



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 112653347 A

(43) 申请公布日 2021.04.13

(21) 申请号 202011482370.5  
 (22) 申请日 2020.12.16  
 (71) 申请人 国网江苏省电力有限公司经济技术  
 研究院  
 地址 210000 江苏省南京市鼓楼区中山路  
 251号  
 申请人 国网江苏电力设计咨询有限公司  
 国网江苏省电力有限公司  
 中国电力科学研究院有限公司  
 华北电力大学(保定)  
 (72) 发明人 张群 李妍 王青山 诸晓骏  
 王琼 王鑫 李泽森 曹远志  
 梁海峰  
 (74) 专利代理机构 北京众合诚成知识产权代理  
 有限公司 11246  
 代理人 张文宝

(51) Int.Cl.  
 H02M 7/5387 (2007.01)  
 H02M 3/156 (2006.01)  
 H02H 7/12 (2006.01)  
 H02J 3/32 (2006.01)  
 H02J 3/38 (2006.01)

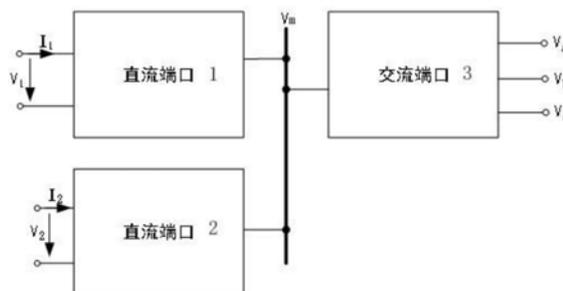
权利要求书1页 说明书4页 附图1页

(54) 发明名称

一种基于直流集成方式的电力路由器拓扑及其控制方法

(57) 摘要

本发明属于综合能源转换装置及控制技术领域,特别涉及一种基于直流集成方式的电力路由器拓扑及其控制方法。其直流集成方式的电力路由器拓扑包括交流端口、直流端口和直流母线;其中交流端口一端与直流母线 $V_m$ 相连,另一端与外部直流线路( $V_a$ 、 $V_b$ 、 $V_c$ )相联;其双向交流端口在并网情况下,为直流母线 $V_m$ 提供稳定电压,同时提供双向功率回路吸收后续电路传输功率或补充直流电路释放功率,功率变换单元用于将直流电转换成交流电。本拓扑电力路由器具备潮流双向精确线性控制器,不仅作为可以实现不同电压网络之间的互联运行,还可以直流电压源或电流源模式运行,实现两种功能的组合集成,有效降低系统成本。



1. 一种基于直流集成方式的电力路由器拓扑,其特征在于,所述直流集成方式的电力路由器拓扑包括交流端口、直流端口和直流母线;其中交流端口3一端与直流母线 $V_m$ 相连,另一端与外部直流线路( $V_a$ 、 $V_b$ 、 $V_c$ )相联;其直流侧面包括直流端口1、直流端口2;直流端口1、直流端口2与内部的直流母线 $V_m$ 相连;所述交流端口为双向交流端口,为在并网情况下为直流母线 $V_m$ 提供稳定电压,同时提供双向功率回路吸收后级电路传输功率或补充直流电路释放功率,功率变换单元用于将直流电转换成交流电,其内部采用全控型功率器件;其为双向交流变换器,具体电路拓扑可为三相全桥电路或三相半桥电路。

2. 根据权利要求1所述的基于直流集成方式的电力路由器拓扑,其特征在于,所述的直流端口主要功能是根据需求控制输出侧两端电压、电流或功率值,达到通过线路中的等效阻抗改变线路中潮流分布的目的;其拓扑结构可为H桥拓扑、buck电路、boost电路,或为多个半桥电路组合。

3. 一种基于直流集成方式的电力路由器的控制方法,其特征在于,上述电力路由器的控制方法如下:

当电力路由器工作于交流并网工作模式时,交流端口3连接到市电网,在高压直流电网向低压直流电网传输时,使交流端口侧功率变换单元工作于功率因数为1的功率模式控制模式,交流端口3的直流侧工作于直流电压控制模式,当直流母线 $V_m$ 上的负载功率波动时,动态调整交流端口3直流侧的直流电压,改变交流端口3交流侧的功率输入,使交流端口3直流侧电压通过直流电流前馈控制及直流电压控制自适应调整功率输出;

当电力路由器工作于功率交换模式,能量从直流端口向交流电网传输时,使交流端口工作于直流电压控制模式,交流端口交流侧工作于交流功率控制模式;当交流电网输出功率波动时,使直流端口的直流母线侧直流端口自适应调整功率输出。

## 一种基于直流集成方式的电力路由器拓扑及其控制方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于综合能源转换装置及控制技术领域,特别涉及一种基于直流集成方式的电力路由器拓扑及其控制方法。

### 背景技术

[0002] 能源综合服务站是利用变电站资源建设运营充换电(储能)站和数据中心站新模式,依托变电站贴近用户、广泛覆盖、电力保障等优势,通过就近满足用户电力、算力、存储、连接等服务需求,为电力物联网提供实现物理世界和数字世界连接的IT基础设施资源,满足5G网络建设中的多接入边缘计算站建设需求。多站融合是综合能源服务站的典型应用场景,利用现有变电站深入挖掘资源价值,建设运营充电站、储能站、通信基站和数据中心站等设施,一站式服务满足变电站、储能电站、数据中心站等设备的多元化服务需求。在该场景中需要重点考虑的是变电站、数据中心站、充换电站、分布式电源以及充电桩等直流负荷的供电方式分析,设计更加高效互补的用电拓扑结构,从而提高整站的运行能效水平。同时面对多种能源灵活接入的需要,需要研究新型多端口电力路由器设备,满足站内接入大量“分布式储能设备”“新型负荷”“可再生能源设备”等多样性的供电需求,实现多种类型能源灵活接入,以更好的支撑综合能源服务站的建设。

[0003] 电力路由器本质上属于电磁能变换设备,主要组成部分包括高频变压器、功率开关器件、无源元件设备。电力路由器能解决传统变压器变比宽范围可调问题,还具备控制功率流向、调整电能质量、柔性隔离故障、接入多种电荷负荷等多种功能。目前,世界范围内不同学者研制了不同种类电力路由器样机,例如,瑞士苏黎世大学的提出并研制完成1MVA固态变压器样机,美国High Point University研究中心研发出新一代固态变压器,中国电力科学研究院提出并研发电能交换器样机。电力路由器的拓扑类型可按不同方式进行分类:按内部母线耦合形式分为共直流母线型和共交流母线型;按电压特点可分为单一电压等级和多电压等级;按接线方式可分为辐射状直流电网和网状直流电网。但是目前研究多端口电力路由器均是单一电压等级的辐射状直流系统,未能充分集成各种直流用电设备的优势,因此需要因地制宜地采用不同的电压等级接口、接线方式和系统结构,从而最大化发挥变电站内部直流供电网络的潜力。

[0004] 综上所述,现有电力路由器结构较少关注不同电压类型的端口互联,较少关注内部拓扑优化,也不具备不同工况之间的无缝切换功能。

[0005] 相对目前研究的直流电力路由器,本发明提出的基于直流集成方式的电力路由器拓扑及其控制策略具备以下特点和优势:

[0006] 1) 具备潮流双向精确线性控制功能,不仅可以实现不同电压网络之间的互联运行,还可以电压源或电流源模式运行,控制手段灵活多变,方便不同类型多种类型能源或负荷灵活接入。

[0007] 2) 具备网络中双向直流故障隔离保护功能,减少线路中配置直流断路器的数量,还能降低系统成本。

## 发明内容

[0008] 本发明的目的是提出一种基于直流集成方式的电力路由器拓扑及其控制方法,其特征在于,所述直流集成方式的电力路由器拓扑包括交流端口、直流端口、内部直流母线;其中交流端口3一端与内部的直流母线 $V_m$ 相连,另一端与外部直流线路( $V_a$ 、 $V_b$ 、 $V_c$ )相联;其直流侧面包括直流端口1、直流端口2;直流端口1、直流端口2与内部直流母线 $V_m$ 相连;

[0009] 所述交流端口为双向交流端口,为在并网情况下为直流母线 $V_m$ 提供稳定电压,同时提供双向功率回路吸收后级电路传输功率或补充直流电路释放功率,功率变换单元用于将直流电转换成交流电,其内部采用全控型功率器件;其为双向交流变换器,具体电路拓扑可为三相全桥电路或三相半桥电路。

[0010] 所述的直流端口主要功能是根据需求控制输出侧两端电压、电流或功率值,达到通过线路中的等效阻抗改变线路中潮流分布的目的;其拓扑结构可以为H桥拓扑、buck电路、boost电路,或为多个半桥电路组合。

[0011] 一种基于直流集成方式的电力路由器的控制方法,其特征在于,上述电力路由器的控制方法如下:

[0012] 当电力路由器工作于交流并网工作模式时,交流端口3连接到市电网高压直流电网向低压直流电网传输时,使交流端口侧功率变换单元工作于功率因数为1的功率模式控制模式,交流端口3的直流侧工作于直流电压控制模式,当直流母线 $V_m$ 上的负载功率波动时,动态调整交流端口3直流侧的直流电压,改变交流端口3交流侧的功率输入,使交流端口3直流侧电压通过直流电流前馈控制及直流电压控制自适应调整功率输出。

[0013] 当电力路由器工作于功率交换模式,能量从直流端口向交流电网传输时,使交流端口工作于直流电压控制模式,交流端口交流侧工作于交流功率控制模式;当交流电网输出功率波动时,使直流端口的直流母线侧直流端口自适应调整功率输出。

[0014] 本发明有益效果是:

[0015] 1) 提出一种高效实用的具备故障阻断功能的电力路由器拓扑,该拓扑电力路由器具备潮流双向精确线性控制器,不仅作为可以实现不同电压网络之间的互联运行,还可以直流电压源或电流源模式运行,实现两种功能的组合集成,有效降低系统成本;

[0016] 2) 具备网络中双向直流故障隔离保护功能,提供直流侧故障阻断能力,减少线路中配置直流断路器的数量,方便不同类型多种类型能源或负荷灵活接入,也是对现有变电站内部供电网络功能有益的补充和丰富。

[0017] 3) 提出变换器潮流调控和故障保护策略的有机融合方案,提高站内供电网络控制的灵活性和可靠性,同时也对电力电子系统集成的丰富和发展,该发明为供电系统级保护方案提供参考。

## 附图说明

[0018] 图1为直流集成方式的电力路由器的拓扑结构。

[0019] 图2为具备阻断限流能力的电力路由器应用场景。

## 具体实施方式

[0020] 本发明提出一种基于直流集成方式的电力路由器拓扑,如图1所示。其特征在于包

括交流端口3、直流端口1、直流端口2内部直流母线 $V_m$ ，其中交流端口3一端与内部直流母线 $V_m$ 相连，一端与外部直流线路相联，交流端口3为双向交流端口。

[0021] 所述的双向交流端口在并网情况下，为直流母线 $V_m$ 提供稳定电压，同时提供双向功率回路吸收后级电路传输功率或补充直流电路释放功率，功率变换单元用于将直流电转换成交流电，其内部采用全控型功率器件；其全控型功率器件为双向交流变换器，具体电路拓扑可为三相全桥电路或三相半桥电路(如图2所示)。

[0022] 所述的直流端口主要功能是根据需求控制输出侧两端电压、电流或功率值，达到通过线路中的等效阻抗改变线路中潮流分布的目的。其拓扑结构可以为H桥拓扑、buck电路、boost电路，或为多个半桥电路组合。

[0023] 本发明还提出所述的电力路由器的控制方法，上述直流配电网能量路由器的控制方法如下：

[0024] 当电力路由器工作于交流电网并网模式，交流端口连接到市电网高压直流电网，当向低压直流电网传输时，使交流端口侧功率变换器工作于功率因数为1的功率模式控制模式，交流端口的直流侧工作于直流电压控制模式，当直流母线上的负载功率波动时，动态调整交流单元端口直流侧的直流电压，改变交流端口单元交流侧的功率输入，使交流端口直流侧电压单元通过直流电流前馈控制及直流电压控制自适应调整功率输出。

[0025] 当电力路由器工作于功率交换模式，能量从直流端口向交流电网传输时，使交流端口工作于直流电压控制模式，交流端口交流侧工作于交流功率控制模式；当交流电网输出功率波动时，使直流端口的直流母线侧直流端口自适应调整功率输出。

[0026] 实施例

[0027] 下面结合附图及具体实施方式对本发明的技术方案进行详细说明。

[0028] 如图1所示，本发明共直流母线的电力能量路由器包括与交流电网相连交流变换单元、共直流母线单元和与分布式光伏/储能相连的直流端口单元；直流接口1、直流接口2分别连接共直流母线 $V_m$ 和交流接口3；其中，交流变换器单元的交流端口3连接交流电网，交流电网的电压分别为 $V_a$ 、 $V_b$ 、 $V_c$ ；直流母线电压为 $V_1$ ，直流母线电流为 $I_1$ ；直流接口1的一侧直流端口连接直流母线 $V_m$ ，一端连接到直流母线，直流母线电压为 $V_2$ ，直流母线电流为 $I_2$ ；直流接口1的另一侧的直流端口2连接到光伏/储能电源，一端连接到直流母线，直流电压为 $V_1$ ，直流电流为 $I_1$ 。

[0029] 直流接口单元根据实际需要，其具体形式可为图2的buck、boost、半桥、全桥变换拓扑。本实例采用boost电路拓扑结构，包括一个功率开关管、一个二极管和一个平波电抗器，直流接口高压侧的正极连接到直流母线正极，直流接口高压侧的负极连接到直流母线负极，直流接口的低压的直流端口负极和各低压侧二极管整流单元的负极均连接到低压直流电网的直流母线负极 $N_2$ 。

[0030] 交流接口变换器单元采用三相半桥变换拓扑，根据实际需要，其拓扑结构的具体形式可为三相全桥或多电平拓扑等。

[0031] 基于共直流母线方式变换器拓扑结构的电力路由器结构，以下进一步介绍该能量路由器的设计方法和控制方式。

[0032] 假设各直流接口单元的拓扑结构及二极管性能完全相同，由低压侧二极管整流单元的特点可知，稳定运行时，直流端口1电压 $V_1$ 和直流端口2电压 $V_2$ 满足：

[0033]  $V_1 \neq V_2, I_1 \neq I_2$  (1)

[0034] 若忽略能量路由器的损耗,则能量路由器的输入功率与输出功率相等,即

[0035]  $V_1 * I_1 + V_2 * I_2 = V_{a,b,c} * I_{a,b,c}$  (1)

[0036] 当  $V_1 > V_2, I_2 > I_1$ , 即电能从直流端口1向直流端口2传输。

[0037] 基于共直流母线的电力路由器可以实现能量双向流动。

[0038] 如图2所示具备阻断限流能力的电力路由器应用场景

[0039] 交流端口连接到交流电网,其功率变换单元用于将直流电转换成交流电,其内部采用全控型功率器件;其全控型功率器件为双向交流变换器,具体电路拓扑可为三相全桥电路或三相半桥电路。

[0040] 其中两个直流端口分部连接到光伏电池和储能电池,其主要功能是根据需求控制输出侧两端电压、电流或功率值,其拓扑结构可以为H桥拓扑、buck电路、boost电路,或为多个半桥电路组合。

[0041] 当电力路由器工作于交流电网并网模式,交流端口连接到市电网高压直流电网向低压直流电网传输时,使交流端口侧功率变换器工作于功率因数为1的功率模式控制模式,交流端口的直流侧工作于直流电压控制模式,当直流母线上的负载功率波动时,动态调整交流端口直流侧的直流电压,改变交流端口交流侧的功率输入,使交流端口直流侧电压单元通过直流电流前馈控制及直流电压控制自适应调整功率输出。

[0042] 当电力路由器工作于功率交换模式,能量从直流端口向交流电网传输时,使交流端口单元工作于直流电压控制模式,交流端口交流侧工作于交流功率控制模式;当交流电网输出功率波动时,使直流端口的直流母线侧直流端口自适应调整功率输出。

[0043] 直流侧端口内部变换单元采用全控电力电子器件,与采用不控或半控电力电子器件的交直流变换拓扑相比,能够更为精确地控制输出电压;交流端口可以采用二极管整流单元采用不控电力电子器件,器件的通流能力强、耐压高、成本低,与采用全控电力电子器件的交直流变换拓扑相比,所需器件少、成本低、控制简单、技术成熟。将不同直流接口在直流侧并联连接,可以发挥各自的优势,实现电压稳定,控制简单,成本较低,更适合多种能源灵活接入场合,同时可实现电能双向传输。

[0044] 上述对实施例的描述是为便于本技术领域的普通技术人员能理解和应用本发明。熟悉本领域技术的人员显然可以容易地对上述实施例做出各种修改,并把在此说明的一般原理应用到其他实施例中而不必经过创造性的劳动。因此,本发明不限于上述实施例,本领域技术人员根据本发明的揭示,对于本发明做出的改进和修改都应该在本发明的保护范围之内。

[0045] 本发明所提出的具备故障阻断功能的电力路由器拓扑,该拓扑提供直流侧故障阻断能力,以实现变换器潮流调控和故障保护策略的有机融合,提高综合能源站多种能源间控制的灵活性和可靠性,同时也是对综合能源系统集成的丰富和发展。

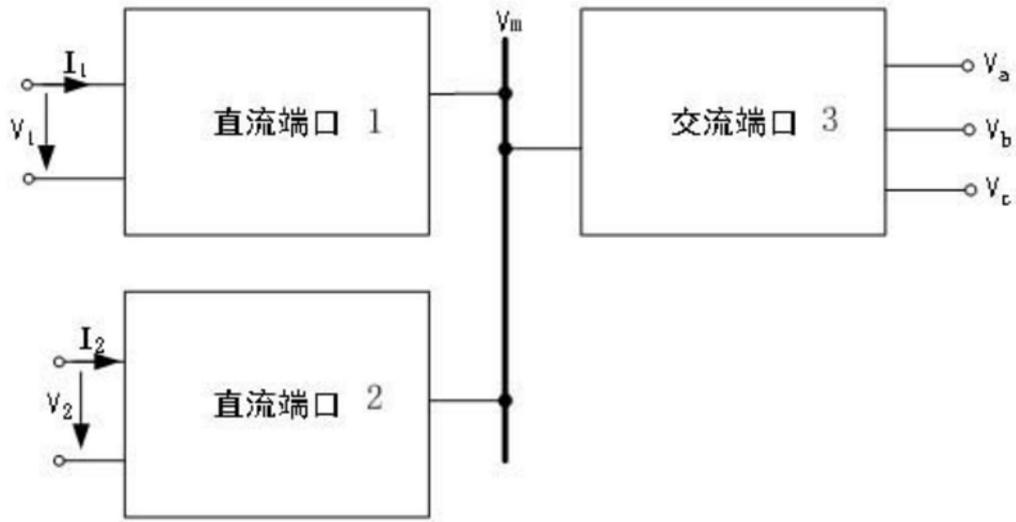


图1

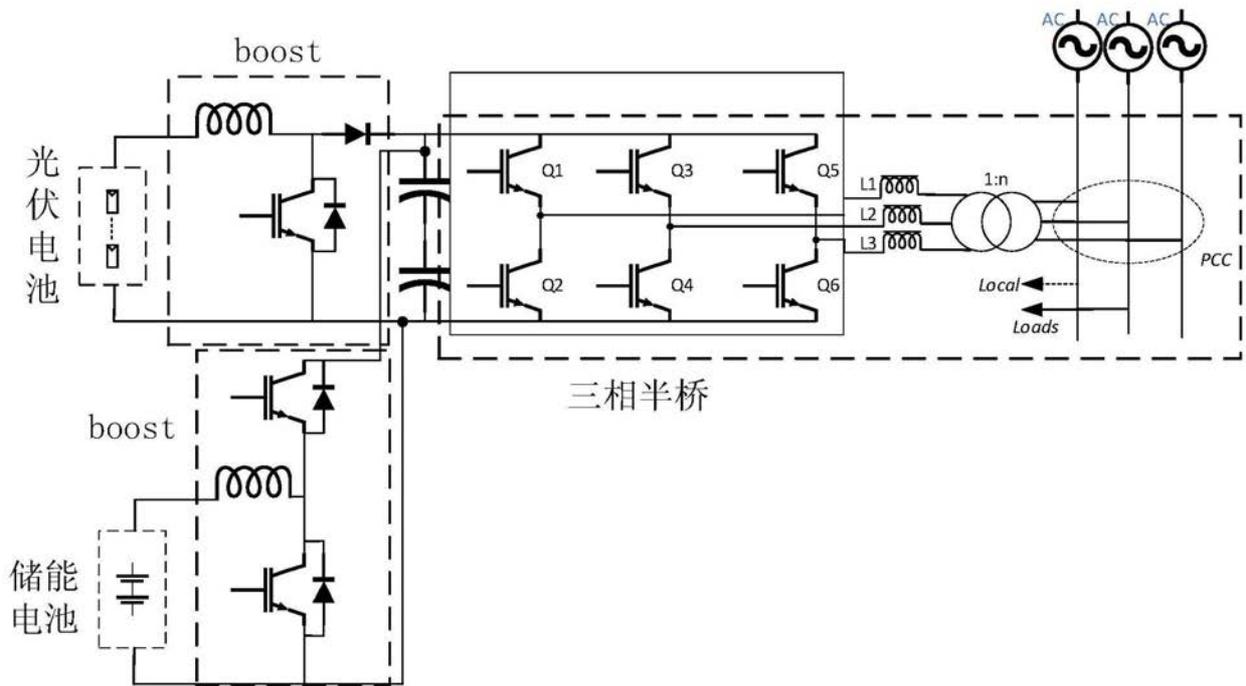


图2