



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114629156 A

(43) 申请公布日 2022.06.14

(21) 申请号 202210353860.8

H02M 7/49 (2007.01)

(22) 申请日 2022.04.06

H02J 3/18 (2006.01)

(71) 申请人 国家电网有限公司

H02J 3/01 (2006.01)

地址 100031 北京市西城区西长安街86号

H02J 3/38 (2006.01)

申请人 国网经济技术研究院有限公司

H02J 3/46 (2006.01)

(72) 发明人 郭铭群 薛英林 马为民 李明
张进 张燕秉 肖鲲 张涛
马玉龙 祝全乐 郝致远 江明泽
贺立

(74) 专利代理机构 北京纪凯知识产权代理有限公司 11245
专利代理师 赵悦

(51) Int.Cl.

H02J 3/36 (2006.01)

H02M 7/219 (2006.01)

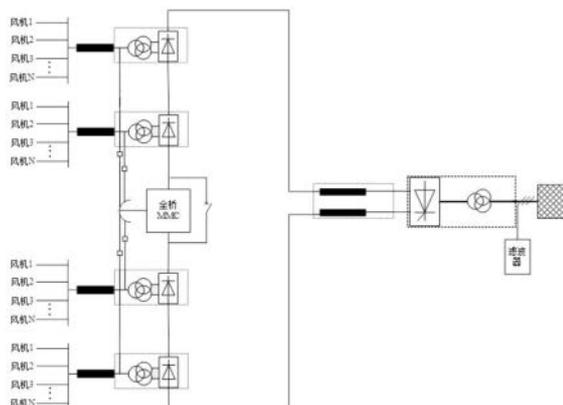
权利要求书2页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

一种分散式不控整流混合直流单向输电系统及其控制方法

(57) 摘要

本发明涉及一种分散式不控整流混合直流单向输电系统及其控制方法,其中海上站包括若干个风机、若干不控整流模块和全桥MCC,将若干个风机分为2m组,每组包括n个风机,将n个风机与一不控整流模块连接,共与2m个不控整流模块连接,其中m个不控整流模块串联,并与正极连接,另外m个不控整流模块与负极连接,每个不控整流模块通过第一交流断路器与全桥MMC连接,其中n和m均为正整数;正极和负极分别连接对应的直流电缆的输入端,直流电缆的输出端与陆上站连接;陆上站包括与直流电缆连接的晶闸管换流模块,以及与晶闸管换流模块连接的受端交流电网。其技术成熟度高、系统运行可靠性高,经济性高;无需配置大量电容及IGBT。



1. 一种分散式不控整流混合直流单向输电系统,其特征在于,包括:海上站、直流电缆和陆上站;

所述海上站包括若干个风机、若干不控整流模块和全桥MCC,将若干个风机分为 $2m$ 组,每组包括 n 个风机,将所述 n 个风机与一不控整流模块连接,共与 $2m$ 个不控整流模块连接,其中 m 个不控整流模块串联,并与所述海上站的正极连接,另外 m 个不控整流模块串联,并与所述海上站的负极连接,每个不控整流模块通过第一交流断路器与全桥MMC连接,其中 n 和 m 均为正整数;

所述正极和负极分别连接对应直流电缆的输入端,所述直流电缆的输出端与陆上站连接;

所述陆上站包括与直流电缆连接的晶闸管换流模块,以及与所述晶闸管换流模块连接的受端交流电网。

2. 如权利要求1所述的分散式不控整流混合直流单向输电系统,其特征在于,所述不控整流模块包括十二脉动二极管阀换流单元和第一变压器,所述十二脉动二极管阀换流单元与第一变压器的输出端连接,所述第一变压器的输入端通过交流海缆与 n 个风机连接。

3. 如权利要求2所述的分散式不控整流混合直流单向输电系统,其特征在于,所述风机包括依次连接的扇叶、直驱永磁同步机组、AD转换器、DA转换器和第二变压器,所述AD转换器和DA转换器之间设置一与所述AD转换器并联的电容,所述第二变压器通过第二交流断路器与所述交流海缆的输入端连接。

4. 如权利要求1所述的分散式不控整流混合直流单向输电系统,其特征在于,所述全桥MCC包括三个桥臂,每个桥臂包括上桥臂和下桥臂,每个上桥臂和下桥臂均设置 N 个换流模块, N 个换流模块串联。

5. 如权利要求4所述的分散式不控整流混合直流单向输电系统,其特征在于,所述换流模块包括第一桥臂、第二桥臂、子模块和电容,所述换流模块的输入端连接第一桥臂,输出端连接第二桥臂,第一桥臂和第二桥臂并联,所述第一桥臂和第二桥臂均包括上桥臂和下桥臂,所述上桥臂和下桥臂上各设置一子模块,所述第一桥臂和第二桥臂之间设置与二者并联的电容。

6. 如权利要求4或5所述的分散式不控整流混合直流单向输电系统,其特征在于,所述全桥MCC与二极管阀换流单元在直流侧并联,所述全桥MCC的直流侧设置直接与两个不控整流模块连接的旁路开关。

7. 如权利要求1所述的分散式不控整流混合直流单向输电系统,其特征在于,所述晶闸管换流模块包括十二脉动晶闸管换流单元和第一变压器,所述十二脉动晶闸管换流单元的输入端与所述直流电缆连接,其输出端连接三相变压器,所述三相变压器的输出端连接所述受端交流电网;所述十二脉动晶闸管换流单元的阀侧或网侧设置交流滤波器,所述交流滤波器为单调谐滤波器、双调谐滤波器或三调谐滤波器。

8. 一种分散式不控整流混合直流单向输电系统的控制方法,采用如权利要求1-7任一项所述的分散式不控整流混合直流单向输电系统,其特征在于,包括:

直流单向输电系统海上站直流侧出口的直流电压为 $\pm U_{dc(rec)}$,每个不控整流模块的功率按照平均分配控制,则每个不控整流模块的直流电压 U_{rdc} 为: $U_{rdc} = U_{dc(rec)}/m$,其中, m 为不控整流模块的个数;

根据所述直流电压,调整每台风机的输出功率,使得不控整流模块的交流电压 U_{ac} 为:

$$U_{ac} = \pi U_{rdc} / 3\sqrt{2};$$

根据海上站的不控整流模块输出的交流电压,控制陆上站的晶闸管换流模块的触发角 α ,使得陆上站直流电压 $U_{dc(inv)}$ 满足如下公式:

$$\begin{cases} I_{dc} = \frac{U_{dc(rec)} - U_{dc(inv)}}{R} \\ P_{dc} = U_{dc(rec)} \times I_{dc} \end{cases}$$

其中, P_{dc} 为单极输送功率, I_{dc} 为单极输送电流。

9.如权利要求8所述的分散式不控整流混合直流单向输电系统的控制方法,其特征在于,所述不控整流模块连接的风机因故障或检修退出运行时,首先断开风机和不控整流模块间的第二交流断路器,然后调整所述晶闸管换流模块的触发角 α ,降低陆上站直流电压,使得此时陆上站的直流电流等于故障或检修前的直流电流。

10.如权利要求8所述的分散式不控整流混合直流单向输电系统的控制方法,其特征在于,输电系统黑启动时的控制方法为:控制所述晶闸管换流模块的直流侧输出电压为负电压,充电电流方向为正常输电方向;当换流模块中电容的电压达到预设值,触发所述换流模块中电容,进行充电;充电完成后,关闭第一交流断路器,对所述不控整流模块连接的风机进行充电启动,然后断开第二交流断路器,直至所有风机启动完成后,进入正常运行。

一种分散式不控整流混合直流单向输电系统及其控制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种分散式不控整流混合直流单向输电系统及其控制方法,属于混合直流输电技术领域。

背景技术

[0002] 由于近海风场资源开发较早、开发已较为充分,目前远海风电开发成为风电开发的主流趋势。海上风电并网方式具有工程实践经验的方式有两类,一是高压交流输电,二是高压直流输电。高压交流输电在近海风力并网项目应用广泛,特点是技术成熟、造价便宜,但是由于存在电缆电容充电电流问题,经济输电距离一般在50-80km内,不适合深远海风电并网。故高压直流输电几乎是深远海并网唯一可行的输电方案,其具有输电容量大、输送距离远的优点,且可以为海上风电场提供黑启动电源和并网电源。

[0003] 目前高压直流输电方案一般采用基于模块化多电平换流器(MMC)的柔性直流输电方案,然而每个换流器均需要使用大量级联子模块,每个子模块中又包括若干IGBT和干式电容器,导致造价昂贵、体积庞大、重量超长,从而导致海上换流平台规模必须足够大,使得整个海上风电柔直送出系统经济性下降。目前技术升级的方向是轻型化、紧凑化、低价化,并网优化、控制优良。

[0004] 为了达到上述目标,基于二极管阀的改进型直流输电技术逐渐得到青睐,其优势在于二极管阀无需昂贵的IGBT和干式电容器,且占地紧凑,海上平台造价降低。然而这种方案还存在的两个问题:1)如何实现黑启动;2)大规模风电机组接入后,风机间协调控制困难。现有技术中存在两种解决思路,一种是采用短距离交流辅助海缆为海上平台提供并网电源,一种是加设并联与直流端子间的模块化多电平换流器辅助电源。前一种方案问题在于不适于远距离海上风电并网,第二种方案问题在于辅助电源控制较为复杂,且大量风机直接馈入二极管阀协调较为困难。

发明内容

[0005] 针对上述问题,本发明的目的是提供了一种分散式不控整流混合直流单向输电系统及其控制方法,其技术成熟度高、系统运行可靠性高,经济性高;相较于常规柔直送电,无需配置大量子模块电容及IGBT,可实现海上平台紧凑化,可以有效实现系统投资成本和运行损耗的下降。

[0006] 为实现上述目的,本发明提出了以下技术方案:一种分散式不控整流混合直流单向输电系统,包括:海上站、直流电缆和陆上站;海上站包括若干个风机、若干不控整流模块和全桥MCC,将若干个风机分为 $2m$ 组,每组包括 n 个风机,将 n 个风机与一不控整流模块连接,共与 $2m$ 个不控整流模块连接,其中 m 个不控整流模块串联,并与正极连接,另外 m 个不控整流模块串联,并与负极连接,每个不控整流模块通过第一交流断路器与全桥MMC连接,其中 n 和 m 均为正整数;正极和负极分别连接对应的直流电缆的输入端,直流电缆的输出端与陆上站连接;陆上站包括与直流电缆连接的晶闸管换流模块,以及与晶闸管换流模块连接的受端

交流电网。

[0007] 进一步,不控整流模块包括十二脉动二极管阀换流单元和第一变压器,十二脉动二极管阀换流单元与第一变压器的输出端连接,第一变压器的输入端通过交流海缆与由n个风机组成的风场连接。

[0008] 进一步,风机包括依次连接的扇叶、直驱永磁同步机组、AD转换器、DA转换器和第二变压器,AD转换器和DA转换器之间设置一与AD转换器并联的电容,第二变压器通过第二交流断路器与交流海缆的输入端连接。

[0009] 进一步,全桥MCC包括三个桥臂,每个桥臂包括上桥臂和下桥臂,每个上桥臂和下桥臂均设置N个换流模块,N个换流模块串联。

[0010] 进一步,换流模块的输入端连接第一桥臂,输出端连接第二桥臂,第一桥臂和第二桥臂并联,第一桥臂和第二桥臂均包括上桥臂和下桥臂,上桥臂和下桥臂上各设置一子模块,第一桥臂和第二桥臂之间设置与二者并联的电容。

[0011] 进一步,子模块包括一IGBT和与其反向并联的二极管,换流模块还包括一连接输入端和输出端的快速旁路开关。

[0012] 进一步,全桥MCC与二极管阀换流单元在直流侧并联的直流侧设置直接与两个不控整流模块连接的旁路开关。

[0013] 进一步,晶闸管换流模块包括十二脉动晶闸管换流单元和第一变压器,十二脉动晶闸管换流单元的输入端与直流电缆连接,其输出端连接三相变压器,三相变压器的输出端连接受端交流电网;十二脉动晶闸管换流单元的阀侧或网侧设置交流滤波器,交流滤波器为单调谐滤波器、双调谐滤波器或三调谐滤波器。

[0014] 本发明还公开了一种分散式不控整流混合直流单向输电系统的控制方法,采用如上述任一项的分散式不控整流混合直流单向输电系统,包括:直流单向输电系统海上站直流侧出口的直流电压为 $\pm U_{dc(rec)}$,每个不控整流模块的功率按照平均分配控制,则每个不控整流模块直流电压 U_{rdc} 为: $U_{rdc} = U_{dc(rec)} / m$;控制每台风机的输出功率,使得不控整流模块交流电压 U_{ac} 为: $U_{ac} = \pi U_{rdc} / 3\sqrt{2}$;控制晶闸管换流模块的触发角 α ,进而控制陆上站直流电压 $U_{dc(inv)}$ 满足如下公式约束:

$$[0015] \quad \begin{cases} I_{dc} = \frac{U_{dc(rec)} - U_{dc(inv)}}{R} \\ P_{dc} = U_{dc(rec)} \times I_{dc} \end{cases}$$

[0016] 其中, P_{dc} 为单极输送功率, I_{dc} 为单极输送电流。

[0017] 进一步,不控整流模块连接的风机因故障或检修退出运行时,首先断开风机和不控整流模块间的第二交流断路器,然后调整晶闸管换流模块的触发角 α ,降低陆上站直流电压,使得此时的直流电流等于故障或检修前的直流电流。

[0018] 进一步,输电系统黑启动时的控制方法的具体步骤为:控制晶闸管换流模块直流侧输出电压为负电压,充电电流方向为正常输电方向,充电电流不超过设备耐受能力;当换流模块中电容的电压达到预设值,触发换流模块中电容,进行有序充电;充电完成后,逐一合上第一交流断路器,对不控整流模块连接的风机进行充电启动,然后断开第二交流断路器,直至所有风机启动完成后,直流系统进入正常运行。

[0019] 本发明由于采取以上技术方案,其具有以下优点:

[0020] 1、本发明在海上站采用分散式二极管不控整流模块接入风场,在陆上站采用晶闸管换流模块,技术成熟度高、系统运行可靠性高,经济性高;相较于常规柔直送电,无需配置大量子模块电容及IGBT,可实现海上平台紧凑化,可以有效实现系统投资成本和运行损耗的下降。

[0021] 2、本发明海上站配置与二极管阀串接的全桥型模块化多电平换流器,与二极管阀直流侧串联,黑启动过程中可以为风机提供黑启动电源;正常运行可以作为动态无功补充及有源滤波器,提升风机并网性能。

[0022] 3、本发明海上站每个二极管阀换流单元连接的风机数量较少,相较于常规直接馈入几十甚至上百台风机,控制协调复杂度大幅降低。

[0023] 4、本发明海上站全桥模块化多电平换流器配置旁路开关,正常运行时旁路开关将换流器旁路,降低功率运行损耗。

附图说明

[0024] 图1是本发明一实施例中分散式不控整流混合直流单向输电系统的结构示意图;

[0025] 图2是本发明一实施例中不控整流模块的示意图;

[0026] 图3是本发明一实施例中风机电路的示意图;

[0027] 图4是本发明一实施例中全桥MMC的示意图;

[0028] 图5是本发明一实施例中全桥MMC中换流模块的示意图;

[0029] 图6是本发明一实施例中晶闸管换流模块的示意图;

[0030] 图7是本发明一实施例中单调谐滤波器的示意图;

[0031] 图8是本发明一实施例中双调谐滤波器的示意图;

[0032] 图9是本发明一实施例中三调谐滤波器的示意图。

具体实施方式

[0033] 为了使本领域技术人员更好的理解本发明的技术方案,通过具体实施例对本发明进行详细的描绘。然而应当理解,具体实施方式的提供仅为了更好地理解本发明,它们不应该理解成对本发明的限制。在本发明的描述中,需要理解的是,所用到的术语仅仅是用于描述的目的,而不能理解为指示或暗示相对重要性。

[0034] 为了解决现有技术中存在的输电系统不适于远距离海上风电并网,或辅助电源控制较为复杂,且大量风机直接馈入二极管阀协调较为困难等问题。本发明提出了一种分散式不控整流混合直流单向输电系统及其控制方法,其送端通过将风场划片,在交流侧分散式接入海上站的若干不控整流模块,在直流侧集中式汇集能量,通过海底电缆送至陆上站,正常运行时,功率方向由海上站流入陆上站;全桥MMC为不控整流模块提供黑启动电源。每个不控整流单元直接连接分区后每一区的风机,降低风机协调控制难度。其可广泛用于柔性直流输电技术领域。下面结合附图,通过若干实施例对本发明中方案进行详细说明。

[0035] 实施例一

[0036] 图1是本发明一实施例中分散式不控整流混合直流单向输电系统的结构示意图,如图1所示,本实施例中的分散式不控整流混合直流单向输电系统,包括:海上站、直流电缆和陆上站。

[0037] 海上站包括若干个风机、若干不控整流模块和全桥MCC(全桥型模块化多电平换流器),将若干个风机分为 $2m$ 组,每组包括 n 个风机,将 n 个风机与一不控整流模块连接,共与 $2m$ 个不控整流模块连接,其中 m 个不控整流模块串联,并与正极连接,另外 m 个不控整流模块串联,并与负极连接,其中 n 和 m 均为正整数,此处正极和负极是指整个海上站的电路的正极和负极,而不是某一个模块或单元的正极或负极。每个不控整流模块通过第一交流断路器与全桥MMC连接,全桥MCC与二极管阀换流单元在直流侧并联,且处于正负极分布式二极管阀中间位置,全桥MMC的直流侧设置直接与两个不控整流模块连接的旁路开关。

[0038] 不控整流模块的结构如图2所示,包括十二脉动二极管阀换流单元和第一变压器,本实施例中第一变压器为三相三绕组变压器,十二脉动二极管阀换流单元与三相三绕组变压器的输出端连接,第一变压器的输入端通过交流海缆与由 n 个风机连接。其中如图2所示,在三相三绕组变压器中,信号从中压绕组输入,分别从高压绕组和低压绕组输出,高压绕组和低压绕组中各相分别与一桥臂连接,即高压绕组和低压绕组各与三个桥臂连接。每个桥臂均包括上桥臂和下桥臂,每个上桥臂和下桥臂上均设置一二极管。高压绕组对应桥臂的上桥臂连接高压端,其下桥臂连接低压绕组对应桥臂的上桥臂,低压绕组对应桥臂的下桥臂连接低压端。

[0039] 如图3所示,本实施例中风机为直驱式风机,各风机包括依次连接的扇叶、直驱永磁同步机组、AD转换器、DA转换器和第一变压器,AD转换器和DA转换器之间设置一与AD转换器并联的电容,第一变压器通过第二交流断路器与交流海缆的输入端连接。交流海缆的输出端与第一变压器的输入端连接。

[0040] 如图4所示,全桥MCC包括三个桥臂,每个桥臂包括上桥臂和下桥臂,每个上桥臂和下桥臂均设置 N 个换流模块, N 个换流模块串联。如图5所示,换流模块的输入端连接第一桥臂,输出端连接第二桥臂,第一桥臂和第二桥臂并联,第一桥臂和第二桥臂均包括上桥臂和下桥臂,上桥臂和下桥臂上各设置一子模块,第一桥臂和第二桥臂之间设置与二者并联的电容。子模块包括一IGBT和与其反向并联的二极管,换流模块还包括一连接输入端和输出端的快速旁路开关。

[0041] 正极和负极分别连接对应的直流电缆的输入端,即直流电缆为两条,一条直流电缆与正极连接,另一条直流电缆与负极连接。直流电缆的输出端与陆上站连接;陆上站包括与直流电缆连接的晶闸管换流模块,以及与晶闸管换流模块连接的受端交流电网。

[0042] 如图6所示,晶闸管换流模块包括十二脉动晶闸管换流单元和第三变压器,十二脉动晶闸管换流单元的输入端与直流电缆连接,其输出端连接三相变压器,三相变压器的输出端连接受端交流电网。本实施例中,第三变压器也是三相三绕组变压器。晶闸管换流模块与不控整流模块结构类似,不同之处在于,信号分别从高压绕组和低压绕组输入,从中压绕组输出,且每个上桥臂和下桥臂上设置晶闸管,而不是二极管。

[0043] 十二脉动晶闸管换流单元的阀侧或网侧设置交流滤波器,其中阀侧是指桥臂和第三变压器之间,网侧是指第三变压器和受端交流电网之间。具体将滤波器设置在阀侧还是网侧需要综合工程技术经济性进行配置。交流滤波器可以是有源型滤波器,也可以是无源型滤波器,如果采用无源型滤波器,则交流滤波器类型优选为单调谐滤波器、双调谐滤波器或三调谐滤波器。

[0044] 单调谐滤波器的结构如图7所示,其包括串联的电容和电感。双调谐滤波器的结构

如图8所示,包括依次串联的第一电容、第一电感和第二电容,第一电阻与第一电感及第二电容并联,第二电阻与第二电感串联,并与第一电感及第二电容并联,第三电阻与第二电感并联。三调谐滤波器的结构如图9所示,包括依次串联的第一电容、第二电容和第一电感,第一电阻和第二电容及第一电感并联。

[0045] 实施例二

[0046] 基于相同的发明构思,本实施例公开了一种分散式不控整流混合直流单向输电系统的控制方法,采用如上述任一项的分散式不控整流混合直流单向输电系统,正常运行时,本实施例中,风机为构网型控制以控制交流电压和频率在规定范围内,风机数量n一般不超过10台,以降低风机间协调控制难度。

[0047] 该控制方法包括:

[0048] 直流单向输电系统海上站直流侧出口的直流电压为 $\pm U_{dc(rec)}$,每个不控整流模块的功率按照平均分配控制,则每个不控整流模块的输出功率 P_r 为: $P_r = P_{dc}/m$,式中m为正极或负极设置的不控整流模块的数量, P_{dc} 为单极输送功率。

[0049] 每个不控整流模块直流电压 U_{rdc} 为: $U_{rdc} = U_{dc(rec)}/m$;

[0050] 每台风机的输出功率 P_w 为: $P_w = P_r/n$;

[0051] 控制每台风机的输出功率,使得不控整流模块交流电压 U_{ac} 为: $U_{ac} = \pi U_{rdc}/3\sqrt{2}$;

[0052] 控制晶闸管换流模块的触发角 α ,进而控制陆上站直流电压 $U_{dc(inv)}$ 满足如下公式约束:

$$[0053] \quad \begin{cases} I_{dc} = \frac{U_{dc(rec)} - U_{dc(inv)}}{R} \\ P_{dc} = U_{dc(rec)} \times I_{dc} \end{cases}$$

[0054] 其中, I_{dc} 为单极输送电流。

[0055] 不控整流模块连接的风机因故障或检修退出运行时,首先断开风机和不控整流模块间的第二交流断路器,此时不控整流单元直流侧电压为零,然后调整晶闸管换流模块的触发角 α ,降低陆上站直流电压,使得此时的直流电流相当于故障或检修前的直流电流。

[0056] 输电系统黑启动时的控制方法的具体步骤为:

[0057] 连接好整个输电系统内所有相关开关,解锁陆上站的晶闸管换流模块;

[0058] 控制晶闸管换流模块直流侧输出电压为负电压,充电电流方向为正常输电方向,充电电流不超过设备耐受能力;

[0059] 当换流模块中电容的电压达到预设值,触发换流模块中电容,进行有序充电;

[0060] 充电完成后,逐一合上第一交流断路器,对不控整流模块连接的风机进行充电启动,然后断开第二交流断路器,直至所有风机启动完成后,直流系统进入正常运行。

[0061] 最后应当说明的是:以上实施例仅用以说明本发明的技术方案而非对其限制,尽管参照上述实施例对本发明进行了详细的说明,所属领域的普通技术人员应当理解:依然可以对本发明的具体实施方式进行修改或者等同替换,而未脱离本发明精神和范围的任何修改或者等同替换,其均应涵盖在本发明的权利要求保护范围之内。上述内容仅为本申请的具体实施方式,但本申请的保护范围并不局限于此,任何熟悉本技术领域的技术人员在本申请揭露的技术范围内,可轻易想到变化或替换,都应涵盖在本申请的保护范围之内。因此,本申请的保护范围应以权利要求的保护范围为准。

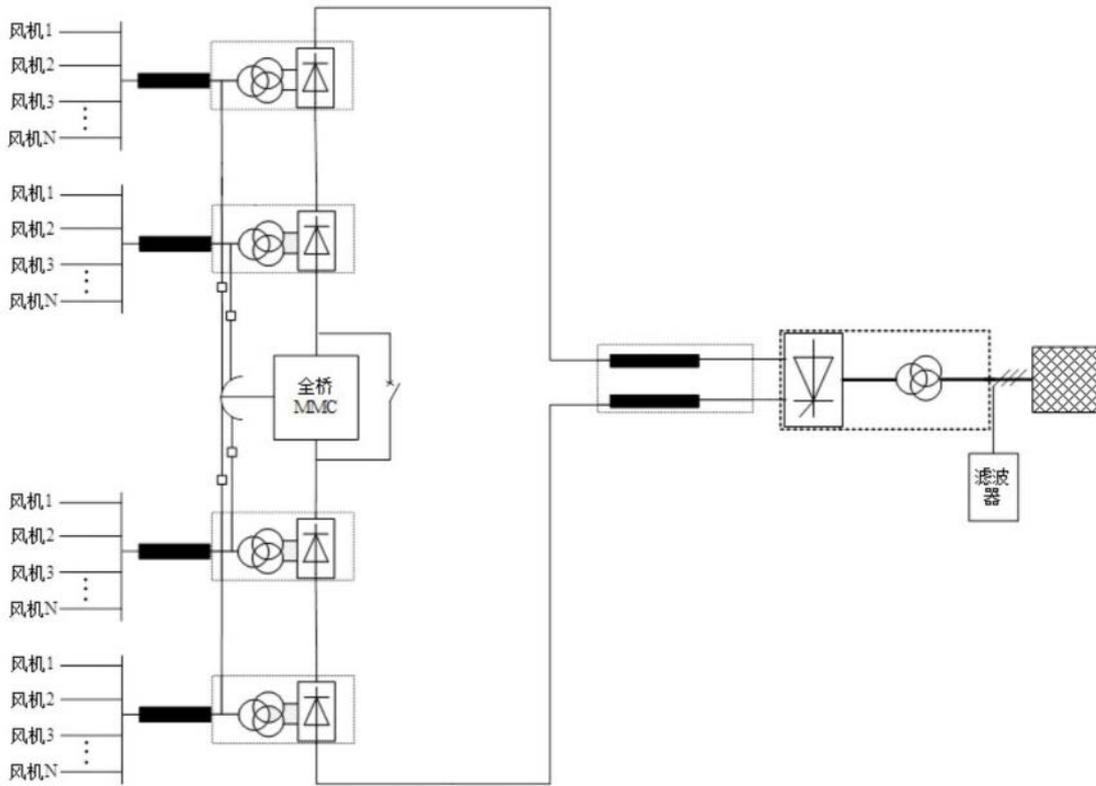


图1

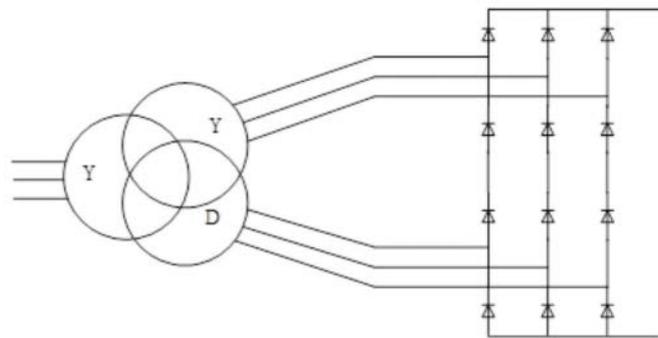


图2

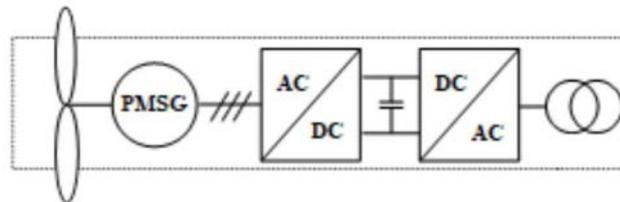


图3

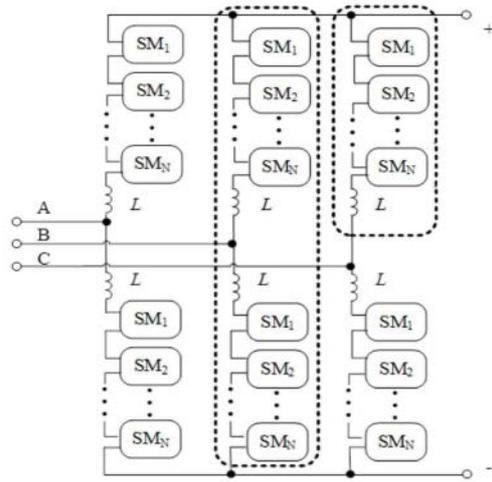


图4

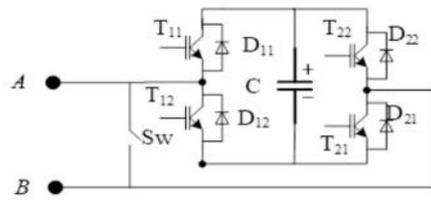


图5

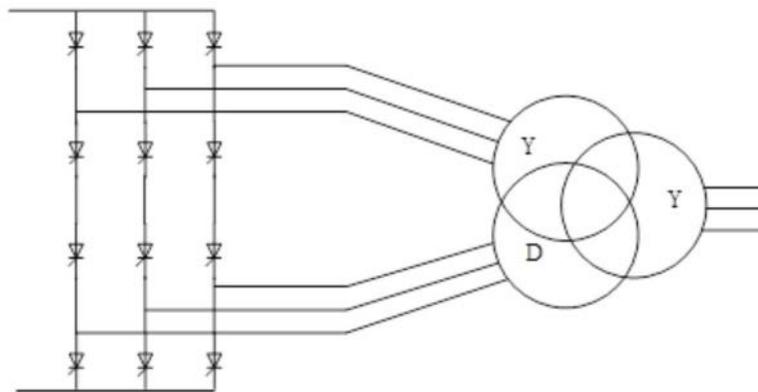


图6

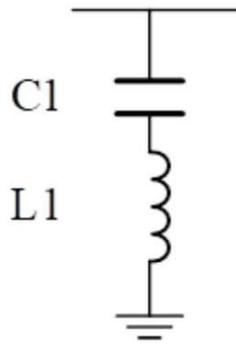


图7

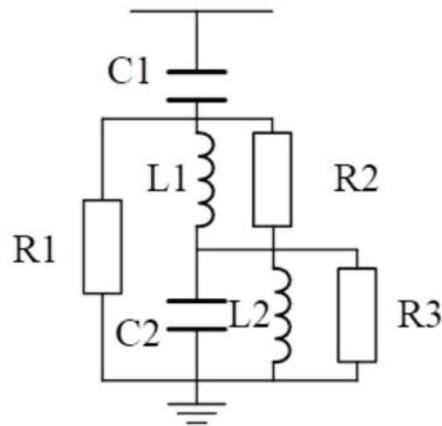


图8

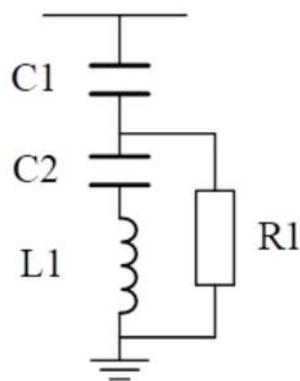


图9