(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)实用新型专利

(10)授权公告号 CN 204391761 U
(45)授权公告日 2015.06.10

(21)申请号 201420762733.4

(22)申请日 2014.12.08

(73)专利权人 深圳供电局有限公司
地址 518000 广东省深圳市罗湖区深南东路4020号电力调度通信大楼
专利权人 清华大学
北京四方继保自动化股份有限公司
浙江大学

(72)发明人 赵宇明 赵彪 宋强 袁志昌 司喆 徐习东 刘国伟 江全元 姚森敬 胡子珩 时伯年

(74)专利代理机构 深圳汇智容达专利商标事务所(普通合伙) 44238
代理人 潘中毅 熊贤卿

(51)Int.Cl.
H02J 3/36(2006.01)
H02J 1/00(2006.01)

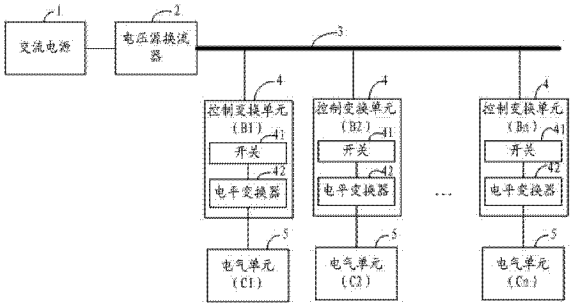
权利要求书2页 说明书8页 附图4页

(54)实用新型名称

一种柔性中压直流配电系统

(57)摘要

本实用新型提供一种柔性中压直流配电系统，包括至少一交流电源；至少一电压源换流器，其交流侧均与一交流电源相连；中压直流母线；多个控制变换单元，其输入端均通过中压直流母线与电压源换流器的直流侧相连，包括开关和电平变换器；开关两端分别与中压直流母线及电平变换器的输入端相连；电平变换器为双向DC/AC变换器、单向DC/AC变换器、双向DC/DC变换器、单向DC/DC变换器之其中任一；以及多个电气单元，其均与对应的电平变换器的输出端相连。实施本实用新型实施例，采用中压直流母线，为直流或交流微电网提供并网接口，且提高了直流或交流微电网运行的可靠性，并满足交流微电网的谐波治理、无功补偿和功率双向流动的需求。



CN 204391761 U

1. 一种柔性中压直流配电系统，其特征在于，所述系统包括：

至少一交流电源 (1)；

至少一电压源换流器 (2)，每一电压源换流器 (2) 的交流侧均与对应的一交流电源 (1) 相连；

一中压直流母线 (3)；

多个控制变换单元 (4)，每一控制变换单元 (4) 的输入端均通过所述中压直流母线 (3) 与所述每一电压源换流器 (2) 的直流侧相连，其包括开关 (41) 和电平变换器 (42)；其中，所述开关 (41) 的一端与所述中压直流母线 (3) 相连，另一端与所述电平变换器 (42) 的输入端相连；所述电平变换器 (42) 为双向 DC/AC 变换器、单向 DC/AC 变换器、双向 DC/DC 变换器、单向 DC/DC 变换器之其中任一；以及

多个电气单元 (5)，每一电气单元 (5) 均与对应的一控制变换单元 (4) 中的电平变换器 (42) 的输出端相连。

2. 如权利要求 1 所述的柔性中压直流配电系统，其特征在于，当所述电平变换器 (42) 为所述双向 DC/AC 变换器时，所述电气单元 (5) 为双向交流负荷，则所述双向 DC/AC 变换器的直流侧与其在同一控制变换单元 (4) 内的开关 (41) 相连，交流侧与所述双向交流负荷相连。

3. 如权利要求 2 所述的柔性中压直流配电系统，其特征在于，所述双向交流负荷为独立的交流负载、独立的交流电源、第一交流微电网之其中任一；其中，所述第一交流微电网为由分布式电源、储能和负载形成的具有功率反送能力的交流微电网。

4. 如权利要求 1 所述的柔性中压直流配电系统，其特征在于，当所述电平变换器 (42) 为所述单向 DC/AC 变换器时，所述电气单元 (5) 为单向交流负荷，则所述单向 DC/AC 变换器的直流侧与其在同一控制变换单元 (4) 内的开关 (41) 相连，交流侧与所述单向交流负荷相连。

5. 如权利要求 4 所述的柔性中压直流配电系统，其特征在于，所述单向交流负荷为独立的交流负载、第二交流微电网之其中任一；其中，所述第二交流微电网为由分布式电源、储能和负载形成的没有功率反送能力的交流微电网。

6. 如权利要求 1 所述的柔性中压直流配电系统，其特征在于，当所述电平变换器 (42) 为所述双向 DC/DC 变换器时，所述电气单元 (5) 为双向直流负荷，则所述双向 DC/DC 变换器的高压直流侧与其在同一控制变换单元 (4) 内的开关 (41) 相连，低压直流侧与所述双向直流负荷相连。

7. 如权利要求 6 所述的柔性中压直流配电系统，其特征在于，所述双向直流负荷为独立的直流负载、独立的直流电源、第一直流微电网之其中任一；其中，所述第一直流微电网为由分布式电源、储能和负载形成的具有功率反送能力的直流微电网。

8. 如权利要求 6 所述的柔性中压直流配电系统，其特征在于，所述双向 DC/DC 变换器包括多个相同的 DAB 子模块，且每一 DAB 子模块均包括第一全桥变压器、第二全桥变压器、第一直流滤波电容 (C1)、第二直流滤波电容 (C2) 及高频隔离变压器 (T)；其中，

所述第一全桥变压器包括第一开关 (S11)、第二开关 (S12)、第三开关 (S13)、第四开关 (S14)、第一二极管 (D11)、第二二极管 (D12)、第三二极管 (D13)、第四二极管 (D14)；其中，所述第一开关 (S11) 与所述第一二极管 (D11) 反向相并联形成第一支路，所述第二开关

(S12) 与所述第二二极管 (D12) 反向相并联形成第二支路，所述第三开关 (S13) 与所述第三二极管 (D13) 反向相并联形成第三支路，所述第四开关 (S14) 与所述第四二极管 (D14) 反向相并联形成第四支路；将所述第一支路与所述第二支路串联成第一回路，所述第三支路与所述第四支路串联成第二回路后，并将所述第一回路、第二回路及第一直流滤波电容 (C1) 相并联，且设置所述第一直流滤波电容 (C1) 的正极与所述第一二极管 (D11) 及第三二极管 (D13) 的负极相连，负极与所述第二二极管 (D12) 及第四二极管 (D14) 的正极相连；设置所述第一二极管 (D11) 的正极与所述高频隔离变压器 (T) 的初级线圈的一端相连，第三二极管 (D13) 的正极与所述高频隔离变压器 (T) 的初级线圈的另一端相连；

所述第二全桥变压器包括第五开关 (Q11)、第六开关 (Q12)、第七开关 (Q13)、第八开关 (Q14)、第五二极管 (D15)、第六二极管 (D16)、第七二极管 (D17)、第八二极管 (D18)；其中，所述第五开关 (Q11) 与所述第五二极管 (D15) 反向相并联形成第五支路，所述第六开关 (Q12) 与所述第六二极管 (D16) 反向相并联形成第六支路，第七开关 (Q13) 与所述第七二极管 (D17) 反向相并联形成第七支路，所述第八开关 (Q14) 与所述第八二极管 (D18) 反向相并联形成第八支路；将所述第五支路与所述第六支路串联成第三回路，所述第七支路与所述第八支路串联成第四回路后，并将所述第三回路、第四回路及第二直流滤波电容 (C2) 相并联，且设置所述第二直流滤波电容 (C2) 的正极与所述第五二极管 (D15) 及第七二极管 (D17) 的负极相连，负极与所述第六二极管 (D16) 及第八二极管 (D18) 的正极相连；设置所述第五二极管 (D15) 的正极与所述高频隔离变压器 (T) 的次级线圈的一端相连，第七二极管 (D17) 的正极与所述高频隔离变压器 (T) 的次级线圈的另一端相连。

9. 如权利要求 1 所述的柔性中压直流配电系统，其特征在于，当所述电平变换器 (42) 为所述单向 DC/DC 变换器时，所述电气单元 (5) 为单向直流负荷，则所述单向 DC/DC 变换器的高压直流侧与其在同一控制变换单元 (4) 内的开关 (41) 相连，低压直流侧与所述单向直流负荷相连。

10. 如权利要求 9 所述的柔性中压直流配电系统，其特征在于，所述单向直流负荷为独立的直流负载、第二直流微电网之其中任一；其中，所述第二直流微电网为由分布式电源、储能和负载形成的没有功率反送能力的直流微电网。

11. 如权利要求 1 所述的柔性中压直流配电系统，其特征在于，所述电压源换流器 (2) 包括多个相同的桥臂，且每一桥臂均包括相互连接的上桥臂和下桥臂，所述上桥臂及所述下桥臂均由一桥臂电抗 (Lc) 和多个子模块 (SM) 串联形成；其中，所述每一桥臂均相并联连接后形成为所述电压源换流器 (2) 的直流侧，所述每一桥臂的上桥臂与下桥臂之间的汇接点相串联连接后形成为所述电压源换流器 (2) 的交流侧。

12. 如权利要求 11 所述的柔性中压直流配电系统，其特征在于，每一子模块 (SM) 均包括第九开关 (S1)、第十开关 (S2)、第九二极管 (D1)、第十二极管 (D2) 及第三直流电容 (C3)；其中，所述第九开关 (S1) 与所述第九二极管 (D1) 反向相并联形成第九支路，所述第十开关 (S2) 与所述第十二极管 (D2) 反向相并联形成第十支路，将所述第九支路、第十支路及第三直流电容 (C3) 相串联成回路，且设置所述第三直流电容 (C3) 的正极与所述第九二极管 (D1) 的负极相连，负极与所述第十二极管 (D2) 的正极相连。

一种柔性中压直流配电系统

技术领域

[0001] 本实用新型涉及电力系统直流输配电技术领域，尤其涉及一种柔性中压直流配电系统。

背景技术

[0002] 相比传统的配电系统，现代配电系统也发生着很多的变化，并得到广泛的应用，如越来越多的分布式电源的接入，越来越多的直流负荷的出现等等。在上述应用中，相对应交流配电，直流配电则不存在相位和频率的同步问题，使分布式电源接入时的控制变得简单，也使不同配电系统之间的联网变得容易，供电可靠性增强。另外，直流负荷接入直流配网时也可以省略变换环节，减小损耗和节约成本。因此，随着现代配电系统的发展，进一步增强了直流配电的应用需求。

[0003] 最近一些年，一些国家也逐渐开展了直流配电的研究，提出了各自的发展思路。如美国弗吉尼亚理工大学提出的分层的交直流混合配电结构，在这个结构中，交流配电网和直流配电网是同时存在的，配电系统根据电压等级从低到高依次分为皮网、纳网、微网、子网等，而直流环节主要存在于纳网和子网层面。又如美国北卡大学也提出了 FREEDM 结构，在该结构中，提出直流母线来汇聚分布式单元，并通过能量路由器接入更高电压等级配电系统，FREEDM 结构也是现在具有代表性结构，其类比信息互联网，首次提出了能量互联网和能量路由器的概念。

[0004] 但总的来说，目前各国对直流配电网的研究都还处于试验探索阶段，研究重点集中在以直流微电网为核心的低压直流配电方面，而配电母线则默认为 6kV 以上的交流配电母线，然而对于配电母线是直流时的配电系统结构，则研究较少。

实用新型内容

[0005] 本实用新型实施例所要解决的技术问题在于，提供一种柔性中压直流配电系统，采用中压直流母线，为直流或交流微电网提供并网接口，且提高了直流或交流微电网运行的可靠性，并满足交流微电网的谐波治理、无功补偿和功率双向流动的需求。

[0006] 为了解决上述技术问题，本实用新型实施例提供了一种柔性中压直流配电系统，所述系统包括：

[0007] 至少一交流电源；

[0008] 至少一电压源换流器，每一电压源换流器的交流侧均与对应的一交流电源相连；

[0009] 一中压直流母线；

[0010] 多个控制变换单元，每一控制变换单元的输入端均通过所述中压直流母线与所述每一电压源换流器的直流侧相连，其包括开关和电平变换器；其中，所述开关的一端与所述中压直流母线相连，另一端与所述电平变换器的输入端相连；所述电平变换器为双向 DC/AC 变换器、单向 DC/AC 变换器、双向 DC/DC 变换器、单向 DC/DC 变换器之其中任一；以及

[0011] 多个电气单元，每一电气单元均与对应的一控制变换单元中的电平变换器的输出

端相连。

[0012] 其中，当所述电平变换器为所述双向 DC/AC 变换器时，所述电气单元为双向交流负荷，则所述双向 DC/AC 变换器的直流侧与其在同一控制变换单元内的开关相连，交流侧与所述双向交流负荷相连。

[0013] 其中，所述双向交流负荷为独立的交流负载、独立的交流电源、第一交流微电网之其中任一；其中，所述第一交流微电网为由分布式电源、储能和负载形成的具有功率反送能力的交流微电网。

[0014] 其中，当所述电平变换器为所述单向 DC/AC 变换器时，所述电气单元为单向交流负荷，则所述单向 DC/AC 变换器的直流侧与其在同一控制变换单元内的开关相连，交流侧与所述单向交流负荷相连。

[0015] 其中，所述单向交流负荷为独立的交流负载、第二交流微电网之其中任一；其中，所述第二交流微电网为由分布式电源、储能和负载形成的没有功率反送能力的交流微电网。

[0016] 其中，当所述电平变换器为所述双向 DC/DC 变换器时，所述电气单元为双向直流负荷，则所述双向 DC/DC 变换器的高压直流侧与其在同一控制变换单元内的开关相连，低压直流侧与所述双向直流负荷相连。

[0017] 其中，所述双向直流负荷为独立的直流负载、独立的直流电源、第一直流微电网之其中任一；其中，所述第一直流微电网为由分布式电源、储能和负载形成的具有功率反送能力的直流微电网。

[0018] 其中，所述双向 DC/DC 变换器包括多个相同的 DAB 子模块，且每一 DAB 子模块均包括第一全桥变压器、第二全桥变压器、第一直流滤波电容、第二直流滤波电容及高频隔离变压器；其中，

[0019] 所述第一全桥变压器包括第一开关、第二开关、第三开关、第四开关、第一二极管、第二二极管、第三二极管、第四二极管；其中，所述第一开关与所述第一二极管反向相并联形成第一支路，所述第二开关与所述第二二极管反向相并联形成第二支路，所述第三开关与所述第三二极管反向相并联形成第三支路，所述第四开关与所述第四二极管反向相并联形成第四支路；将所述第一支路与所述第二支路串联成第一回路，所述第三支路与所述第四支路串联成第二回路后，并将所述第一回路、第二回路及第一直流滤波电容相并联，且设置所述第一直流滤波电容的正极与所述第一二极管及第三二极管的负极相连，负极与所述第二二极管及第四二极管的正极相连；设置所述第一二极管的正极与所述高频隔离变压器的初级线圈的一端相连，第三二极管的正极与所述高频隔离变压器的初级线圈的另一端相连；

[0020] 所述第二全桥变压器包括第五开关、第六开关、第七开关、第八开关、第五二极管、第六二极管、第七二极管、第八二极管；其中，所述第五开关与所述第五二极管反向相并联形成第五支路，所述第六开关与所述第六二极管反向相并联形成第六支路，第七开关与所述第七二极管反向相并联形成第七支路， 所述第八开关与所述第八二极管反向相并联形成第八支路；将所述第五支路与所述第六支路串联成第三回路，所述第七支路与所述第八支路串联成第四回路后，并将所述第三回路、第四回路及第二直流滤波电容相并联，且设置所述第二直流滤波电容的正极与所述第五二极管及第七二极管的负极相连，负极与所述第

六二极管及第八二极管的正极相连；设置所述第五二极管的正极与所述高频隔离变压器的次级线圈的一端相连，第七二极管的正极与所述高频隔离变压器的次级线圈的另一端相连。

[0021] 其中，当所述电平变换器为所述单向 DC/DC 变换器时，所述电气单元为单向直流负荷，则所述单向 DC/DC 变换器的高压直流侧与其在同一控制变换单元内的开关相连，低压直流侧与所述单向直流负荷相连。

[0022] 其中，所述单向直流负荷为独立的直流负载、第二直流微电网之其中任一；其中，所述第二直流微电网为由分布式电源、储能和负载形成的没有功率反送能力的直流微电网。

[0023] 其中，所述电压源换流器包括多个相同的桥臂，且每一桥臂均包括相互连接的上桥臂和下桥臂，所述上桥臂及所述下桥臂均由一桥臂电抗和多个子模块串联形成；其中，所述每一桥臂均相并联连接后形成为所述电压源换流器的直流侧，所述每一桥臂的上桥臂与下桥臂之间的汇接点相串联连接后形成为所述电压源换流器的交流侧。

[0024] 其中，每一子模块均包括第九开关、第十开关、第九二极管、第十二极管及第三直流电容；其中，所述第九开关与所述第九二极管反向相并联形成第九支路，所述第十开关与所述第十二极管反向相并联形成第十支路，将所述第九支路、第十支路及第三直流电容相串联成回路，且设置所述第三直流电容的正极与所述第九二极管的负极相连，负极与所述第十二极管的正极相连。

[0025] 实施本实用新型实施例，具有如下有益效果：

[0026] 1、在本实用新型实施例中，由于中压直流母线可以连接多种类型的电平变换器（如双向 DC/AC 变换器、单向 DC/AC 变换器、双向 DC/DC 变换器、单向 DC/DC 变换器），形成多端配电结构，为面向有高可靠性和高电能质量需求的大 功率交流电力用户、变频负荷、直流负荷等，提供了可定制性的高质量供电解决方案，并且具有高可靠性；

[0027] 2、在本实用新型实施例中，由于中压直流母线可以通过直流变换器（如双向 DC/DC 变换器、单向 DC/DC 变换器）直接与直流输电网连接，为直流输电向配电的发展提供配电接口，而无需经过交流电网的过渡，减少变换环节，减少设备投资和运行损耗，提高了直流配电系统运行的可靠性；

[0028] 3、在本实用新型实施例中，由于中压直流母线可以通过单向变换器（如单向 DC/AC 变换器）隔离交流微电网的电压跌落、治理谐波和补偿无功功率，也可以通过双向变换器（如双向 DC/AC 变换器）满足交流微电网的谐波治理、无功补偿和能量反送需求。

附图说明

[0029] 为了更清楚地说明本实用新型实施例或现有技术中的技术方案，下面将对实施例或现有技术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实用新型的一些实施例，对于本领域普通技术人员来讲，在不付出创造性劳动性的前提下，根据这些附图获得其他的附图仍属于本实用新型的范畴。

[0030] 图 1 为本实用新型实施例提供的柔性中压直流配电系统的一结构示意图；

[0031] 图 2 为本实用新型实施例提供的柔性中压直流配电系统的另一结构示意图；

[0032] 图 3 为图 1 和图 2 中双向 DC/DC 变换器的结构示意图；

[0033] 图 4 为图 1 和图 2 中电压源换流器的结构示意图；

[0034] 图 5 为图 4 中子模块 SM 的结构示意图；

[0035] 图 6 为本实用新型实施例提供的柔性中压直流配电系统应用场景的结构示意图。

具体实施方式

[0036] 为使本实用新型的目的、技术方案和优点更加清楚，下面将结合附图对本实用新型作进一步地详细描述。

[0037] 如图 1 所示，本实用新型实施例中，为一种柔性中压直流配电系统，所述 系统包括：

[0038] 至少一交流电源 1；

[0039] 至少一电压源换流器 2，每一电压源换流器 2 的交流侧均与对应的一交流电源 1 相连；

[0040] 一中压直流母线 3；

[0041] 多个控制变换单元 4，每一控制变换单元 4 的输入端均通过中压直流母线 3 与每一电压源换流器 2 的直流侧相连，其包括开关 41 和电平变换器 42；其中，开关 41 的一端与中压直流母线 3 相连，另一端与电平变换器 42 的输入端相连；电平变换器 42 为双向 DC/AC 变换器、单向 DC/AC 变换器、双向 DC/DC 变换器、单向 DC/DC 变换器之其中任一；以及

[0042] 多个电气单元 5，每一电气单元 5 均与对应的一控制变换单元 4 中的电平变换器 42 的输出端相连。

[0043] 应当说明的是，如图 2 所示，为了提高柔性中压直流配电系统可靠性，通常会采用双交流电源 1 形成主备电源，因此相对应的有两个电压源换流器 2，每一个电压源换流器 2 的交流侧均与对应的一交流电源 1 相连。同时，为了进一步的控制和切换电源，也可在中压直流母线 3 上设置两个单独的开关，用于分别控制两个交流电压源 1 在中压直流母线 3 上的供电状态。

[0044] 可以理解的是，多个控制变换单元 4 中的电平变换器 42 可以均为双向 DC/AC 变换器、单向 DC/AC 变换器、双向 DC/DC 变换器、单向 DC/DC 变换器之其中任一或多种组合。作为一个例子，多个电平变换器 42 均为双向 DC/AC 变换器；作为另一个例子，多个电平变换器 42 包括 n 个双向 DC/AC 变换器、m 个单向 DC/AC 变换器、k 个双向 DC/DC 变换器和 j 个单向 DC/DC 变换器，其中，n、m、k、j 均为正整数；作为又一个例子，多个电平变换器 42 包括 i 个双向 DC/AC 变换器、1 个双向 DC/DC 变换器，其中，i、1 均为正整数。

[0045] 应当说明的是，为了实现转换过程中电压的匹配，双向 DC/AC 变换器和单向 DC/AC 变换器的拓扑结构及参数均与电压源换流器相同，单向 DC/DC 变换器的拓扑结构及参数与双向 DC/DC 变换器 DCI1 相同。

[0046] 因此，根据不同的电压变换器，选择连接对应的负荷，从而形成多端配电结构，为面向有高可靠性和高电能质量需求的大功率交流电力用户、变频负荷、直流负荷等，提供了可定制性的高质量供电解决方案，并且具有高可靠性，具体连接方式如下：

[0047] (1) 当电平变换器 42 为双向 DC/AC 变换器时，电气单元 5 为双向交流负荷，则双向 DC/AC 变换器的直流侧与其在同一控制变换单元 4 内的开关 41 相连，交流侧与双向交流负荷相连。其中，双向交流负荷为独立的交流负载、独立的交流电源、第一交流微电网之

其中任一；第一交流微电网为由分布式电源、储能和负载形成的具有功率反送能力的交流微电网。作为一个例子，双向交流负荷为大容量光伏发电系统和交流负荷，电压 380V，总容量 -3.5MVA ～ +5MVA。

[0048] 该方式为中压直流母线 3 通过双向 DC/AC 变换器满足交流微电网的谐波治理、无功补偿和能量反送需求，此时双向 DC/AC 变换器即可以工作在交流侧电压控制模式，也可以工作在直流侧电压控制模式，还可以工作在功率控制模式。

[0049] (2) 当电平变换器 42 为单向 DC/AC 变换器时，电气单元 5 为单向交流负荷，则单向 DC/AC 变换器的直流侧与其在同一控制变换单元 4 内的开关 41 相连，交流侧与单向交流负荷相连。其中，单向交流负荷为独立的交流负载、第二交流微电网之其中任一；第二交流微电网为由分布式电源、储能和负载形成的没有功率反送能力的交流微电网。作为一个例子，单向交流负荷为高供电可靠性和高电能质量要求的交流敏感负荷构成，电压 10kV，总容量 8MW。

[0050] 该方式为中压直流母线 3 通过单向 DC/AC 变换器隔离交流微电网的电压跌落、治理谐波和补偿无功功率，此时单向 DC/AC 变换器只能工作在交流侧电压控制模式。

[0051] (3) 当电平变换器 42 为双向 DC/DC 变换器时，电气单元 5 为双向直流负荷，则双向 DC/DC 变换器的高压直流侧与其在同一控制变换单元 4 内的开关 41 相连，低压直流侧与双向直流负荷相连。其中，双向直流负荷为独立的直流负载、独立的直流电源、第一直流微电网之其中任一；第一直流微电网为由分布式电源、储能和负载形成的具有功率反送能力的直流微电网。作为一个例子， 双向直流负荷为大容量储能电站或 V2G 电动汽车充电站，电压 400V，总容量 -4MW ～ 4MW。

[0052] 该方式为中压直流母线 3 通过双向 DC/DC 变换器满足直流微电网的能量反送需求，此时双向 DC/DC 变换器即可以工作在高压侧电压控制模式，也可以工作在低压侧电压控制模式，还可以工作在功率控制模式。

[0053] 如图 3 所示，双向 DC/DC 变换器包括多个相同的 DAB 子模块，且每一 DAB 子模块均包括第一全桥变压器、第二全桥变压器、第一直流滤波电容 C1、第二直流滤波电容 C2 及高频隔离变压器 T；其中，

[0054] 第一全桥变压器包括第一开关 S11、第二开关 S12、第三开关 S13、第四开关 S14、第一二极管 D11、第二二极管 D12、第三二极管 D13、第四二极管 D14；其中，第一开关 S11 与第一二极管 D11 反向相并联形成第一支路，第二开关 S12 与第二二极管 D12 反向相并联形成第二支路，第三开关 S13 与第三二极管 D13 反向相并联形成第三支路，第四开关 S14 与第四二极管 D14 反向相并联形成第四支路；将第一支路与第二支路串联成第一回路，第三支路与第四支路串联成第二回路后，并将第一回路、第二回路及第一直流滤波电容 C1 相并联，且设置第一直流滤波电容 C1 的正极与第一二极管 D11 及第三二极管 D13 的负极相连，负极与第二二极管 D12 及第四二极管 D14 的正极相连；设置第一二极管 D11 的正极与高频隔离变压器 T 的初级线圈的一端相连，第三二极管 D13 的正极与高频隔离变压器 T 的初级线圈的另一端相连；

[0055] 第二全桥变压器包括第五开关 Q11、第六开关 Q12、第七开关 Q13、第八开关 Q14、第五二极管 D15、第六二极管 D16、第七二极管 D17、第八二极管 D18；其中，第五开关 Q11 与第五二极管 D15 反向相并联形成第五支路，第六开关 Q12 与第六二极管 D16 反向相并联形

成第六支路，第七开关 Q13 与第七二极管 D17 反向相并联形成第七支路，第八开关 Q14 与第八二极管 D18 反向相并联形成第八支路；将第五支路与第六支路串联成第三回路，第七支路与第八支路串联成第四回路后，并将第三回路、第四回路及第二直流滤波电容 C2 相并联，且设置第二直流滤波电容 C2 的正极与第五二极管 D15 及第七二极管 D17 的负极相连，负极与第六二极管 D16 及第八二极管 D18 的正极相连；设置第五二极管 D15 的正极与高频隔离变压器 T 的次级线圈的一端相连，第七二极管 D17 的正极与高频隔离变压器 T 的次级线圈的另一端相连。

[0056] (4) 当电平变换器 42 为单向 DC/DC 变换器时，电气单元 5 为单向直流负荷，则单向 DC/DC 变换器的高压直流侧与其在同一控制变换单元 4 内的开关 41 相连，低压直流侧与单向直流负荷相连。其中，单向直流负荷为独立的直流负载、第二直流微电网之其中任一；第二直流微电网为由分布式电源、储能和负载形成的没有功率反送能力的直流微电网。作为一个例子，单向直流负荷为分布式光伏发电、电动汽车充电设备和小容量直流负荷，电压 400V，总容量 2.5MW。

[0057] 该方式为中压直流母线 3 通过单向 DC/DC 变换器隔离直流微电网的补偿无功功率，此时单向 DC/AC 变换器只能工作在低压侧电压控制模式。

[0058] 如图 4 所示，电压源换流器 2 包括多个相同的桥臂，且每一桥臂均包括相互连接的上桥臂和下桥臂，上桥臂及下桥臂均由一桥臂电抗 Lc 和多个子模块 SM 串联形成；其中，每一桥臂均相并联连接后形成为电压源换流器 2 的直流侧，每一桥臂的上桥臂与下桥臂之间的汇接点相串联连接后形成为电压源换流器 2 的交流侧。

[0059] 如图 5 所示，每一子模块 SM 均包括第九开关 S1、第十开关 S2、第九二极管 D1、第十二极管 D2 及第三直流电容 C3；其中，第九开关 S1 与第九二极管 D1 反向相并联形成第九支路，第十开关 S2 与第十二极管 D2 反向相并联形成第十支路，将第九支路、第十支路及第三直流电容 C3 相串联成回路，且设置第三直流电容 C3 的正极与第九二极管 D1 的负极相连，负极与第十二极管 D2 的正极相连。

[0060] 如图 6 所示，对本实用新型实施例中的柔性中压直流配电系统的应用场景进一步说明：

[0061] 该系统主要由两个交流电源、两个电压源换流器、四个控制变换单元、四个电气单元、中压直流母线和中压直流母线上的两个直流开关构成；其中，

[0062] 两个交流电源为 AC1 和 AC2；

[0063] 两个电压源换流器为 VSC1 和 VSC2；

[0064] 中压直流母线为 Bus；

[0065] 中压直流母线 Bus 上的两个直流开关为 B1 和 B10；

[0066] 四个控制变换单元包括由直流开关 B2、直流开关 B3 及一个单向 DC/AC 变换器 UACI1 构成的第一个控制变换单元、由直流开关 B4、直流开关 B5 及一个单向 DC/AC 变换器 UACI1 构成的第二个控制变换单元、由直流开关 B6、直流开关 B7 及一个双向 DC/AC 变换器 ACI1 构成的第三个控制变换单元、以及由直流开关 B8、直流开关 B9 及一个双向 DC/DC 变换器 DCI1 构成的第四个控制变换单元；

[0067] 四个电气单元为一个双向交流负荷 ACL1、一个单向交流负荷 UACL1、一个双向直流负荷 DCL1、一个单向直流负荷 UDCL1；

[0068] 第一电压源换流器 VSC1 和第二电压源换流器 VSC2 的交流侧分别与交流电源 AC1 和交流电源 AC2 相连，第一电压源换流器 VSC1 和第二电压源换流器 VSC2 的直流侧通过中压直流母线 Bus 相连；双向 DC/AC 变换器 ACI1 和单向 DC/AC 变换器 UACI1 的直流侧均与中压直流母线 Bus 相连，双向 DC/AC 变换器 ACI1 的交流侧与双向交流负荷 ACL1 相连，单向 DC/AC 变换器 UACI1 的交流侧与单向交流负荷 UACL1 相连；双向 DC/DC 变换器 DCI1 和单向 DC/DC 变换器 UDCI1 的高压直流侧均与中压直流母线 Bus 相连，双向 DC/DC 变换器 DCI1 的低压直流侧与双向直流负荷 DCL1 相连，单向 DC/DC 变换器 UDCI1 的低压直流侧与单向直流负荷 UDCL1 相连；十个直流开关 B1、B2、…B10 分布在中压直流母线 Bus 上，且每两个连接点之间包含两个直流开关。

[0069] 交流电源 AC1 和交流电源 AC2 的额定电压 10kV，中压直流母线 Bus 由两条输电线组成，电压分别为 +10kV 和 -10kV。

[0070] 第一电压源换流器 VSC1 和第二电压源换流器 VSC2 的容量 25MVA，最大有功功率 23MW，最大无功功率 6Mvar，上桥臂和下桥臂均由 25 个子模块 SM 构成和一个桥臂电抗 Lc 构成，每个子模块为半个开关管桥臂，每个桥臂电抗 Lc 为 2.5mH，电压源换流器即可以工作在交流侧电压控制模式，也可以工作在直流侧电压控制模式，还可以工作在功率控制模式。

[0071] 双向 DC/AC 变换器 ACI1 的拓扑结构及参数与第一电压源换流器 VSC1 和第二电压源换流器 VSC2 相同，即可以工作在交流侧电压控制模式，也可以工作在直流侧电压控制模式，还可以工作在功率控制模式。

[0072] 单向 DC/AC 变换器 UACI1 的拓扑结构及参数与第一电压源换流器 VSC1 和第二电压源换流器 VSC2 也相同，控制其只能工作在交流侧电压控制模式。

[0073] 双向 DC/DC 变换器 DCI1 的容量 4MW，低压侧电压 400V，由 25 个 DAB 子模块构成，每个 DAB 子模块由两个全桥变换器，两个直流滤波电容和一个高频隔离变压器 T 组成，变压器变比 2 :1，漏抗 30uH，即可以工作在高压侧电压控制模式，也可以工作在低压侧电压控制模式，还可以工作在功率控制模式。

[0074] 单向 DC/DC 变换器 UDCI1 的拓扑结构及参数与双向 DC/DC 变换器 DCI1 也相同，控制其只能工作低压侧电压控制模式。

[0075] 双向交流负荷 ACL1 由有功率反送能力的交流微电网构成，包括有功率反送的交流微电网系统，包括：大容量光伏发电系统和交流负荷，电压 380V，总容量 -3.5 ～ +5MVA。

[0076] 单向交流负荷 UACL1 由高供电可靠性和高电能质量要求的交流敏感负荷构成，电压 10kV，总容量 8MW。

[0077] 双向直流负荷 DCL1 由有功率反送能力的直流微电网构成，包括大容量储能电站或 V2G 电动汽车充电站，电压 400V，总容量 -4 ～ 4MW。

[0078] 单向直流负荷 UDCL1 由无功率反送能力的直流微电网构成，包括分布式光伏发电、电动汽车充电设备和小容量直流负荷，电压 400V，总容量 2.5MW。

[0079] 实施本实用新型实施例，具有如下有益效果：

[0080] 1、在本实用新型实施例中，由于中压直流母线可以连接多种类型的电平变换器（如双向 DC/AC 变换器、单向 DC/AC 变换器、双向 DC/DC 变换器、单向 DC/DC 变换器），形成多端配电结构，为面向有高可靠性和高电能质量需求的大功率交流电力用户、变频负荷、直流负荷等，提供了可定制性的高质量供电解 决方案，并且具有高可靠性；

[0081] 2、在本实用新型实施例中，由于中压直流母线可以通过直流变换器（如双向 DC/DC 变换器、单向 DC/DC 变换器）直接与直流输电网连接，为直流输电向配电的发展提供配电接口，而无需经过交流电网的过渡，减少变换环节，减少设备投资和运行损耗，提高了直流配电系统运行的可靠性；

[0082] 3、在本实用新型实施例中，由于中压直流母线可以通过单向变换器（如单向 DC/AC 变换器）隔离交流微电网的电压跌落、治理谐波和补偿无功功率，也可以通过双向变换器（如双向 DC/AC 变换器）满足交流微电网的谐波治理、无功补偿和能量反送需求。

[0083] 以上所揭露的仅为本实用新型一种较佳实施例而已，当然不能以此来限定本实用新型之权利范围，因此依本实用新型权利要求所作的等同变化，仍属本实用新型所涵盖的范围。

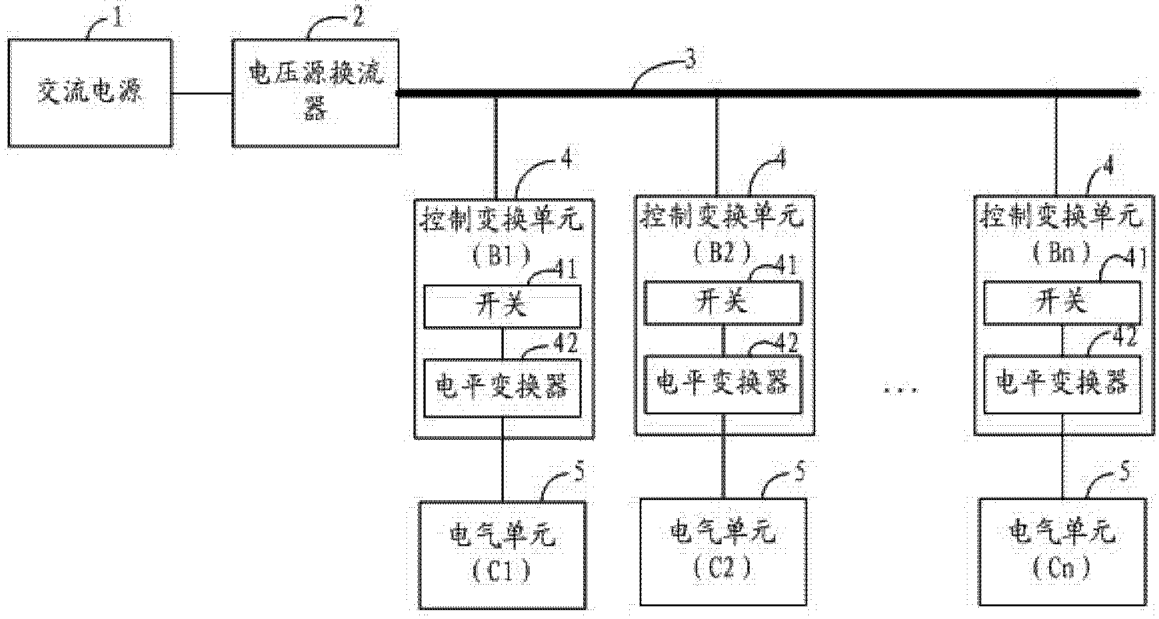

1
交流电源
2
电压源换流器
3
4
控制变换单元
(B1)
41
开关
42
电平变换器
5
电气单元
(C1)
控制变换单元
(B2)
电气单元
(C2)
...
控制变换单元
(Bn)
电气单元
(Cn)

图 1

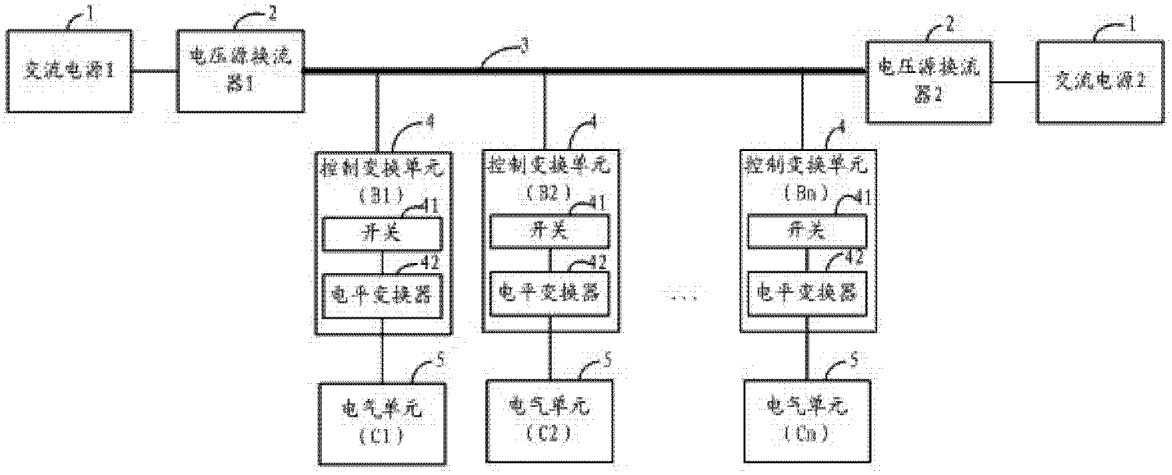

1
交流电源1
2
电压源换流器1
3
4
控制变换单元
(B1)
41
开关
42
电平变换器
5
电气单元
(C1)
控制变换单元
(B2)
电气单元
(C2)
...
控制变换单元
(Bn)
电气单元
(Cn)
电压源换流器2
交流电源2

图 2

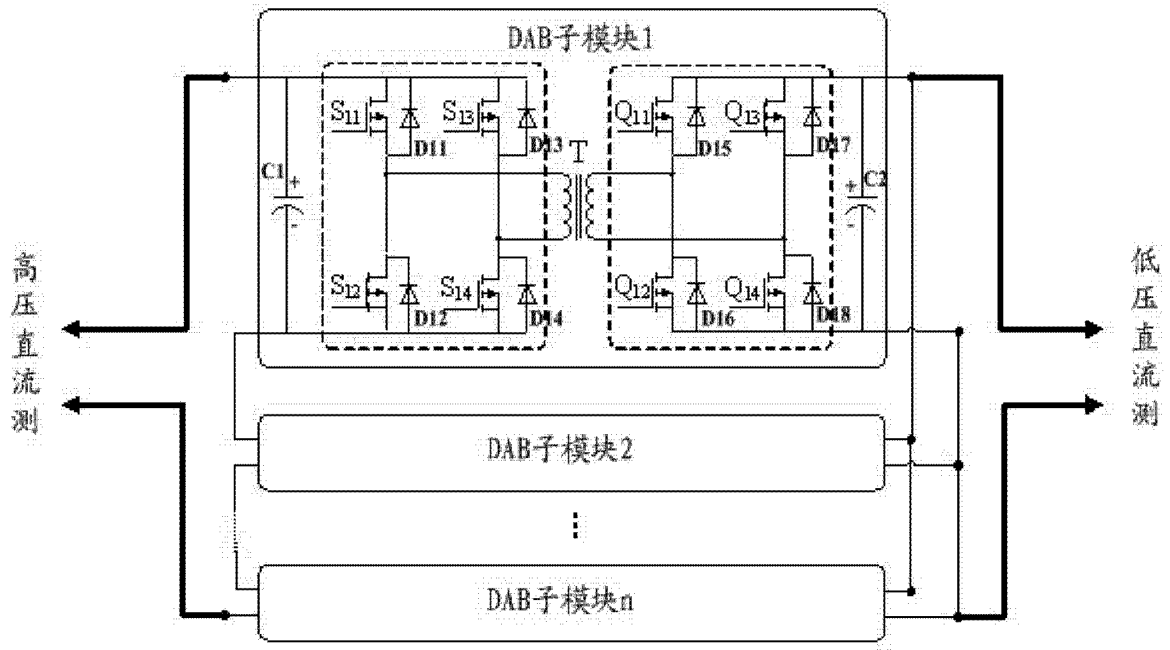

DAB子模块1
S11
S13
D11
D13
T
Q11
Q13
D15
D17
C1
C2
S12
S14
D12
D14
Q12
Q14
D16
D18
高压直流测
低压直流测
DAB子模块2
DAB子模块n

图 3

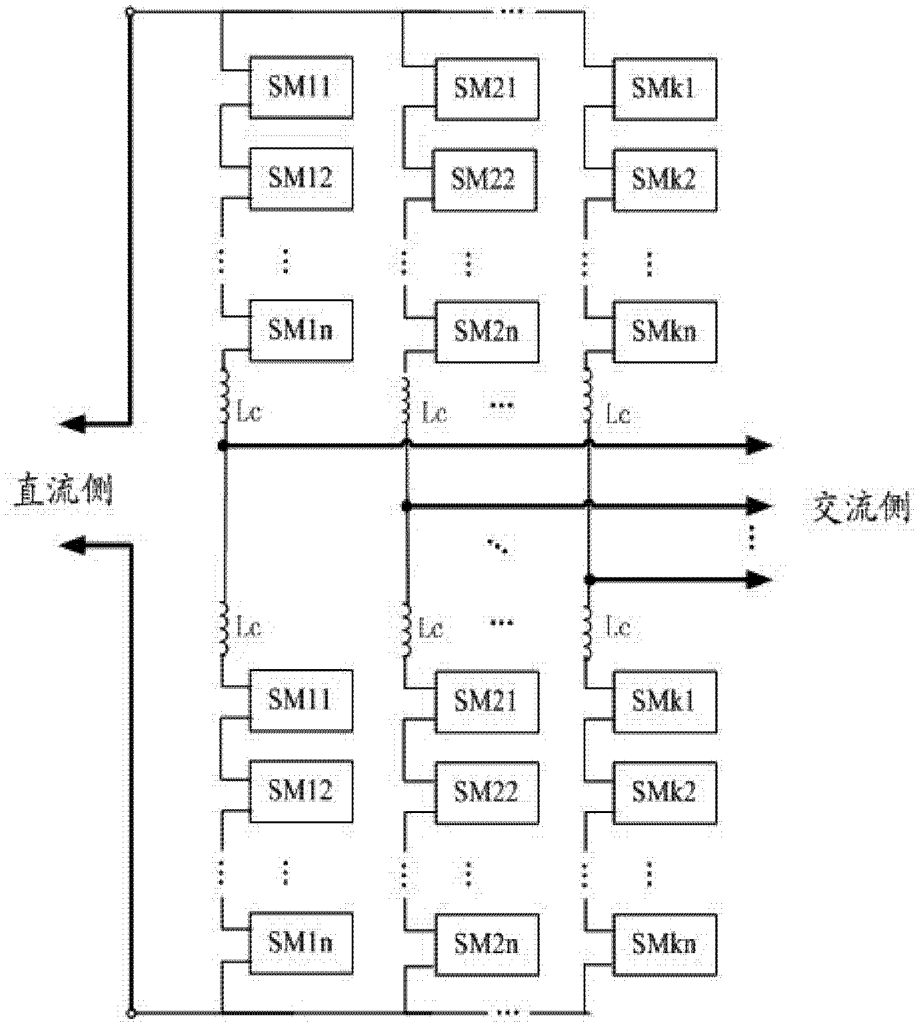

SM11
SM21
SMk1
SM12
SM22
SMk2
SM1n
SM2n
SMkn
Lc
直流侧
交流侧

图 4

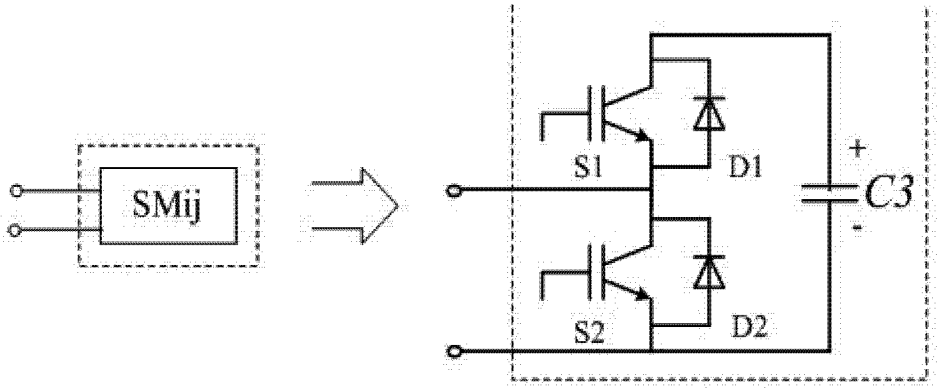

SMij
S1
D1
S2
D2
C3
+
-

图 5

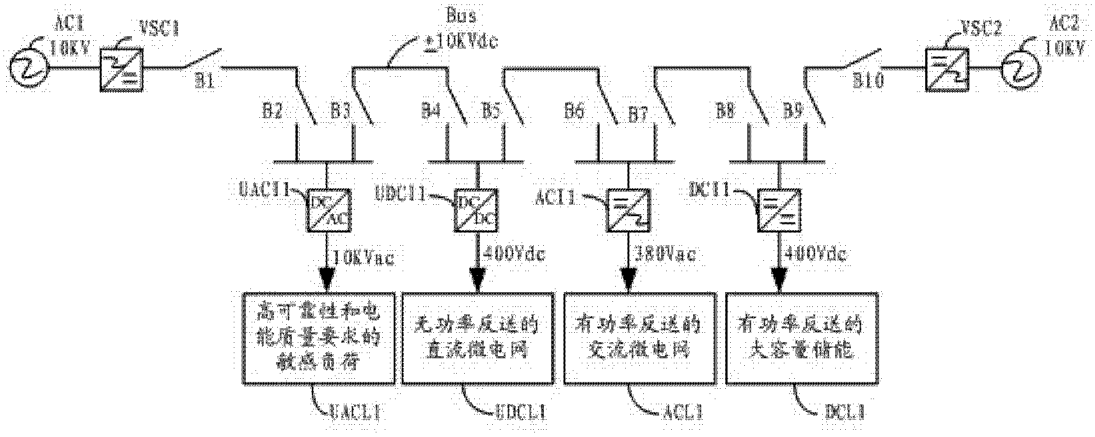

AC1
10KV
VSC1
B1
Bus
±10KVdc
B2
B3
B4
B5
B6
B7
B8
B9
B10
VSC2
AC2
10KV
UAC11
UDC11
AC11
DC11
10KVac
400Vdc
380Vac
400Vdc
高可靠性和电能质量要求的敏感负荷
无功率反送的直流微电网
有功率反送的交流微电网
有功率反送的大容量储能
UACL1
UDCL1
ACL1
DCL1

图 6