围的情况下,在其他实施例中实现。因此,本申请将不会被限制于本文所示的这些实施例,而是要符合与本文所公开的原理和新颖特点相一致的最宽的范围。

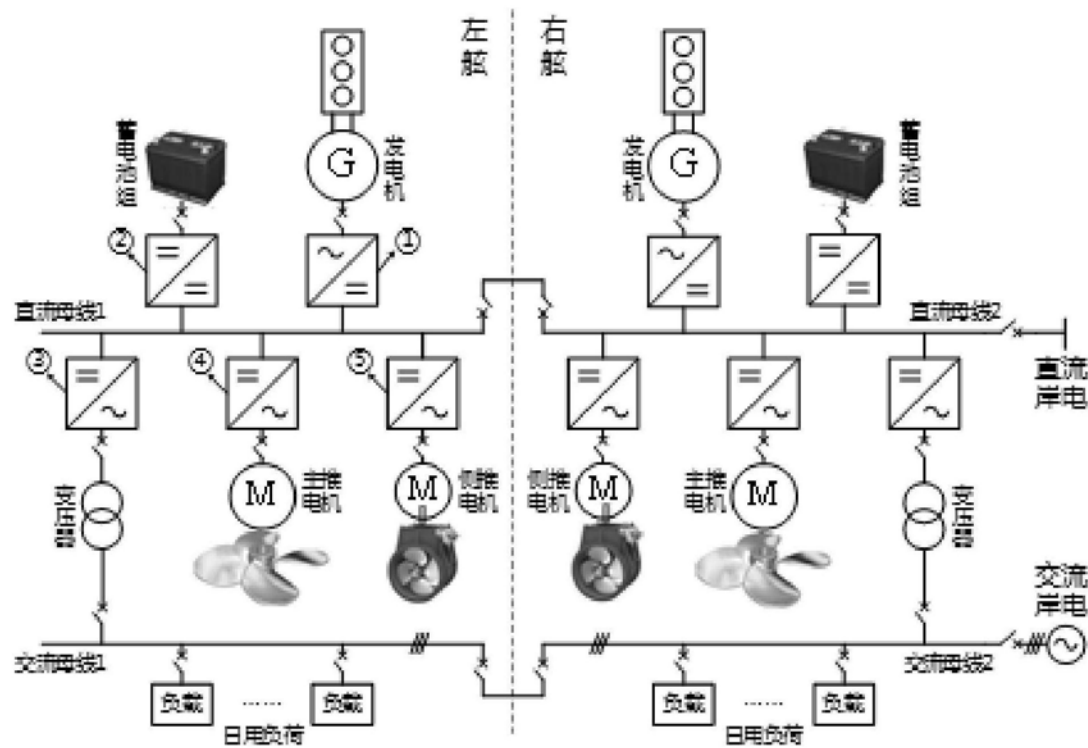


图1

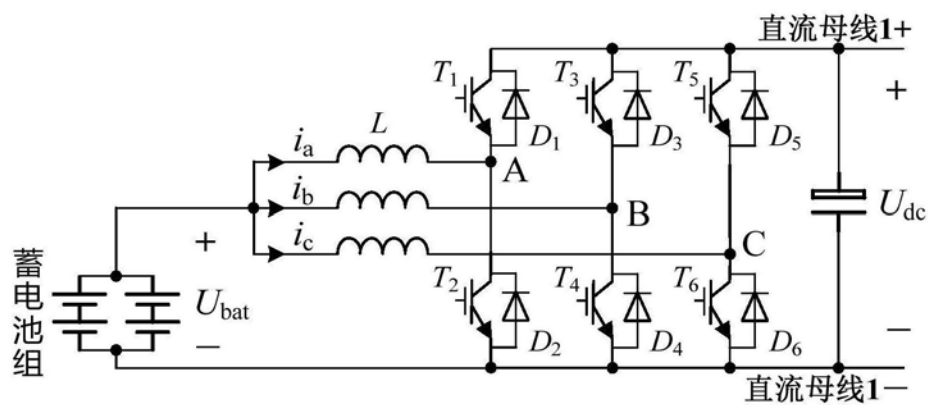


图2

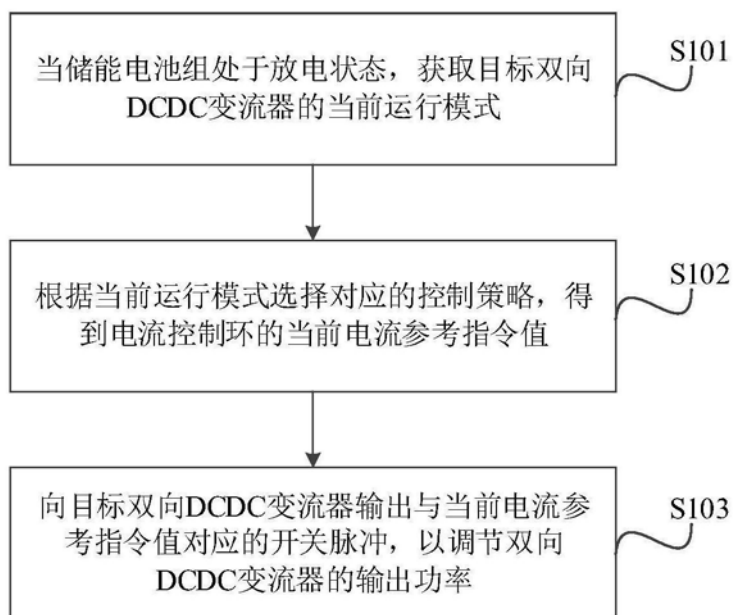


图3

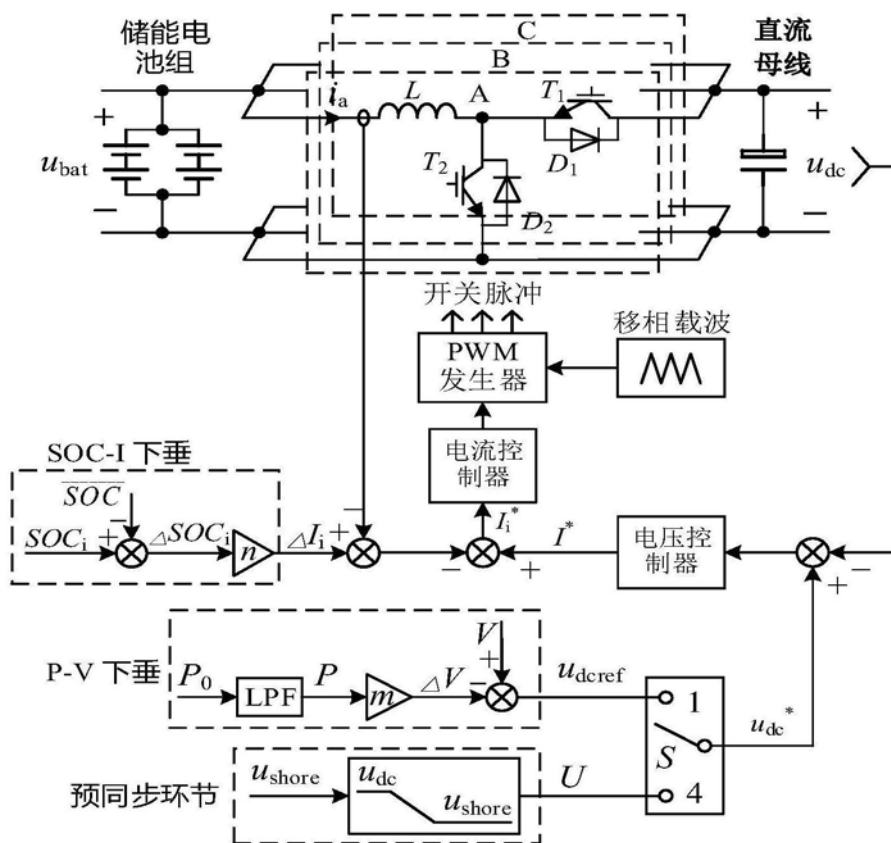


图4

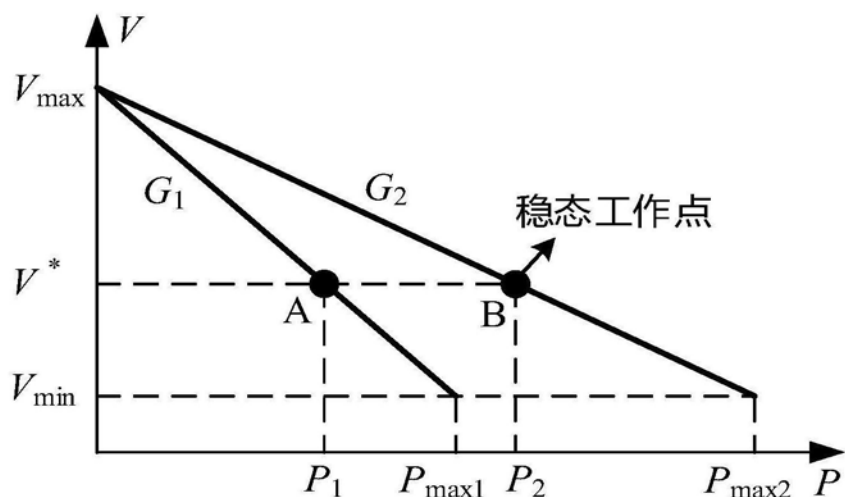


图5

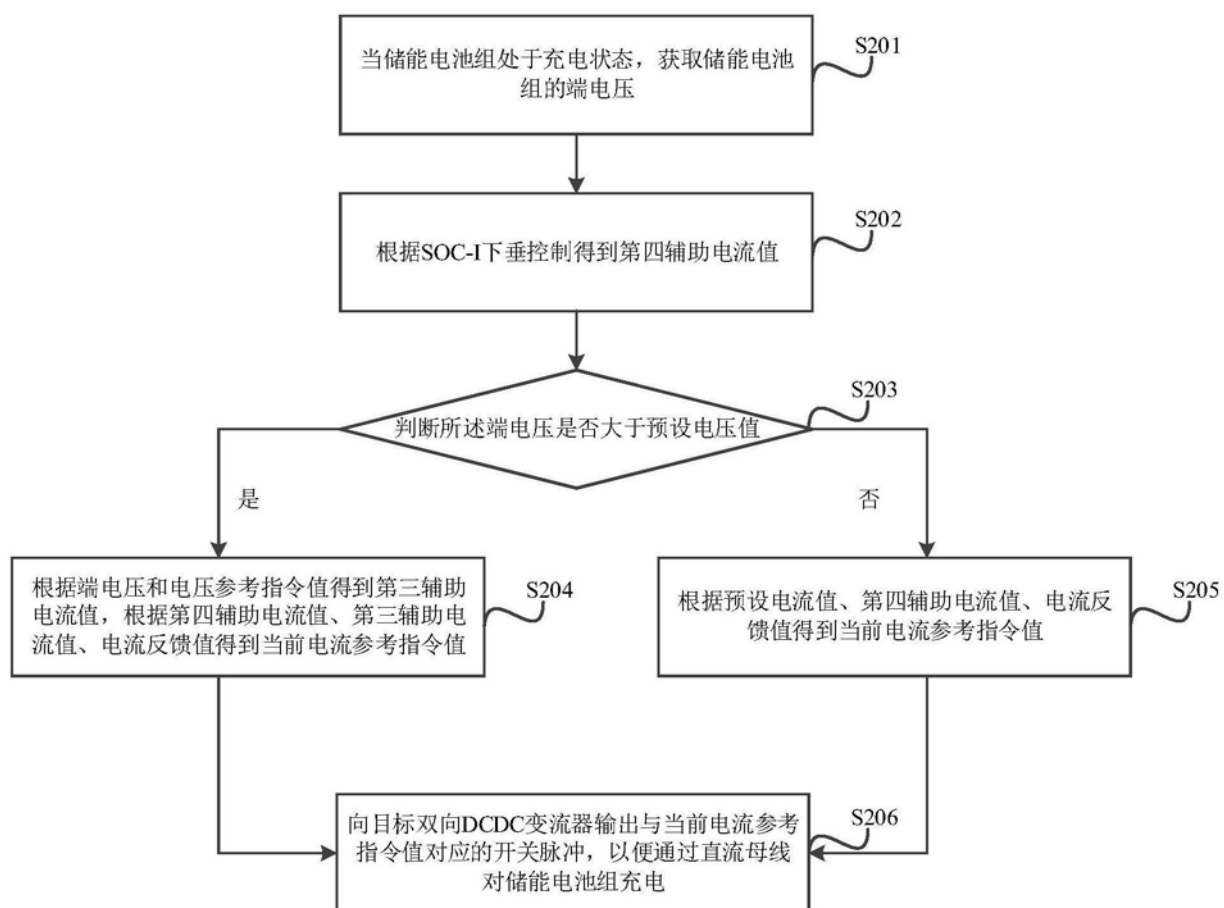


图6

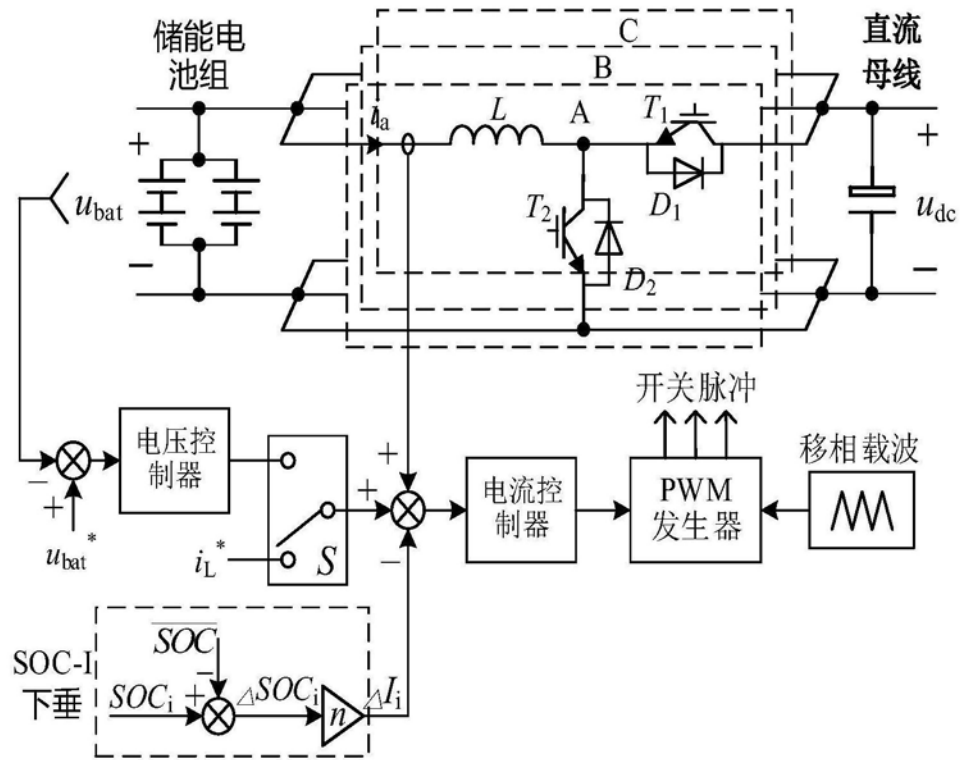


图7

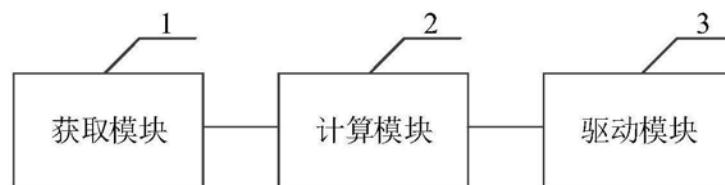


图8