



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110460034 B

(45) 授权公告日 2022. 08. 19

(21) 申请号 201910803653.6

(22) 申请日 2019.08.28

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 110460034 A

(43) 申请公布日 2019.11.15

(73) 专利权人 国网江苏省电力有限公司
地址 210029 江苏省南京市鼓楼区上海路
215号

专利权人 国网江苏省电力有限公司电力科
学研究院
江苏省电力试验研究院有限公司
东南大学

(72) 发明人 肖小龙 杨景刚 贾勇勇 刘洋
陈庆 袁栋 袁宇波 刘瑞煌
杨颢 司鑫尧 苏伟 吴在军

(74) 专利代理机构 北京品源专利代理有限公司
11332

专利代理师 孟金喆

(51) Int.Cl.
H02J 1/00 (2006.01)

(56) 对比文件
CN 109039072 A, 2018.12.18

审查员 宗雪娇

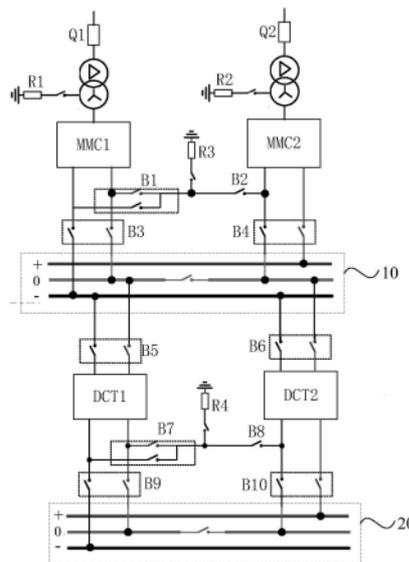
权利要求书2页 说明书8页 附图5页

(54) 发明名称

直流配用电系统及其测试方法

(57) 摘要

本发明实施例公开了一种直流配用电系统及其测试方法,直流配用电系统包括:第一换流器和第二换流器,第一换流器和第二换流器的直流侧端口分别与第一直流母线电性连接;第一换流器的直流侧端口与第二换流器的直流侧端口通过开关电性连接,并能够通过开关电性连接成真双极或伪双极结构形式;第一直流变压器和第二直流变压器,第一直流母线通过第一直流变压器和第二直流变压器电性连接第二直流母线;第一直流变压器与第二直流变压器通过开关电性连接,连接成真双极结构形式。本发明实施例提供的直流配用电系统及其测试方法,能够实现对真伪双极特性的对比分析,并研究直流侧接地对系统的影响,开展直流配网关键装备的性能分析,以及故障时的保护策略。



1. 一种直流配用电系统,其特征在于,所述直流配用电系统包括:

第一换流器和第二换流器,所述第一换流器和所述第二换流器的直流侧端口分别与第一直流母线电性连接;所述第一换流器的直流侧端口与所述第二换流器的直流侧端口通过开关电性连接,并能够通过所述开关电性连接成真双极或伪双极结构形式;

第一直流变压器和第二直流变压器,所述第一直流母线通过所述第一直流变压器和所述第二直流变压器电性连接第二直流母线;所述第一直流变压器与所述第二直流变压器通过开关电性连接,连接成真双极结构形式;

所述直流配用电系统还包括第三换流器;所述第三换流器的直流侧端口通过第一开关与第三直流母线电性连接,所述第三直流母线通过第一隔离开关电性连接所述第一直流母线;

所述直流配用电系统还包括预留测试接口和断路器短路试验电源接口;所述第三换流器的直流侧端口包括正极端口和负极端口;所述第三换流器的正极端口与所述第三直流母线中的正极母线电连接,所述第三换流器的负极端口与所述第三直流母线中的负极母线电连接,所述第三换流器的负极端口还与所述第三直流母线中的零极母线电连接,所述预留测试接口和所述断路器短路试验电源接口均与所述第三直流母线电性连接。

2. 根据权利要求1所述的直流配用电系统,其特征在于,所述第一换流器的直流侧端口与所述第二换流器的直流侧端口通过第二开关和第三开关电性连接;其中,所述第一换流器的直流侧端口包括正极端口和负极端口;所述第一换流器的正极端口与所述第一直流母线中的正极母线电连接,所述第一换流器的负极端口与所述第一直流母线中的负极母线电连接,所述第二换流器的直流侧端口包括正极端口和负极端口;所述第二换流器的正极端口与所述第一直流母线中的正极母线电连接,所述第二换流器的负极端口与所述第一直流母线中的零极母线电连接;所述第二开关的第一端与所述第一换流器的正极端口和负极端口电性连接,所述第二开关的第二端与所述第三开关的第一端电性连接,所述第二开关的第二端还通过第一电阻接地,所述第三开关的第二端与所述第二换流器的负极端口电性连接。

3. 根据权利要求1所述的直流配用电系统,其特征在于,所述第一直流变压器与所述第二直流变压器通过第四开关和第五开关电性连接;其中,所述第一直流变压器的低压侧端口包括低压侧正极端口和低压侧负极端口;所述第一直流变压器的低压侧正极端口与所述第二直流母线中的零极母线电连接,所述第一直流变压器的低压侧负极端口与所述第二直流母线中的负极母线电连接,所述第二直流变压器的低压侧端口包括低压侧正极端口和低压侧负极端口;所述第二直流变压器的低压侧正极端口与所述第二直流母线中的正极母线电连接,所述第二直流变压器的低压侧负极端口与所述第二直流母线中的零极母线电连接;所述第四开关的第一端与所述第一直流变压器的低压侧正极端口电性连接,第四开关的第一端还与所述第一直流变压器的低压侧负极端口电性连接,所述第四开关的第二端与所述第五开关的第一端电性连接,所述第四开关的第二端还通过第二电阻接地,所述第五开关的第二端与所述第二直流变压器的低压侧负极端口电性连接。

4. 根据权利要求1所述的直流配用电系统,其特征在于,所述第一直流变压器的高压侧端口包括高压侧正极端口和高压侧负极端口;所述第一直流变压器的高压侧正极端口与所述第一直流母线中的零极母线电连接,所述第一直流变压器的高压侧负极端口与所述第一

直流母线中的负极母线电连接;所述第二直流变压器的高压侧端口包括高压侧正极端口和高压侧负极端口;所述第二直流变压器的高压侧正极端口与所述第一直流母线中的正极母线电连接,所述第二直流变压器的高压侧负极端口与所述第一直流母线中的零极母线电连接。

5. 根据权利要求1所述的直流配用电系统,其特征在于,所述直流配用电系统还包括第一隔离变压器、第二隔离变压器和第三隔离变压器;所述第一隔离变压器与所述第一换流器的交流侧端口电连接,所述第二隔离变压器与所述第二换流器的交流侧端口电连接,所述第三隔离变压器与所述第三换流器的交流侧端口电连接。

6. 根据权利要求1所述的直流配用电系统,其特征在于,所述第一换流器、所述第二换流器的直流侧端口分别通过第六开关和第七开关与所述第一直流母线电性连接。

7. 根据权利要求1所述的直流配用电系统,其特征在于,所述第一直流变压器和所述第二直流变压器的高压侧端口分别通过第八开关和第九开关与所述第一直流母线电性连接;所述第一直流变压器和所述第二直流变压器的低压侧端口分别通过第十开关和第十一开关与所述第二直流母线电性连接。

8. 根据权利要求1所述的直流配用电系统,其特征在于,所述直流配用电系统还包括直流负荷、光伏储能装置和第一测试接口,所述直流负荷、所述光伏储能装置和所述第一测试接口均与所述第二直流母线电性连接。

9. 根据权利要求1所述的直流配用电系统,其特征在于,所述直流配用电系统还包括第二测试接口和低压直流电源接口;所述第二测试接口和所述低压直流电源接口均与第四直流母线电性连接,所述第四直流母线通过第二隔离开关电性连接所述第二直流母线。

10. 一种直流配用电系统的测试方法,其特征在于,所述测试方法应用于如权利要求1-9任一项所述的直流配用电系统,所述测试方法包括:

将接地故障模拟柜接入所述第一直流母线的不同极线,测试所述直流配用电系统的故障。

11. 根据权利要求10所述的测试方法,其特征在于,所述第一直流母线通过第一隔离开关电性连接第三直流母线,所述第二直流母线通过第二隔离开关电性连接第四直流母线,所述直流配用电系统还包括预留测试接口和第二测试接口;所述预留测试接口与所述第三直流母线电性连接,所述第二测试接口与所述第四直流母线电性连接,所述测试方法还包括:

将被测直流变压器的高压侧端口和低压侧接口分别接入所述预留测试接口和所述第二测试接口;

通过所述第一换流器和所述第二换流器工作在逆变模式,第三换流器工作在整流模式,测试所述被测直流变压器的性能。

直流配用电系统及其测试方法

技术领域

[0001] 本发明实施例涉及供配电技术,尤其涉及一种直流配用电系统及其测试方法。

背景技术

[0002] 随着大功率电力电子器件技术的进步,近年来对中压直流配电技术和交直流混合配电技术的探索和实践越来越多,采用中压直流配电有利于提升配电容量和传输距离,节约通道资源。

[0003] 目前,现有的中低压直流配用电系统,对于中压直流和低压直流相结合的配电模式还不清晰,对直流配用电系统的测试工作以及故障时的保护策略有待改善。

发明内容

[0004] 本发明实施例提供一种直流配用电系统及其测试方法,以实现真伪双极特性的对比分析,并研究直流侧接地对系统的影响,开展直流配网关键装备的性能分析,以及故障时的保护策略。

[0005] 第一方面,本发明实施例提供了一种直流配用电系统,所述直流配用电系统包括:

[0006] 第一换流器和第二换流器,所述第一换流器和所述第二换流器的直流侧端口分别与第一直流母线电性连接;所述第一换流器的直流侧端口与所述第二换流器的直流侧端口通过开关电性连接,并能够通过所述开关电性连接成真双极或伪双极结构形式;

[0007] 第一直流变压器和第二直流变压器,所述第一直流母线通过所述第一直流变压器和所述第二直流变压器电性连接第二直流母线;所述第一直流变压器与所述第二直流变压器通过开关电性连接,连接成真双极结构形式。

[0008] 可选的,所述直流配用电系统还包括第三换流器;所述第三换流器的直流侧端口通过第一开关与第三直流母线电性连接,所述第三直流母线通过第一隔离开关电性连接所述第一直流母线。

[0009] 可选的,所述直流配用电系统还包括预留测试接口和断路器短路试验电源接口;所述第三换流器的直流侧端口包括正极端口和负极端口;所述第三换流器的正极端口与所述第三直流母线中的正极母线电连接,所述第三换流器的负极端口与所述第三直流母线中的负极母线电连接,所述第三换流器的负极端口还与所述第三直流母线中的零极母线电连接,所述预留测试接口和所述断路器短路试验电源接口均与所述第三直流母线电性连接。

[0010] 可选的,所述第一换流器的直流侧端口与所述第二换流器的直流侧端口通过第二开关和第三开关电性连接;其中,所述第一换流器的直流侧端口包括正极端口和负极端口;所述第一换流器的正极端口与所述第一直流母线中的正极母线电连接,所述第一换流器的负极端口与所述第一直流母线中的负极母线电连接,所述第二换流器的直流侧端口包括正极端口和负极端口;所述第二换流器的正极端口与所述第一直流母线中的正极母线电连接,所述第二换流器的负极端口与所述第一直流母线中的零极母线电连接;所述第二开关的第一端与所述第一换流器的正极端口和负极端口电性连接,所述第二开关的第二端与所

述第三开关的第一端电性连接,所述第二开关的第二端还通过第一电阻接地,所述第三开关的第二端与所述第二换流器的负极端口电性连接。

[0011] 可选的,所述第一直流变压器与所述第二直流变压器通过第四开关和第五开关电性连接;其中,所述第一直流变压器的低压侧端口包括低压侧正极端口和低压侧负极端口;所述第一直流变压器的低压侧正极端口与所述第二直流母线中的零极母线电连接,所述第一直流变压器的低压侧负极端口与所述第二直流母线中的负极母线电连接,所述第二直流变压器的低压侧端口包括低压侧正极端口和低压侧负极端口;所述第二直流变压器的低压侧正极端口与所述第二直流母线中的正极母线电连接,所述第二直流变压器的低压侧负极端口与所述第二直流母线中的零极母线电连接;所述第四开关的第一端与所述第一直流变压器的低压侧正极端口电性连接,第四开关的第一端还与所述第一直流变压器的低压侧负极端口电性连接,所述第四开关的第二端与所述第五开关的第一端电性连接,所述第四开关的第二端还通过第二电阻接地,所述第五开关的第二端与所述第二直流变压器的低压侧负极端口电性连接。

[0012] 可选的,所述第一直流变压器的高压侧端口包括高压侧正极端口和高压侧负极端口;所述第一直流变压器的高压侧正极端口与所述第一直流母线中的零极母线电连接,所述第一直流变压器的高压侧负极端口与所述第一直流母线中的负极母线电连接;所述第二直流变压器的高压侧端口包括高压侧正极端口和高压侧负极端口;所述第二直流变压器的高压侧正极端口与所述第一直流母线中的正极母线电连接,所述第二直流变压器的高压侧负极端口与所述第一直流母线中的零极母线电连接。

[0013] 可选的,所述直流配用电系统还包括第一隔离变压器、第二隔离变压器和第三隔离变压器;所述第一隔离变压器与所述第一换流器的交流侧端口电连接,所述第二隔离变压器与所述第二换流器的交流侧端口电连接,所述第三隔离变压器与所述第三换流器的交流侧端口电连接。

[0014] 可选的,所述第一换流器、所述第二换流器的直流侧端口分别通过第六开关和第七开关与所述第一直流母线电性连接。

[0015] 可选的,所述第一直流变压器和所述第二直流变压器的高压侧端口分别通过第八开关和第九开关与所述第一直流母线电性连接;所述第一直流变压器和所述第二直流变压器的低压侧端口分别通过第十开关和第十一开关与所述第二直流母线电性连接。

[0016] 可选的,所述直流配用电系统还包括直流负荷、光伏储能装置和第一测试接口,所述直流负荷、所述光伏储能装置和所述第一测试接口均与所述第二直流母线电性连接。

[0017] 可选的,所述直流配用电系统还包括第二测试接口和低压直流电源接口;所述第二测试接口和所述低压直流电源接口均与第四直流母线电性连接,所述第四直流母线通过第二隔离开关电性连接所述第二直流母线。

[0018] 第二方面,本发明实施例还提供了一种直流配用电系统的测试方法,所述测试方法应用于本发明任意实施例所述的直流配用电系统,所述测试方法包括:

[0019] 将接地故障模拟柜接入所述第一直流母线的不同极线,测试所述直流配用电系统的故障。

[0020] 可选的,所述第一直流母线通过第一隔离开关电性连接第三直流母线,所述第二直流母线通过第二隔离开关电性连接第四直流母线,所述直流配用电系统还包括预留测试

接口和第二测试接口;所述预留测试接口与所述第三直流母线电性连接,所述第二测试接口与所述第四直流母线电性连接,所述测试方法还包括:

[0021] 将被测直流变压器的高压侧端口和低压侧接口分别接入所述预留测试接口和所述第二测试接口;

[0022] 通过所述第一换流器和所述第二换流器工作在逆变模式,所述第三换流器工作在整流模式,测试所述被测直流变压器的性能。

[0023] 本发明实施例提供了一种直流配用电系统,包括第一换流器、第二换流器、第一直流变压器和第二直流变压器,第一换流器和第二换流器的直流侧端口分别与第一直流母线电性连接,第一换流器的直流侧端口与第二换流器的直流侧端口通过开关电性连接,并能够通过开关电性连接成真双极或伪双极结构形式;第一直流母线通过第一直流变压器和第二直流变压器电性连接第二直流母线,第一直流变压器与第二直流变压器通过开关电性连接,连接成真双极结构形式。第一换流器与第二换流器的电性连接可以实现真伪双极的结构形式灵活变化,开展真伪双极特性对比分析实验;对于真双极系统,可研究直流侧接地对系统的影响,以及故障时的保护策略;对于伪双极系统,可以开展直流侧单极接地故障选线策略研究;第一直流变压器和第二直流变压器连接成真双极结构形式的真双极系统,实现电压在一定范围的调整;换流器可工作在整流或逆变的运行状态,通过改变换流器和直流变压器的控制策略,可以分别模拟中、低压直流电源和负载。

附图说明

[0024] 图1是本发明实施例一提供的一种直流配用电系统的结构示意图;

[0025] 图2是本发明实施例二提供的一种直流配用电系统的结构示意图;

[0026] 图3是本发明实施例二提供的一种中压直流伪双极供电的结构示意图;

[0027] 图4是本发明实施例二提供的一种全桥结构形式的换流器的结构示意图;

[0028] 图5是本发明实施例二提供的一种低压侧供电的结构示意图;

[0029] 图6是本发明实施例二提供的一种中低压联合测试的结构示意图;

[0030] 图7是本发明实施例二提供的一种低压测试试验的结构示意图;

[0031] 图8是本发明实施例三提供的一种直流配用电系统的测试方法的流程图;

[0032] 图9是本发明实施例三提供的另一种直流配用电系统的测试方法的流程图。

具体实施方式

[0033] 下面结合附图和实施例对本发明作进一步的详细说明。可以理解的是,此处所描述的具体实施例仅仅用于解释本发明,而非对本发明的限定。另外还需要说明的是,为了便于描述,附图中仅示出了与本发明相关的部分而非全部结构。

[0034] 实施例一

[0035] 基于现有的中低压直流配用电系统,对于中压直流和低压直流相结合的配电模式还不清晰,对直流配用电系统的测试工作以及故障时的保护策略有待改善,本实施例提供了一种直流配用电系统。示例性地,参考图1,图1是本发明实施例一提供的一种直流配用电系统的结构示意图,本实施例可适用于开展直流配电网的特性研究和对直流配电以及用电装备进行测试等,该直流配用电系统包括:第一换流器MMC1、第二换流器MMC2、第一直流变

压器DCT1和第二直流变压器DCT2;其中,

[0036] 第一换流器MMC1和第二换流器MMC2的直流侧端口分别与第一直流母线10电性连接;第一换流器MMC1的直流侧端口与第二换流器MMC2的直流侧端口通过开关电性连接,并能够通过开关电性连接成真双极或伪双极结构形式;

[0037] 第一直流母线10通过第一直流变压器DCT1和第二直流变压器DCT2电性连接第二直流母线20;第一直流变压器DCT1与第二直流变压器DCT2通过开关电性连接,连接成真双极结构形式。

[0038] 示例性地,第一直流变压器DCT1和第二直流变压器DCT2均可采用DAB (Dual-Active-Bridge, 双有源桥) 的结构形式,即第一直流变压器DCT1和第二直流变压器DCT2的高压侧和低压侧均有电源。第一换流器MMC1和第二换流器MMC2的容量均可以是1MW,第一直流母线10可以是 $\pm 10\text{kV}$ 的中压母线。第一换流器MMC1和第二换流器MMC2均电性连接交流母线和第一直流母线10,可将交流母线的电压变换为直流电压输送到第一直流母线10。当第一换流器MMC1的直流侧端口和第二换流器MMC2的直流侧端口电性连接的开关断开时,第一换流器MMC1和第二换流器MMC2通过接入各自交流侧接地的可变电阻R1和R2构成伪双极结构形式;当第一换流器MMC1的直流侧端口和第二换流器MMC2的直流侧端口电性连接的开关闭合时,第一换流器MMC1和第二换流器MMC2电性连接成真双极结构形式,为第一直流母线10输电。

[0039] 本发明实施例提供的直流配用电系统,第一换流器与第二换流器的电性连接可以实现真伪双极的结构形式灵活变化,开展真伪双极特性对比分析实验;对于真双极系统,可研究直流侧接地对系统的影响,以及故障时的保护策略;对于伪双极系统,可以开展直流侧单极接地故障选线策略研究;第一直流变压器和第二直流变压器连接成真双极结构形式的真双极系统,实现电压在一定范围的调整,能够通过第二直流母线为有不同电压需求的负载供电;换流器可工作在整流或逆变的运行状态,通过改变换流器和直流变压器的控制策略,可以分别模拟中、低压直流电源和负载。

[0040] 实施例二

[0041] 图2是本发明实施例二提供的一种直流配用电系统的结构示意图,在上述技术方案的基础上,可选的,参考图2,直流配用电系统还包括第三换流器LCC;第三换流器LCC的直流侧端口通过第一开关B12与第三直流母线30电性连接,第三直流母线30通过第一隔离开关B11电性连接第一直流母线10。

[0042] 其中,第三直流母线30和第一直流母线10的电压相同,第三换流器LCC可采用调压器和12脉动晶闸管整流桥构成,其电压等级可为 $\pm 10\text{kV}$,容量为8MW,可取单极电压运行行为第三直流母线30输电。

[0043] 可选的,直流配用电系统还包括预留测试接口和断路器短路试验电源接口;第三换流器LCC的直流侧端口包括正极端口和负极端口;第三换流器LCC的正极端口与第三直流母线30中的正极母线电连接,第三换流器LCC的负极端口与第三直流母线30中的负极母线电连接,第三换流器LCC的负极端口还与第三直流母线30中的零极母线电连接,预留测试接口和断路器短路试验电源接口均与第三直流母线30电性连接。

[0044] 具体的,预留测试接口和断路器短路试验电源接口均可与第三直流母线30的不同极线电性连接。直流配用电系统可以通过预留测试接口和断路器短路试验电源接口测试被

测用电装置的性能和断路器短路分断能力,通过闭合第一开关B12,使交流侧的电压通过第三换流器LCC输送到第三直流母线30,以为与第三直流母线30电性连接的各个接口供电。

[0045] 可选的,第一换流器MMC1的直流侧端口与第二换流器MMC2的直流侧端口通过第二开关B1和第三开关B2电性连接;其中,第一换流器MMC1的直流侧端口包括正极端口和负极端口;第一换流器MMC1的正极端口与第一直流母线10中的正极母线电连接,第一换流器MMC1的负极端口与第一直流母线10中的负极母线电连接,第二换流器MMC2的直流侧端口包括正极端口和负极端口;第二换流器MMC2的正极端口与第一直流母线10中的正极母线电连接,第二换流器MMC2的负极端口与第一直流母线10中的零极母线电连接;第二开关B1的第一端与第一换流器MMC1的正极端口和负极端口电性连接,第二开关B1的第二端与第三开关的第一端电性连接,第二开关B1的第二端还通过第一电阻R3接地,第三开关B2的第二端与第二换流器MMC2的负极端口电性连接。

[0046] 具体的,通过闭合第二开关B1和第三开关B2,使第一换流器MMC1与第二换流器MMC2电性连接成真双极的换流装置,第一换流器MMC1与第二换流器MMC2将交流电转换为直流电输送到第一直流母线10,通过闭合第一隔离开关B11,使第三直流母线30与第一直流母线10导通,第三直流母线30与第一直流母线10可均为 $\pm 10\text{kV}$ 的中压母线,即通过闭合B1、B2、B11和B12,由第一换流器MMC1、第二换流器MMC2和第三换流器LCC共同构成中压直流的试验电源,形成真双极的 $\pm 10\text{kV}$ 供电系统。将第一电阻R3接入第一母线10的零极母线时,可以开展直流侧接地电阻选择研究,其中第二开关B1为互锁开关,当第一换流器MMC1单极运行时,可以对比分析直流侧正极或负极接地时对系统造成的影响。图3是本发明实施例二提供的一种中压直流伪双极供电的结构示意图,图3中第一换流器MMC1的直流侧开关断开,闭合其交流侧开关,接入接地的可变电阻R1,在直流侧形成伪双极的 $\pm 5\text{kV}$ 供电系统,同样的可以在第二换流器MMC2的直流侧也形成伪双极的 $\pm 5\text{kV}$ 供电系统。图4是本发明实施例二提供的一种全桥结构形式的换流器的结构示意图,换流器的子模块单元为全桥结构形式,故称为全桥结构形式的MMC换流器;通过开和关全桥结构 SM_1 到 SM_N 中的IGBT,模拟出半桥结构形式的子模块;若一部分子模块为全桥控制方式,一部分子模块为半桥控制方式,则可以实现模拟混合桥的拓扑结构。

[0047] 可选的,第一直流变压器DCT1与第二直流变压器DCT2通过第四开关B7和第五开关B8电性连接;其中,第一直流变压器DCT1的低压侧端口包括低压侧正极端口和低压侧负极端口;第一直流变压器DCT1的低压侧正极端口与第二直流母线20中的零极母线电连接,第一直流变压器DCT1的低压侧负极端口与第二直流母线20中的负极母线电连接,第二直流变压器DCT2的低压侧端口包括低压侧正极端口和低压侧负极端口;第二直流变压器DCT2的低压侧正极端口与第二直流母线20中的正极母线电连接,第二直流变压器DCT2的低压侧负极端口与第二直流母线20中的零极母线电连接;第四开关B7的第一端与第一直流变压器DCT1的低压侧正极端口电性连接,第四开关B7的第一端还与第一直流变压器DCT1的低压侧负极端口电性连接,第四开关B7的第二端与第五开关B8的第一端电性连接,第四开关B7的第二端还通过第二电阻R4接地,第五开关B8的第二端与第二直流变压器DCT2的低压侧负极端口电性连接。

[0048] 具体的,图5是本发明实施例二提供的一种低压侧供电的结构示意图,参考图2和图5,第一直流变压器DCT1与第二直流变压器DCT2的容量可分别为1MW和500kW,第二直流母

线20可为 $\pm 375\text{V}$ 的低压母线,闭合B7和B8,第一直流变压器DCT1和第二直流变压器DCT2电性连接形成低压真双极的供电方案,将第二电阻R4接入第二直流母线20中的零极母线时,可以开展低压侧接地电阻的选择研究等。第一直流变压器DCT1和第二直流变压器DCT2的出口电压调整范围为200V到400V,通过将DCT1或DCT2接入系统,得到电压调整范围为200V到400V,当DCT1和DCT2同时接入系统时,得到电压调整范围为400V到800V,因此可以实现低压侧直流试验电源的电压在200V到800V之间取值。

[0049] 可选的,第一直流变压器DCT1的高压侧端口包括高压侧正极端口和高压侧负极端口;第一直流变压器DCT1的高压侧正极端口与第一直流母线10中的零极母线电连接,第一直流变压器DCT1的高压侧负极端口与第一直流母线10中的负极母线电连接;第二直流变压器DCT2的高压侧端口包括高压侧正极端口和高压侧负极端口;第二直流变压器DCT2的高压侧正极端口与第一直流母线10中的正极母线电连接,第二直流变压器DCT2的高压侧负极端口与第一直流母线10中的零极母线电连接。

[0050] 具体的,第一直流变压器DCT1和第二直流变压器DCT2电连接第一直流母线10和第二直流母线20,将第一直流母线10的中压直流电变换为低压直流电输送到第二直流母线20,并可在第一直流变压器DCT1和第二直流变压器DCT2的低压侧形成低压真双极的供电方案,第一直流变压器DCT1和第二直流变压器DCT2的出口电压调整范围为200V到400V,通过将DCT1或DCT2接入系统,得到电压调整范围为200V到400V,当DCT1和DCT2同时接入系统时,得到电压调整范围为400V到800V,因此可以实现低压侧直流试验电源的电压在200V到800V之间取值,即实现第二直流母线20的电压在一定范围内进行调整。

[0051] 可选的,直流配用电系统还包括第一隔离变压器Q1、第二隔离变压器Q2和第三隔离变压器Q3;第一隔离变压器Q1与第一换流器MMC1的交流侧端口电连接,第二隔离变压器Q2与第二换流器MMC2的交流侧端口电连接,第三隔离变压器Q3与第三换流器LCC的交流侧端口电连接。

[0052] 具体的,第一换流器MMC1、第二换流器MMC2和第三换流器LCC分别通过第一隔离变压器Q1、第二隔离变压器Q2和第三隔离变压器Q3与交流侧连接,隔离变压器可采用 Δ/Y 结构形式,并在Y侧通过快速开关接入接地的可变电阻,如Q1的Y侧和Q2的Y侧分别接入接地的可变电阻R1和R2。隔离变压器的一次侧与二次侧的电气完全绝缘,也使一次侧与二次侧所在的回路隔离,并且隔离变压器中的铁芯的高频损耗大,从而抑制高频杂波传入回路,并且能够隔离危险电压保护人身安全。

[0053] 可选的,第一换流器MMC1、第二换流器MMC2的直流侧端口分别通过第六开关B3和第七开关B4与第一直流母线10电性连接。

[0054] 具体的,第六开关B3和第七开关B4可为断路器,通过闭合第六开关B3和第七开关B4,使第一换流器MMC1和第二换流器MMC2与第一直流母线10之间的线路导通,并且在第六开关B3和第七开关B4所在线路发生过载或者短路及欠压等故障时能自动切断电路,防止故障的发生。

[0055] 可选的,第一直流变压器DCT1和第二直流变压器DCT2的高压侧端口分别通过第八开关B5和第九开关B6与第一直流母线10电性连接;第一直流变压器DCT1和第二直流变压器DCT2的低压侧端口分别通过第十开关B9和第十一开关B10与第二直流母线20电性连接。

[0056] 具体的,第八开关B5和第九开关B6可为负荷开关,通过闭合第八开关B5和第九开

关B6,使第一直流变压器DCT1和第二直流变压器DCT2与第一直流母线10之间的线路导通,第八开关B5和第九开关B6可用于线路的过载与短路保护,起到保护线路的作用。

[0057] 可选的,直流配用电系统还包括直流负荷、光伏储能装置和第一测试接口,直流负荷、光伏储能装置和第一测试接口均与第二直流母线20电性连接。

[0058] 具体的,第二直流母线20可为直流负荷和光伏储能装置供电,第一测试接口可电连接测试设备,通过第二直流母线20为第一测试接口电连接的测试设备供电,通过第一测试接口实现对测试设备的特性的测试。

[0059] 可选的,直流配用电系统还包括第二测试接口和低压直流电源接口;第二测试接口和低压直流电源接口均与第四直流母线40电性连接,第四直流母线40通过第二隔离开关B12电性连接第二直流母线20。

[0060] 具体的,图6是本发明实施例二提供的一种中低压联合测试的结构示意图,参考图2和图6,预留测试接口和第二测试接口电连接测试装备如直流变压器,其中中压侧主电源为LCC换流器,采取不控整流的方式,低压侧主电源为MMC换流器或直流变压器DCT,采取逆变运行模式,测试直流变压器的性能。图7是本发明实施例二提供的一种低压测试试验的结构示意图,分别在第一测试接口和第二测试接口处接入需要测试的测试装备如低压直流用电电气、直流开关和直流漏保等,测试时DCT1和DCT2中的一个模拟直流电源,另一个模拟功率负载,实现对低压直流设备的测试工作。

[0061] 本发明实施例提供了一种直流配用电系统,第一换流器与第二换流器的电性连接可以实现真伪双极的结构形式灵活变化,开展真伪双极特性对比分析实验;对于真双极系统,可研究直流侧接地对系统的影响,以及故障时的保护策略;对于伪双极系统,可以开展直流侧单极接地故障选线策略研究;第一直流变压器和第二直流变压器连接成真双极结构形式的真双极系统,实现电压在一定范围的调整;换流器可工作在整流或逆变的运行状态,通过改变换流器和直流变压器的控制策略,可以分别模拟中、低压直流电源和负载;直流母线上分别预留相应的测试接口,可开展直流变压器和换流器的全功率试验。

[0062] 实施例三

[0063] 本实施例还提供了一种直流配用电系统的测试方法,图8是本发明实施例三提供的一种直流配用电系统的测试方法的流程图,该测试方法应用于本发明任意实施例所述的直流配用电系统,具体包括如下步骤:

[0064] 步骤110、将接地故障模拟柜接入第一直流母线的不同极线,测试直流配用电系统的故障。

[0065] 其中,接地故障模拟柜可接入第一直流母线的正极母线或负极母线或零极母线,分别在第一直流母线的正极接地、负极接地和零极接地时,测试直流配用电系统的故障特征。

[0066] 图9是本发明实施例三提供的另一种直流配用电系统的测试方法的流程图,该测试方法应用于本发明任意实施例所述的直流配用电系统,第一直流母线通过第一隔离开关电性连接第三直流母线,第二直流母线通过第二隔离开关电性连接第四直流母线,直流配用电系统还包括预留测试接口和第二测试接口;预留测试接口与第三直流母线电性连接,第二测试接口与第四直流母线电性连接,具体包括如下步骤:

[0067] 步骤210、将被测直流变压器的高压侧端口和低压侧接口分别接入预留测试接口

和第二测试接口。

[0068] 其中,被测直流变压器接入系统,通过与预留测试接口电性连接的第三直流母线以及与第二测试接口电性连接的第四直流母线为被测直流变压器供电。

[0069] 步骤220、通过第一换流器和第二换流器工作在逆变模式,第三换流器工作在整流模式,测试被测直流变压器的性能。

[0070] 具体的,通过闭合第一隔离开关,第三直流母线与第一直流母线之间的线路导通,第三换流器将交流电变换为直流电通过第三直流母线为被测直流变压器供电,第一换流器和第二换流器通过第一直流母线将直流电变换为交流电送回交流侧,在预留测试接口和第二测试接口处可全功率测试被测直流变压器的性能。

[0071] 本实施例所提供的直流配用电系统的测试方法,应用于本发明任意实施例所述的直流配用电系统,具有与直流配用电系统相应的有益效果,通过直流母线上预留的多个测试接口,可开展直流变压器和换流器的全功率试验以及测试直流配用电系统的故障。

[0072] 注意,上述仅为本发明的较佳实施例及所运用技术原理。本领域技术人员会理解,本发明不限于这里所述的特定实施例,对本领域技术人员来说能够进行各种明显的变化、重新调整和替代而不会脱离本发明的保护范围。因此,虽然通过以上实施例对本发明进行了较为详细的说明,但是本发明不仅仅限于以上实施例,在不脱离本发明构思的情况下,还可以包括更多其他等效实施例,而本发明的范围由所附的权利要求范围决定。

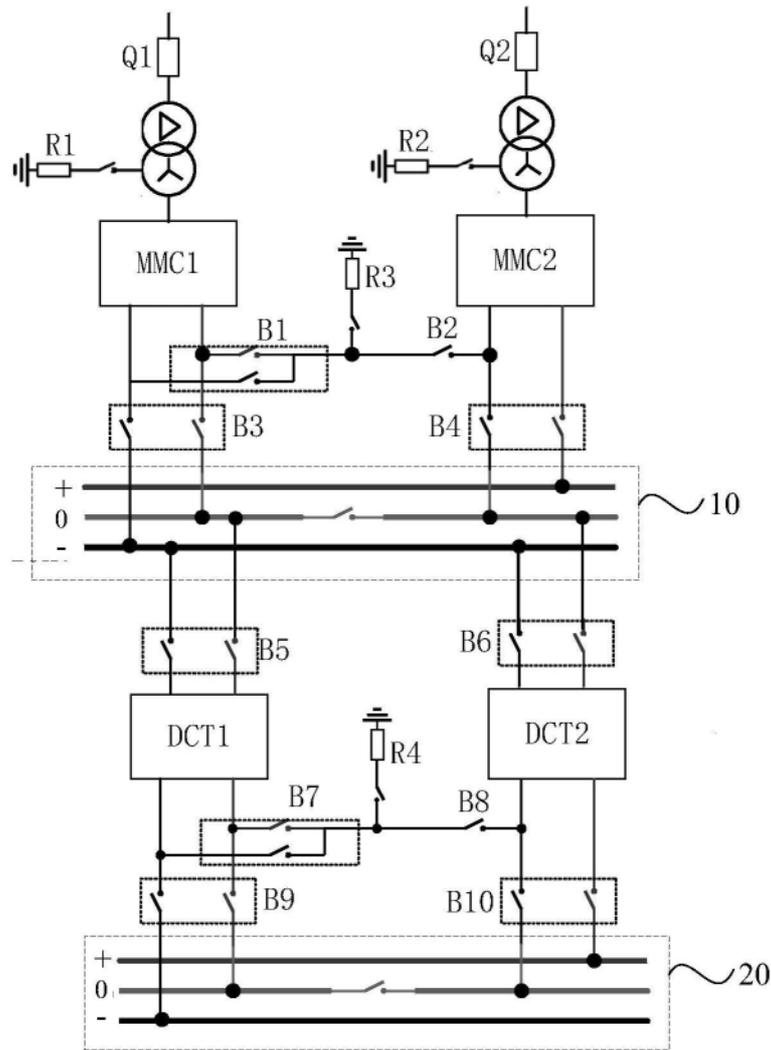


图1

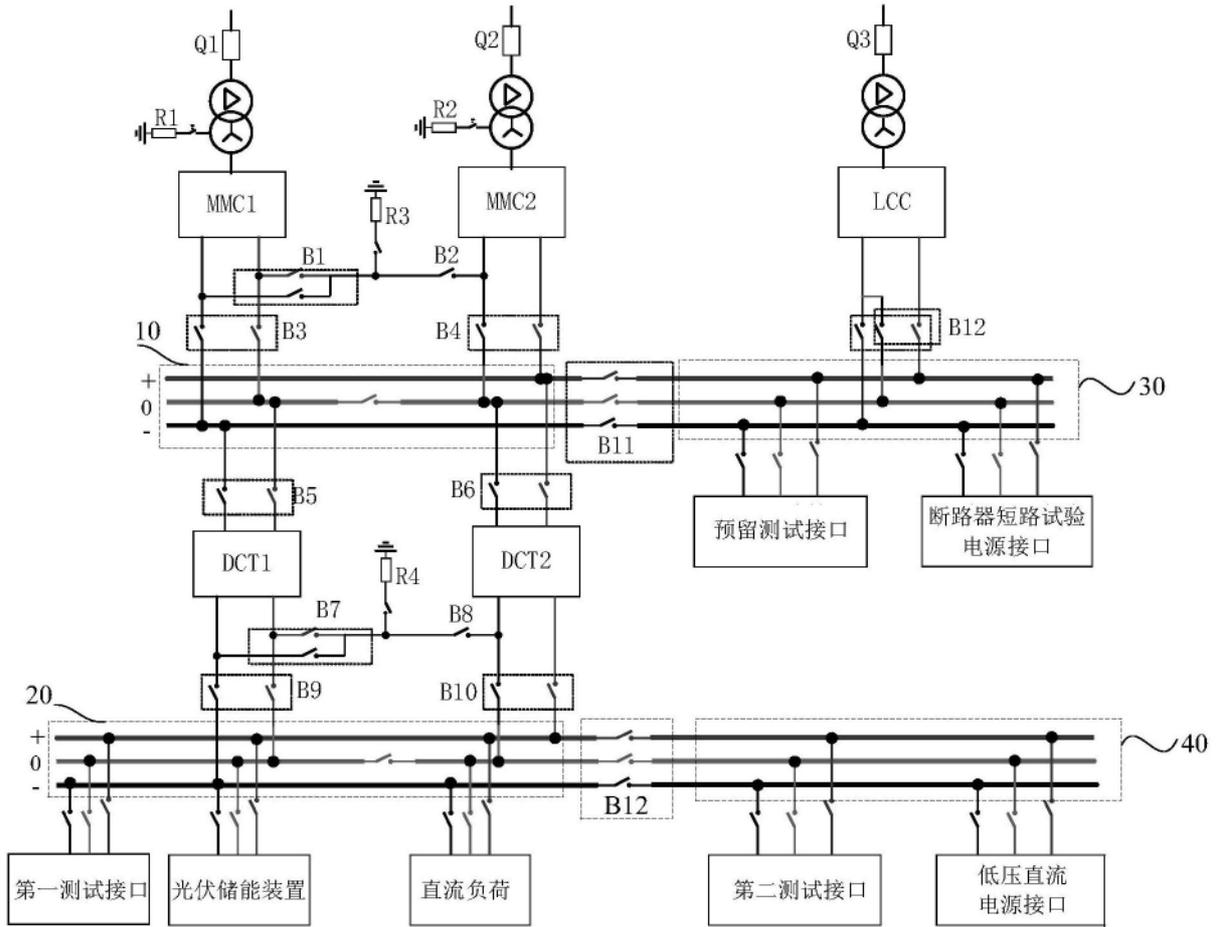


图2

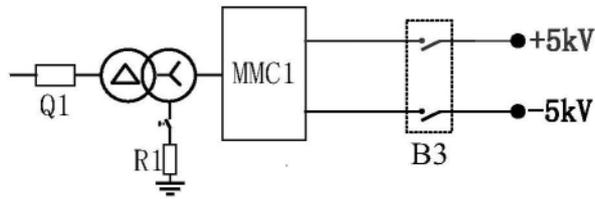


图3

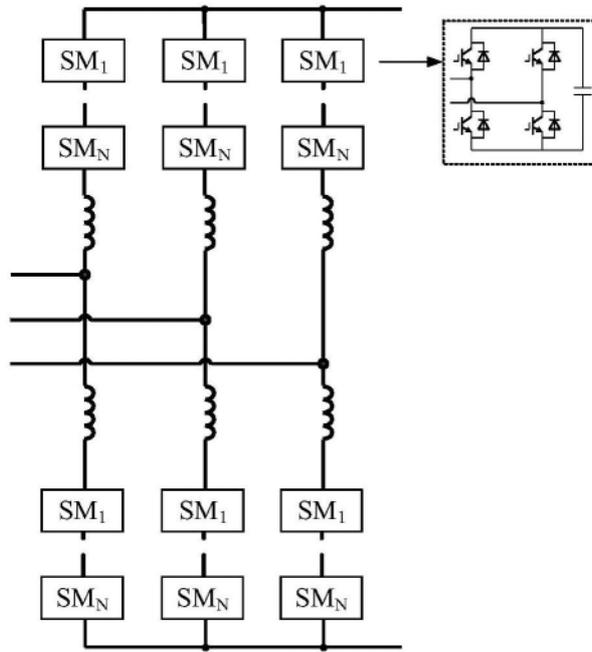


图4

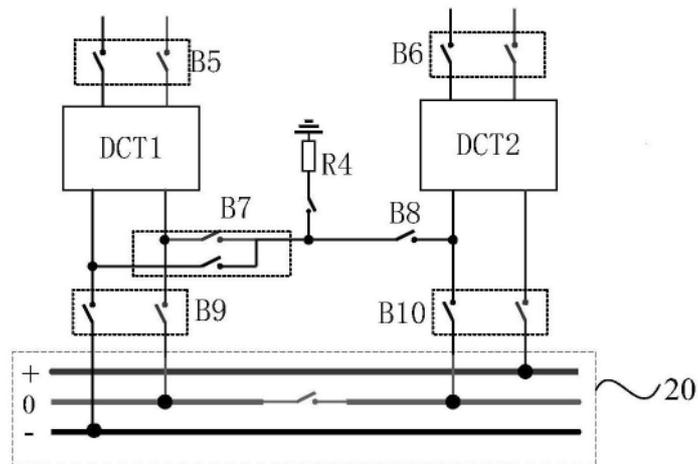


图5



图6

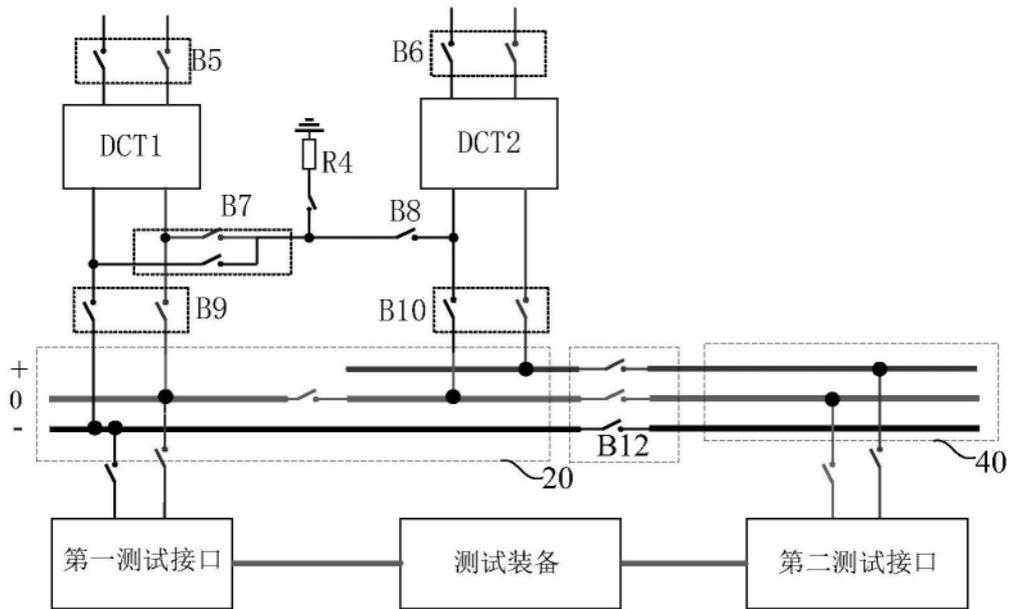


图7

将接地故障模拟柜接入第一直流母线的不同极线，测试直流配用电系统的故障 S110

图8

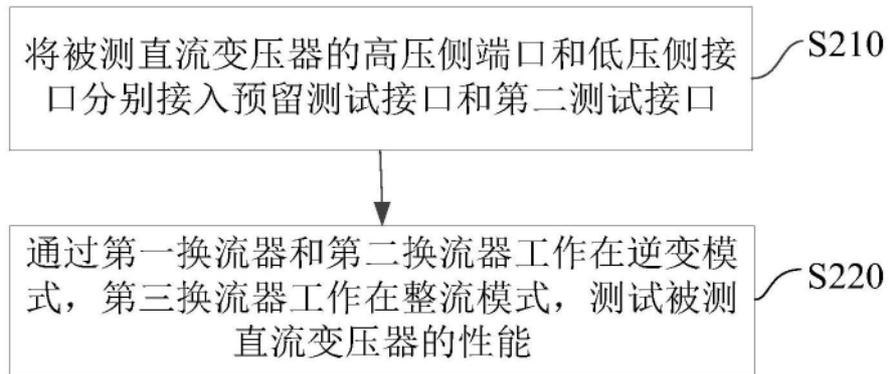


图9