(19)国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 119582301 A
(43)申请公布日 2025.03.07

(21)申请号 202411487571.2

(22)申请日 2024.10.24

(71)申请人 广东电网有限责任公司
地址 510030 广东省广州市越秀区东风东路757号

(72)发明人 余梦泽 王彦峰 李峰 王流火 雷翔胜 朱文卫 刘永欢 梁赵新 黄阳 孔志达 王庆建 张冠亚

(74)专利代理机构 广东南北知识产权代理事务所(普通合伙) 44918
专利代理师 李思坪

(51)Int.Cl.
H02J 3/36(2006.01)
H02J 3/38(2006.01)
H02J 3/18(2006.01)
H02J 3/01(2006.01)
H02M 7/06(2006.01)
H02M 1/36(2007.01)

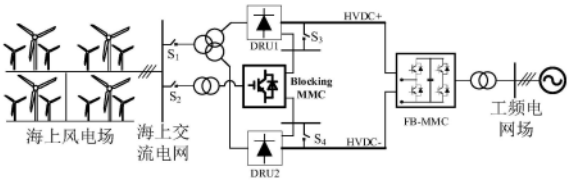
权利要求书2页 说明书7页 附图6页

(54)发明名称

一种基于阻断型辅助换流器的DRU系统及其启动方法

(57)摘要

本发明提供一种基于阻断型辅助换流器的DRU系统及其启动方法,DRU系统包括岸上换流器、海上整流器、海上辅助换流器;启动方法包括4个阶段;分别为激活岸上换流器控制系统,阻断型辅助换流器采用V/f控制策略,建立海上交流电网;触发斩波电路,利用零电流切换技术安全断开断路器;海上风电场退出低电压穿越模式,DRU系统启动完成;本发明通过引入阻断型辅助换流器,结合DRU和主换流器,实现风场的黑启动和稳定运行;而且本发明具有快速响应和高可靠性的特点,能够在启动阶段迅速建立交流电压,并为风电机组提供所需的启动能量;本发明的辅助换流器还能在风场正常运行时提供无功功率支持和谐波抑制,确保系统的稳定性和高效运行。



CN 119582301 A

1.一种基于阻断型辅助换流器的DRU系统,所述的系统用于解决远海风电并入工频电网场景下DRU无法主动构建海上风场内网电压而无法满足海上风场黑启动的问题;其特征在于,所述的DRU系统包括:

岸上换流器FB-MMC,所述的岸上换流器FB-MMC的交流侧与工频电网场连接;

海上整流器,所述的海上整流器的直流端口经由直流传输线路与所述岸上换流器FB-MMC的直流端口相连接,所述海上整流器的交流端与远海风电的海上交流电网相连接;

海上辅助换流器Blocking MMC,所述的海上辅助换流器Blocking MMC的直流侧通过断路器与直流传输线路相连接,所述的海上辅助换流器Blocking MMC的交流侧则连接至远海风电的海上交流电网。

2.根据权利要求1所述的一种基于阻断型辅助换流器的DRU系统,其特征在于:所述的DRU系统还包括海上风电场、海上站三绕组联接变压器、海上站双绕组变压器、岸上站双绕组变压器;所述的海上风电场用于捕获风能并转化为电能,然后将电能输送至远海风电的海上交流电网;

所述的DRU系统还包括所述的海上整流器的交流侧通过海上站三绕组联接变压器与远海风电的海上交流电网相连接;

所述的海上辅助换流器Blocking MMC的交流侧通过海上站双绕组变压器与远海风电的海上交流电网相连接;

所述的岸上换流器FB-MMC的交流侧通过岸上站双绕组变压器与工频电网相连接。

3.根据权利要求1所述的一种基于阻断型辅助换流器的DRU系统,其特征在于:所述的岸上换流器FB-MMC采用基于全桥子模块FBSM的全桥MMC。

4.根据权利要求1所述的一种基于阻断型辅助换流器的DRU系统,其特征在于:所述的海上整流器采用二极管整流器DRU;所述的二极管整流器DRU包括六个桥臂,每个桥臂由多个二极管而成,通过两个6脉动整流桥移相30°串联形成12脉动整流电路;两个6脉动整流桥通过直流侧串联和交流侧并联的方式组合而成,交流侧输入电压相位差为30°。

5.根据权利要求1所述的一种基于阻断型辅助换流器的DRU系统,其特征在于:所述海上辅助换流器Blocking MMC采用由阻断型串联双子模块D-SDSM与半桥子模块HBSM混合搭建的阻断型MMC换流阀。

6.根据权利要求5所述的一种基于阻断型辅助换流器的DRU系统,其特征在于:所述的海上辅助换流器Blocking MMC包括三个相单元;每个相单元包括一个上桥臂和一个下桥臂;每个上、下桥臂均由一定比例配置的阻断型串联双子模块D-SDSM与半桥子模块HBSM混合搭建而成;且每个所述的上、下桥臂上还连接有相应的桥臂电感L0和桥臂电阻R0;

每个桥臂包括N个电容,其中,$N=2N_1+N_2$,N_1为D-SDSM的数量,N_2为HBSM的数量。

7.根据权利要求6所述的一种基于阻断型辅助换流器的DRU系统,其特征在于:所述的阻断型串联双子模块D-SDSM为在串联双子模块SDSM的拓扑基础上,将串联双子模块SDSM内部串联支路上的T5采用IGCT代替IGBT,并在D6所在的串联双子模块SDSM内部支路上增设阻尼电阻模块R;

所述的半桥子模块HBSM包括两个串联的开关器件,其中一个开关器件为可控开关及其反并联二极管,另一个所述的开关器件为可控开关,两个串联的开关器件之间形成输出中点,并通过控制信号调节输出电压。

8.一种基于阻断型辅助换流器的DRU系统的启动方法,其特征在于,所述的启动方法用于启动权利要求1-8所述的DRU系统,所述的启动方法包括如下步骤:

T1)、激活岸上换流器FB-MMC的控制系统实现可控充电,并进入低电压运行状态;闭合海上辅助换流器Blocking MMC的断路器S3和断路器S4,为其提供低压控制充电路径;最后解锁海上辅助换流器Blocking MMC并启用其控制系统,转换至可控充电模式;

T2)、闭合断路器S2,所述海上辅助换流器Blocking MMC采用V/f控制策略,建立海上交流电网,控制所述海上风电场运行在限功率模式;

T3)、斩波电路chopper因海上风电场进入低电压穿越LVRT而触发,控制输出功率为0,所发功率均耗散在斩波电路chopper中,最后利用零电流切换技术安全断开断路器S3和断路器S4;

T4)、断开断路器S3和断路器S4后,闭合断路器S1,海上风电场退出低电压穿越LVRT模式,海上整流器开始传导有功功率,DRU系统启动完成,转入稳定运行,海上辅助换流器Blocking MMC工作在STATCOM模式。

9.根据权利要求8所述的一种基于阻断型辅助换流器的DRU系统的启动方法,其特征在于:步骤T1)中,所述的岸上换流器FB-MMC的控制系统充电过程包括不可控预充电和可控预充电两阶段,在不可控预充电阶段,海上辅助换流器Blocking MMC处于闭锁模式;当海上辅助换流器Blocking MMC充电至可触发水平,进入可控预充电阶段。

10.根据权利要求9所述的一种基于阻断型辅助换流器的DRU系统的启动方法,其特征在于:当所述的海上辅助换流器Blocking MMC的阻断型串联双子模块D-SDSM与半桥子模块HBSM的配比大于等于临界值kN1时,所述的海上辅助换流器Blocking MMC具有直流故障清除能力,能在发生直流故障时通过闭锁对故障电流的快速清除,保证直流故障弧道不复燃;

所述的临界值kN1表示为:

$$k_{N1}=\frac{N_1}{N_2}=\frac{\sqrt{3}U_m}{4U_{dc}-2\sqrt{3}U_m};$$

其中,N_1为阻断型串联双子模块D-SDSM的个数,N_2为半桥子模块HBSM的个数,U_m为a、b、c任一相电压;U_{dc}为直流侧额定电压。

一种基于阻断型辅助换流器的DRU系统及其启动方法

技术领域

[0001] 本发明涉及海上风电直流传输技术领域,尤其是一种基于阻断型辅助换流器的DRU系统及其启动方法。

背景技术

[0002] 随着海上风电技术的迅速发展,远海风电场的建设和运行面临诸多挑战,特别是在电力传输和系统启动方面。

[0003] 传统的基于模块化多电平换流器(MMC)的柔性直流输电(VSC-HVDC)技术虽然在远距离、大容量电力传输中表现出色,但是,其具有高昂成本、复杂结构和体积较大的缺陷,从而限制了其在远海风电场中的广泛应用。

[0004] 二极管整流单元(DRU)因其成本低廉、体积紧凑及高可靠性,在远海风电送出领域受到广泛关注,然而,二极管整流单元(DRU)存在如下固有缺陷:二极管整流单元(DRU)无法主动建立风场内部电网的电压,且不具备逆变功能,不能提供风电机组启动所需的返送功率,因此不适用于风场的黑启动过程。

[0005] 为了解决上述问题,现有技术通过引入辅助换流器来弥补二极管整流单元(DRU)的不足。辅助换流器可以在风场启动阶段建立交流电压,并为风电机组提供必要的启动能量。此外,辅助换流器还可以在风场正常运行时提供无功功率支持和谐波抑制,从而提高系统的稳定性和效率。虽然全功率MMC辅助换流器能够提供全面的功能。但是,其成本高、体积大,增加了系统的复杂性和经济负担。而部分采用小容量辅助换流器的方案在控制策略和系统稳定性方面仍有待优化。

发明内容

[0006] 针对现有技术的不足,本发明提供一种基于阻断型辅助换流器的DRU系统及其启动方法,本发明通过引入一种新型的阻断型辅助换流器,结合DRU和主换流器,实现风场的黑启动和稳定运行,而且本发明具有快速响应和高可靠性的特点,能够在启动阶段迅速建立交流电压,并为风电机组提供所需的启动能量;同时,本发明还能在风场正常运行时提供无功功率支持和谐波抑制,确保系统的稳定性和高效运行。

[0007] 本发明的技术方案为:一种基于阻断型辅助换流器的DRU系统,所述的系统用于解决远海风电并入工频电网场景下DRU无法主动构建海上风场内网电压而无法满足海上风场黑启动的问题;所述的DRU系统包括:

[0008] 岸上换流器FB-MMC,所述的岸上换流器FB-MMC的交流侧与工频电网场连接;

[0009] 海上整流器,所述的海上整流器的直流端口经由直流传输线路与所述岸上换流器FB-MMC的直流端口相连接,所述海上整流器的交流端与远海风电的海上交流电网相连接;

[0010] 海上辅助换流器Blocking MMC,所述的海上辅助换流器Blocking MMC的直流侧通过断路器与直流传输线路相连接,所述的海上辅助换流器Blocking MMC的交流侧则连接至远海风电的海上交流电网。

[0011] 作为优选的,所述的DRU系统还包括海上风电场,所述的海上风电场用于捕获风能并转化为电能,然后将电能输送至远海风电的海上交流电网。

[0012] 作为优选的,所述的DRU系统还包括海上站三绕组联接变压器、海上站双绕组变压器、岸上站双绕组变压器;所述的海上整流器的交流侧通过海上站三绕组联接变压器与远海风电的海上交流电网相连接;

[0013] 所述的海上辅助换流器Blocking MMC的交流侧通过海上站双绕组变压器与远海风电的海上交流电网相连接;

[0014] 所述的岸上换流器FB-MMC的交流侧通过岸上站双绕组变压器与工频电网相连接。

[0015] 作为优选的,所述的岸上换流器FB-MMC采用基于全桥子模块FBSM的全桥MMC。

[0016] 作为优选的,所述的海上整流器采用二极管整流器DRU。

[0017] 作为优选的,所述的二极管整流器DRU包括六个桥臂,每个桥臂由多个二极管而成,通过两个6脉动整流桥移相30°串联形成12脉动整流电路;两个6脉动整流桥通过直流侧串联和交流侧并联的方式组合而成,交流侧输入电压相位差为30°。

[0018] 作为优选的,所述海上辅助换流器Blocking MMC采用由阻断型串联双子模块D-SDSM与半桥子模块HBSM混合搭建的阻断型MMC换流阀。

[0019] 作为优选的,所述的海上辅助换流器Blocking MMC包括三个相单元;每个相单元包括一个上桥臂和一个下桥臂;每个上、下桥臂均由一定比例配置的阻断型串联双子模块D-SDSM与半桥子模块HBSM混合搭建而成;且每个所述的上、下桥臂上还连接有相应的桥臂电感L0和桥臂电阻R0;

[0020] 每个桥臂包括N个电容,其中,$N=2N_1+N_2$,N_1为D-SDSM的数量,N_2为HBSM的数量。

[0021] 作为优选的,所述的阻断型串联双子模块D-SDSM为在串联双子模块SDSM的拓扑基础上,将串联双子模块SDSM内部串联支路上的T5采用IGCT代替IGBT,并在D6所在的串联双子模块SDSM内部支路上增设阻尼电阻模块R。

[0022] 作为优选的,所述的半桥子模块HBSM包括两个串联的开关器件,其中一个开关器件为可控开关及其反并联二极管,另一个所述的开关器件为可控开关,两个串联的开关器件之间形成输出中点,并通过控制信号调节输出电压。

[0023] 作为优选的,本发明还提供一种基于阻断型辅助换流器的DRU系统的启动方法,包括如下步骤:

[0024] T1)、激活岸上换流器FB-MMC的控制系统实现可控充电,并进入低电压运行状态;闭合海上辅助换流器Blocking MMC的断路器S3和断路器S4,为其提供低压控制充电路径;最后解锁海上辅助换流器Blocking MMC并启用其控制系统,转换至可控充电模式;

[0025] T2)、闭合断路器S2,所述海上辅助换流器Blocking MMC采用V/f控制策略,建立海上交流电网,控制所述海上风电场运行在限功率模式;

[0026] T3)、斩波电路chopper因海上风电场进入低电压穿越LVRT而触发,控制输出功率为0,所发功率均耗散在斩波电路chopper中,最后利用零电流切换技术安全断开断路器S3和断路器S4;

[0027] T4)、断开断路器S3和断路器S4后,闭合断路器S1,海上风电场退出低电压穿越LVRT模式,海上整流器开始传导有功功率,DRU系统启动完成,转入稳定运行,海上辅助换流器Blocking MMC工作在STATCOM模式。

[0028] 作为优选的,步骤T1)中,所述的岸上换流器FB-MMC的控制系统充电过程包括不可控预充电和可控预充电两阶段,在不可控预充电阶段,海上辅助换流器Blocking MMC处于闭锁模式;当海上辅助换流器Blocking MMC充电至可触发水平,进入可控预充电阶段;

[0029] 在可控预充电阶段,所述的海上辅助换流器Blocking MMC将所有桥臂分为两组,一组由半桥子模块HBSM组成,另一组由阻断型串联双子模块D-SDSM组成;按照一定的顺序对阻断型串联双子模块D-SDSM与半桥子模块HBSM进行充电,最终实现将海上辅助换流器Blocking MMC中所有的电容电压充电至额定值。

[0030] 作为优选的,在一个周期T内,所述的阻断型串联双子模块D-SDSM中的电容全过程充电;所述的半桥子模块HBSM中的电容仅在半个周期内进行充电;即:

[0031] $U_{c_D\text{-}SDSM}=2U_{c_HBSM}$;

[0032] 式中,$U_{c_D\text{-}SDSM}$为阻断型串联双子模块D-SDSM中每个电容在不可控预充电阶段的充电电压;U_{c_HBSM}为半桥子模块HBSM中每个电容在不可控预充电阶段的充电电压。

[0033] 作为优选的,当所述的海上辅助换流器Blocking MMC的阻断型串联双子模块D-SDSM与半桥子模块HBSM的配比大于等于临界值kN1时,所述的海上辅助换流器Blocking MMC具有直流故障清除能力,能在发生直流故障时通过闭锁对故障电流的快速清除,保证直流故障弧道不复燃;闭锁后桥臂级联的电容所提供的反向电压会阻断交流源向故障点馈入故障电流的路径,同时迫使故障电流迅速下降到零或小于某个很小的限值,实现海上辅助换流器Blocking MMC完全闭锁、故障弧道不复燃。

[0034] 作为优选的,所述的临界值kN1表示为:

[0035] $$k_{N1}=\frac{N_1}{N_2}=\frac{\sqrt{3}U_m}{4U_{dc}-2\sqrt{3}U_m};$$

[0036] 其中,N_1为阻断型串联双子模块D-SDSM的个数,N_2为半桥子模块HBSM的个数,U_m为a、b、c任一相电压;U_{dc}为直流侧额定电压。

[0037] 本发明的有益效果为:

[0038] 1、本发明通过引入一种新型的阻断型辅助换流器,结合DRU和主换流器,实现风场的黑启动和稳定运行;

[0039] 2、本发明阻断型辅助换流器具有快速响应和高可靠性的特点,能够在启动阶段迅速建立交流电压,并为风电机组提供所需的启动能量;

[0040] 3、本发明的辅助换流器还能在风场正常运行时提供无功功率支持和谐波抑制,确保系统的稳定性和高效运行。

附图说明

[0041] 图1为本发明基于阻断型辅助换流器的DRU系统的电路结构图;

[0042] 图2为本发明阻断型辅助换流器内部电路结构图;

[0043] 图3为本发明阻断型串联双子模块D-SDSM的电路结构图;

[0044] 图4为本发明半桥子模块HBSM的电路结构图;

[0045] 图5为本发明基于阻断型辅助换流器的DRU系统启动的流程示意图;

[0046] 图6为本发明基于阻断型辅助换流器的DRU系统启动阶段的功率流动图。

具体实施方式

[0047] 下面结合附图对本发明的具体实施方式作进一步说明：

[0048] 实施例1

[0049] 如图1所示,本实施例提供一种基于阻断型辅助换流器的DRU系统,所述的系统用于解决远海风电并入工频电网场景下DRU无法主动构建海上风场内网电压而无法满足海上风场黑启动的问题;所述的DRU系统包括：

[0050] 岸上换流器FB-MMC,所述的岸上换流器FB-MMC的交流侧与工频电网场连接;

[0051] 海上整流器,所述的海上整流器的直流端口经由直流传输线路与所述岸上换流器FB-MMC的直流端口相连接,所述海上整流器的交流端与远海风电的海上交流电网相连接;所述的海上整流器包括DRU1和DRU2;

[0052] 海上辅助换流器Blocking MMC,所述的海上辅助换流器Blocking MMC的直流侧通过断路器与直流传输线路相连接,所述的海上辅助换流器Blocking MMC的交流侧则连接至远海风电的海上交流电网;

[0053] 海上风电场,所述的海上风电场用于捕获风能并转化为电能,然后将电能输送至远海风电的海上交流电网;所述的海上风电场采用跟网型控制结构,并配备斩波电路chopper以实现对输出电压和电流的精确控制。

[0054] 海上站三绕组联接变压器,所述的海上整流器的交流侧通过海上站三绕组联接变压器与远海风电的海上交流电网相连接;

[0055] 海上站双绕组变压器,所述的海上辅助换流器Blocking MMC的交流侧通过海上站双绕组变压器与远海风电的海上交流电网相连接;

[0056] 岸上站双绕组变压器,所述的岸上换流器FB-MMC的交流侧通过岸上站双绕组变压器与工频电网相连接。

[0057] 作为本实施例优选的,所述的岸上换流器FB-MMC采用基于全桥子模块FBSM的全桥MMC。

[0058] 作为本实施例优选的,所述的海上整流器采用二极管整流器DRU,所述的二极管整流器DRU包括六个桥臂,每个桥臂由多个二极管而成,通过两个6脉动整流桥移相30°串联形成12脉动整流电路;两个6脉动整流桥通过直流侧串联和交流侧并联的方式组合而成,交流侧输入电压相位差为30°。

[0059] 作为本实施例优选的,如图2所示,所述海上辅助换流器Blocking MMC包括三个相单元;每个相单元包括一个上桥臂和一个下桥臂;本实施例共计6个桥臂。并且每个上、下桥臂均由一定比例配置的阻断型串联双子模块D-SDSM与半桥子模块HBSM混合搭建而成;且每个所述的上、下桥臂上还连接有相应的桥臂电感L0和桥臂电阻R0;

[0060] 每个桥臂包括N个电容,其中,$N=2N_1+N_2$,N_1为D-SDSM的数量,N_2为HBSM的数量。

[0061] 并且,各个桥臂的参数及桥臂电抗值均相同,六个桥臂具有对称性;在正常运行状态下,通过控制上、下桥臂中串联的阻断型串联双子模块D-SDSM与半桥子模块HBSM的投入与切除数量来调节输出直流电压,且任意时刻各相单元中导通的子模块总数等于N。

[0062] 作为本实施例优选的,如图3所示,所述的阻断型串联双子模块D-SDSM为在串联双子模块SDSM的拓扑基础上,由于串联双子模块SDSM内部支路上的T5承受电压为T1-T4的两倍,因此,本实施例将串联双子模块SDSM内部串联支路上的T5采用IGCT代替IGBT;并在D6所

在的串联双子模块SDSM内部支路上增设阻尼电阻模块R。

[0063] 作为本实施例优选的,如图4所示,所述的半桥子模块HBSM包括两个串联的开关器件,其中一个开关器件为可控开关及其反并联二极管,另一个所述的开关器件为可控开关,两个串联的开关器件之间形成输出中点,并通过控制信号调节输出电压。

[0064] 所述海上辅助换流器Blocking MMC充电过程包含不可控预充电和可控预充电两阶段。在不可控预充电阶段,所述海上辅助换流器Blocking MMC中所有子模块均处于闭锁模式。当所有子模块均充电至可触发水平,进入可控预充电阶段。在可控预充电阶段,按子模块类型将所述海上辅助换流器Blocking MMC各桥臂分为两组,一组由所述HBSM组成,一组由所述D-SDSM组成,按照一定的顺序对各子模块组进行充电,最终实现将所述海上辅助换流器中所有子模块电容电压充电至额定值。

[0065] 而且由于IGBT触发控制需要从阻断型串联双子模块D-SDSM的电容中获取能量,在预充电前的初始状态下,阻断型串联双子模块D-SDSM的电容电压为0,即没有储存能量,IGBT无法正常触发,此时,阻断型串联双子模块D-SDSM只能处于闭锁模式;所以预充电第一阶段不可控。而且无论桥臂电流方向的正负,所述D-SDSM的电容都可以通过反并联二极管组成的桥式不控整流电路进行充电;但对于所述半桥子模块HBSM只有当桥臂电流为正方向时,半桥子模块HBSM的电容才能进行充电。因此,在一个周期T内,所述的阻断型串联双子模块D-SDSM中的电容全过程充电;所述的半桥子模块HBSM中的电容仅在半个周期内进行充电;即:

[0066] $U_{c_D\text{-}SDSM}=2U_{c_HBSM}$;

[0067] 式中,$U_{c_D\text{-}SDSM}$为阻断型串联双子模块D-SDSM中每个电容在不可控预充电阶段的充电电压;U_{c_HBSM}为半桥子模块HBSM中每个电容在不可控预充电阶段的充电电压。

[0068] 本实施例中,所述的海上辅助换流器Blocking MMC在不可控预充电阶段,每个桥臂均可等效为一个电容和四个二极管的结构,可以进一步分析得出:

[0069] $$U_{c_HBSM}=\frac{1}{2}U_{c_D\text{-}SDSM}=\frac{1}{1+6k}\cdot\frac{\sqrt{3}}{2}mU_{dc}$$

[0070] 式中:m为额定工况下稳态运行时的调制比,$k=\frac{N_1}{N}$,N_1为所述D-SDSM个数,N为每个桥臂电容个数,U_{dc}为直流侧额定电压。

[0071] 在本实施例中,所述海上辅助换流器Blocking MMC具有直流故障清除的能力,在所述DRU系统启动过程阶段,易引发直流故障或出现电流异常的瞬时情况,所述海上辅助换流器Blocking MMC可以调整子模块配比与其临界值的关系实现直流故障清除。

[0072] 当所述的海上辅助换流器Blocking MMC的阻断型串联双子模块D-SDSM与半桥子模块HBSM的配比大于等于临界值kN1时,所述的海上辅助换流器Blocking MMC具有直流故障清除能力,能在发生直流故障时通过闭锁对故障电流的快速清除,保证直流故障弧道不复燃;闭锁后桥臂级联的电容所提供的反向电压会阻断交流源向故障点馈入故障电流的路径,同时迫使故障电流迅速下降到零或小于某个很小的限值,实现海上辅助换流器Blocking MMC完全闭锁、故障弧道不复燃。其中,所述的临界值kN1表示为:

[0073] $$k_{N1}=\frac{N_1}{N_2}=\frac{\sqrt{3}U_m}{4U_{dc}-2\sqrt{3}U_m};$$

[0074] 其中,N_1为阻断型串联双子模块D-SDSM的个数,N_2为半桥子模块HBSM的个数,U_m为a、b、c任一相电压;U_{dc}为直流侧额定电压。

[0075] 实施例2

[0076] 如图5和6所示,本实施例提供一种基于阻断型辅助换流器的DRU系统的启动方法,包括如下步骤:

[0077] T1)、激活岸上换流器FB-MMC的控制系统实现可控充电,并进入低电压运行状态;闭合海上辅助换流器Blocking MMC的断路器S3和断路器S4,为其提供低压控制充电路径;最后解锁海上辅助换流器Blocking MMC并启用其控制系统,转换至可控充电模式;如图6(a)所示;

[0078] T2)、闭合断路器S2,所述海上辅助换流器Blocking MMC采用V/f控制策略,建立海上交流电网,控制所述海上风电场运行在限功率模式;如图6(b)所示;

[0079] T3)、斩波电路chopper因海上风电场进入低电压穿越LVRT而触发,控制输出功率为0,所发功率均耗散在斩波电路chopper中,最后利用零电流切换技术安全断开断路器S3和断路器S4;如图6(c)所示;

[0080] T4)、断开断路器S3和断路器S4后,闭合断路器S1,海上风电场退出低电压穿越LVRT模式,海上整流器开始传导有功功率,DRU系统启动完成,转入稳定运行,海上辅助换流器Blocking MMC工作在STATCOM模式,如图6(d)所示。

[0081] 作为本实施例优选的,步骤T1)中,所述的岸上换流器FB-MMC的控制系统充电过程包括不可控预充电和可控预充电两阶段,在不可控预充电阶段,海上辅助换流器Blocking MMC处于闭锁模式;当海上辅助换流器Blocking MMC充电至可触发水平,进入可控预充电阶段;

[0082] 在可控预充电阶段,所述的海上辅助换流器Blocking MMC将所有桥臂分为两组,一组由半桥子模块HBSM组成,另一组由阻断型串联双子模块D-SDSM组成;按照一定的顺序对阻断型串联双子模块D-SDSM与半桥子模块HBSM进行充电,最终实现将海上辅助换流器Blocking MMC中所有的电容电压充电至额定值。

[0083] 作为本实施例优选的,在一个周期T内,所述的阻断型串联双子模块D-SDSM中的电容全过程充电;所述的半桥子模块HBSM中的电容仅在半个周期内进行充电;即:

[0084] $U_{c_D\text{-}SDSM}=2U_{c_HBSM}$;

[0085] 式中,$U_{c_D\text{-}SDSM}$为阻断型串联双子模块D-SDSM中每个电容在不可控预充电阶段的充电电压;U_{c_HBSM}为半桥子模块HBSM中每个电容在不可控预充电阶段的充电电压。

[0086] 本实施例中,所述的海上辅助换流器Blocking MMC在不可控预充电阶段,每个桥臂均可等效为一个电容和四个二极管的结构,可以进一步分析得出:

[0087] $$U_{c_HBSM}=\frac{1}{2}U_{c_D\text{-}SDSM}=\frac{1}{1+6k}\cdot\frac{\sqrt{3}}{2}mU_{dc}$$

[0088] 式中:m为额定工况下稳态运行时的调制比,$k=\frac{N_1}{N}$,N_1为所述D-SDSM个数,N为每

个桥臂电容个数,U_{dc}为直流侧额定电压。

[0089] 作为本实施例优选的,当所述的海上辅助换流器Blocking MMC的阻断型串联双子模块D-SDSM与半桥子模块HBSM的配比大于等于临界值kN1时,所述的海上辅助换流器Blocking MMC具有直流故障清除能力,能在发生直流故障时通过闭锁对故障电流的快速清除,保证直流故障弧道不复燃;闭锁后桥臂级联的电容所提供的反向电压会阻断交流源向故障点馈入故障电流的路径,同时迫使故障电流迅速下降到零或小于某个很小的限值,实现海上辅助换流器Blocking MMC完全闭锁、故障弧道不复燃。所述的临界值kN1表示为:

[0090] $$k_{N1}=\frac{N_1}{N_2}=\frac{\sqrt{3}U_m}{4U_{dc}-2\sqrt{3}U_m};$$

[0091] 其中,N_1为阻断型串联双子模块D-SDSM的个数,N_2为半桥子模块HBSM的个数,U_m为a、b、c任一相电压;U_{dc}为直流侧额定电压。

[0092] 上述实施例和说明书中描述的只是说明本发明的原理和最佳实施例,在不脱离本发明精神和范围的前提下,本发明还会有各种变化和改进,这些变化和改进都落入要求保护的本发明范围内。

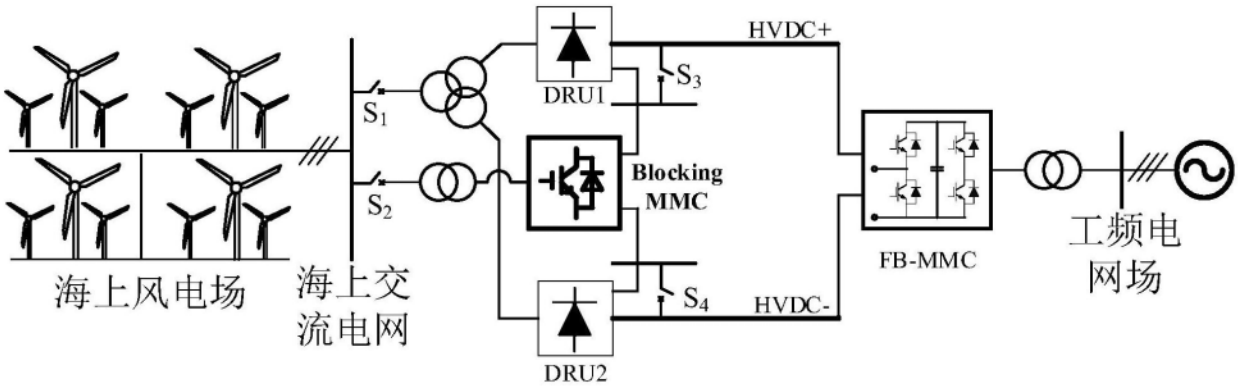

海上风电场
海上交流电网
S1
S2
DRU1
DRU2
S3
S4
HVDC+
HVDC-
Blocking MMC
FB-MMC
工频电网场

图1

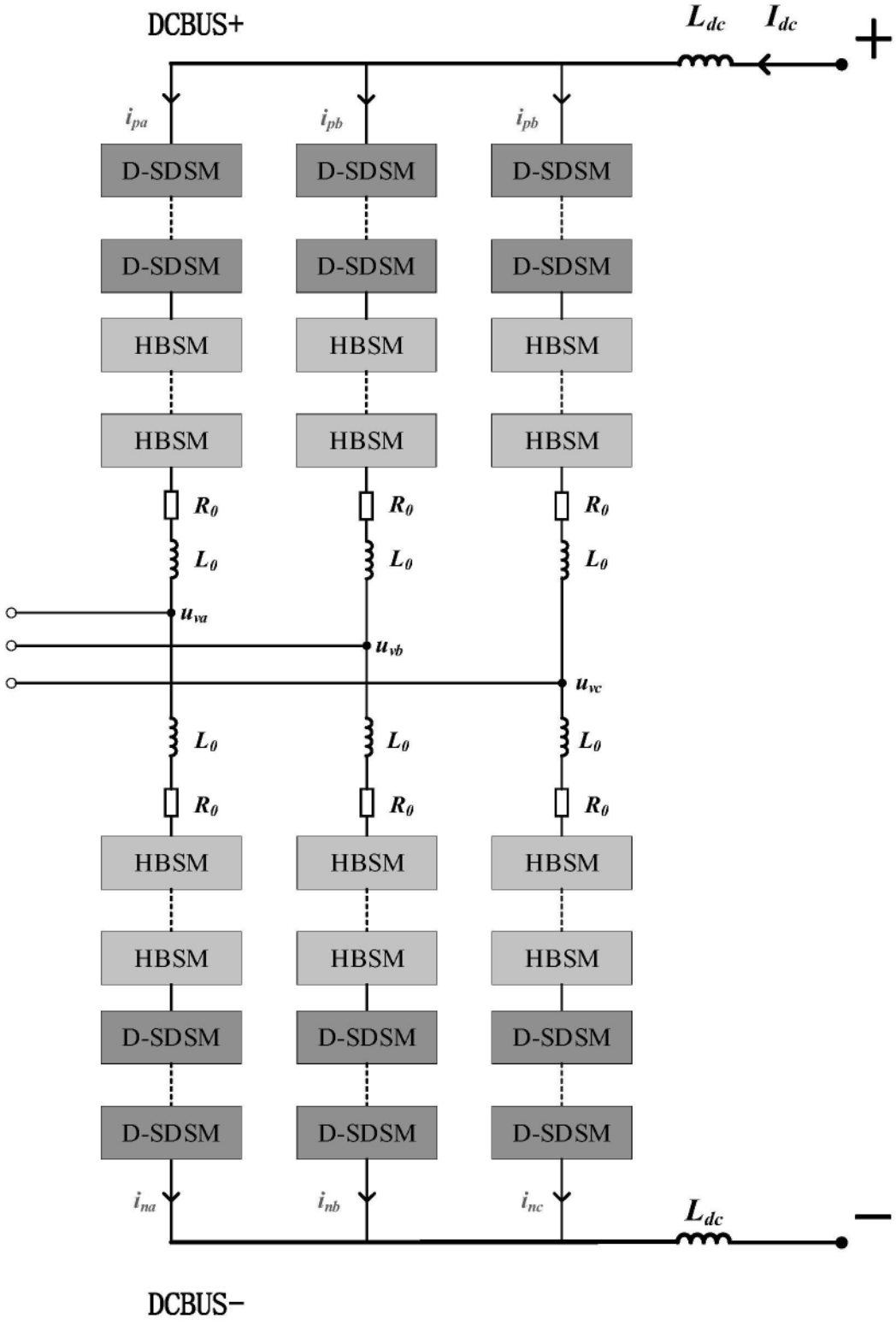

DCBUS+
L_{dc} I_{dc}
+
i_{pa}
i_{pb}
i_{pb}
D-SDSM
HBSM
R_0
L_0
u_{va}
u_{vb}
u_{vc}
i_{na}
i_{nb}
i_{nc}
L_{dc}
−
DCBUS−

图2

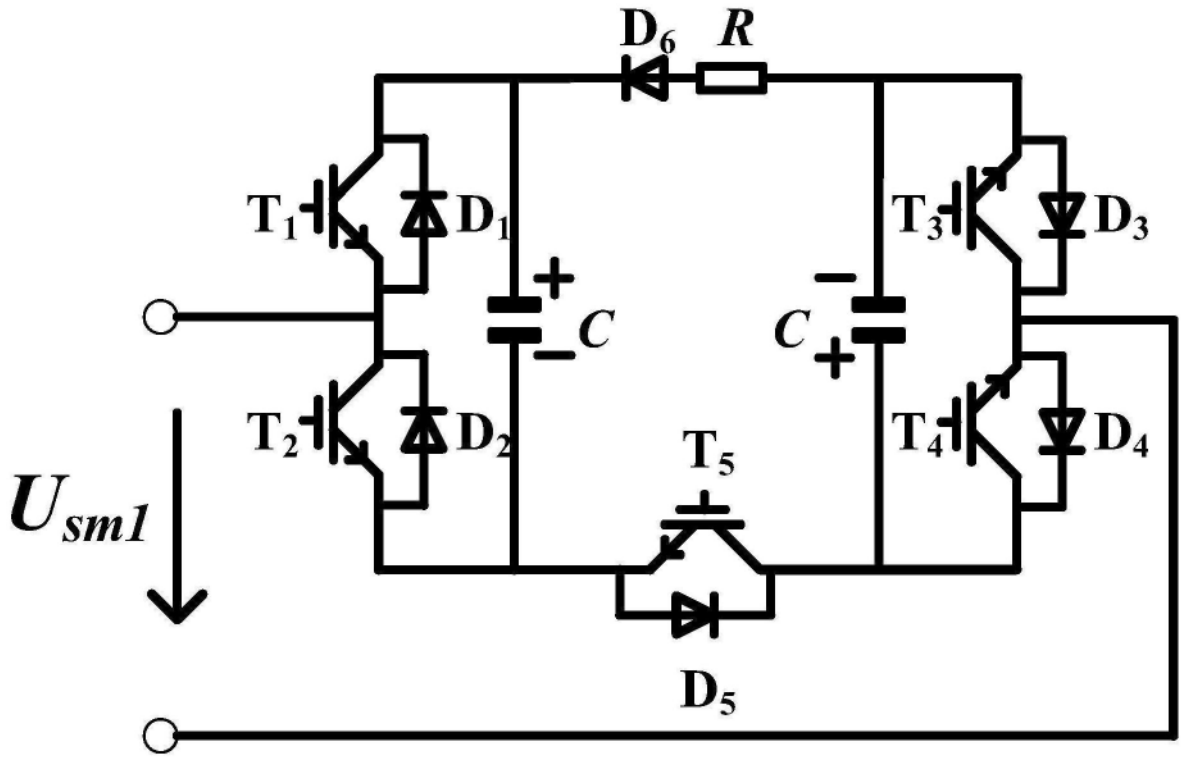


图3

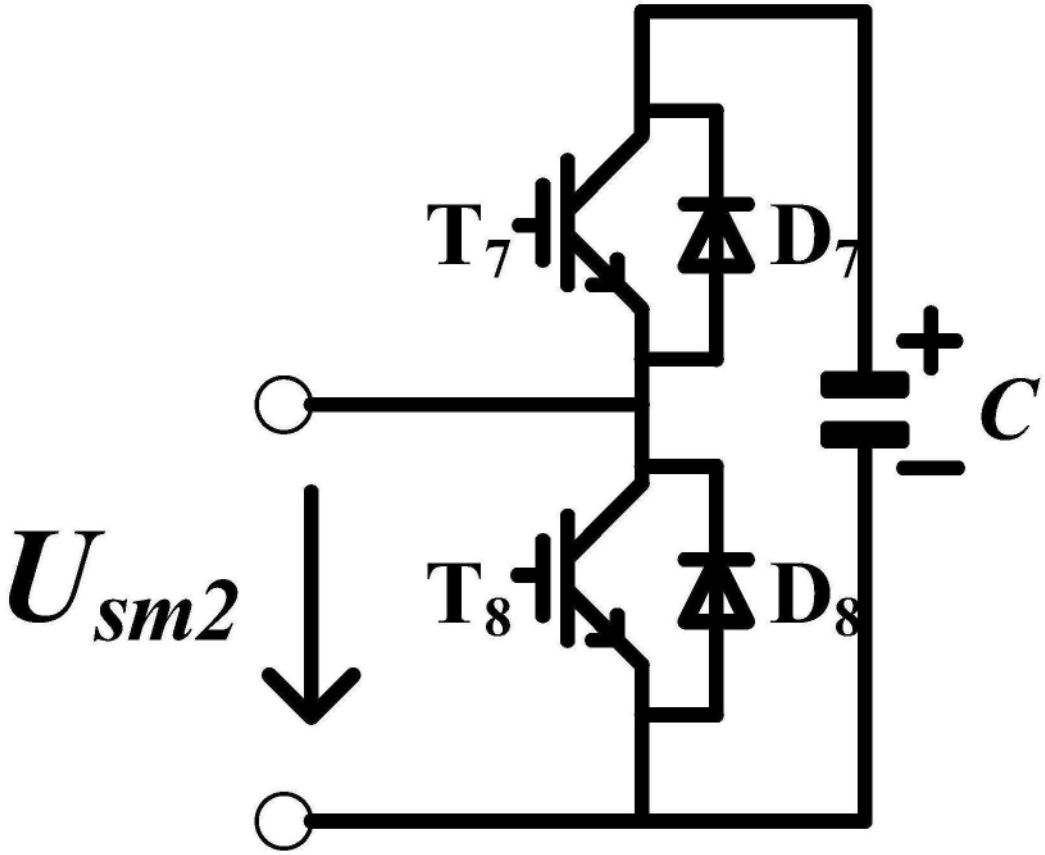


图4

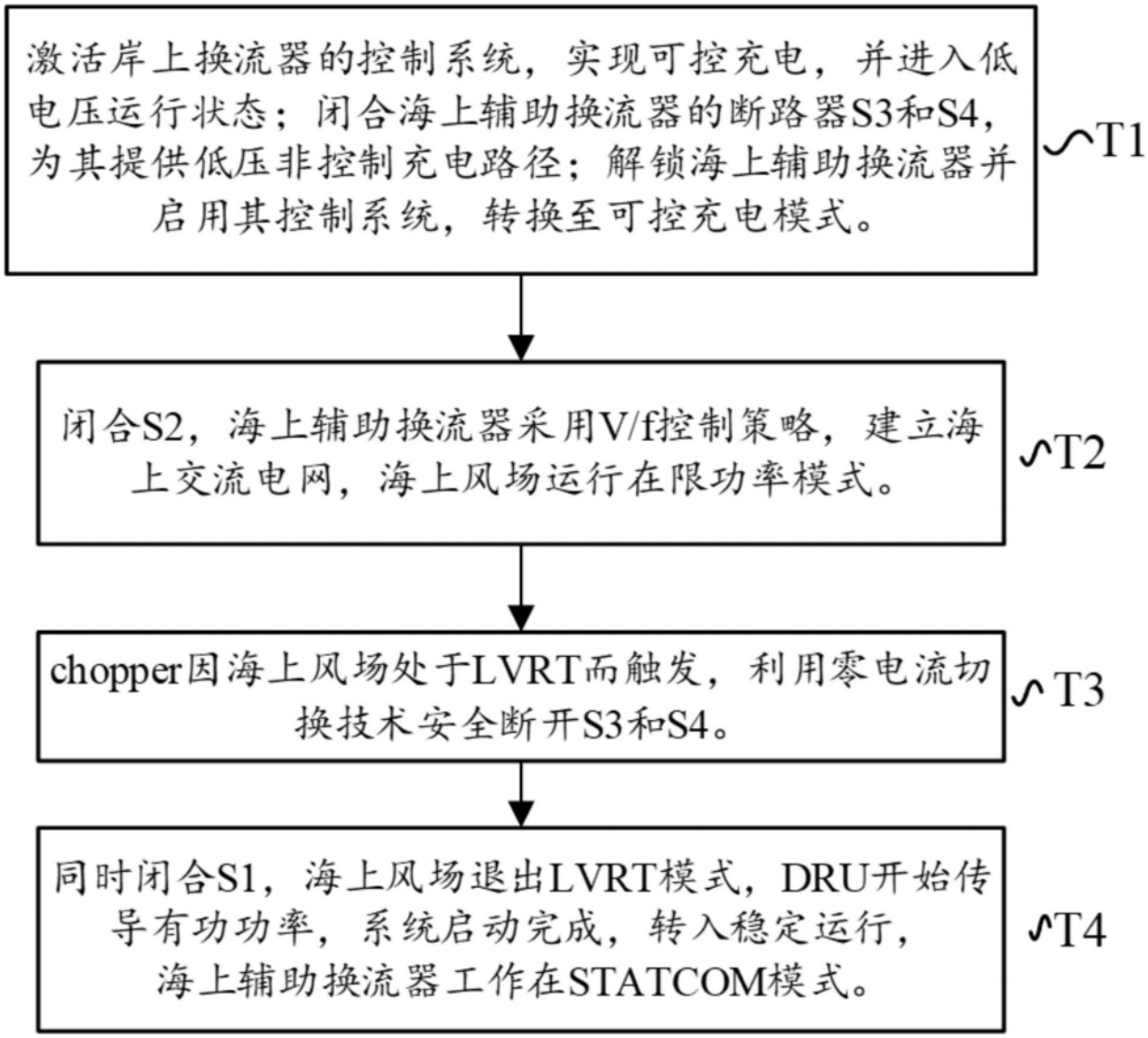
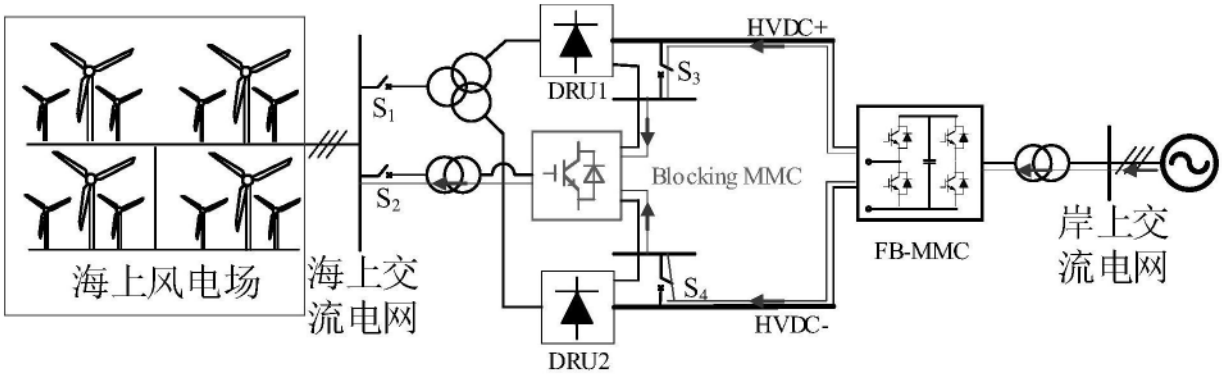
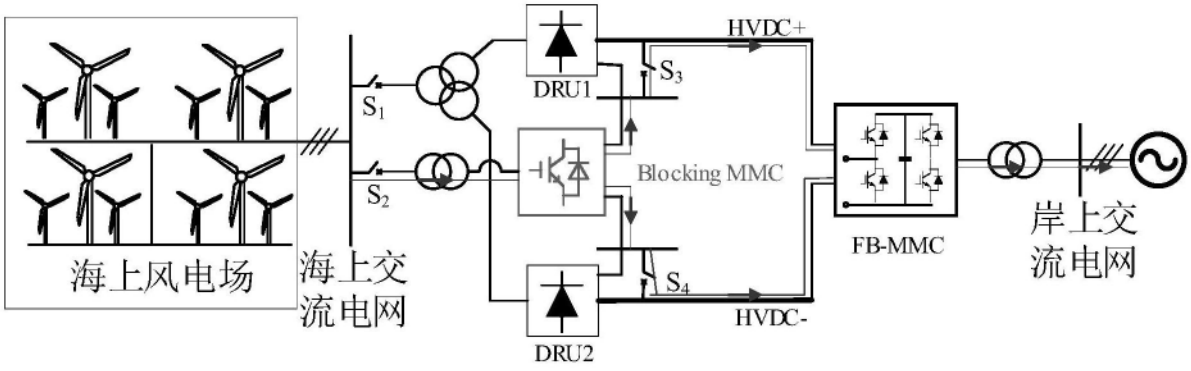

激活岸上换流器的控制系统，实现可控充电，并进入低电压运行状态；闭合海上辅助换流器的断路器S3和S4，为其提供低压非控制充电路径；解锁海上辅助换流器并启用其控制系统，转换至可控充电模式。
T1
闭合S2，海上辅助换流器采用V/f控制策略，建立海上交流电网，海上风场运行在限功率模式。
T2
chopper因海上风场处于LVRT而触发，利用零电流切换技术安全断开S3和S4。
T3
同时闭合S1，海上风场退出LVRT模式，DRU开始传导有功功率，系统启动完成，转入稳定运行，海上辅助换流器工作在STATCOM模式。
T4

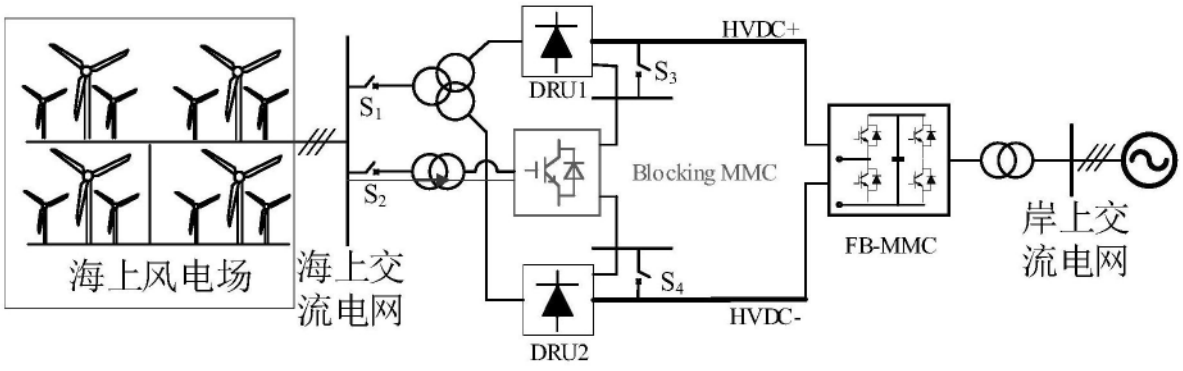
图5


海上风电场
S1
S2
海上交流电网
DRU1
DRU2
S3
S4
HVDC+
HVDC-
Blocking MMC
FB-MMC
岸上交流电网

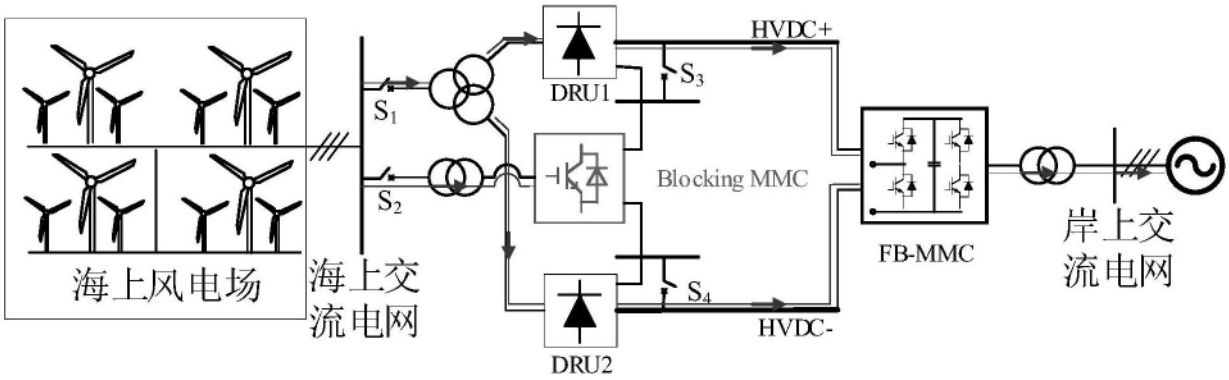
(a) 阶段 1 (T1)



(b) 阶段 2 (T2)



(c) 阶段 3 (T3)



阶段 4 (T4)

图6