



# (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116014785 A

(43) 申请公布日 2023. 04. 25

(21) 申请号 202211616160.X

H02J 3/46 (2006.01)

(22) 申请日 2022.12.15

(71) 申请人 中国长江三峡集团有限公司

地址 100038 北京市海淀区玉渊潭南路1号

申请人 清华大学

(72) 发明人 孙长平 屈鲁 尹立坤 曾嵘

贾娜 余占清 郭明珠 赵彪

周兴达 崔健 唐博进

(74) 专利代理机构 北京知联天下知识产权代理

事务所(普通合伙) 11594

专利代理师 王冲

(51) Int. Cl.

H02J 3/36 (2006.01)

H02J 3/16 (2006.01)

H02J 3/14 (2006.01)

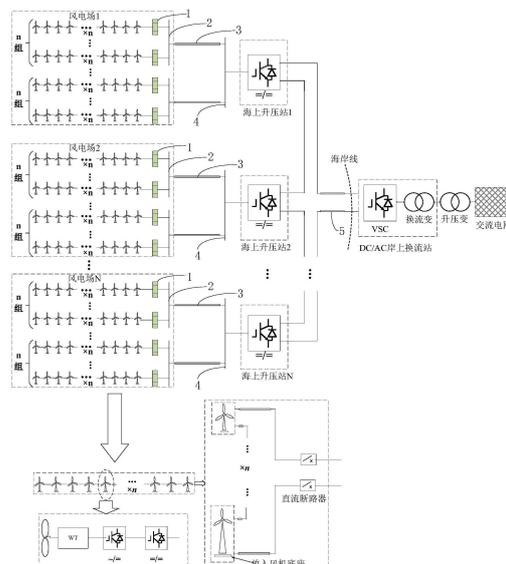
权利要求书2页 说明书5页 附图4页

## (54) 发明名称

一种海上风电中压直流汇集和分布式串联直流输电系统

## (57) 摘要

本发明公开了一种海上风电中压直流汇集和分布式串联直流输电系统。包括：多个风电串联升压机组，用于产生第一电压的直流电；第一电压的直流电汇集到中压汇集母线上；风电串联升压机组包括串联的多个换流升压风机，多个换流升压风机通过串联升压，将串联出线上的电压升高至第一电压；每个换流升压风机包括发电风机和直流变换器，直流变换器用于将发电风机产生的交流电变换为直流，并升高电压。能够使得风场内的电缆损耗减少，实现更大传输容量、更省材料，解决了风场内部无功电压问题，省去工频变压器及多余的变电环节，降低了海上平台的载荷，有助控制优化MMC和海上大型设备的体积和成本，无需新建海上集中式换流平台，大幅降低海上建设难度。



CN 116014785 A

1. 一种海上风电中压直流汇集和分布式串联直流输电系统,其特征在于,包括:
  - 多个风电串联升压机组,用于产生第一电压的直流电;
  - 每个所述风电串联升压机组与中压主母线连接,中压直流电缆分别与中压汇集母线和中压主母线连接;
  - 所述风电串联升压机组包括串联的多个换流升压风机,多个换流升压风机通过串联升压,将换流升压风机串联出线上的电压升高至所述第一电压;
  - 每个所述换流升压风机包括发电风机和直流变换器,所述直流变换器用于将发电风机产生的交流电变换为直流,并升高电压。
2. 如权利要求1所述的海上风电中压直流汇集和分布式串联直流输电系统,其特征在于,所述风电串联升压机组,还包括:
  - 中压直流断路器,所述中压直流断路器接在所述换流升压风机串联出线上;
  - 第二电压直流开关柜,分别与所述换流升压风机串联出线和中压主母线连接,中压直流电缆分别与所述中压汇集母线和中压主母线连接。
3. 如权利要求2所述的海上风电中压直流汇集和分布式串联直流输电系统,其特征在于,所述第二电压为 $\pm 120\text{kV}$ 。
4. 如权利要求1所述的海上风电中压直流汇集和分布式串联直流输电系统,其特征在于,所述直流变换器,包括:
  - AC-DC换流器,用于将发电风机产生的交流电变换为直流电,并升高直流电的电压;
  - DC-DC换流器,用于升高所述AC-DC换流器输出的直流电的电压。
5. 如权利要求4所述的海上风电中压直流汇集和分布式串联直流输电系统,其特征在于,所述发电风机产生690V交流电,所述AC-DC换流器将发电风机产生的690V交流电转换为1.5kV的直流电,所述DC-DC换流器将所述AC-DC换流器产生的直流电电压转换到 $\pm 6\text{kV}$ 。
6. 如权利要求1所述的海上风电中压直流汇集和分布式串联直流输电系统,其特征在于,所述海上风电中压直流汇集和分布式串联直流输电系统,还包括:
  - 海上升压站和岸上换流站;
  - 所述海上升压站与所述中压汇集母线连接,通过直流变压器将第一电压的直流电升高到第二电压并输出;
  - 所述多个海上升压站串联,将第二电压的直流电升高到第三电压,并输送到岸上换流站。
7. 如权利要求6所述的海上风电中压直流汇集和分布式串联直流输电系统,其特征在于,所述第三电压为 $\pm 360\text{kV}$ 。
8. 如权利要求6所述的海上风电中压直流汇集和分布式串联直流输电系统,其特征在于,所述岸上换流站,包括:
  - 电压源换流器和模块化多电平换流器;
  - 所述模块化多电平换流器用于将直流电转为交流电并输出。
9. 如权利要求8所述的海上风电中压直流汇集和分布式串联直流输电系统,其特征在于,所述海上风电中压直流汇集和分布式串联直流输电系统,还包括:
  - 交流电变压器,用于将所述模块化多电平换流器输出的交流电的电压升高,并输送到交流电网中。

10. 如权利要求1至9任一所述的海上风电中压直流汇集和分布式串联直流输电系统,其特征在于,所述海上风电中压直流汇集和分布式串联直流输电系统包括高功率密度的电力电子变换器;所述海上风电中压直流汇集和分布式串联直流输电系统在高压直流传输时,采用伪双极接线,受端换流站联结变压器阀侧中性点经高阻接地。

## 一种海上风电中压直流汇集和分布式串联直流输电系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及直流输电技术领域,特别涉及一种海上风电中压直流汇集和分布式串联直流输电系统。

### 背景技术

[0002] 海上风电已经成为了我国能源结构转型的重要战略支撑。为了获取更多的风能,海上风电正向远海和更大容量发展。相比于高压交流,直流在远距离输电场景下的成本更低,且没有电容充放电造成的无功功率问题。模块化多电平换流器(MMC)具有模块化设计、电平数目多、谐波特性好、可以自换相等优势,已经在国内外多个海上风电柔性直流工程中得到了应用。然而,现有海上风电柔直工程主要采用集中式换流,即利用单一的大容量MMC完成整流。但是,大容量集中式MMC的体积过于庞大,在海上的建设难度极高。

### 发明内容

[0003] 为了解决上述问题,发明人做出本发明,通过具体实施方式,提供一种海上风电中压直流汇集和分布式串联直流输电系统。

[0004] 本发明实施例提供一种海上风电中压直流汇集和分布式串联直流输电系统,包括:

[0005] 多个风电串联升压机组,用于产生第一电压的直流电;每个所述风电串联升压机组与中压主母线连接,中压直流电缆分别与中压汇集母线和中压主母线连接;

[0006] 所述风电串联升压机组包括串联的多个换流升压风机,多个换流升压风机通过串联升压,将换流升压风机串联出线上的电压升高至所述第一电压;

[0007] 每个所述换流升压风机包括发电风机和直流变换器,所述直流变换器用于将发电风机产生的交流电变换为直流,并升高电压。

[0008] 在一些具体的实施例中,所述风电串联升压机组,还包括:

[0009] 中压直流断路器,所述中压直流断路器接在所述换流升压风机串联出线上;

[0010] 第二电压直流开关柜,分别与所述换流升压风机串联出线和中压主母线连接,中压直流电缆分别与所述中压汇集母线和中压主母线连接。

[0011] 在一些具体的实施例中,所述第二电压为 $\pm 120\text{kV}$ 。

[0012] 在一些具体的实施例中,所述直流变换器,包括:

[0013] AC-DC换流器,用于将发电风机产生的交流电变换为直流电,并升高直流电的电压;

[0014] DC-DC换流器,用于升高所述AC-DC换流器输出的直流电的电压。

[0015] 在一些具体的实施例中,所述发电风机产生690V交流电,所述AC-DC换流器将发电风机产生的690V交流电转换为1.5kV的直流电,所述DC-DC换流器将所述AC-DC换流器产生的直流电电压转换到 $\pm 6\text{kV}$ 。

[0016] 在一些具体的实施例中,所述海上风电中压直流汇集和分布式串联直流输电系

统,还包括:

[0017] 海上升压站和岸上换流站;

[0018] 所述海上升压站与中压汇集母线连接,通过直流变压器将第一电压的直流电升高到第二电压并输出;

[0019] 所述多个海上升压站串联,将第二电压的直流电升高到第三电压,并输送到岸上换流站。

[0020] 在一些具体的实施例中,所述第三电压为 $\pm 360\text{kV}$ 。

[0021] 在一些具体的实施例中,所述岸上换流站,包括:

[0022] 电压源换流器和模块化多电平换流器;

[0023] 所述模块化多电平换流器用于将直流电转为交流电并输出。

[0024] 在一些具体的实施例中,所述海上风电中压直流汇集和分布式串联直流输电系统,还包括:

[0025] 交流电变压器,用于将所述模块化多电平换流器输出的交流电的电压升高,并输送到交流电网中。

[0026] 在一些具体的实施例中,所述海上风电中压直流汇集和分布式串联直流输电系统包括高功率密度的电力电子变换器;所述海上风电中压直流汇集和分布式串联直流输电系统在高压直流传输时,采用伪双极接线,受端换流站联结变压器阀侧中性点经高阻接地。

[0027] 本发明实施例提供的上述技术方案的有益效果至少包括:

[0028] 由于风机侧直接接入直流变换器,不仅使得风场内的电缆损耗减少,且在得到更低损耗、更大传输容量、更省材料的优势的同时,也解决了原有的风场内部无功电压问题,可以省去笨重的工频变压器及多余的变电环节,并且降低海上平台的载荷;采用中压直流汇集与分布式串联方式,有助控制海上升压平台的体积,最大限度优化MMC和海上大型设备的体积和成本,无需新建海上集中式换流平台,大幅降低海上建设难度。

[0029] 本发明的其它特征和优点将在随后的说明书中阐述,并且,部分地从说明书中变得显而易见,或者通过实施本发明而了解。本发明的目的和其他优点可通过在所写的说明书、权利要求书、以及附图中所特别指出的结构来实现和获得。

[0030] 下面通过附图和实施例,对本发明的技术方案做进一步的详细描述。

## 附图说明

[0031] 附图用来提供对本发明的进一步理解,并且构成说明书的一部分,与本发明的实施例一起用于解释本发明,并不构成对本发明的限制。在附图中:

[0032] 图1为本发明实施例中海上风电中压直流汇集和分布式串联直流输电系统结构示意图;

[0033] 图2为本发明实施例中东H6风电机组结构示意图;

[0034] 图3为本发明实施例中东H10风电机组结构示意图;

[0035] 图4为本发明实施例中东H10扩建风电机组结构示意图;

[0036] 图5为本发明实施例中换流升压风机示意图;

[0037] 图6为本发明实施例中海上平台串联和岸上换流站示意图。

[0038] 附图标记:1-中压直流开关柜,2-中压主母线,3-中压直流电缆,4-中压汇集母线,

## 5- 高压直流电缆。

### 具体实施方式

[0039] 下面将参照附图更详细地描述本公开的示例性实施例。虽然附图中显示了本公开的示例性实施例,然而应当理解,可以以各种形式实现本公开而不应被这里阐述的实施例所限制。相反,提供这些实施例是为了能够更透彻地理解本公开,并且能够将本公开的范围完整的传达给本领域的技术人员。

[0040] 为了解决现有技术中存在的问题,本发明实施例提供一种海上风电中压直流汇集和分布式串联直流输电系统,如图1所示,包括:

[0041] 多个风电串联升压机组,用于产生第一电压的直流电;每个所述风电串联升压机组与中压主母线连接,中压直流电缆分别与中压汇集母线和中压主母线连接;所述风电串联升压机组包括串联的多个换流升压风机,多个换流升压风机通过串联升压,将换流升压风机串联出线上的电压升高至所述第一电压;每个所述换流升压风机包括发电风机和直流变换器,所述直流变换器用于将发电风机产生的交流电变换为直流,并升高电压。如图1所示,第一电压经中压直流开关柜1,送到中压主母线2,中压主母线2接中压直流电缆3,中压直流电缆3接中压汇集母线4。

[0042] 400MW的东H6风电机组结构如图2所示,东H6风电机组所发出的电力经中压直流的方式汇集于海上换流平台1,然后在海上升压站上通过直流变压器将中压直流转为高压直流。400MW的东H10风电机组结构如图3所示,东H10风电机组所发出的电力经中压直流的方式汇集于海上换流平台2,然后在升压站上通过直流变压器将中压直流转为高压直流。300MW的东H10扩建风电机组结构如图4所示,东H10扩建风电机组所发出的电力经中压直流的方式汇集于海上换流平台3,然后在升压站上通过直流变压器将中压直流转为高压直流。

[0043] 如图2、3和4所示,在一些具体的实施例中,每个所述风电串联升压机组包括串联的10个换流升压风机,产生的第一电压为 $\pm 60\text{kV}$ ,每个所述换流升压风机输出 $\pm 6\text{kV}$ 直流电。

[0044] 在一些具体的实施例中,所述风电串联升压机组,还包括:中压直流断路器,所述中压直流断路器接在所述换流升压风机串联出线上;第二电压直流开关柜,分别与所述换流升压风机串联出线和中压主母线连接,中压直流电缆分别与所述中压汇集母线和中压主母线连接。中压直流断路器如图5中所示的60kV断路器,设置在风机串联电路两端输出线路上,并放入风机底座,减少了海上平台的体积。

[0045] 在一些具体的实施例中,所述第二电压为 $\pm 120\text{kV}$ 。120kV电压直流开关柜如图2、3和4所示。

[0046] 在一些具体的实施例中,所述直流变换器,包括:AC-DC换流器,用于将发电风机产生的交流电变换为直流电,并升高直流电的电压;DC-DC换流器,用于升高所述AC-DC换流器输出的直流电的电压。

[0047] 在一些具体的实施例中,所述发电风机产生690V交流电,所述AC-DC换流器将发电风机产生的690V交流电转换为1.5kV的直流电,所述DC-DC换流器将所述AC-DC换流器产生的直流电电压转换到 $\pm 6\text{kV}$ 。如图5所示,发电风机WT(wind turbines)产生690V交流电,AC-DC换流器将发电风机WT产生的690V交流电转换为1kV的直流电,DC-DC换流器将AC-DC换流

器产生的直流电电压转换到 $\pm 6\text{kV}$ 。

[0048] 在一些具体的实施例中,所述海上风电中压直流汇集和分布式串联直流输电系统,还包括:海上升压站和岸上换流站;所述海上升压站与中压汇集母线4连接,通过直流变压器将第一电压的直流电升高到第二电压并输出;所述多个海上升压站串联,将第二电压的直流电升高到第三电压,并经高压直流电缆5输送到岸上换流站。如图6所示,三个输出 $120\text{kV}$ 直流电的海上升压站平台串联,串联后输出 $360\text{kV}$ 的直流电,通过直流电缆穿过海岸线,将高压直流电输送到DC/AC岸上换流站。

[0049] 在一些具体的实施例中,所述第三电压为 $\pm 360\text{kV}$ 。

[0050] 在一些具体的实施例中,所述岸上换流站,包括:电压源换流器和模块化多电平换流器;所述模块化多电平换流器用于将直流电转为交流电并输出。如图6所示,VSC表示电压源换流器,模块化多电平换流器进行换流变,将直流电转为交流电并输出。

[0051] 在一些具体的实施例中,所述海上风电中压直流汇集和分布式串联直流输电系统,还包括:交流电变压器,用于将模块化多电平换流器输出的交流电的电压升高,并输送到交流电网中。如图6所示,图6中的升压变表示交流电变压器将模块化多电平换流器输出的交流电的电压升高,并输送到 $500\text{kV}$ 的交流电网中。

[0052] 在一些具体的实施例中,所述海上风电中压直流汇集和分布式串联直流输电系统包括高功率密度的电力电子变换器;所述海上风电中压直流汇集和分布式串联直流输电系统在高压直流传输时,采用伪双极接线,受端换流站联结变压器阀侧中性点经高阻接地。

[0053] 具体的,各海上风机所发出的电力通过AC/DC/DC升压后,经中压直流的方式汇集于海上换流平台;然后在升压站上通过直流变压器将中压直流转为高压直流,并进一步串联升压;再通过海底电缆输送到岸上换流站,通过岸上MMC将直流转为交流,进行变压后接入交流电网。以 $1\text{GW}$ 海上风场为例进行说明如下:

[0054] (1)在中压直流汇集中,如图5所示,风机采用交流 $690\text{V}$ -直流 $1.5\text{kV}$ -直流 $\pm 6\text{kV}$ 升压方案输出,并且10台风机串联升压至 $\pm 60\text{kV}$ ,在出线上配备 $60\text{kV}$ 直流断路器;如图2、3和4所示,后经 $120\text{kV}$ 开关柜汇集到 $\pm 60\text{kV}$ 主母线。本实施例在风电场中直流方案与现有技术中的交流方案的主要区别在于用海底直流母线的连接进行升压,代替了海上升压站平台,节约了变压器和海上平台的成本。此外,对于海上换流站而言,省掉了换流变压器,使得平台体积和重量减少。本发明实施例提供的大规模海上风电新型直流汇集接入技术不仅使得风场内的电缆损耗减少,且在得到更低损耗、更大传输容量、更省材料的优势的同时,也解决了原有的风场内部无功电压问题,可以省去笨重的工频变压器及多余的变电环节,并且降低海上平台的载荷。由于上述技术优点,这种方式可能会成为未来大型海上风电场汇流及远距离传输并网的发展趋势。

[0055] (2)高压直流传输中,可以采用伪双极接线,受端换流站联结变压器阀侧中性点经高阻接地。本实施例中的海上风电中压直流汇集和分布式串联直流输电系统与传统结构相比,具有以下三个优势:1)由于风机侧直接接入直流变换器,不仅使得风场内的电缆损耗减少,且在得到更低损耗、更大传输容量、更省材料的优势的同时,也解决了原有的风场内部无功电压问题;2)该全直流型风电场采用高功率密度的电力电子变换器,可省去笨重的工频变压器及多余的变电环节,降低海上平台的载荷;无需新建海上集中式换流平台,大幅降低海上建设难度;3)采用中压直流汇集与分布式串联方式,最大限度优化MMC和海上大型设

备的体积和成本;所提系统结构不会大幅提高海上升压平台的体积。因此,发明实施例所提出的组网方式可以为未来海上大容量风电组网提供低成本的解决方案和参考方向。

[0056] 本发明实施例中,风机出口布置换流升压环节,形成换流升压风机。换流升压风机进行串联形成风电串联升压机组,实现进一步升压,并以风电串联升压机组的形式接入中压汇集母线。换流升压风机可进行分组,按照上述连接方式,形成多组风电串联升压机组,并接入中压汇集母线。多组风电串联升压机组通过中压汇集母线汇集至海上升压站平台,由海上升压站实现进一步升压。对于大规模海上风电场,风电串联升压机组可以分区的方式分别通过中压汇集母线汇入不同海上升压站平台。海上升压站平台可通过输出端口串联的形式进一步升压,达到直流输送的电压等级要求并由直流海缆输送至岸上换流站。

[0057] 本实施例的上述海上风电中压直流汇集和分布式串联直流输电系统,由于风机侧直接接入直流变换器,不仅使得风场内的电缆损耗减少,且在得到更低损耗、更大传输容量、更省材料的优势的同时,也解决了原有的风场内部无功电压问题,可以省去笨重的工频变压器及多余的变电环节,并且降低海上平台的载荷;采用中压直流汇集与分布式串联方式,有助控制海上升压平台的体积,最大限度优化MMC和海上大型设备的体积和成本,无需新建海上集中式换流平台,大幅降低海上建设难度。

[0058] 本领域技术人员能够对上述顺序进行变换而并不离开本公开的保护范围。凡在本发明的原则范围内做的任何修改、补充和等同替换等,均应仍归属于本发明的专利涵盖范围内。

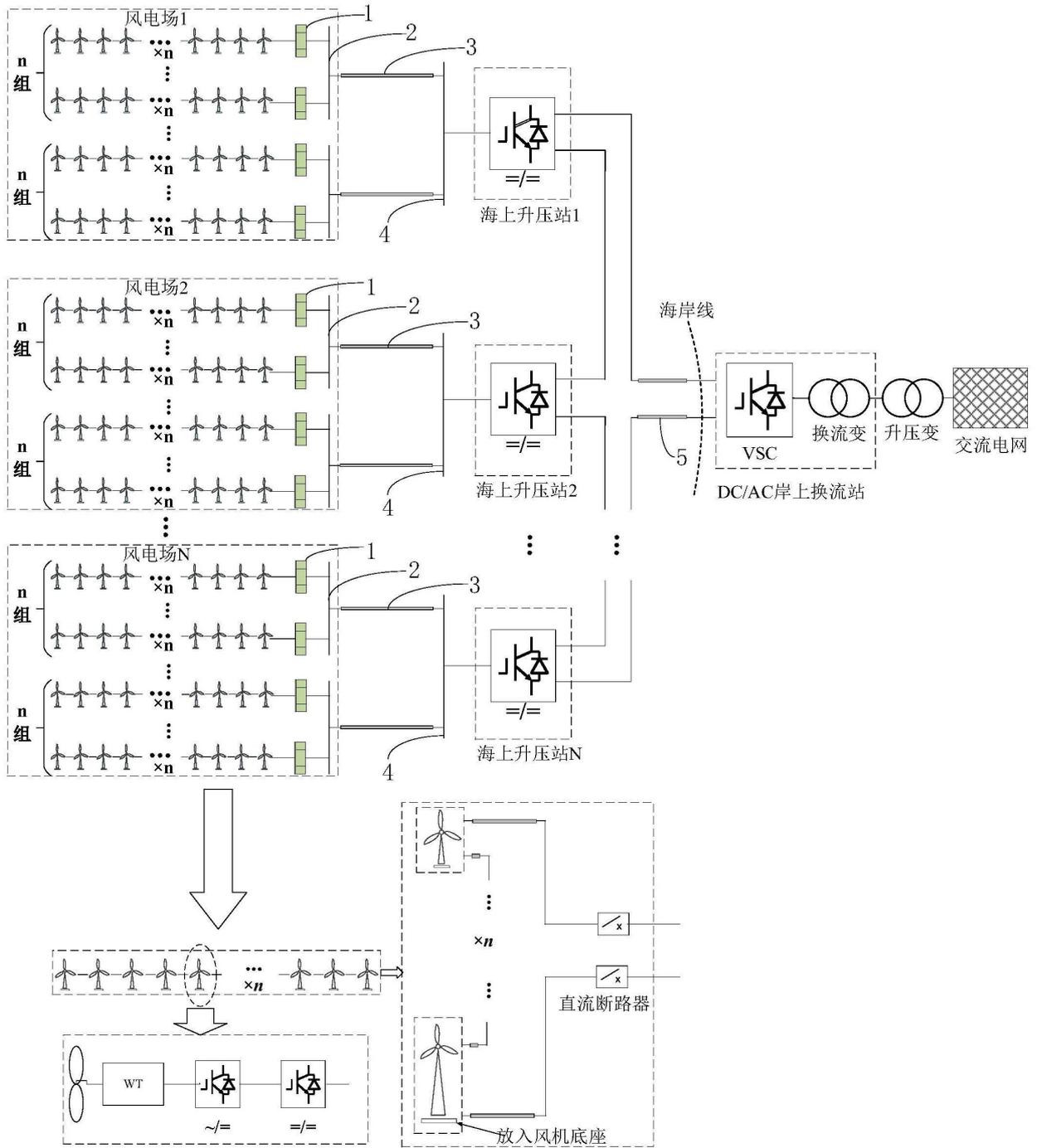


图1

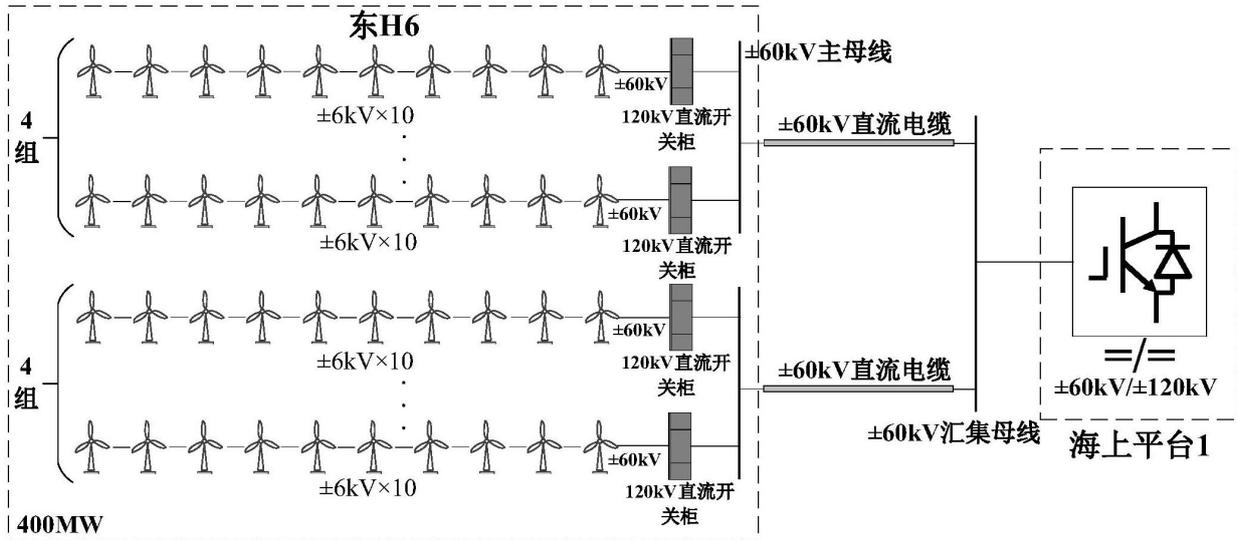


图2

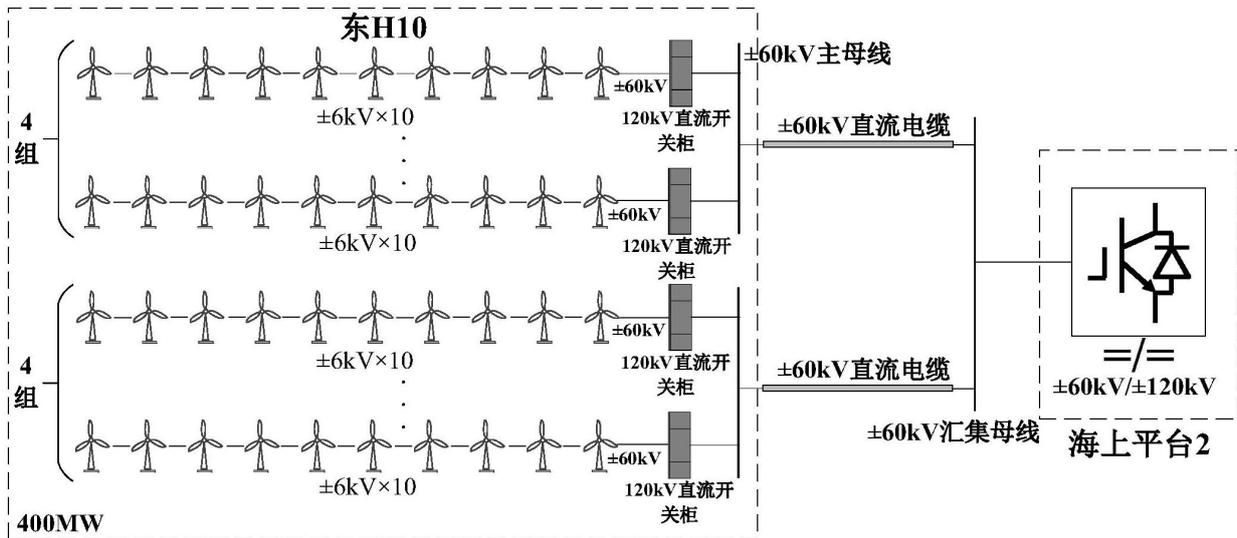


图3

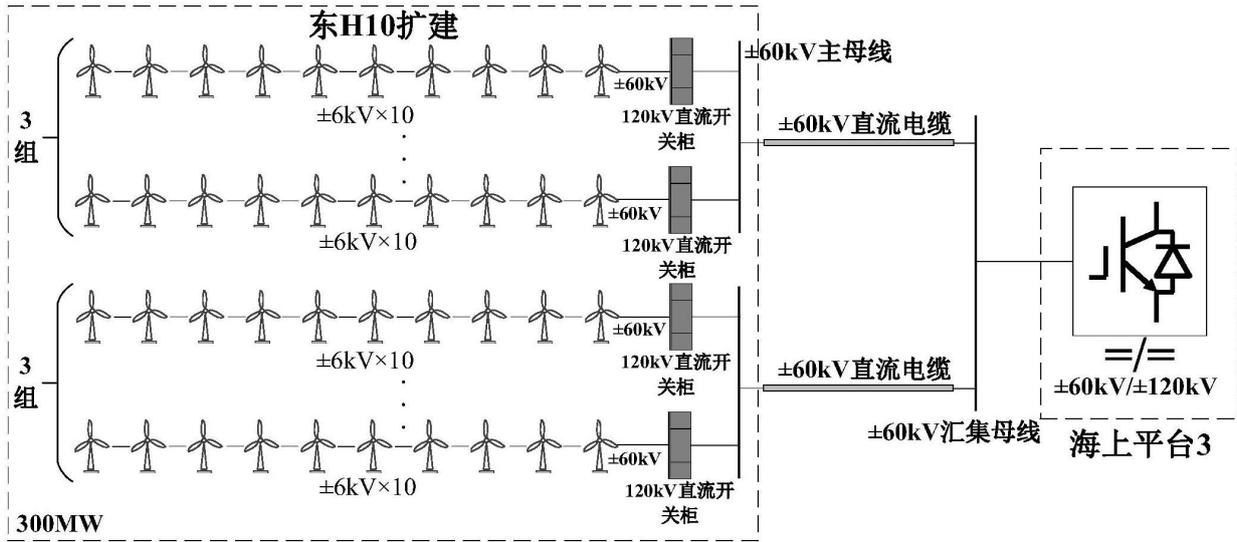


图4

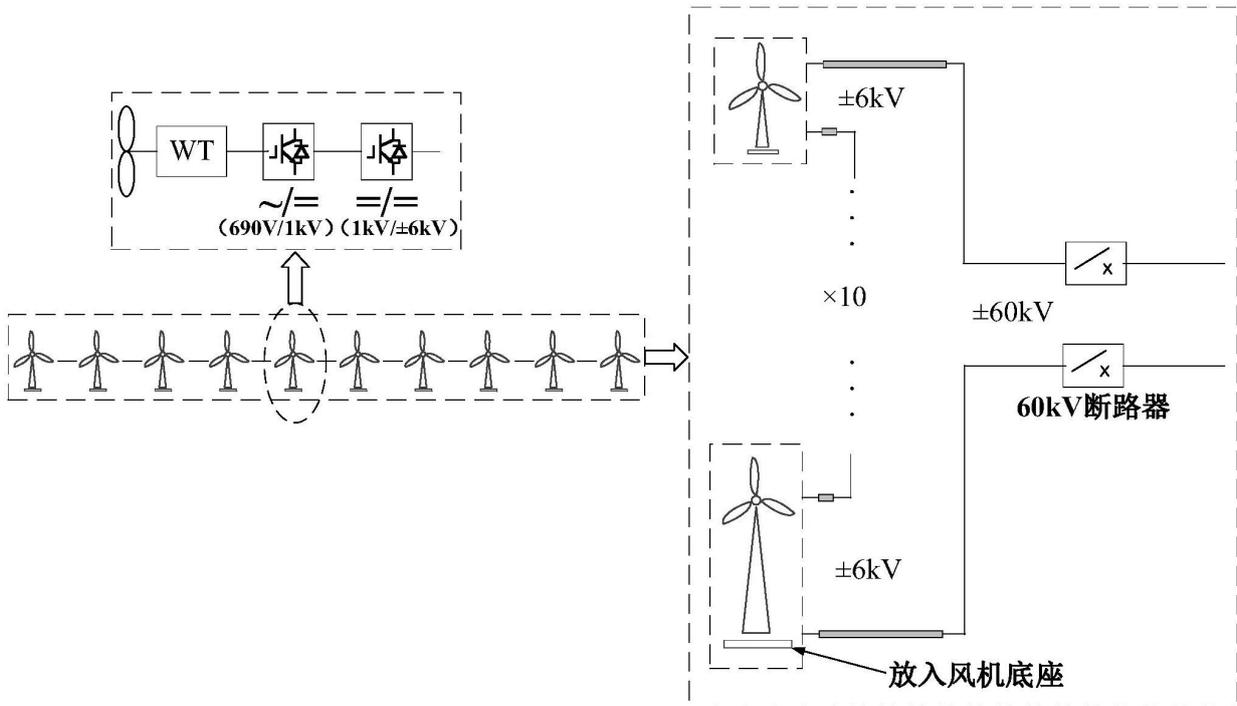


图5

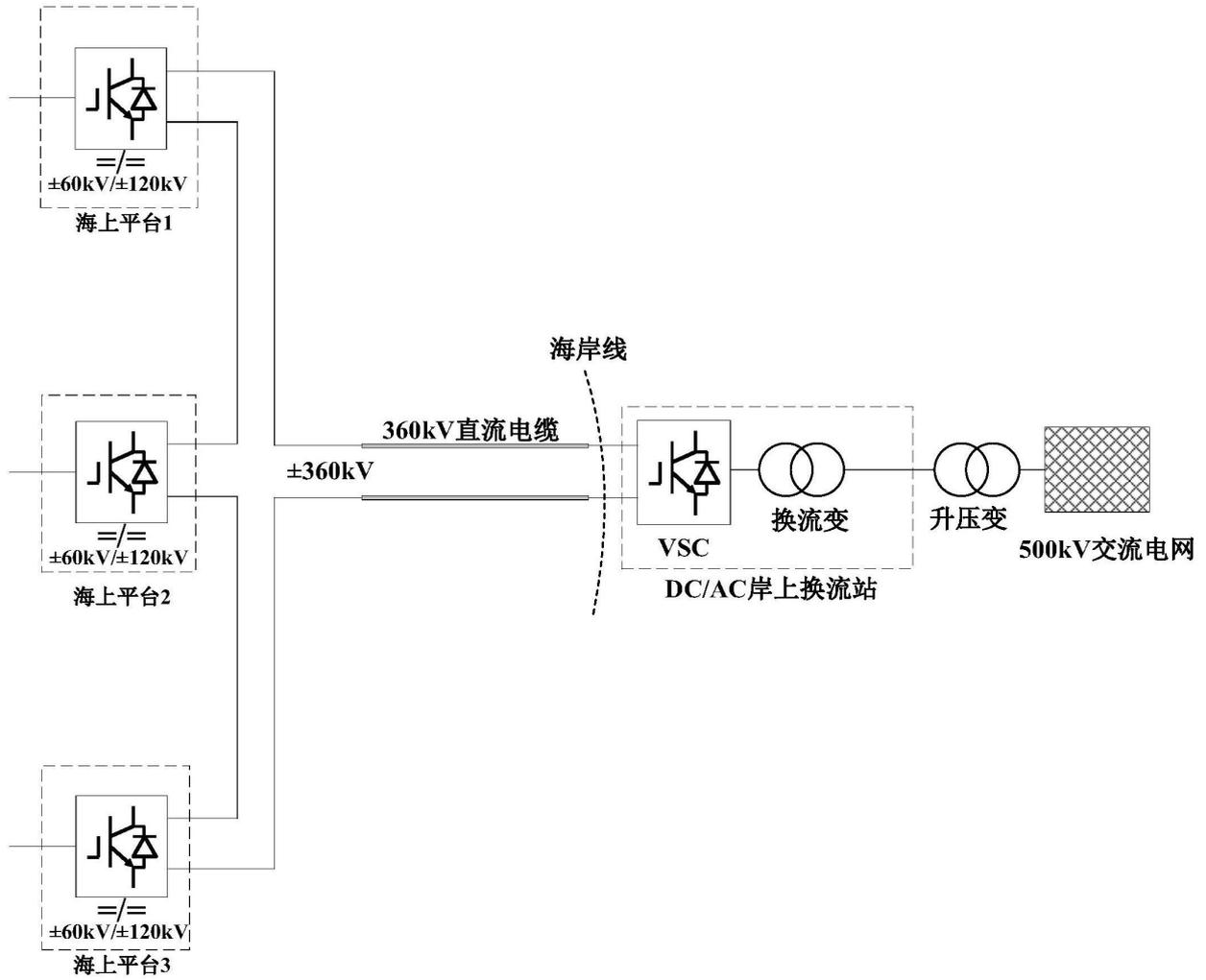


图6