



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111537842 B

(45) 授权公告日 2023. 08. 08

(21) 申请号 202010260116.4

(22) 申请日 2020.04.03

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 111537842 A

(43) 申请公布日 2020.08.14

(73) 专利权人 南京南瑞继保电气有限公司
地址 211102 江苏省南京市江宁区苏源大道69号
专利权人 南京南瑞继保工程技术有限公司

(72) 发明人 李钢 李海英 田杰 卢宇 王柯
王仙荣 董云龙 詹长江 李建春

(74) 专利代理机构 北京律和信知识产权代理事务所(普通合伙) 11446
专利代理师 张梅珍 项荣

(51) Int.Cl.

G01R 31/12 (2006.01)

G01R 31/66 (2020.01)

(56) 对比文件

CN 204578106 U, 2015.08.19

CN 107895963 A, 2018.04.10

CN 105823945 A, 2016.08.03

CN 102279325 A, 2011.12.14

CN 104914340 A, 2015.09.16

US 2014129195 A1, 2014.05.08

审查员 徐红

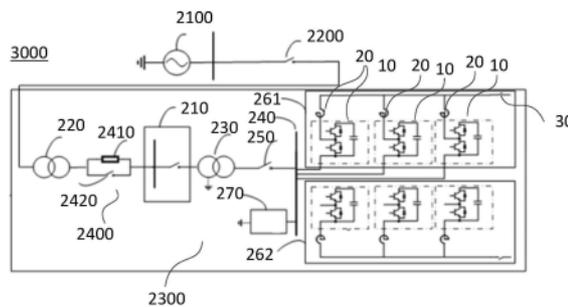
权利要求书2页 说明书10页 附图5页

(54) 发明名称

一种柔性直流输电换流站的试验系统及试验方法

(57) 摘要

本申请提出一种柔性直流输电换流站的试验系统及试验方法。所述试验系统包括：换流站变压装置；试验现场的试验电源，通过低压交流开关接入所述换流站变压装置的低压绕组；第一换流阀桥臂或第二换流阀桥臂，接入所述换流站变压装置；电阻器组件，连接于所述试验电源与所述第一换流阀桥臂或第二换流阀桥臂之间。所述试验系统充分利用海上换流站已有的各主要设备，利用陆上安装试验场地的低电压进线即可完成海上换流站的高压试验，无需额外搭建试验平台。同时，采用换流阀上桥臂阀组和换流阀下桥臂阀组分别接入试验系统的方案，进一步减少对试验电源容量的需求和冲击。



1. 一种柔性直流输电换流站的试验系统,其特征在于,包括:
换流站变压装置,所述换流站变压装置包括:站用变压器;
试验现场的试验电源,通过低压交流开关接入所述站用变压器的低压绕组;
第一换流阀桥臂或第二换流阀桥臂,接入所述换流站变压装置;
电阻器组件,连接于所述试验电源与所述第一换流阀桥臂或第二换流阀桥臂之间,以减少所述试验系统对所述试验电源的功率需求;
所述电阻器组件包括:
电阻器,其电阻值在50欧姆-20000欧姆或者5欧姆-2000欧姆的范围内;
电阻器并联开关,与所述电阻器并联;所述电阻器并联开关用于在换流阀及直流场设备充电后,经过一段延时闭合,以实现所述试验电源对换流阀及直流场设备进一步充电。
2. 根据权利要求1所述的试验系统,其特征在于,所述柔性直流输电换流站用作海上柔性直流输电换流站。
3. 根据权利要求1所述的试验系统,其特征在于,所述换流站变压装置包括:
联接变压器,其第一绕组接入所述站用变压器的高压绕组,其第二绕组与所述第一换流阀桥臂或第二换流阀桥臂相连;
电阻器组件,连接于所述站用变压器的低压绕组与所述试验电源之间,或者所述站用变压器的高压绕组与所述联接变压器的第一绕组之间。
4. 根据权利要求1所述的试验系统,其特征在于,所述换流站变压装置包括:
三绕组联接变压器,其第三低压绕组通过低压交流开关与所述试验电源相连,其第二绕组通过包含阀侧开关的阀侧母线与所述第一换流阀桥臂
或第二换流阀桥臂相连;
所述电阻器组件,连接于所述三绕组联接变压器的第三低压绕组与所述试验电源之间。
5. 根据权利要求3或4所述的试验系统,其特征在于,所述第一换流阀桥臂或第二换流阀桥臂包括:
柔性直流三相换流阀组,分别接入所述阀侧母线;
桥臂电抗器,与所述柔性直流三相换流阀组一一对应相连;
直流场隔刀,与所述桥臂电抗器相连。
6. 根据权利要求5所述的试验系统,其特征在于,所述换流阀组的拓扑结构包括:
半桥MMC拓扑结构、全桥MMC拓扑结构、类全桥拓扑结构、全桥半桥混合式MMC拓扑结构中的一种。
7. 根据权利要求6所述的试验系统,其特征在于,还包括:
接地装置,设置于所述三绕组联接变压器的第二绕组或所述联接变压器的第二绕组与所述换流阀组之间。
8. 根据权利要求7所述的试验系统,其特征在于,所述接地装置采用的接地方式包括:
小电容接地或星型电抗加电阻接地。
9. 根据权利要求3或4所述的试验系统,其特征在于,所述试验电源的电压等级与所述站用变压器低压绕组或所述三绕组联接变压器第三低压绕组的电压等级相匹配。
10. 根据权利要求9所述的试验系统,其特征在于,所述试验电源包括:

所述试验系统所在地现有的或者经过升压的10kV电源、20kV电源、35kV电源、110kV电源中的一种。

11. 根据权利要求3所述的试验系统,其特征在於,所述联接变压器的第一绕组通过交流母线接入所述站用变压器的高压绕组。

12. 根据权利要求11所述的试验系统,其特征在於,所述交流母线包括带交流开关的母线或者不带交流开关的母线。

13. 根据权利要求11所述的试验系统,其特征在於,所述交流母线接入所述联接变压器第一绕组的方式,包括:

3/2接线或者双母线接线。

14. 根据权利要求3所述的试验系统,其特征在於,所述第一换流阀桥臂或第二换流阀桥臂通过阀侧母线接入所述联接变压器的第二绕组。

15. 根据权利要求14所述的试验系统,其特征在於,所述阀侧母线包括带阀侧开关的母线或者不带阀侧开关的母线。

16. 根据权利要求1所述的试验系统,所述换流站变压装置、电阻器组件、第一换流阀桥臂或第二换流阀桥臂构成所述试验系统的一次设备,所述试验系统还包括:

二次设备,与所述一次设备对应相连,用于对所述一次设备进行测量或控制。

17. 一种柔性直流输电换流站的试验方法,应用于如权利要求1-16中任一项所述的试验系统,其特征在於,包括:

监测所述试验系统中的一次设备和二次准备就绪;

闭合所述交流母线的交流开关和/或所述阀侧开关;

闭合所述低压交流开关,对所述一次设备进行充电;

充电后经过一段延时闭合所述电阻器并联开关,对所述换流阀及直流场设备进一步充电;

进行所述一次设备和二次设备试验;

断开所述阀侧开关或者所述交流母线的交流开关或者所述低压交流开关进行无源逆变试验。

18. 根据权利要求17所述的试验方法,其特征在於,所述一段延时在2s-100s的范围内。

19. 根据权利要求17所述的试验方法,其特征在於,所述方法还包括:

对所述第一换流阀桥臂或第二换流阀桥臂进行有源主动充电试验。

一种柔性直流输电换流站的试验系统及试验方法

技术领域

[0001] 本申请涉及电力系统柔性直流输电技术领域,具体地涉及一种柔性直流输电换流站的试验系统及试验方法。

背景技术

[0002] 为了解决碳排放增加而导致的全球变暖问题,新能源发电作为一种绿色能源,越来越受到各国政府重视及青睐。风力发电是一种重要的新能源。其中,海上风电相对于陆上风电,具有不占用土地资源、风资源更稳定、利用小时更高等优势。世界各主要国家正在大规模开展海上风电开发。

[0003] 在海上风电资源中,远海风电资源更为广阔稳定。为获取更多的海上风能资源,海上风电场逐渐向深远海方向发展。当风电场距离岸边超过60km、进入广义的远海区域时,风电交流输出方式随着电能损耗、无功补偿难度和整体造价的提升而逐渐丧失性价比,而直流输电方式则成为优选项。

[0004] 柔性直流输电具有有功无功快速可控的特点,特别适用于海上风电新能源传输。柔性直流输电换流站是柔性直流输电中的主要设备。柔性直流输电换流站在海上风电场进行应用时,通常建立在海上平台上。整个海上平台一般包括主要设备空间和运行人员空间。海上平台空间狭小局促,比足球场还小,因此在海上进行柔性直流输电换流站的调试工作非常困难,存在试验周期长、生活物资供给不便等问题。而且,海上调试出现问题后还需要拖回岸上解决,费时费力。因此在陆上对海上换流站,特别是换流阀整组,进行高压试验,通过高压试验校验换流站主设备的连接正确性、控制系统与主设备之间的控制正确性是海上风电柔性直流输电工程成败的关键。

发明内容

[0005] 本申请旨在提供一种柔性直流输电换流站的试验系统,充分利用海上换流站已有的各主要设备,利用陆上安装试验场地的低电压进线即可完成海上换流站的高压试验,无需额外搭建试验平台。

[0006] 根据本申请的一方面,提供一种柔性直流输电换流站的试验系统,包括:

[0007] 换流站变压装置;

[0008] 试验现场的试验电源,通过低压交流开关接入所述换流站变压装置的低压绕组;

[0009] 第一换流阀桥臂或第二换流阀桥臂,接入所述换流站变压装置;

[0010] 电阻器组件,连接于所述试验电源与所述第一换流阀桥臂或第二换流阀桥臂之间。

[0011] 根据本申请的一些实施例,所述柔性直流输电换流站用作海上柔性直流输电换流站。

[0012] 根据本申请的一些实施例,所述换流站变压装置包括:

[0013] 站用变压器,其低压绕组通过低压交流开关与所述试验电源相连;

[0014] 联接变压器,其第一绕组接入所述站用变压器的高压绕组,其第二绕组与所述第一换流阀桥臂或第二换流阀桥臂相连;

[0015] 电阻器组件,连接于所述站用变压器的低压绕组与所述试验电源之间,或者所述站用变压器的高压绕组与所述联接变压器的第一绕组之间。

[0016] 根据本申请的一些实施例,所述换流站变压装置包括:

[0017] 三绕组联接变压器,其第三低压绕组通过低压交流开关与所述试验电源相连,其第二绕组通过包含阀侧开关的阀侧母线与所述第一换流阀桥臂或第二换流阀桥臂相连;所述电阻器组件,连接于所述三绕组联接变压器的第三低压绕组与所述试验电源之间。

[0018] 根据本申请的一些实施例,所述第一换流阀桥臂或第二换流阀桥臂包括:

[0019] 柔性直流三相换流阀组,分别接入所述阀侧母线;

[0020] 桥臂电抗器,与所述柔性直流三相换流阀组一一对应相连;

[0021] 直流场隔刀,与所述桥臂电抗器相连。

[0022] 进一步地,所述换流阀组的拓扑结构包括:

[0023] 半桥MMC拓扑结构、全桥MMC拓扑结构、类全桥拓扑结构、全桥半桥混合式MMC拓扑结构中的一种。

[0024] 根据本申请的一些实施例,所述试验系统还包括:

[0025] 接地装置,设置于所述三绕组联接变压器的第二绕组或所述联接变压器的第二绕组与所述换流阀组之间。

[0026] 进一步地,所述接地装置采用的接地方式包括:小电容接地或星型电抗加电阻接地。

[0027] 根据本申请的一些实施例,所述试验电源的电压等级与所述站用变压器低压绕组或所述三绕组联接变压器第三低压绕组的电压等级相匹配。

[0028] 根据本申请的一些实施例,所述试验电源包括:

[0029] 所述试验系统所在地现有的或者经过升压的10kV电源、20kV电源、35kV电源、110kV电源中的一种。

[0030] 根据本申请的一些实施例,所述联接变压器的第一绕组通过交流母线接入所述站用变压器的高压绕组。

[0031] 根据本申请的一些实施例,所述交流母线包括带交流开关的母线或者不带交流开关的母线。

[0032] 进一步地,所述交流母线接入所述联接变压器第一绕组的方式,包括:3/2接线或者双母线接线。

[0033] 根据本申请的一些实施例,所述电阻器组件包括:

[0034] 电阻器,其电阻值在50欧姆-20000欧姆的范围内;

[0035] 电阻器并联开关,与所述电阻器并联。

[0036] 根据本申请的一些实施例,所述第一换流阀桥臂或第二换流阀桥臂通过阀侧母线接入所述联接变压器的第二绕组。

[0037] 进一步地,所述阀侧母线包括带阀侧开关的母线或者不带阀侧开关的母线。

[0038] 根据本申请的一些实施例,所述电阻器组件包括:

[0039] 电阻器,其电阻值在5欧姆-2000欧姆的范围内;

- [0040] 电阻器并联开关,与所述电阻器并联。
- [0041] 根据本申请的一些实施例,所述换流站变压装置、电阻器组件、第一换流阀桥臂或第二换流阀桥臂构成所述试验系统的一次设备,所述试验系统还包括:
- [0042] 二次设备,与所述一次设备对应相连,用于对所述一次设备进行测量或控制。
- [0043] 根据本申请的一方面,提供一种柔性直流输电换流站的试验方法,应用于上述试验系统,其特征在于,包括:
- [0044] 监测所述试验系统中的一次设备和二次准备就绪;
- [0045] 闭合所述交流母线的交流开关和/或所述阀侧开关;
- [0046] 闭合所述低压交流开关,对所述一次设备进行充电;
- [0047] 充电后经过一段延时闭合所述电阻器并联开关,对所述换流阀及直流场设备进一步充电;
- [0048] 进行所述一次设备和二次设备试验;
- [0049] 断开所述阀侧开关或者所述交流母线的交流开关或者所述低压交流开关进行无源逆变试验。
- [0050] 进一步地,所述一段延时在2s-100s的范围内。
- [0051] 根据本申请的一些实施例,所述方法还包括:
- [0052] 对所述换第一换流阀桥臂或第二换流阀桥臂进行有源主动充电试验。
- [0053] 本申请提供的柔性直流输电换流站的试验系统直接利用海上换流站的各主要设备进行高压试验,无需额外的试验场地来搭建试验平台。利用陆上安装试验场地的低电压进线,完成了对换流站主设备的高压整组试验。而且,采用上下换流阀桥臂分别接入进行整组高压试验,从而减少对试验场地试验电源的要求及冲击。通过试验,不仅校验了系统回路及主设备,还验证了换流站控制系统和主要设备的接线、控制功能等,将问题在陆上解决,减少海上调试时间、工程调试周期及成本。
- [0054] 本申请的附加方面和优点将在下面的描述中部分给出,部分将从下面的描述中变得明显,或通过本申请的实践了解到。

附图说明

- [0055] 为了更清楚地说明本申请实施例中的技术方案,下面将对实施例描述中所需要使用的附图作简单地介绍,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。
- [0056] 图1示出根据本申请示例实施例的海上风电输出直流系统组成示意图。
- [0057] 图2示出根据本申请另一例实施例的海上风电输出直流系统组成示意图。
- [0058] 图3示出根据本申请第一示例实施例的柔性直流输电换流站的试验系统组成示意图。
- [0059] 图4示出根据本申请第二示例实施例的柔性直流输电换流站的试验系统组成示意图。
- [0060] 图5示出根据本申请第三示例实施例的柔性直流输电换流站的试验系统组成示意图。
- [0061] 图6示出根据本申请第四示例实施例的柔性直流输电换流站的试验系统组成示意图。

[0062] 图7示出根据本申请示例实施例的柔性直流输电换流站的试验方法流程图。

[0063] 图8示出图3所示的试验系统中第一换流阀桥臂阀端间电压和直流电压试验结果图。

具体实施方式

[0064] 下面将参考附图更全面地描述示例实施例。然而,示例实施例能以多种形式实施,且不应被理解为限于在此阐述的实施例。提供这些实施例是为使得本申请更全面和完整,并将示例实施例的构思全面地传达给本领域的技术人员。在图中相同的附图标记表示相同或类似的部分,因而将省略对它们的重复描述。

[0065] 此外,所描述的特征、结构或特性可以以任何合适的方式结合在一个或更多实施例中。在下面的描述中,提供许多具体细节从而给出对本申请的实施例的充分理解。然而,本领域技术人员将意识到,可以实践本申请的技术方案而没有特定细节中的一个或更多,或者可以采用其它的方法、组元、装置、步骤等。在其它情况下,不详细示出或描述公知方法、装置、实现或者操作以避免模糊本申请的各方面。

[0066] 应理解,虽然本文中可能使用术语第一、第二等来描述各种组件,但这些组件不应受这些术语限制。这些术语乃用以区分一组件与另一组件。因此,下文论述的第一组件可称为第二组件而不偏离本申请概念的教导。如本文中所使用,术语“及/或”包括相关联的列出项目中的任一个及一或多者的所有组合。

[0067] 本领域技术人员可以理解,附图只是示例实施例的示意图,可能不是按比例。附图中的模块或流程并不一定是实施本申请所必须的,因此不能用于限制本申请的保护范围。

[0068] 在现有的海上柔性直流输电换流站试验方案中,通常采用的是将海上柔性直流输电换流站相关设备的试验放在陆地上的安装试验场地进行,例如船坞。本发明人发现,现有的陆上安装试验场所进行海上柔性直流输电换流站的试验存在以下问题:

[0069] 一方面,海上风电柔性直流输电工程一般是远海高压大容量工程,连接的交流电网电压通常为220kV。陆上建造安装试验场地的试验电源通常是10kV或35kV进线,无法匹配海上柔性直流输电换流站试验需要的高电压。为了满足高电压需求,现有技术采用额外搭建试验电路的方法来提供高压电源。而额外试验电路所需要的空间又受到船坞等试验环境的限制。例如,专利文件CN103033701提出一种试验装置,该装置为一整流电路,包含一台该整流装置所需要的变压器,该实验装置就需要占用一定空间,且需要较大的试验电源容量。此外,现有的陆上建造安装试验场地试验方案,只能对各设备单独进行试验,而不能对系统进行整体试验。而且陆上建造安装试验场地一般不具有大容量的试验电源,难以满足海上柔性直流输电换流站的试验需求。

[0070] 另一方面,现有的试验方案无法进行换流站主设备高压整组试验,从而校验系统的正确性。例如,专利文件CN105823945A公布了一种针对真双极的无源逆变试验,其中的试验方案、目的和回路均依照工程实际执行,不但包括试验极还包括对极,而且连接交流电网的是高压电压,不受陆上建造安装和验场地的试验电源限制。但是海上柔性直流输电换流站一般采用伪双极,陆上试验电源为10kV中低压电源,因此无法采用该方法进行整组高压测试。

[0071] 针对现有技术中存在的问题,本发明人提出一种柔性直流输电换流站的试验系统及试验方法,不需要额外搭建试验电路,既能满足试验的高电压需求,实现海上换流站主设备高压整组试验目的,而且采用上下换流阀桥臂分别接入进行整组高压试验,从而减少对试验场地试验电源的要求及冲击。

[0072] 图1示出根据本申请示例实施例的海上风电输出直流系统组成示意图。

[0073] 如图1所示的示例实施例中,海上风电输出直流系统1000包括交流升压站100、海上柔性直流输电换流站200(以下简称海上换流站)和陆上换流站300。海上风电场产生的电经过交流升压站100升压接入海上换流站200。经过海上换流站200输出直流电,并经过海缆400接入陆上换流站300,从而实现风电场功率由海上向陆上交流电网500的传输。

[0074] 图1中的海上换流站200包括:交流母线210、站用变压器220、联接变压器230、阀侧交流母线240、阀侧开关250(图中未示)、换流阀及直流场设备260以及相应的测量或控制设备。

[0075] 在输电过程中,海上风电场产生的风电经过升压后接入海上换流站200的交流母线210。交流母线210通过两组并联的联接变压器230接入阀侧交流母线240。阀侧交流母线240与换流阀及直流场设备260的交流侧连接。海上换流站200通过高压站用电变压器220为海上换流站的其他设备供电,例如空调系统。站用电变压器220的低压绕组电压等级与试验厂内试验电源进线电压匹配。

[0076] 图2示出根据本申请另一示例实施例的海上风电输出直流系统组成示意图。

[0077] 如图2所示的示例实施例中,海上风电输出直流系统2000的组成与图1中的海上风电输出直流系统1000相同,同样包括陆上换流站300和海上柔性直流输电换流站200(简称海上换流站)。海上风电场产生的电经过交流升压站(图中未示)升压接入海上换流站200。经过海上换流站200输出直流电,并经过海缆400接入陆上换流站300,从而实现风电场功率由海上向陆上交流电网500的传输。

[0078] 与图1中实施例不同的是,图2中的海上换流站200包括交流母线210、三绕组联接变压器230、阀侧母线240、阀侧开关250(图中未示)、换流阀及直流场设备260以及相应的测控设备。

[0079] 在输电过程中,海上风电场产生的风电经过升压后接入海上换流站200的交流母线210。交流母线210通过三绕组联接变压器230接入阀侧母线240。阀侧母线240与换流阀及直流场设备260的交流侧连接。海上换流站200通过三绕组联接变压器230的第三低压绕组为海上换流站的其他设备供电,例如空调系统。三绕组联接变压器230的第三低压绕组的电压等级与试验厂内试验电源进线电压匹配。

[0080] 图1或图2中的换流阀及直流场设备260通常包括第一换流阀桥臂和第二换流阀桥臂。第一换流阀桥臂和第二换流阀桥臂均包括桥臂换流阀组及相应的直流场设备,具体包括:柔性直流三相换流阀组、桥臂电抗器、直流场隔刀以及相应的测量设备。

[0081] 图3示出根据本申请第一示例实施例的柔性直流输电换流站的试验系统组成示意图。

[0082] 如图3所示,针对如图1中所示的海上换流站,本申请提供的柔性直流输电换流站的试验系统3000包括:试验电源2100、低压交流开关2200、站用变压器220、联接变压器230和第一换流阀桥臂261或第二换流阀桥臂262。第一换流阀桥臂261和第二换流阀桥臂262不

同时接入试验系统,即分别接入试验系统、分别进行整组试验,可减少试验电源功率需求和冲击。图3所示的实施例中,接入试验系统3000的是第一换流阀桥臂261。接入第一换流阀桥臂或第二换流阀桥臂的整组试验过程相同,下面将以第一换流阀桥臂261接入试验系统为例进行说明。此外,为了减少对试验场地试验电源的损耗,试验系统中采用单个联接变压器230。第一换流阀桥臂261和第二换流阀桥臂262的组成相同,均包括柔性直流三相换流阀组10,桥臂电抗器20和直流场隔刀30。柔性直流三相换流阀组10分别接入所述阀侧母线240。桥臂电抗器20与柔性直流三相换流阀组10一一对应相连。直流场隔刀30与所述桥臂电抗器20相连。

[0083] 参看图3,在上述试验系统3000中,试验现场的试验电源2100通过低压交流开关2200接入所述站用变压器220的低压绕组。联接变压器230的第一绕组可以直接接入所述站用变压器220的高压绕组,也可以通过交流母线210接入所述站用变压器220的高压绕组。如图3所示,本申请的示例实施例中,联接变压器230的第一绕组通过交流母线210接入所述站用变压器220的高压绕组。根据本申请的示例实施例,交流母线210可以是带交流开关211的母线。在其他实施例中,交流母线210也可以是不带交流开关的母线。此外,交流母线210与联接变压器230之间的连接方式可以是3/2接线也可以是双母线接线。

[0084] 第一换流阀桥臂261可以直接接入所述联接变压器230的第二绕组,也可以通过阀侧母线240接入所述联接变压器230的第二绕组。如图3所示,本申请的示例实施例中,第一换流阀桥臂261通过阀侧母线240接入所述联接变压器230的第二绕组。阀侧母线240可以是带阀侧开关250的母线,也可以是不带阀侧开关250的母线。本申请的示例实施例中,阀侧母线240是带阀侧开关250的母线。具体地,阀侧开关250接入所述联接变压器230的第二绕组。阀侧母线240连接所述阀侧开关250。第一换流阀桥臂261接入所述阀侧母线240。

[0085] 根据本申请的实施例,试验电源2100的电压等级与站用变压器220的低压绕组的电压等级相匹配,从而为试验系统提供适合的试验电源。试验电源2100包括所述试验系统3000所在地现有的或者经过升压的10kV电源、20kV电源、35kV电源、110kV电源中的一种。例如,现场的其他电源经过柴油发电机升压后达到如上所述的电压。低压的试验电源经过站用变压器220逆变出试验所需的高压电,实现了由低压接入实现换流站设备高压试验的目的。例如,能够利用海上换流站平台安装和试验场地的10kV低电压进线,在联接变压器阀侧产生出高电压,直流侧电压更能达到额定直流电压的0.7倍,以欧洲常用的 $\pm 320\text{kV}$ 为例,直流侧正极和负极电压可以达到224kV和-224kV左右,从而实现对接流站主设备的高压整组试验。

[0086] 如图3所示,试验系统3000还包括电阻器组件2400。电阻器组件2400包括电阻器2410和与之并联的电阻器并联开关2420。电阻器组件2400连接于所述站用变压器220的高压绕组与所述联接变压器230的第一绕组之间。电阻器组件2400可以设置于所述交流母线210之前,也可以设置于所述交流母线210之后。在图3所示的示例实施例中,所述电阻器组件2400设置于所述交流母线210之前。

[0087] 电阻器2410的电阻值范围可以是50欧姆-20000欧姆。在站用变压器220的高压绕组与联接变压器230的第一绕组间接入电阻器组件2400,能够有效减少试验系统2000对试验电源的功率需求。

[0088] 如图3所示,试验系统3000还包括接地装置270,设置于所述联接变压器230的第二

绕组与所述柔性直流三相换流阀组10之间,作为钳位电位,从而使得阀侧电压电位得到平衡。接地方式可以是小电容接地,也可以是星型电抗加电阻接地。

[0089] 在上述试验系统3000中,站用变压器220、交流母线210、联接变压器230、阀侧开关250、阀侧母线240、柔性直流三相换流阀组10,桥臂电抗器20、直流场隔刀30和相应的测控设备均为海上换流站200本身的设备,也是工程实际实用的设备。本申请提供的试验系统充分利用了海上换流站的已有设备,不需要配置额外的大型设备搭建试验平台。电阻器2410及电阻器并联开关2420均优先采用换流站工程装置,以减少试验成本。

[0090] 如图3所示,上述试验系统2000中,工程实际使用的站用变压器220、交流母线210、联接变压器230、阀侧开关250、阀侧母线240、柔性直流三相换流阀组10,桥臂电抗器20、直流场隔刀30、电阻器2410和电阻器并联开关2420构成了换流站内设备2300,即所述试验系统的一次设备。所述试验系统2000还包括二次设备(图中未示),与所述一次设备对应相连,用于对所述一次设备进行测量或控制。例如,分别与站用变压器、电阻器组件等相连,从而在试验过程中校验所述二次设备与所述一次设备之间的接线和控制关系。

[0091] 图4示出根据本申请第二示例实施例的柔性直流输电换流站的试验系统组成示意图。

[0092] 如图4所示,针对如图1中所示的海上换流站,本申请提供另一种柔性直流输电换流站的试验系统4000。所述试验系统4000与图3中的试验系统3000的各项组成相同,只是电阻器组件2400的位置不同。

[0093] 如图4所示,电阻器组件2400设置于站用变压器220的低压绕组与试验电源2100之间。具体地,所述电阻器组件2400可以设置于所述低压交流开关2200之前,也可以设置于所述低压交流开关2200之后。图4中所述电阻器组件2400设置于所述低压交流开关2200之后。试验电源2100通过低压交流开关2200与电阻器组件2400相连。此时,电阻器2410的电阻值范围可以是5欧姆-2000欧姆。根据本申请的一些实施例,电阻器组件2400还可以包括电感元件,与所述电阻器2410串联。所述电感元件的电感值范围可以是1mH-1H。

[0094] 图5示出根据本申请第三示例实施例的柔性直流输电换流站的试验系统组成示意图。

[0095] 如图5所示,针对如图2中所示的海上换流站,本申请提供试验系统5000。包括:试验现场的试验电源2100、低压交流开关2200、三绕组联接变压器230、阀侧母线240、阀侧开关250和第一换流阀桥臂261或第二换流阀桥臂262。第一换流阀桥臂261和第二换流阀桥臂262不同时接入试验系统,即分别接入试验系统、分别进行整组试验,可减少试验电源功率需求和冲击。此外,为了减少对试验场地试验电源的损耗,试验系统中采用单个联接变压器230。

[0096] 图5所示的实施例中,接入试验系统5000的是第一换流阀桥臂261。接入第一换流阀桥臂或第二换流阀桥臂的整组试验过程相同,下面将以第一换流阀桥臂261接入试验系统为例进行说明。第一换流阀桥臂261和第二换流阀桥臂262的组成相同,均包括柔性直流三相换流阀组10,桥臂电抗器20和直流场隔刀30。柔性直流三相换流阀组10分别接入所述阀侧母线240。桥臂电抗器20与柔性直流三相换流阀组10一一对应相连。直流场隔刀30与所述桥臂电抗器20相连。

[0097] 参加图5,在上述试验系统5000中,试验场地的试验电源2100通过低压交流开关

2200接入三绕组联接变压器230的第三低压绕组。阀侧开关250接入三绕组联接变压器230的第二绕组。阀侧母线240连接阀侧开关250。第一换流阀桥臂261接入阀侧母线240。

[0098] 试验电源2100的电压等级与三绕组联接变压器230的第三低压绕组的电压等级相匹配,从而为试验系统提供适合的试验电源。试验电源2100包括所述试验系统2000所在地现有的或者经过升压的10kV电源、20kV电源、35kV电源、110kV电源中的一种。例如,现有的其他电源经过柴油发电机升压后达到如上所述的电压。低压的试验电源经过三绕组联接变压器230逆变出试验所需的高压电,实现了由低压接入实现换流站设备高压试验的目的。例如,能够利用海上换流站平台安装和试验场地的10kV低电压进线,在联接变压器阀侧产生出高电压,直流侧电压更能达到额定直流电压的0.7倍,以欧洲常用的 $\pm 320\text{kV}$ 为例,直流侧正极和负极电压可以达到224kV和-224kV左右,从而实现对换流站主设备的高压整组试验。

[0099] 如图5所示,试验系统5000还包括电阻器组件2400。电阻器组件2400包括电阻器2410和与之并联的电阻器并联开关2420。电阻器组件2400连接于三绕组联接变压器230的第三低压绕组与所述试验电源2100之间。所述电阻器组件2400可以设置于所述低压交流开关2200之前,也可以设置于所述低压交流开关2200之后。图5所示的示例实施例中,所述电阻器组件2400设置于所述低压交流开关2200之前。试验电源2100直接与电阻器组件2400相连。电阻器2410的电阻值范围可以是5欧姆-2000欧姆。在三绕组联接变压器230与试验电源2100之间接入电阻器组件2400,能够有效减少试验系统5000对试验电源的功率需求。

[0100] 如图5所示,试验系统5000还包括接地装置270,设置于所述三绕组联接变压器230的第二绕组与所述柔性直流三相换流阀组10之间,作为钳位电位,从而使得阀侧电压电位得到平衡。接地方式可以是小电容接地,也可以是星型电抗加电阻接地。

[0101] 在上述试验系统5000中,三绕组联接变压器230、阀侧开关250、阀侧母线240、柔性直流三相换流阀组10,桥臂电抗器20、直流场隔刀30和相应的测控设备均为海上换流站200本身的设备,也是工程实际实用的设备。本申请提供的试验系统充分利用了海上换流站的已有设备,不需要配置额外的大型设备搭建试验平台。

[0102] 如图5所示,上述试验系统5000中,工程实际使用的三绕组联接变压器230、阀侧开关250、阀侧交流母线240、柔性直流三相换流阀组10,桥臂电抗器20、直流场隔刀30、电阻器2410和电阻器并联开关2420构成了换流站内设备2300,即所述试验系统的一次设备。所述试验系统2000还包括二次设备(图中未示),与所述一次设备对应相连,用于对所述一次设备进行测量或控制。例如,分别与站用变压器、电阻器组件等相连,从而在试验过程中校验所述二次设备与所述一次设备之间的接线和控制关系。

[0103] 图6示出根据本申请第四示例实施例的柔性直流输电换流站的试验系统组成示意图。

[0104] 如图6所示,针对如图2中所示的海上换流站,本申请提供另一试验系统6000。所述试验系统6000与图5中的试验系统5000的各项组成相同,只是电阻器组件2400的位置不同。

[0105] 如图6所示,电阻器组件2400同样设置于三绕组联接变压器230的第三低压绕组与所述试验电源2100之间。具体地,所述电阻器组件2400可以设置于所述低压交流开关2200之后。试验电源2100通过低压交流开关2200与电阻器组件2400相连。此时,电阻器2410的电阻值范围也可以是5欧姆-2000欧姆。同样,在三绕组联接变压器230与试验电源2100之间接入电阻器组件2400,能够有效减少试验系统6000对试验电源的功率需求。

[0106] 图7示出根据本申请示例实施例的柔性直流输电换流站的试验方法流程图。

[0107] 如图7所示,根据示例实施例,本申请提供的柔性直流输电换流站的试验方法,应用于如图3-图6所示的试验系统,包括:

[0108] 在步骤S710,监测所述试验系统中的一次设备和二次设备准备就绪。当试验系统中的所有设备准备就绪,即可开始试验。

[0109] 在步骤S720,闭合交流母线的交流开关211和/或阀侧开关250。对于图3和图4所示的试验系统,需要闭合交流母线的交流开关211和阀侧开关250。对于图5和图6所示的试验系统,闭合阀侧开关250即可。

[0110] 在步骤S730,闭合低压交流开关2200,对一次设备进行充电。具体地,低压交流开关2200闭合之后,可以通过电阻器2410对换流站主设备进行高压充电。

[0111] 在步骤S740,充电后经过一段延时,闭合电阻器并联开关2420,对换流阀及直流场设备260进一步高压充电。所述一段延时的范围可以是2s-100s。

[0112] 在步骤S750,进行所述一次设备和二次设备试验。具体地,对于图3和图4所示的试验系统,对站用变压器220、联接变压器230、阀侧开关250、阀侧母线240、柔性直流三相换流阀组10、桥臂电抗器20、直流场隔刀30以及相应的测量或控制设备等进行试验,检测连接的正确性。对于图5和图6所示的试验系统,对三绕组联接变压器230、阀侧开关250、阀侧母线240、柔性直流三相换流阀组10、桥臂电抗器20、直流场隔刀30以及相应的测量或控制设备等进行试验,检测连接的正确性。例如,校验直流电压,当直流电压大于0.5倍额定直流电压或阀侧电压大于0.7倍阀侧额定电压时,校验相关设备电压及绝缘耐受情况。

[0113] 在步骤S760,断开阀侧开关250或者交流母线210的交流开关211或者低压交流开关2200进行无源逆变试验。具体的无源逆变试验过程为:断开电源后,通过控制保护,给定桥臂参考波和解锁信号,经过柔性直流三相换流阀组10、桥臂电抗器20、直流场隔刀30设备执行后,逆变出阀侧交流母线240电压。在此过程中,校验测量或控制设备控制下联接变压器230、阀侧开关250、柔性直流三相换流阀组10、桥臂电抗器20、直流场隔刀30的执行正确性。

[0114] 此外,在上述试验过程中,还可以对第一换流阀桥臂261或第二换流阀桥臂262进行有源主动充电试验,来监测换流阀和阀控系统的功能完好性。主动充电后,在试验场地电源运行情况下,还可以对换流阀进行短时有源解锁试验。通过上述试验方法可以校验控制系统和主设备,的连接和控制正确性,确保控制系统到主设备的正确性,避免到海上调试出问题导致重新陆上来回运输、安装和调试,既节省了空间,还节省了时间和成本。

[0115] 图8示出图3所示的试验系统中第一换流阀桥臂阀端间电压和直流电压试验结果图。

[0116] 如图8所示,对图3所示的试验系统按照图7中所述的试验方法开展试验后,第一换流阀桥臂阀端间产生的电压达到360kV,直流电压达到220kV,实现了第一换流阀桥臂高压整组试验。

[0117] 本申请提供的柔性直流输电换流站的试验系统直接利用海上换流站在海上平台上搭建时使用的各主要设备进行试验,不需要额外设备或移动现有位置。试验完成后,可直接运输到海上。除低压交流开关、电阻器及与电阻器并联开关外,无需额外的试验场来搭建试验平台。另一方面,本申请提供的试验系统利用海上换流站陆上安装试验场地的低电压

进线,完成了对换流站设备的高压整组试验。通过试验,不仅校验了系统回路及主设备,还验证了换流站控制系统和主要设备的接线、控制功能等,将问题在陆上解决,减少海上调试时间、工程调试周期及成本。

[0118] 此外,将第一换流阀桥臂、第二换流阀桥臂分别进行整组高压试验平台及试验方法,降低了对试验电源容量的要求和冲击。在第一换流阀桥臂或第二换流阀桥臂的整组试验中,不但校验了联接变压器、换流阀等主要设备能力,更避免了单个桥臂无法对一个阀组进行整体试验的缺陷。

[0119] 显然,上述实施例仅是为清楚地说明本申请所作的举例,而并非对实施方式的限定。对于所属领域的普通技术人员来说,在上述说明的基础上还可以做出其它不同形式的变化或变动。这里无需也无法对所有的实施方式予以穷举。而由此所引申出的显而易见的变化或变动仍处于本申请的保护范围之内。

1000

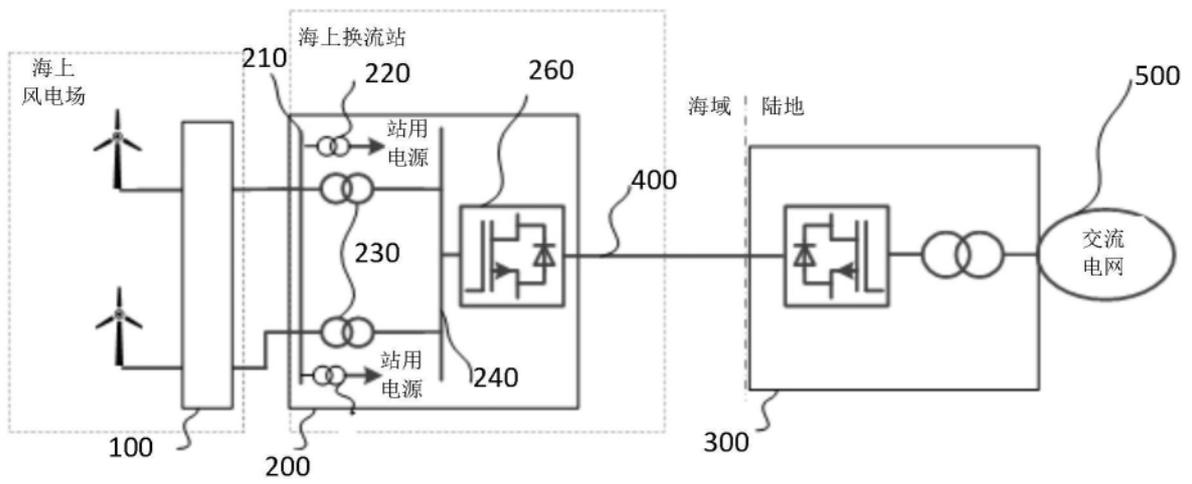


图1

2000

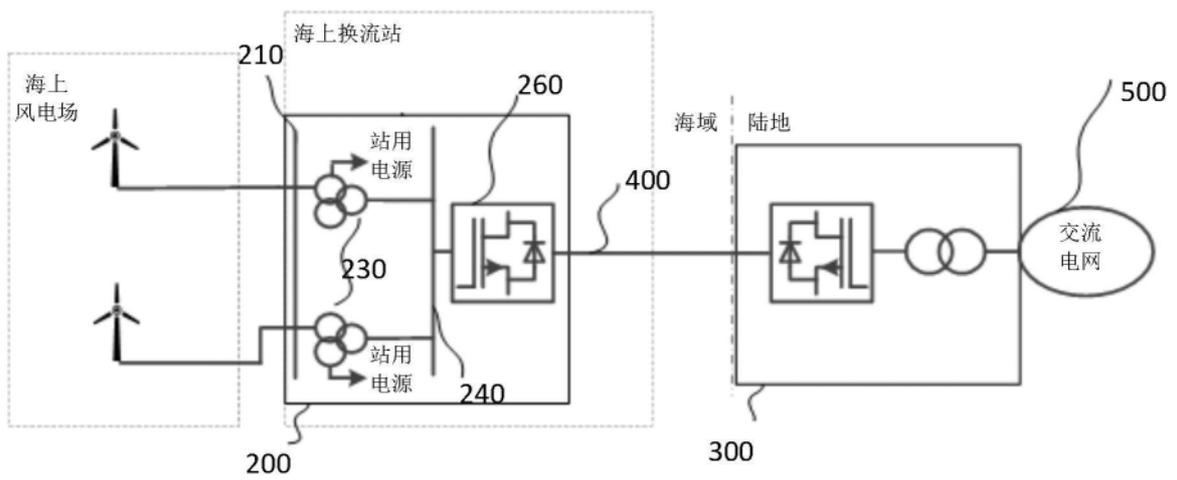


图2

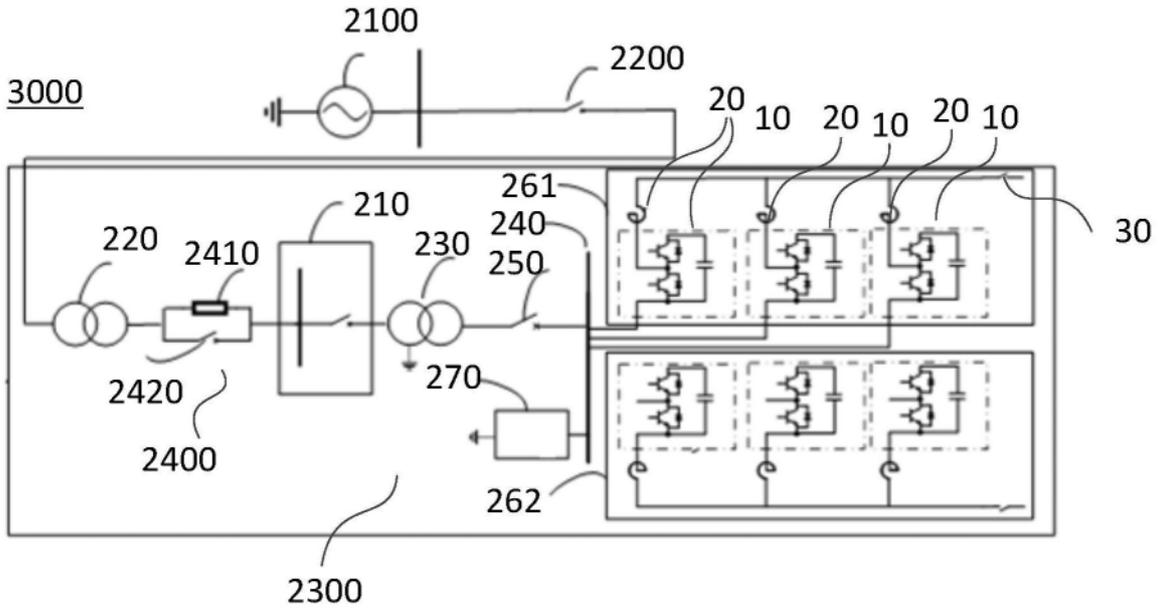


图3

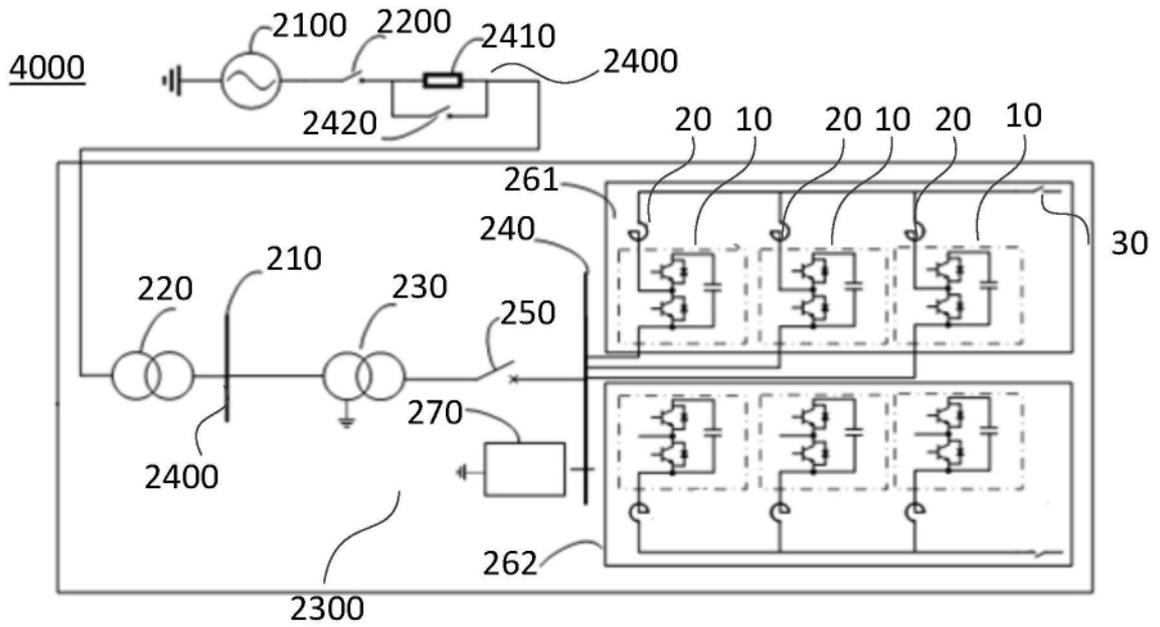


图4

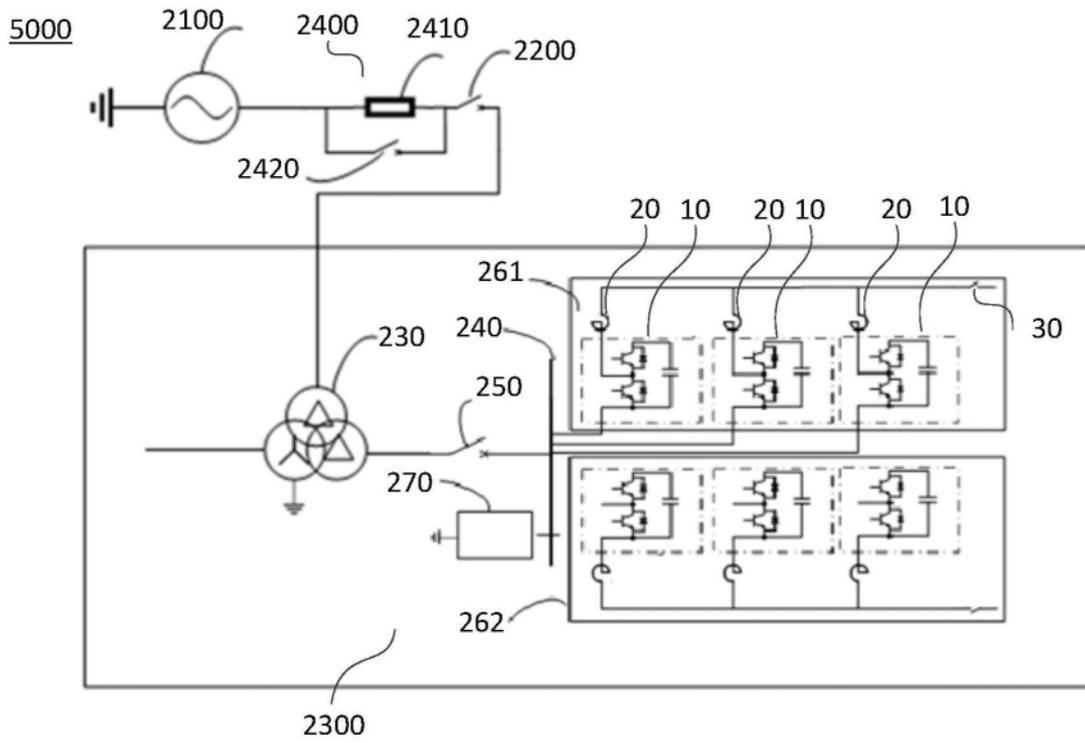


图5

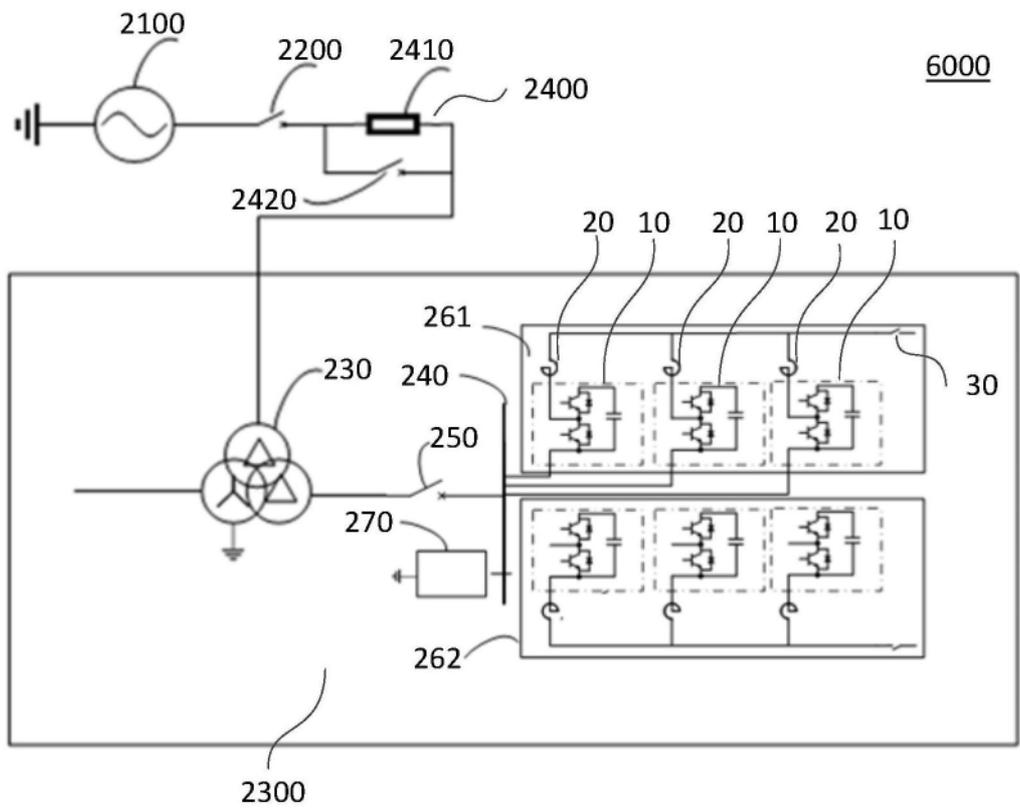


图6



图7

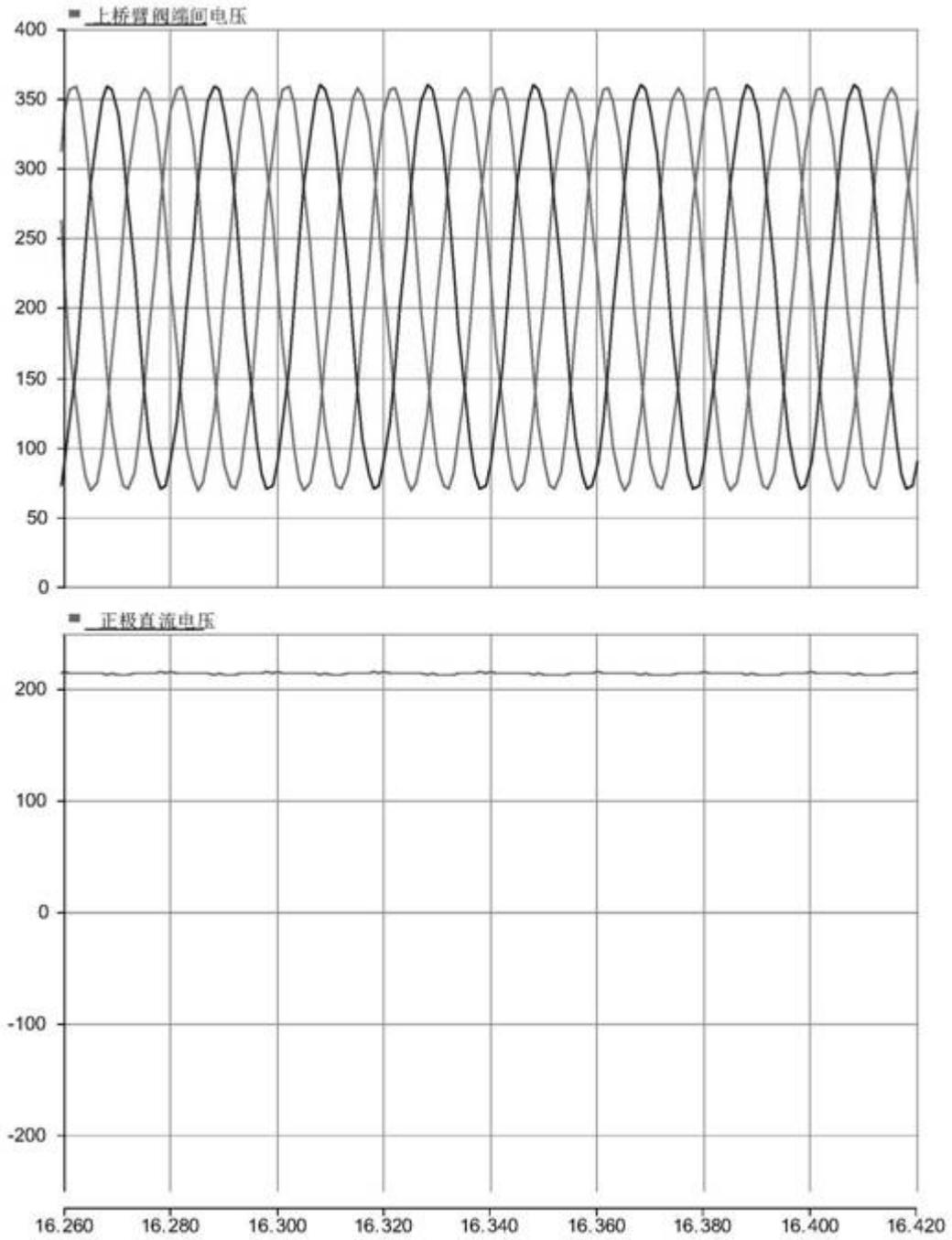


图8