(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109671344 A
(43)申请公布日 2019.04.23

(21)申请号 201811620490.X

(22)申请日 2018.12.28

(71)申请人 国家电网有限公司
地址 100031 北京市西城区西长安街86号
申请人 国网湖北省电力有限公司电力科学研究院

(72)发明人 陈堃 叶庞琪 陈乔 钱一民 陈汝斯 刘畅 饶渝泽 蔡德福

(74)专利代理机构 武汉楚天专利事务所 42113
代理人 孔敏

(51)Int.Cl.
G09B 23/18(2006.01)

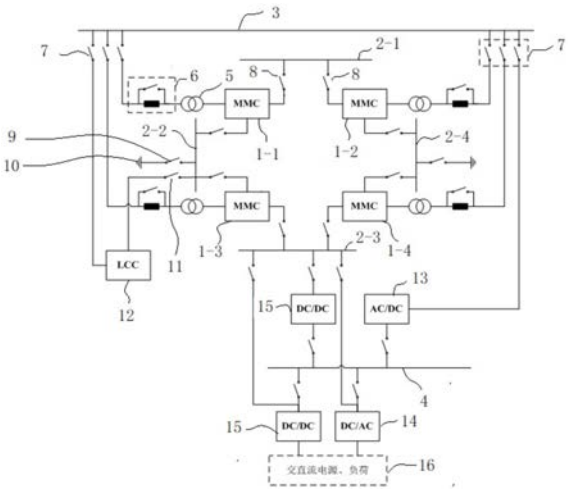
权利要求书1页 说明书5页 附图1页

(54)发明名称

一种用于直流输配电工程动态模拟实验系统的拓扑结构

(57)摘要

本发明提供一种用于直流输配电工程动态模拟实验系统的拓扑结构，包括至少四个MMC、与至少四个MMC对应的高/中压直流母线，MMC的直流侧通过直流断路器与对应的高/中压直流母线连接形成串、并联环路，交流侧分别通过交流变压器、启动回路、交流断路器与交流母线连接；部分高/中压直流母线通过直流断路器与接地极连接；交流母线和高/中压直流母线之间设有LCC；交流母线和低压直流母线之间设有整流器AC/DC；直流母线与直流电源和负载间设有双向变流器DC/AC；高/中压直流母线和低压直流母线间、和交直流电源和负载间设有直流变压器DC/DC。本发明解决了目前动态模拟实验系统用于直流输配电工程时普遍存在的适应性、灵活性差等问题。



CN 109671344 A

1.一种用于直流输配电工程动态模拟实验系统的拓扑结构，其特征在于：包括交流母线、低压直流母线、电网换相换流器、整流器、双向变流器、直流变压器、至少四个模块化多电平换流器、与所述至少四个模块化多电平换流器对应的高/中压直流母线，所述至少四个模块化多电平换流器的直流侧分别通过直流断路器与对应的高/中压直流母线连接形成串、并联环路，交流侧分别通过交流变压器、启动回路、交流断路器与交流母线连接；部分高/中压直流母线通过直流断路器与接地极连接；所述电网换相换流器的交流侧通过交流断路器与交流母线连接，直流侧通过直流断路器与部分高/中压直流母线连接，用于模拟常规直流送端或受端；整流器的输入输出侧分别通过断路器与交流母线和低压直流母线连接，用于为低压直流母线提供电源；双向变流器的直流侧通过断路器与高/中压直流母线和低压直流母线连接，交流侧与直流电源和负载连接；直流变压器设置在高/中压直流母线和低压直流母线之间，或者设置在高/中压直流母线与交直流电源和负载之间，用于分别为低压直流母线、交直流电源和负载提供电源、接口。

2.如权利要求1所述的用于直流输配电工程动态模拟实验系统的拓扑结构，其特征在于：所述至少四个模块化多电平换流器分别是第一模块化多电平换流器、第二模块化多电平换流器、第三模块化多电平换流器、第四模块化多电平换流器，与其对应设置有四个高/中压直流母线，分别是第一高/中压直流母线、第二高/中压直流母线、第三高/中压直流母线、第四高/中压直流母线；第一模块化多电平换流器的直流侧通过两个直流断路器分别与第一高/中压直流母线和第二高/中压直流母线连接，第二模块化多电平换流器的直流侧通过两个直流断路器分别与第一高/中压直流母线和第四高/中压直流母线连接，第三模块化多电平换流器的直流侧通过两个直流断路器分别与第二高/中压直流母线和第三高/中压直流母线连接，第四模块化多电平换流器的直流侧通过两个直流断路器分别与第三高/中压直流母线和第四高/中压直流母线连接。

3.如权利要求2所述的用于直流输配电工程动态模拟实验系统的拓扑结构，其特征在于：相对设置的第二高/中压直流母线和第四高/中压直流母线分别通过直流断路器与接地极连接。

一种用于直流输配电工程动态模拟实验系统的拓扑结构

技术领域

[0001] 本发明涉及输配电技术领域，具体是一种用于直流输配电工程动态模拟实验系统的拓扑结构。

背景技术

[0002] 近年来，我国大力推广直流输电技术的工程应用，以解决交流输电存在的固有问题，随着该技术延伸到配电领域形成直流配电技术，其优势日益凸显。

[0003] 在直流输电技术方面，目前其工程应用主要分为基于LCC(电网换相换流器)的常规直流输电技术和基于MMC(模块化多电平换流器)的柔性直流输电技术，在远距离输电、区域电网异步联网、控制灵活性等方面较交流输电均显现巨大优势。

[0004] 在直流配电技术方面，虽然尚处于理论研究阶段，但由于在提高效率、提高容量、新能源消纳、系统结构灵活性等方面较交流配电均显现巨大优势，因此拥有可预见的巨大发展前景。

[0005] 动态模拟即根据相似原理建立物理模拟实验系统，它能够真实和动态地再现实际工程的各种动态运行工况和扰动过程，是研究电力系统的重要手段。对于直流输配电研究中所涉及的控制、保护等诸多关键技术问题，除了进行理论研究和数字仿真分析验证外，在实际工程应用前利用动态模拟实验系统进行物理验证是必不可少的。然而，目前构建的动态模拟实验系统普遍存在适应性、灵活性差等缺点，造成了工作量和重复建设成本大大增加，降低了物理验证的工作效率。因此，有必要研究直流输配电工程动态模拟系统的拓扑结构。

发明内容

[0006] 本发明的目的在于提供一种用于直流输配电工程动态模拟实验系统的拓扑结构，解决目前动态模拟实验系统用于直流输配电工程时普遍存在的适应性、灵活性差等问题。

[0007] 本发明的目的是通过以下技术方案实现的：

[0008] 一种用于直流输配电工程动态模拟实验系统的拓扑结构，包括交流母线、低压直流母线、电网换相换流器、整流器、双向变流器、直流变压器、至少四个模块化多电平换流器、与所述至少四个模块化多电平换流器对应的高/中压直流母线，所述至少四个模块化多电平换流器的直流侧分别通过直流断路器与对应的高/中压直流母线连接形成串、并联环路，交流侧分别通过交流变压器、启动回路、交流断路器与交流母线连接；部分高/中压直流母线通过直流断路器与接地极连接；所述电网换相换流器的交流侧通过交流断路器与交流母线连接，直流侧通过直流断路器与部分高/中压直流母线连接，用于模拟常规直流送端或受端；整流器的输入输出侧分别通过断路器与交流母线和低压直流母线连接，用于为低压直流母线提供电源；双向变流器的直流侧通过断路器与高/中压直流母线和低压直流母线连接，交流侧与直流电源和负载连接；直流变压器设置在高/中压直流母线和低压直流母线之间，或者设置在高/中压直流母线与交直流电源和负载之间，用于分别为低压直流母线、

交直流电源和负载提供电源、接口。

[0009] 进一步的，所述至少四个模块化多电平换流器分别是第一模块化多电平换流器、第二模块化多电平换流器、第三模块化多电平换流器、第四模块化多电平换流器，与其对应设置有四个高/中压直流母线，分别是第一高/中压直流母线、第二高/中压直流母线、第三高/中压直流母线、第四高/中压直流母线；第一模块化多电平换流器的直流侧通过两个直流断路器分别与第一高/中压直流母线和第二高/中压直流母线连接，第二模块化多电平换流器的直流侧通过两个直流断路器分别与第一高/中压直流母线和第四高/中压直流母线连接，第三模块化多电平换流器的直流侧通过两个直流断路器分别与第二高/中压直流母线和第三高/中压直流母线连接，第四模块化多电平换流器的直流侧通过两个直流断路器分别与第三高/中压直流母线和第四高/中压直流母线连接。

[0010] 进一步的，相对设置的第二高/中压直流母线和第四高/中压直流母线分别通过直流断路器与接地极连接。

[0011] 本发明为直流输配电工程的主电路设计、动态响应特性分析、控制策略设计等提供一个可靠方便的研究平台和测试环境，通过断路器的开通、关断设置，结合接地极，可将系统配置为适用于基于MMC的对称单极柔性直流输电端对端工程、基于MMC的对称双极柔性直流输电端对端工程、基于LCC的常规直流输电端对端工程的动态模拟实验系统，避免了动模实验系统的重复建设，具有高度的可扩展性。

附图说明

[0012] 图1为本发明用于直流输配电工程动态模拟实验系统的拓扑结构其中一个实施例的结构示意图；

[0013] 图中：1-1—第一模块化多电平换流器(MMC)，1-2—第二模块化多电平换流器(MMC)，1-3—第三模块化多电平换流器(MMC)，1-4—第四模块化多电平换流器(MMC)，2-1—第一高/中压直流母线，2-2—第二高/中压直流母线，2-3—第三高/中压直流母线，2-4—第四高/中压直流母线，3—交流母线，4—低压直流母线，5—交流变压器，6—启动回路(包括启动电阻和旁路断路器)，7—交流断路器，8、9、11—直流断路器，10—接地极，12—电网换相换流器(LCC)、13—整流器(AC/DC)，14—双向变流器(DC/AC)，15—直流变压器(DC/DC)，16—交直流电源和负载。

具体实施方式

[0014] 下面将结合本发明中的附图，对本发明中的技术方案进行清楚、完整地描述。

[0015] 图1所示为本发明用于直流输配电工程动态模拟实验系统的拓扑结构其中一个实施例的结构示意图，所述拓扑结构包括交流母线3、直流母线、断路器、变压器、启动回路、接地极、模块化多电平换流器(Modular Multilevel Converter，MMC)、电网换相换流器(Line Commutated Converter，LCC)、整流器(AC/DC)、双向变流器(DC/AC)、直流变压器(DC/DC)。直流母线根据电压等级，分为高压、中压、低压直流母线，可根据实际交流母线电压等级和实验需要进行配置。断路器包括交流断路器、直流断路器，用于系统拓扑结构的灵活配置和硬件设备的保护。

[0016] 本实施例设计有四个模块化多电平换流器，分别是第一模块化多电平换流器1-1、

第二模块化多电平换流器1-2、第三模块化多电平换流器1-3、第四模块化多电平换流器1-4，与其对应设置有四个高/中压直流母线，分别是第一高/中压直流母线2-1、第二高/中压直流母线2-2、第三高/中压直流母线2-3、第四高/中压直流母线2-4。

[0017] 四个模块化多电平换流器的直流侧分别通过直流断路器8与对应的高/中压直流母线连接形成串、并联环路，例如，第一模块化多电平换流器1-1的直流侧通过两个直流断路器8分别与第一高/中压直流母线2-1和第二高/中压直流母线2-2连接，第二模块化多电平换流器1-2的直流侧通过两个直流断路器8分别与第一高/中压直流母线2-1和第四高/中压直流母线2-4连接，第三模块化多电平换流器1-3的直流侧通过两个直流断路器8分别与第二高/中压直流母线2-2和第三高/中压直流母线2-3连接，第四模块化多电平换流器1-4的直流侧通过两个直流断路器8分别与第三高/中压直流母线2-3和第四高/中压直流母线2-4连接。

[0018] 四个模块化多电平换流器的交流侧分别通过交流变压器5、启动回路6、交流断路器7与交流母线3连接。

[0019] 其中高/中压直流母线还可通过直流断路器与接地极连接，例如本实施例中相对设置的第二高/中压直流母线2-2和第四高/中压直流母线2-4分别通过直流断路器9与接地极10连接。

[0020] 本实施例还设置有电网换相换流器(LCC)12，所述电网换相换流器(LCC)12的交流侧通过交流断路器7与交流母线3连接，直流侧通过直流断路器11与第二高/中压直流母线2-2连接。LCC12的作用是模拟常规直流的整流侧或逆变侧，通过控制保护策略的改变，可以用来研究常规直流送端或受端的交直流交互影响。

[0021] 本实施例还设置有整流器(AC/DC)13，其输入输出侧分别通过断路器与交流母线3和低压直流母线4连接。整流器13主要是用于为低压直流母线4提供一路直流电源，当低压直流母线4仅由第三高/中压直流母线2-3通过直流变压器(DC/DC)15或整流器(AC/DC)13供电时，此时模拟为辐射式直流配电系统。当低压直流母线4由第三高/中压直流母线2-3通过直流变压器(DC/DC)15和整流器(AC/DC)13同时供电时，此时模拟为端对端直流配电系统。

[0022] 本实施例还设置有双向变流器(DC/AC)14，其通过整流器对输入电源进行AC/DC变换给电池充电，电池放电时通过整流器进行DC/AC变换给电网提供能量，其直流侧通过断路器与高/中压直流母线和低压直流母线4连接，交流侧与直流电源和负载16连接。双向变流器(DC/AC)14的作用(1)是用于为交流负荷供电，(2)是作为交流电源接口，(3)是与新加的逆变器DC/AC配合，模拟端对端直流配电系统，根据实际需要进行控制保护策略选择。

[0023] 本实施例还设置有直流变压器(DC/DC)15，直流变压器(DC/DC)15设置在高/中压直流母线和低压直流母线4之间，或者高/中压直流母线与交直流电源和负载16之间，直流变压器(DC/DC)15与高/中压直流母线和低压直流母线4之间通过直流断路器连接。直流变压器(DC/DC)15的作用是作为直流电源接口，或者为直流负荷供电。

[0024] 交直流电源和负载16这里是举例说明，代表光伏直流电源、蓄电池负载、一般交流负载或者电源等等，不是指特定的组件，只是一种示意。

[0025] 本发明实施例通过断路器的开通、关断设置，结合接地极，可将系统配置为适用于基于MMC的对称单极柔性直流输电端对端工程、基于MMC的对称双极柔性直流输电端对端工程、基于LCC的常规直流输电端对端工程的动态模拟实验系统。例如，四个MMC中任意相邻的

两个MMC，可以模拟单极对称柔性直流输电系统结构；四个MMC一起，加上接地极，可以模拟双极对称柔性直流输电系统结构；单个MMC，可以模拟柔性直流输电系统的SVG(无功补偿发生器)功能。

[0026] 具体的，利用1-1、1-2、2-1、8、5、6、7、3，可以模拟单极对称的柔性直流输电系统结构(其他类似配置也可，比如1-1和1-3，或1-2和1-4，或1-3和1-4)；利用1-1～1-4、2-1～2-4、8、5、6、7、3、9、10，可以模拟双极对称的柔性直流输电系统结构；利用1-1或1-2或1-3或1-4、5、6、7、3，可以模拟柔性直流输电系统的SVG(无功补偿发生器)功能。如果需要，另外扩展两、四个等偶数个MMC，与现有1-1～1-4配合，可以模拟柔性直流输电三端、四端等多端环网系统结构，根据实际需要扩展。

[0027] 将系统配置为适用于基于MMC的对称双极柔性直流输电端对端工程的动态模拟实验系统后，通过扩展断路器、变压器、启动回路、接地极、模块化多电平换流器(MMC)，可构建适用于基于MMC的对称双极柔性直流输电多端环网工程的动态模拟实验系统。

[0028] 本发明实施例的拓扑结具有如下特点：

[0029] 1、在直流输电部分，选择与目前我国实际工程相同的换流器拓扑结构：柔性直流输电——模块化多电平(MMC)、常规直流输电——桥式二电平(LCC)；

[0030] 2、在柔性直流输电方面，配置四个MMC单元，以及与MMC配套的启动回路6和交流变压器5。通过四个MMC单元之间配置的直流断路器8的开通、关断，以及接地极10的投入和退出，可以将四个MMC单元进行组合，使其进入单极对称端对端、双极对称端对端、SVG等不同运行方式；比如：选用两个相邻的MMC，可以模拟单极对称柔性直流输电系统，选用四个MMC和两个接地极，可以模拟双极对称柔性直流输电系统，选用任意一个MMC，可以模拟SVG运行方式。

[0031] 3、在常规直流输电方面，利用直流母线上的接地极10，可以有效模拟常规直流输电工程中的整流侧或逆变侧，可以根据控制保护策略进行选择；

[0032] 4、在直流配电部分，根据我国现行国家标准，设计两级直流母线电压，即高/中压直流母线和低压直流母线。其中高/中压直流母线由MMC单元间的直流线路模拟，可根据实际需求进行电压等级设计；低压直流母线通过高/中压直流母线电压的DC/DC降压(直流变压器15)获得，并通过AC/DC环节(整流器13)与交流母线3相连，形成低压直流母线的双电源结构；

[0033] 5、在低压直流母线上，可根据需要设计DC/DC15、DC/AC14，作为交直流电源及负载16的接口；

[0034] 6、后期如有需要，可以另外设计四个MMC单元对现有结构进行扩展，使该拓扑结构可以进一步模拟柔性直流输电四端环网运行方式。

[0035] 本发明不仅能够全面模拟柔性直流输电工程的各种应用结构，而且可以模拟直流配电网的辐射式和双端式两种结构，辐射式：系统中仅有一条直流母线作为供电电源，当低压直流母线仅由2-3通过15或13供电时，此时模拟为辐射式直流配电系统；双端式：系统中两条直流母线提供有互为备用的两路供电电源，可以提高直流配电系统的供电可靠性。当低压直流母线由2-3通过15和13同时供电时，此时模拟为端对端直流配电系统。

[0036] 以上所述，仅为本发明的具体实施方式，但本发明的保护范围并不局限于此，任何属于本技术领域的技术人员在本发明揭露的技术范围内，可轻易想到的变化或替换，都应

涵盖在本发明的保护范围之内。因此，本发明的保护范围应该以权利要求的保护范围为准。

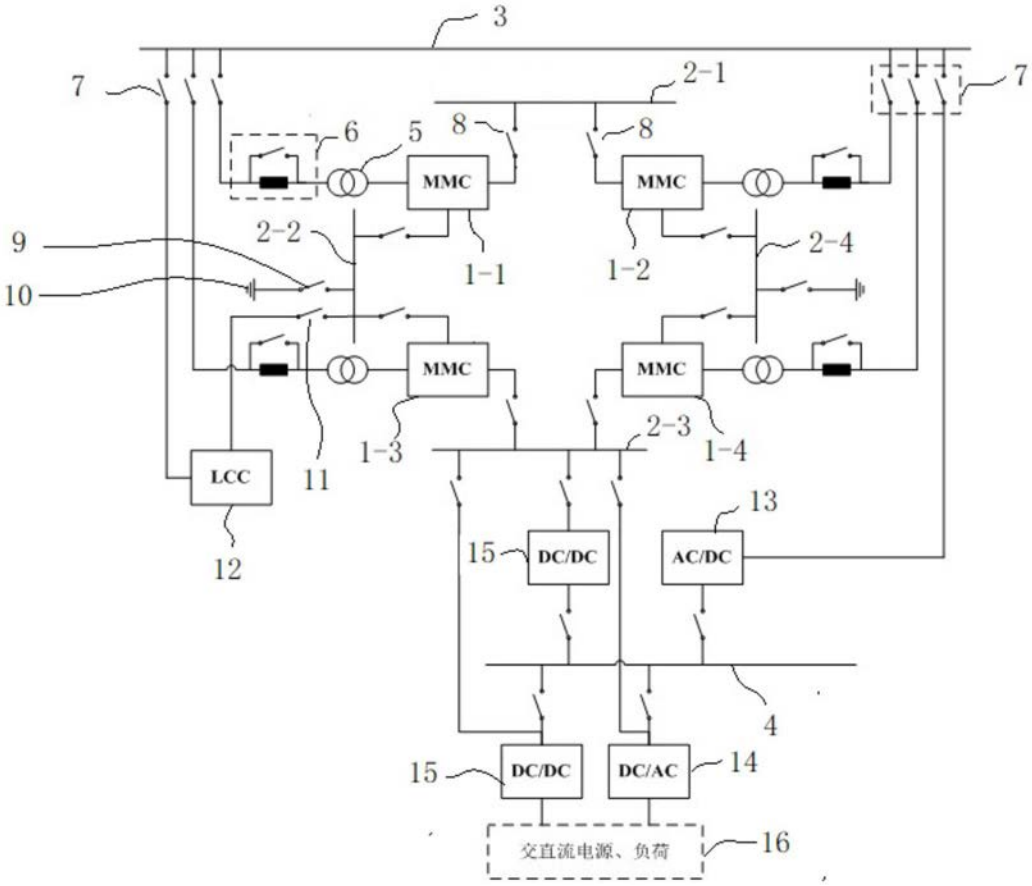

3
7
2-1
7
6
5
8
8
MMC
MMC
9
2-2
2-4
10
1-1
1-2
MMC
MMC
1-3
2-3
1-4
LCC
11
12
13
15
DC/DC
AC/DC
4
15
DC/DC
DC/AC
14
交直流电源、负荷
16

图1