



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110690723 A

(43)申请公布日 2020.01.14

(21)申请号 201911051029.1

(22)申请日 2019.10.31

(71)申请人 上海交通大学

地址 200240 上海市闵行区东川路800号

申请人 全球能源互联网研究院有限公司

(72)发明人 李睿 韩啸 蔡旭

(74)专利代理机构 上海恒慧知识产权代理事务
所(特殊普通合伙) 31317

代理人 刘翠

(51)Int.Cl.

H02J 3/32(2006.01)

H02J 3/24(2006.01)

H02J 3/38(2006.01)

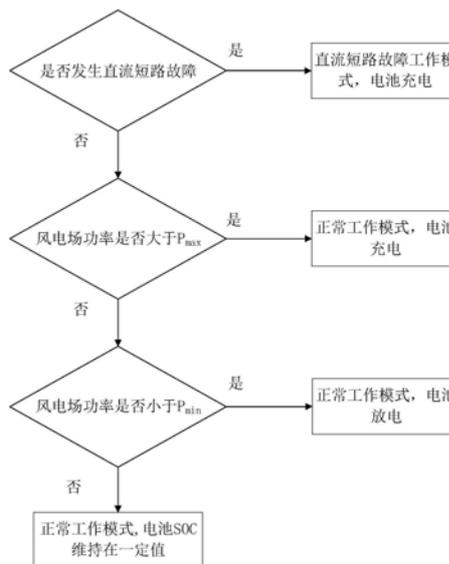
权利要求书3页 说明书8页 附图3页

(54)发明名称

海上风电系统中储能型模块化多电平变换器的控制方法

(57)摘要

本发明提供了一种海上风电系统中储能型模块化多电平变换器的控制方法,在正常工作模式下,通过对储能型模块化多电平变换器进行合理的控制,可以实现对风电场进行虚拟惯量补偿,产生和同容量的同步发电机相同的虚拟惯量,平滑风电功率波动,实现无直流断路器海上风电场设计,且故障发生阶段一定时间内交流风机侧仍可以把发出的电能存储在储能电池组中,减少风电机组内卸荷电阻的配置需求,降低风电机组成本和体积重量。



1. 一种海上风电系统中储能型模块化多电平变换器的控制方法,其特征在于,包括如下工作模式:

-正常工作模式:

储能型模块化多电平变换器对海上风电系统进行虚拟惯量补偿,产生和同容量的同步发电机相同的虚拟惯量,以平滑风电功率波动;

当海上风电系统发出的功率高于上限值时,储能型模块化多电平变换器中的电池模块吸收海上风电系统的功率;

当海上风电系统发出的功率低于下限值时,储能型模块化多电平变换器中的电池模块向直流母线发出功率;

-直流短路故障工作模式:

当直流侧发生短路故障时,储能型模块化多电平变换器中的电池模块吸收海上风电系统的功率;

其中:

所述正常工作模式和直流短路故障工作模式之间的切换步骤,包括:

-判断海上风电系统的直流侧是否发生短路故障;

若直流侧发生短路故障,储能型模块化多电平变换器切换到直流短路故障工作模式,储能型模块化多电平变换器中电池模块充电;

若直流侧未发生短路故障,进入以下判断;

-判断海上风电系统发出的功率是否大于上限值;

若海上风电系统发出的功率大于上限值,储能型模块化多电平变换器切换到正常工作模式,储能型模块化多电平变换器中电池模块充电;

若海上风电系统发出的功率不大于上限值,进入以下判断;

-判断海上风电系统发出的功率是否小于下限值;

若海上风电系统发出的功率小于下限值,储能型模块化多电平变换器切换到正常工作模式,储能型模块化多电平变换器中电池模块放电;

若海上风电系统发出的功率不小于下限值,储能型模块化多电平变换器切换到正常工作模式,控制储能型模块化多电平变换器中每个电池模块的荷电状态维持在一定值。

2. 根据权利要求1所述的海上风电系统的储能型模块化多电平变换器控制方法,其特征在于,控制储能型模块化多电平变换器中每个电池模块的荷电状态维持在一定值的方法为:

将储能型模块化多电平变换器中每个类全桥储能子模块电池的荷电状态与所有类全桥储能子模块电池的平均荷电状态相减,得到的结果作为荷电状态控制信号;

获取电池充电电流给定值和实际值的差,将所述荷电状态控制信号乘上比例系数,再与所述电池充电电流给定值和实际值的差叠加,该叠加结果作为PI控制器的输入,PI控制器的输出作为调制信号修正值;

将所述调制信号修正值叠加到类全桥储能子模块与电池相连半桥的调制信号的基准值上,使每个类全桥储能子模块电池的荷电状态趋于一致,其中,所述调制信号基准值为电池电压与电容平均电压的比值。

3. 根据权利要求1或2所述的海上风电系统中储能型模块化多电平变换器的控制方法,

其特征在于,所述海上风电系统,包括储能型模块化多电平变换器、变压器、风机变流器以及风电集电系统;其中,所述风机变流器连接风电集电系统后经变压器与储能型模块化多电平变换器相连,由储能型模块化多电平变换器进行交流与直流之间的电力变换后通过海底直流电缆进行电能传输。

4. 根据权利要求3所述的海上风电系统中储能型模块化多电平变换器的控制方法,其特征在于,所述储能型模块化多电平变换器包括三个相单元,其中:每个相单元均包括上桥臂、下桥臂、上桥臂电感和下桥臂电感;所述上桥臂的正极端作为相单元的直流出线正极端;所述上桥臂的负极端与所述上桥臂电感的一端相连;所述上桥臂电感的另一端与所述下桥臂电感的一端相连后作为相单元的交流出线端,连接到交流电网;所述下桥臂电感的另一端与所述下桥臂的正极端相连;所述下桥臂的负极端作为相单元的直流出线负极端;

三个相单元中的所述上桥臂和所述下桥臂均由半桥子模块和类全桥储能子模块混合串联而成。

5. 根据权利要求4所述的海上风电系统中储能型模块化多电平变换器的控制方法,其特征在于,所述的半桥子模块,包括:第一直流电容器、第一可控开关器件、第二可控开关器件、第一续流二极管和第二续流二极管;其中:

所述第一可控开关器件和所述第二可控开关器件的集电极分别与所述第一续流二极管和所述第二续流二极管的阴极相连;所述第一可控开关器件和所述第二可控开关器件的发射极分别与所述第一续流二极管和所述第二续流二极管的阳极相连;所述第一可控开关器件的集电极与所述第一直流电容器的阳极相连;所述第二可控开关器件的发射极与所述第一直流电容器的阴极相连;所述第一可控器件和第二可控器件的栅极均与控制电路相连。

6. 根据权利要求4所述的海上风电系统中储能型模块化多电平变换器的控制方法,其特征在于,所述类全桥储能子模块包括:第二直流电容器、电池、电池电感、第三可控开关器件、第四可控开关器件、第五可控开关器件、第六可控开关器件、第七可控开关器件、第八可控开关器件、第三续流二极管、第四续流二极管、第五续流二极管和第六续流二极管;其中:

所述第三可控开关器件、所述第四可控开关器件、所述第五可控开关器件和所述第六可控开关器件的集电极分别与所述第三续流二极管、所述第四续流二极管、所述第五续流二极管和所述第六续流二极管的阴极相连;所述第三可控开关器件、所述第四可控开关器件、所述第五可控开关器件和所述第六可控开关器件的发射极分别与所述第三续流二极管、所述第四续流二极管、所述第五续流二极管和所述第六续流二极管的阳极相连;所述第三可控开关器件的集电极与所述第二直流电容器的阳极相连;所述第四可控开关器件的发射极与所述第二直流电容器和所述电池的阴极相连;所述第三可控开关器件的发射极作为类全桥储能子模块的正极端,并与所述第七可控开关器件的一端相连;所述第四可控开关器件的发射极与所述第八可控开关器件的一端相连并作为类全桥储能子模块的负极端;所述第七可控开关器件和所述第八可控开关器件的另一端与所述电池电感的一端相连;所述电池电感的另一端与所述电池的阳极相连;所述第三可控开关器件、所述第四可控开关器件、所述第五可控开关器件、所述第六可控开关器件、所述第七可控开关器件和所述第八可控开关器件的栅极均与控制电路相连。

7. 根据权利要求6所述的海上风电系统的储能型模块化多电平变换器控制方法,其特

征在于,正常工作模式下,海上风电系统的直流侧未发生短路故障,所述储能型模块化多电平变换器中类全桥储能子模块的第八可控开关器件导通,第七可控开关器件关断;在直流短路故障工作模式下,海上风电系统的直流侧发生短路故障,所述储能型模块化多电平变换器中类全桥储能子模块的第七可控开关器件导通,第八可控开关器件关断。

海上风电系统中储能型模块化多电平变换器的控制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及电气自动化设备技术领域,具体地,涉及一种海上风电系统中储能型模块化多电平变换器的控制方法。

背景技术

[0002] 随着大规模、远距离海上风电的发展,将海上风电输送到陆上存在电网稳定、电能质量以及故障保护技术等方面的技术挑战。由于风电机组不能像传统同步发电机一样对电力系统的频率波动做出响应,用风能取代传统能源会减少电力系统的惯量和频率稳定性。然而,风电场只要接入储能功率占风电场额定容量5%的储能设备,就能产生和同容量的同步发电机相同的虚拟惯量。

[0003] 在现有的技术中,用于解决风电场并网问题的储能设备通常是作为一个单独设备接入风电场汇集母线,增加了发电损耗和系统成本。

[0004] 此外,变换器的运行必须考虑到系统的故障情况。在直流输电中,直流侧传输线路短路故障是最严重的故障类型。常规的基于半桥子模块的模块化多电平变换器不具备阻断直流故障电流的能力。基于全桥子模块的模块化多电平变换器虽然具备阻断直流故障电流的能力,但在故障发生时系统的所有子模块必须进入闭锁状态。

[0005] 一方面,应用于海上直流输电的拓扑需要具有故障穿越的能力,另一方面,面向海上风电的应用,系统又需要一定的储能以增加系统惯性。这就需要能同时把储能与故障穿越集成到同一个变换器中,且在合理的控制方法下才能实现上述功能。

[0006] 目前没有发现同本发明类似技术的说明或报道,也尚未收集到国内外类似的资料。

发明内容

[0007] 针对现有技术中存在的上述不足,本发明的目的是提供一种海上风电系统及其储能型模块化多电平变换器控制方法,该系统基于储能型模块化多电平变换器,通过对储能型模块化多电平变换器的工作状态切换进行控制,可以在变换器不停机的同时有效隔离故障,在故障清除后再切换到正常工作模式。

[0008] 本发明是通过以下技术方案实现的。

[0009] 一种海上风电系统中储能型模块化多电平变换器的控制方法,包括如下工作模式:

[0010] -正常工作模式:

[0011] 储能型模块化多电平变换器对海上风电系统进行虚拟惯量补偿,产生和同容量的同步发电机相同的虚拟惯量,以平滑风电功率波动;

[0012] 当海上风电系统发出的功率高于上限值时,储能型模块化多电平变换器中的电池模块吸收海上风电系统的功率;

[0013] 当海上风电系统发出的功率低于下限值时,储能型模块化多电平变换器中的电池

模块向直流母线发出功率；

[0014] -直流短路故障工作模式；

[0015] 当直流侧发生短路故障时，储能型模块化多电平变换器中的电池模块吸收海上风电系统的功率；

[0016] 其中：

[0017] 所述正常工作模式和直流短路故障工作模式之间的切换步骤，包括：

[0018] -判断海上风电系统的直流侧是否发生短路故障；

[0019] 若直流侧发生短路故障，储能型模块化多电平变换器切换到直流短路故障工作模式，储能型模块化多电平变换器中电池模块充电；

[0020] 若直流侧未发生短路故障，进入以下判断；

[0021] -判断海上风电系统发出的功率是否大于上限值；

[0022] 若海上风电系统发出的功率大于上限值，储能型模块化多电平变换器切换到正常工作模式，储能型模块化多电平变换器中电池模块充电；

[0023] 若海上风电系统发出的功率不大于上限值，进入以下判断；

[0024] -判断海上风电系统发出的功率是否小于下限值；

[0025] 若海上风电系统发出的功率小于下限值，储能型模块化多电平变换器切换到正常工作模式，储能型模块化多电平变换器中电池模块放电；

[0026] 若海上风电系统发出的功率不小于下限值，储能型模块化多电平变换器切换到正常工作模式，控制储能型模块化多电平变换器中每个电池模块的荷电状态维持在一定值。

[0027] 优选地，控制储能型模块化多电平变换器中每个电池模块的荷电状态维持在一定值的方法为：

[0028] 将储能型模块化多电平变换器中每个类全桥储能子模块电池的荷电状态与所有类全桥储能子模块电池的平均荷电状态相减，得到的结果作为荷电状态控制信号；

[0029] 获取电池充电电流给定值和实际值的差，将所述荷电状态控制信号乘上比例系数，再与所述电池充电电流给定值和实际值的差叠加，该叠加结果作为PI控制器的输入，PI控制器的输出作为调制信号修正值；

[0030] 将所述调制信号修正值叠加到类全桥储能子模块与电池相连半桥的调制信号的基准值上，使每个类全桥储能子模块电池的荷电状态趋于一致，其中，所述调制信号基准值为电池电压与电容平均电压的比值。

[0031] 优选地，所述海上风电系统，包括储能型模块化多电平变换器、变压器、风机变流器以及风电集电系统；其中，所述风机变流器连接风电集电系统后经变压器与储能型模块化多电平变换器相连，由储能型模块化多电平变换器进行交流与直流之间的电力变换后通过海底直流电缆进行电能传输。

[0032] 优选地，所述储能型模块化多电平变换器包括三个相单元，其中：每个相单元均包括上桥臂、下桥臂、上桥臂电感和下桥臂电感；所述上桥臂的正极端作为相单元的直流出线正极端；所述上桥臂的负极端与所述上桥臂电感的一端相连；所述上桥臂电感的另一端与所述下桥臂电感的一端相连后作为相单元的交流出线端，连接到交流电网；所述下桥臂电感的另一端与所述下桥臂的正极端相连；所述下桥臂的负极端作为相单元的直流出线负极端；

[0033] 三个相单元中的所述上桥臂和所述下桥臂均由半桥子模块和类全桥储能子模块混合串联而成。

[0034] 优选地,所述的半桥子模块,包括:第一直流电容器、第一可控开关器件、第二可控开关器件、第一续流二极管和第二续流二极管;其中:

[0035] 所述第一可控开关器件和所述第二可控开关器件的集电极分别与所述第一续流二极管和所述第二续流二极管的阴极相连;所述第一可控开关器件和所述第二可控开关器件的发射极分别与所述第一续流二极管和所述第二续流二极管的阳极相连;所述第一可控开关器件的集电极与所述第一直流电容器的阳极相连;所述第二可控开关器件的发射极与所述第一直流电容器的阴极相连;所述第一可控器件和第二可控器件的栅极均与控制电路相连。

[0036] 优选地,所述类全桥储能子模块包括:第二直流电容器、电池、电池电感、第三可控开关器件、第四可控开关器件、第五可控开关器件、第六可控开关器件、第七可控开关器件、第八可控开关器件、第三续流二极管、第四续流二极管、第五续流二极管和第六续流二极管;其中:

[0037] 所述第三可控开关器件、所述第四可控开关器件、所述第五可控开关器件和所述第六可控开关器件的集电极分别与所述第三续流二极管、所述第四续流二极管、所述第五续流二极管和所述第六续流二极管的阴极相连;所述第三可控开关器件、所述第四可控开关器件、所述第五可控开关器件和所述第六可控开关器件的发射极分别与所述第三续流二极管、所述第四续流二极管、所述第五续流二极管和所述第六续流二极管的阳极相连;所述第三可控开关器件的集电极与所述第二直流电容器的阳极相连;所述第四可控开关器件的发射极与所述第二直流电容器和所述电池的阴极相连;所述第三可控开关器件的发射极作为类全桥储能子模块的正极端,并与所述第七可控开关器件的一端相连;所述第四可控开关器件的发射极与所述第八可控开关器件的一端相连并作为类全桥储能子模块的负极端;所述第七可控开关器件和所述第八可控开关器件的另一端与所述电池电感的一端相连;所述电池电感的另一端与所述电池的阳极相连;所述第三可控开关器件、所述第四可控开关器件、所述第五可控开关器件、所述第六可控开关器件、所述第七可控开关器件和所述第八可控开关器件的栅极均与控制电路相连。

[0038] 优选地,正常工作模式下,海上风电系统的直流侧未发生短路故障,所述储能型模块化多电平变换器中类全桥储能子模块的第八可控开关器件导通,第七可控开关器件关断;在直流短路故障工作模式下,海上风电系统的直流侧发生短路故障,所述储能型模块化多电平变换器中类全桥储能子模块的第七可控开关器件导通,第八可控开关器件关断。

[0039] 与现有技术相比,本发明具有如下有益效果:

[0040] 本发明提供了一种海上风电系统及其储能型模块化多电平变换器控制方法,将储能电池(即类全桥储能子模块中电池,以下相同)集成在变换器中,减少了发电损耗和系统成本,同时还保持了直流侧故障穿越能力,可以实现无直流断路器海上风电场设计,解决目前高压直流断路器技术不成熟的矛盾;且故障发生阶段一定时间内交流风机侧仍可以把发出的电能存储在储能电池组中,通过配合风电机组变桨控制,可以减少风电机组内卸荷电阻的配置需求,降低风电机组成本和体积重量。

附图说明

[0041] 通过阅读参照以下附图对非限制性实施例所作的详细描述,本发明的其它特征、目的和优点将会变得更明显:

[0042] 图1为本发明一实施例中提供的海上风电系统中储能型模块化多电平变换器工作状态切换步骤框图;

[0043] 图2为本发明一实施例中提供的一种基于储能型模块化多电平变换器的海上风电系统结构示意图;

[0044] 图3为本发明一实施例中提供的海上风电系统中的储能型模块化多电平变换器电路拓扑图;

[0045] 图4为本发明一实施例中提供的储能型模块化多电平变换器中的半桥子模块电路图;

[0046] 图5为本发明一实施例中提供的储能型模块化多电平变换器中的类全桥储能子模块电路图。

具体实施方式

[0047] 下面结合具体的实施例对本发明进行详细的说明。以下实施例将有助于本领域的技术人员进一步理解本发明,但不以任何形式限制本发明。应当指出的是,对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,这都属于本发明的保护范围。

[0048] 本发明实施例提供了一种上述海上风电系统中储能型模块化多电平变换器的控制方法,在正常工作模式下,通过对储能型模块化多电平变换器进行合理的控制,实现对风电场进行虚拟惯量补偿,产生和同容量的同步发电机相同的虚拟惯量。当风电场发出的功率高于上限值时,储能电池吸收风电场的功率,当风电场发出的功率低于下限值时,储能电池向直流母线发出功率,以平滑风电功率波动。当直流侧发生短路故障时,储能型模块化多电平变换器切换到直流短路故障工作模式,储能电池吸收风电场的功率,可以在变换器不停机的同时有效隔离故障,在故障清除后再切换到正常工作模式。

[0049] 具体包括如下工作状态切换步骤:

[0050] -判断海上风电系统直流侧是否发生短路故障;

[0051] 若直流侧发生短路故障,储能型模块化多电平变换器切换到直流短路故障工作模式,电池充电;

[0052] 若直流侧未发生短路故障,进入以下判断;

[0053] -判断海上风电系统发出的功率是否大于上限值;

[0054] 若海上风电系统发出的功率大于上限值,储能型模块化多电平变换器切换到正常工作模式,电池充电;

[0055] 若海上风电系统发出的功率不大于上限值,进入以下判断;

[0056] -判断海上风电系统发出的功率是否小于下限值;

[0057] 若海上风电系统发出的功率小于下限值,储能型模块化多电平变换器切换到正常工作模式,电池放电;

[0058] 若海上风电系统发出的功率不小于下限值,储能型模块化多电平变换器切换到正

常工作模式,控制每个电池模块的荷电状态维持在一定值。

[0059] 进一步地,所述基于储能型模块化多电平变换器的海上风电系统,将储能型模块化多电平变换器安装在海上,风机变流器连接风电集电系统后经变压器与储能型模块化多电平变换器相连,由储能型模块化多电平变换器进行交流-直流电力变换后通过海底直流电缆将电能传输到陆上。

[0060] 进一步地,所述储能型模块化多电平变换器包括三个相单元,每个相单元均包括上桥臂、下桥臂、上桥臂电感、下桥臂电感;所述上桥臂的正极端作为相单元的直流出线正极端;所述上桥臂的负极端与所述上桥臂电感的一端相连;所述上桥臂电感的另一端与所述下桥臂电感的一端相连,作为相单元的交流出线端,连接到交流电网;所述下桥臂电感的另一端与所述下桥臂的正极端相连;所述下桥臂的负极端作为相单元的直流出线负极端;三个相单元中的所述上桥臂、所述下桥臂均由半桥子模块和类全桥储能子模块混合串联而成。

[0061] 进一步地,所述的半桥子模块,包括:第一直流电容器、第一可控开关器件、第二可控开关器件、第一续流二极管、第二续流二极管;其中:

[0062] 所述第一可控开关器件、所述第二可控开关器件的集电极分别与所述第一续流二极管、所述第二续流二极管的阴极相连;所述第一可控开关器件、所述第二可控开关器件的发射极分别与所述第一续流二极管、所述第二续流二极管的阳极相连;所述第一可控开关器件的集电极与所述第一直流电容器的阳极相连;所述第二可控开关器件的发射极与所述第一直流电容器的阴极相连;所述第一可控器件,第二可控器件的栅极均与控制电路相连。

[0063] 进一步地,所述类全桥储能子模块包括:第二直流电容器、电池、电池电感、第三可控开关器件、第四可控开关器件、第五可控开关器件、第六可控开关器件、第七可控开关器件、第八可控开关器件、第三续流二极管、第四续流二极管、第五续流二极管、第六续流二极管;其中:

[0064] 所述第三可控开关器件、所述第四可控开关器件、所述第五可控开关器件、所述第六可控开关器件的集电极分别与所述第三续流二极管、所述第四续流二极管、所述第五续流二极管、所述第六续流二极管的阴极相连;所述第三可控开关器件、所述第四可控开关器件、所述第五可控开关器件、所述第六可控开关器件的发射极分别与所述第三续流二极管、所述第四续流二极管、所述第五续流二极管、所述第六续流二极管的阳极相连;所述第三可控开关器件的集电极与所述第二直流电容器的阳极相连;所述第四可控开关器件的发射极与所述第二直流电容器、所述电池的阴极相连;所述第三可控开关器件的发射极作为类全桥储能子模块的正极端,并与所述第七可控开关器件的一端相连;所述第四可控开关器件的发射极与所述第八可控开关器件的一端相连并作为类全桥储能子模块的负极端;所述第七可控开关器件、所述第八可控开关器件的另一端与所述电池电感的一端相连;所述电池电感的另一端与所述电池的阳极相连;所述第三可控开关器件、所述第四可控开关器件、所述第五可控开关器件、所述第六可控开关器件、所述第七可控开关器件、所述第八可控开关器件的栅极均与控制电路相连。

[0065] 进一步地,所述正常工作模式,直流母线(直流侧)未发生短路故障,所述第八可控开关器件导通,所述第七可控开关器件关断。所述直流短路故障工作模式,直流母线(直流侧)发生短路故障,所述第七可控开关器件导通,所述第八可控开关器件关断。

[0066] 进一步地,控制储能型模块化多电平变换器中每个电池模块的荷电状态维持在一定值的方法为:根据储能型模块化多电平变换器中每个类全桥储能子模块电池的荷电状态与所有类全桥储能子模块电池的平均荷电状态相减,产生荷电状态控制信号,乘上比例系数后再与电池充电电流给定值和实际值的差叠加作为PI控制器的输入,PI控制器的输出作为调制信号修正值,叠加到类全桥储能子模块与电池相连半桥的调制信号的基准值上,其中调制信号基准值为电池电压与电容平均电压的比值,使每个类全桥储能子模块电池的荷电状态维持在一定值。

[0067] 在本发明实施例中,PI控制器是实现整个控制方法的控制方案的一部分,控制电路是用于实现控制方案的硬件电路。

[0068] 下面结合附图,对本发明实施例所提供的技术方案进一步详细描述。

[0069] 如图1所示,为本发明一优选实施例中提供的海上风电系统中的储能型模块化多电平变换器工作状态切换步骤框图;包括如下工作状态切换步骤:

[0070] S1:判断直流侧是否发生短路故障;

[0071] 若直流侧发生短路故障,储能型模块化多电平变换器切换到直流短路故障工作模式,电池充电;

[0072] 若直流侧未发生短路故障,进入以下判断;

[0073] S2:判断风电场发出的功率P是否大于上限值 P_{\max} ;

[0074] 若风电场发出的功率P大于上限值 P_{\max} ,储能型模块化多电平变换器切换到正常工作模式,电池充电,每个电池模组充电电流给定值 I_{bat}^* 设定为:

$$[0075] \quad I_{bat}^* = \frac{P_{\max} - P}{6N_f V_{bat}}$$

[0076] 其中, N_f 为每个桥臂类全桥储能子模块个数, V_{bat} 为电池模组电压。

[0077] 若风电场发出的功率P不大于上限值 P_{\max} ,进入以下判断;

[0078] S3:判断风电场发出的功率P是否小于下限值 P_{\min} ;

[0079] 若风电场发出的功率P小于下限值 P_{\min} ,储能型模块化多电平变换器切换到正常工作模式,电池放电,每个电池模组充电电流给定值 I_{bat}^* 设定为:

$$[0080] \quad I_{bat}^* = \frac{P_{\min} - P}{6N_f V_{bat}}$$

[0081] 若风电场发出的功率P不小于下限值 P_{\min} ,储能型模块化多电平变换器切换到正常工作模式,控制每个电池模块的荷电状态维持在一定值SOC₀;

[0082] 如图2所示,为本发明一优选实施例中提供的一种基于储能型模块化多电平变换器的海上风电系统(即海上风电场侧)方案;将储能型模块化多电平变换器安装在海上,风机变流器连接风电集电系统后经变压器与储能型模块化多电平变换器相连,由储能型模块化多电平变换器进行交流-直流电力变换后通过海底直流电缆将电能传输到陆上。在正常工作模式下,通过对储能型模块化多电平变换器进行合理的控制,可以实现对风电场进行虚拟惯量补偿,产生和同容量的同步发电机相同的虚拟惯量。当风电场发出的功率高于上限值时,储能电池吸收风电场的功率。当风电场发出的功率低于下限值时,储能电池向直流母线发出功率,以平滑风电功率波动。当直流侧发生短路故障时,储能型模块化多电平变换

器切换到直流短路故障工作模式,可以在变换器不停机的同时有效隔离故障,在故障清除后再切换到正常工作模式。

[0083] 如图3所示,为本发明一实施例中提供的应用于海上风电的储能型模块化多电平变换器电路拓扑图;所述混合储能型模块化多电平变换器包括三个相单元,每个相单元 x ($x=a, b, c$) 均包括上桥臂、下桥臂、上桥臂电感 L_{xp} 、下桥臂电感 L_{xn} ;所述上桥臂的正极端作为相单元的直流出线正极端;所述上桥臂的负极端与所述上桥臂电感 L_{xp} 的一端相连;所述上桥臂电感 L_{xp} 的另一端与所述下桥臂电感 L_{xn} 的一端相连,作为相单元的交流出线端 V_x ,连接到电网;所述下桥臂电感的另一端与所述下桥臂的正极端相连;所述下桥臂 L_{xn} 的负极端作为相单元的直流出线负极端;三个相单元中的所述上桥臂、所述下桥臂均由半桥子模块和类全桥储能子模块混合串联而成。子模块 xyi ($x=a, b, c, y=p, n, i=1, 2, \dots, N$;其中 p 代表上, n 代表下)代表 x 相 y 桥臂的第 i 个子模块, i_x 指 x 相交流侧电流, i_{xy} 指 x 相 y 桥臂的电流, V_{xy} 指 x 相 y 桥臂所有子模块输出的电压和, I_d 指直流侧电流, V_{dc} 指直流侧电压。

[0084] 如图4所示,为一优选实施例的半桥子模块电路图;所述的半桥子模块,包括:第一直流电容器 $C1$,第一可控开关器件 $S1$ 、第二可控开关器件 $S2$,以及第一续流二极管 $D1$ 、第二续流二极管 $D2$;其中:

[0085] 所述第一可控开关器件 $S1$ 的集电极、所述第二可控开关器件 $S2$ 的集电极分别与所述第一续流二极管 $D1$ 的阴极、所述第二续流二极管 $D2$ 的阴极相连;所述第一可控开关器件 $S1$ 的发射极、所述第二可控开关器件 $S2$ 的发射极分别与所述第一续流二极管 $D1$ 的阳极、所述第二续流二极管 $D2$ 的阳极相连;所述第一可控开关器件 $S1$ 的集电极还与所述第一直流电容器 $C1$ 的阳极相连;所述第二可控开关器件 $S1$ 的发射极还与所述第一直流电容器 $C1$ 的阴极相连;所述第一可控开关器件 $S1$ 的栅极、第二可控开关器件 $S2$ 的栅极均与控制电路相连。

[0086] 如图5所示,为本发明一实施例中提供的类全桥储能子模块电路图;所述的类全桥储能子模块,包括:第二直流电容器 $C2$ 、电池、电池电感 L 、第三可控开关器件 $S3$ 、第四可控开关器件 $S4$ 、第五可控开关器件 $S5$ 、第六可控开关器件 $S6$ 、第七可控开关器件 $T1$ 、第八可控开关器件 $T2$ 、第三续流二极管 $D3$ 、第四续流二极管 $D4$ 、第五续流二极管 $D5$ 、第六续流二极管 $D6$;其中:

[0087] 所述第三可控开关器件 $S3$ 的集电极、所述第四可控开关器件 $S4$ 的集电极、所述第五可控开关器件 $S5$ 的集电极、所述第六可控开关器件 $S6$ 的集电极分别与所述第三续流二极管 $D3$ 的阴极、所述第四续流二极管 $D4$ 的阴极、所述第五续流二极管 $D5$ 的阴极、所述第六续流二极管 $D6$ 的阴极相连;所述第三可控开关器件 $S3$ 的发射极、所述第四可控开关器件 $S4$ 的发射极、所述第五可控开关器件 $S5$ 的发射极、所述第六可控开关器件 $S6$ 的发射极分别与所述第三续流二极管 $D3$ 的阳极、所述第四续流二极管 $D4$ 的阳极、所述第五续流二极管 $D5$ 的阳极、所述第六续流二极管 $D6$ 的阳极相连;所述第三可控开关器件 $S3$ 的集电极与所述第二直流电容器 $C2$ 的阳极相连;所述第四可控开关器件 $S4$ 的发射极与所述第二直流电容器 $C2$ 的阴极、所述电池的阴极相连;所述第三可控开关器件 $S3$ 的发射极作为类全桥储能子模块的正极端,并与所述第七可控开关器件 $T1$ 的一端相连;所述第四可控开关器件 $S4$ 的发射极与所述第八可控开关器件 $T2$ 的一端相连并作为类全桥储能子模块的负极端;所述第七可控开关器件 $T1$ 、所述第八可控开关器件 $T2$ 的另一端与所述电池电感 L 的一端相连;所述电池电感 L 的另一端与所述电池的阳极相连;所述第三可控开关器件 $S3$ 的栅极、所述第四可控开关器件

S4的栅极、所述第五可控开关器件S5的栅极、所述第六可控开关器件S6的栅极、所述第七可控开关器件T1的栅极、所述第八可控开关器件T2的栅极均与控制电路相连；

[0088] 在正常工作模式下，直流母线未发生短路故障，所述第八可控开关器件T2导通，所述第七可控开关器件T1关断。在直流短路故障工作模式下，直流母线发生短路故障，所述第七可控开关器件T1导通，所述第八可控开关器件T2关断。

[0089] 本发明上述实施例提供的海上风电系统及其储能型模块化多电平变换器控制方法，所述模块化多电平变换器包括三个相单元，每个相单元包括上桥臂，下桥臂，上桥臂电感，下桥臂电感，上、下桥臂均由半桥子模块和类全桥储能子模块混合串联而成。将储能型模块化多电平变换器安装在海上，风机变流器连接风电集电系统后经变压器与储能型模块化多电平变换器相连，由储能型模块化多电平变换器进行交流-直流电力变换后通过海底直流电缆将电能传输到陆上。在正常工作模式下，通过对储能型模块化多电平变换器进行合理的控制，可以实现对风电场进行虚拟惯量补偿，产生和同容量的同步发电机相同的虚拟惯量，平滑风电功率波动。上述方法将储能电池集成在变换器中，减少了发电损耗和系统成本，同时还保持了直流侧故障穿越能力，可以实现无直流断路器海上风电场设计，且故障发生阶段一定时间内交流风机侧仍可以把发出的电能存储在储能电池组中，通过配合风电机组变桨控制，可以减少风电机组内卸荷电阻的配置需求，降低风电机组成本和体积重量。

[0090] 以上对本发明的具体实施例进行了描述。需要理解的是，本发明并不局限于上述特定实施方式，本领域技术人员可以在权利要求的范围内做出各种变形或修改，这并不影响本发明的实质内容。

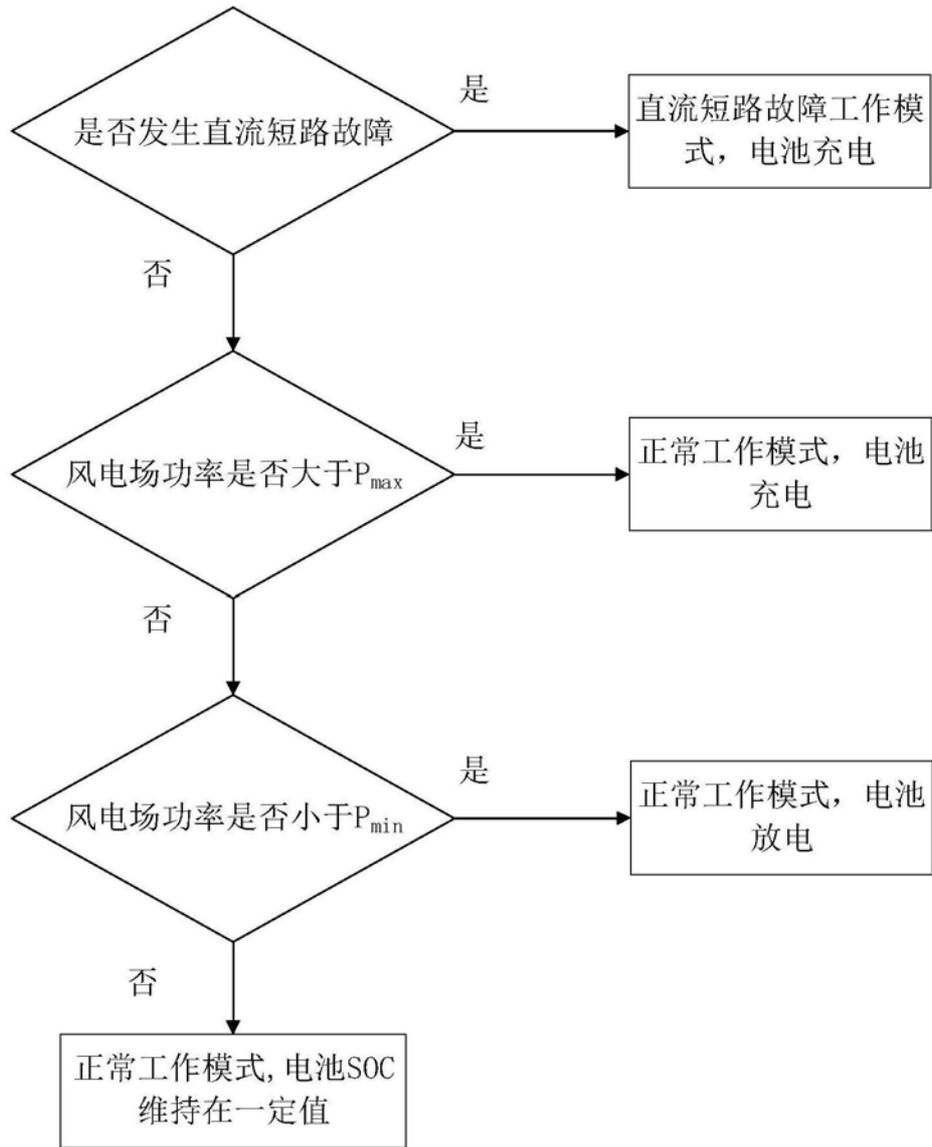


图1

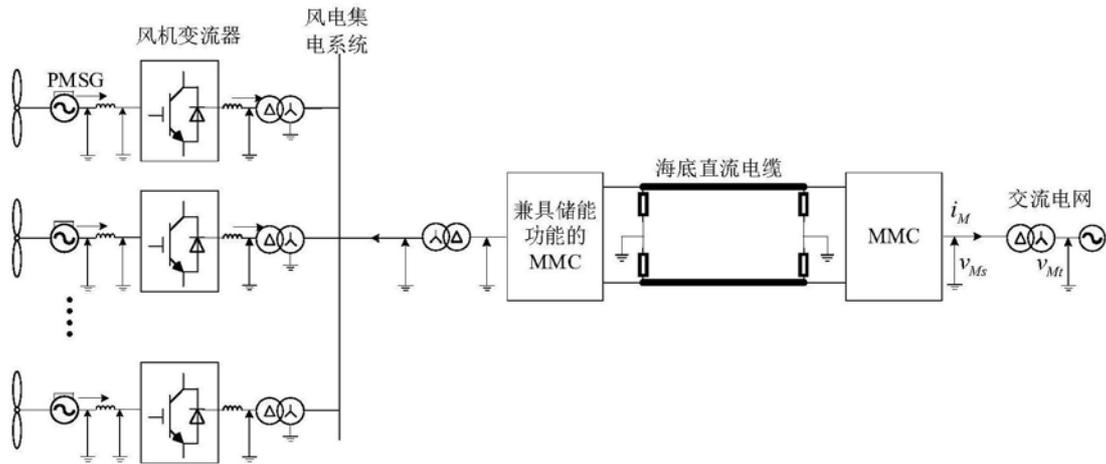


图2

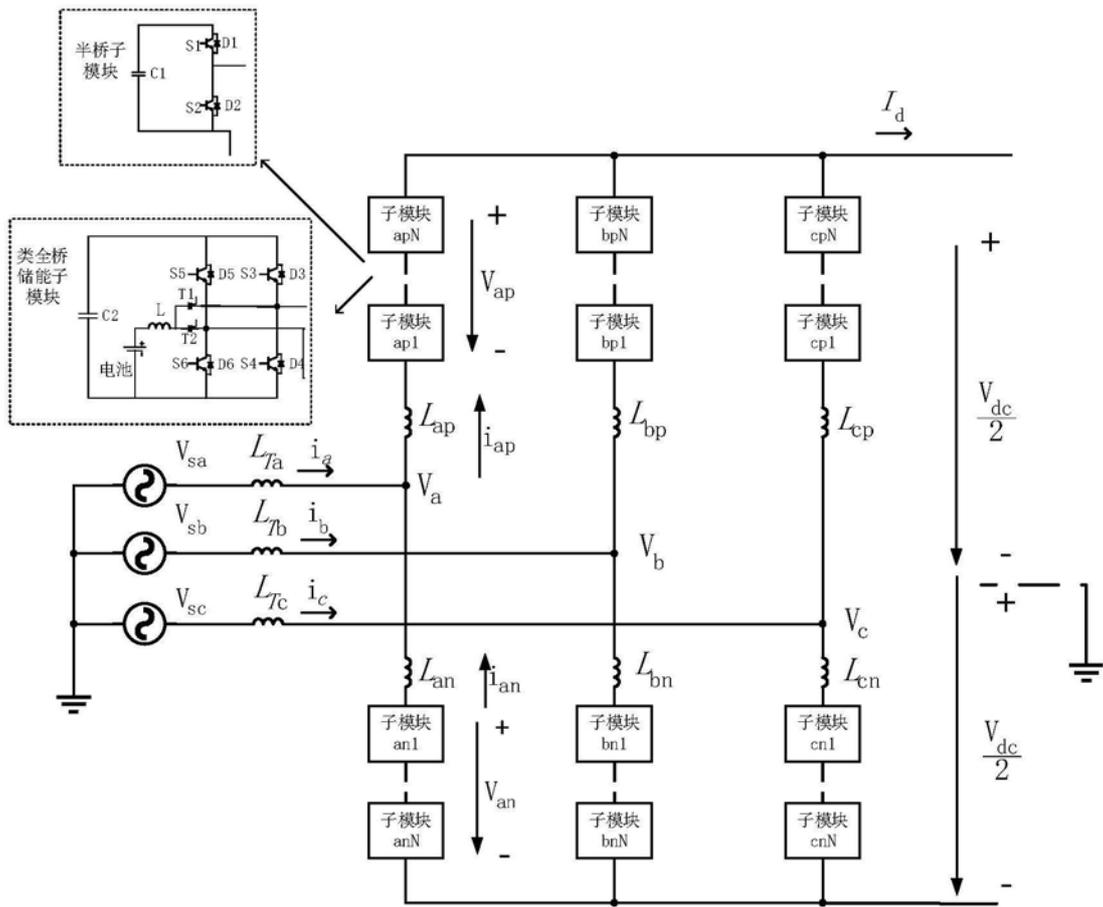


图3

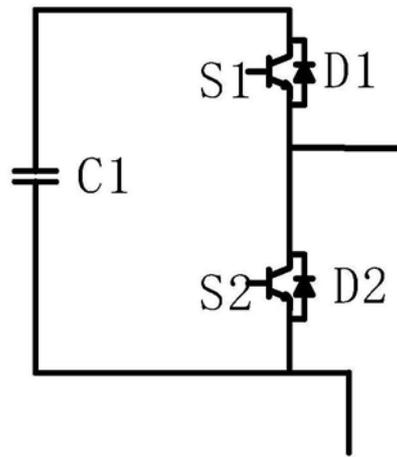


图4

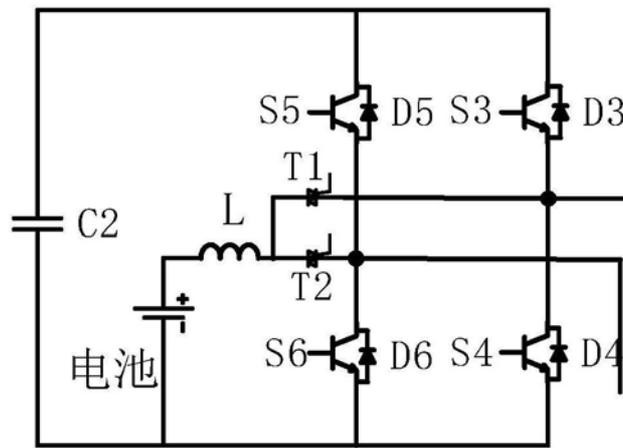


图5