(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国 际 局

(43) 国际公布日
2018 年 6 月 7 日 (07.06.2018)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2018/098673 A1

(51) 国际专利分类号:
H02J 3/36 (2006.01) *H02J 3/18* (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2016/107964

(22) 国际申请日: 2016 年 11 月 30 日 (30.11.2016)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(71) 申请人: 国网江苏省电力公司电力科学研究院 (STATE GRID JIANGSU ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE) [CN/CN]; 中国江苏省南京市江宁区帕威尔路1号, Jiangsu 211103 (CN)。 国家电网公司 (STATE GRID CORPORATION OF CHINA) [CN/CN]; 中国北京市西城区西长安街86号, Beijing 100031 (CN)。

(72) 发明人: 李鹏 (LI, Peng); 中国江苏省南京市江宁区帕威尔路1号, Jiangsu 211103 (CN)。 林金娇 (LIN, Jinjiao); 中国江苏省南京市江宁区帕威尔路1号, Jiangsu 211103 (CN)。 孔祥平 (KONG, Xiangping); 中国江苏省南京市江宁区帕威尔路1号, Jiangsu 211103 (CN)。 高磊 (GAO, Lei); 中国江苏省211103江宁区帕威尔路1号, Jiangsu 211103 (CN)。 黄浩声 (HUANG, Haosheng); 中国江苏省南京市江宁区帕威尔路1号, Jiangsu 211103 (CN)。 弓新月 (GONG, Xinyue); 中国江苏省南京市江宁区帕威尔路1号, Jiangsu 211103 (CN)。 袁宇波 (YUAN, Yubo); 中国江苏省南京市江宁区帕威尔路1号, Jiangsu 211103 (CN)。

(74) 代理人: 南京纵横知识产权代理有限公司 (NANJING ZONGHENG INTELLECTUAL AGENT CO., LTD.); 中国江苏省南京市浦

(54) **Title:** BIPOLAR VSC-HVDC AND UPFC HYBRID TOPOLOGY STRUCTURE AND OPERATING METHOD THEREFOR

(54) **发明名称:** 一种双极型VSC-HVDC和UPFC混合拓扑结构及其运行方法

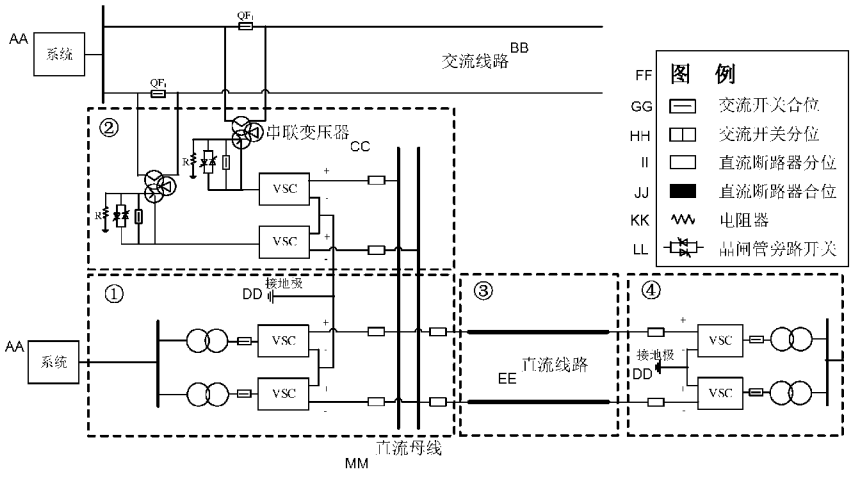


图 1

AA System
BB AC circuit
CC Serial transformer
DD Grounded
EE DC circuit
FF Legends
GG AC switch closed
HH AC switch opened
II DC breaker opened
JJ DC breaker closed
KK Resistor
LL Thyristor bypass switch
MM DC bus

(57) **Abstract:** A bipolar VSC-HVDC and UPFC hybrid topology structure and an operating method therefor, wherein a first control circuit comprises a serial side positive electrode circuit and a serial side negative electrode circuit, and VSC converters in the serial side positive electrode circuit and the serial side negative electrode circuit operate in a bipolar manner; a second control circuit comprises a positive electrode circuit and a negative electrode circuit, and VSC converters in the positive electrode circuit and the negative electrode circuit which are comprised in the second control circuit operate in a bipolar manner; the structure of a third control circuit is the same structure as that of the second control circuit; the positive electrode and the negative electrode in the second control circuit are

WO 2018/098673 A1

[见续页]

口区高新区高新路9号自主创新广场3楼, Jiangsu 210032 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明，要求每一种可提供的国家保护)：AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明，要求每一种可提供的地区保护)：ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

respectively connected to a DC bus by means of a DC breaker, the other end of a DC line is connected with the third control circuit by means of a DC breaker. A variety of operating policies and rapid conversions may be achieved on the basis of the described hybrid topology structure, comprising: VSC-HVDC and UPFC hybrid operation, UPFC operation, VSC-HVDC operation, and generalized UPFC operation. The present invention possesses the capability of VSC-HVDC high-power long-distance power transmission and the function of regulating AC power grid flow distribution by means of UPFC, thereby improving the flexibility and availability rate of system operations.

(57) 摘要：一种双极型VSC-HVDC和UPFC混合拓扑结构及其运行方法，其中第一控制电路包括串联侧正极电路和串联侧负极电路，且串联侧正极电路和串联侧负极电路中的VSC换流器做双极运行；第二控制电路包括正极电路和负极电路，第二控制电路包括正极电路和负极电路中的VSC换流器做双极运行；第三控制电路的结构与第二控制电路相同；第二控制电路中的正负极分别通过直流断路器连接到直流母线；直流线路的另一端与第三控制电路通过直流断路器连接。基于上述混合拓扑结构可实现多种运行策略及快速转换，包括：VSC-HVDC及UPFC混合运行、UPFC运行、VSC-HVDC运行、广义UPFC运行，具备VSC-HVDC大功率远距离功率传输的能力和UPFC调节交流电网潮流分布的功能，提高系统运行灵活性和可用率。

一种双极型 VSC-HVDC 和 UPFC 混合拓扑结构及其运行方法

技术领域

本发明属于柔性交直流输电技术领域，具体涉及一种双极型 VSC-HVDC 和 UPFC 混合拓扑结构及其运行方法。

背景技术

目前，大容量远距离直流输电的技术和工程应用领域取得了突破性进展，为能源资源的优化配置发挥了重要作用。随着全控型开关器件的出现与成熟，以电压源型换流器（Voltage Source Converter，VSC）为核心部件的柔性直流技术成为直流输配电领域重要的发展方向，其可以提供更好的供电可靠性和系统冗余性，以及适应性更强的供电模式、灵活和安全的潮流控制等，能有效改善新能源对电网安全稳定运行的影响。柔性直流输电系统一般采用两端或多端 VSC 直流并联拓扑结构，交流侧通过变压器并联接入电力系统。

现代电网规模和负荷不断增加，交流电网潮流和电压控制难度逐渐增大；同时，由于土地资源稀缺、环保要求增强等因素，新建变电站及线路受到越来越大的制约。采用新技术充分发挥现有电网的潜能需求变得愈发迫切，灵活交流输电技术（Flexible Alternative Current Transmission Systems，FACTS）为该问题的解决提供了重要手段。统一潮流控制器（Unified Power Flow Controller，UPFC）是目前 FACTs 技术的最高水平，通过 VSC 控制能够对多个电气参数实现柔性控制，实现线路有功和无功功率的准确调节，系统无功电压控制控制。UPFC 一般采用两个 VSC 直流侧背靠背联接的方式，一端 VSC 并接入电网，一端 VSC 通过串联变压器串接入电网中。

发明内容

为了达到上述目的，本发明提出一种双极型 VSC-HVDC 和 UPFC 混合拓扑结构及其运行方法，综合了 VSC-HVDC 和 UPFC 的功能和优点，具备柔性直流工程大功率远距离功率传输的能力，也具备 UPFC 调节交流电网潮流分布的功能，并采用双极结构结合运行策略提高系统运行灵活性和可用率，可实现设备故障运行方式的灵活切换，以及设备能力的充分利用。

实现上述技术目的，达到上述技术效果，本发明通过以下技术方案实现：

一种双极型 VSC-HVDC 和 UPFC 混合拓扑结构，包括第一控制电路、第二控制电路、直流线路和第三控制电路；所述第一控制电路为两回线结构，用于作为 UPFC 串联侧电路，包括串联侧正极电路和串联侧负极电路，其中串联侧正极电路和串联侧负极电路均包括串联的 VSC 换流器和串联变压器，还包括设于 VSC 换流器和串联变压器之间的晶闸管旁路

开关、旁路开关（优选为快速机械旁路开关）、电阻器，串联侧正极电路和串联侧负极电路中的 VSC 换流器做双极运行，第一控制电路的正负极分别通过直流断路器连接到直流母线；所述第二控制电路包括正极电路和负极电路，其中正极电路和负极电路均包括并联变压器、VSC 换流器，正极电路和负极电路中的 VSC 换流器做双极运行，配置有接地极，第二控制电路的正负极分别通过直流断路器连接到直流母线；第三控制电路的结构与第二控制电路相同；直流线路的一端通过直流断路器连接到直流母线；直流线路的另一端分别通过直流断路器与第三控制电路的正负极连接。

作为优选方案，所述第一控制电路与第二控制电路中的各 VSC 换流器公用接地极。

作为优选方案，所述第一控制电路与第二控制电路中的 VSC 换流器共用直流母线，背靠背联接。

作为优选方案，所述串联侧正极电路和串联侧负极电路的串联变压器均通过旁路开关连接到交流线路中。

一种双极型 VSC-HVDC 和 UPFC 混合拓扑结构的运行方法，包括以下步骤：

步骤一、控制双极型 VSC-HVDC 和 UPFC 混合拓扑结构中第一控制电路、第二控制电路、直流线路和第三控制电路的运行状态，形成设定的电路系统；

步骤二、根据设定的控制策略分别控制设定的电路系统中的第一控制电路、第二控制电路和第三控制电路。

作为优选方案，所述步骤一中的设定的电路系统具体为以下四种：

1.1 第一控制电路、第二控制电路、直流线路和第三控制电路均运行，形成双极型 VSC-HVDC 和 UPFC 混合系统；

1.2 第一控制电路、第二控制电路运行；直流线路和第三控制电路不运行，形成 UPFC 系统；

1.3 第一控制电路不运行；第二控制电路、直流线路和第三控制电路均运行，形成双极型 VSC-HVDC 系统；

1.4 第一控制电路、直流线路和第三控制电路均运行；第二控制电路不运行，形成广义 UPFC 系统。

作为优选方案，所述步骤二具体为：

2.1 当电路系统为双极型 VSC-HVDC 和 UPFC 混合系统时，采用定直流电压控制策略控制第二控制电路，同时进行交流系统无功电压调节；采用线路功率控制策略控制第一控制电路，进行线路有功无功控制；采用定有功功率控制策略控制第三控制电路，同时进行交流系统无功电压调节；

2.2 当电路系统为 UPFC 系统时，采用定直流电压控制策略控制第二控制电路，同时进行交流系统无功电压调节；采用线路功率控制策略控制第一控制电路，进行线路有功无功控制，第三控制电路中 VSC 换流器均闭锁停止运行；

2.3 当电路系统为双极型 VSC-HVDC 系统时，采用定直流电压控制策略控制第二控制电路，同时进行交流系统无功电压调节；采用定有功功率控制策略控制第三控制电路，同时进行交流系统无功电压调节；第一控制电路中的 VSC 换流器均闭锁停止运行，对应的旁路开关合闸；

2.4 当电路系统为广义 UPFC 系统时，采用定直流电压控制策略控制第三控制电路，同时进行交流系统无功电压调节；采用线路功率控制策略控制第一控制电路，进行线路有功无功控制；第二控制电路中 VSC 换流器均闭锁停止运行。

作为优选方案，当电路系统为双极型 VSC-HVDC 和 UPFC 的混合系统时，当出现故障时，采用以下策略进行故障隔离：

（1）当故障发生在直流线路中，则通过保护动作跳出现故障的直流线路两侧直流断路器，并闭锁第三控制电路中与出现故障的直流电路相连的 VSC 换流器，第二控制电路中的 VSC 换流器持续运行，控制直流电压，VSC-HVDC 系统单极输送功率，第一控制电路中 VSC 换流器持续运行控制两回线的功率；

（2）当故障发生在第三控制电路中，则通过保护动作闭锁第三控制电路中发生故障的 VSC 换流器，并跳与发生故障的 VSC 换流器相连的直流断路器，第二控制电路中两个 VSC 故障后持续运行，控制直流电压，VSC-HVDC 系统单极输送功率，第一控制电路中 VSC 换流器持续运行控制两回线的功率；

（3）若故障在第二控制电路中，则通过保护动作闭锁第二控制电路中发生故障的 VSC 换流器，并跳与发生故障的 VSC 换流器相连的直流断路器，第三控制电路中的 VSC 换流器持续运行，且发生故障的 VSC 换流器的控制模式转为定直流电压控制，VSC-HVDC 系统单极输送功率，第一控制电路中 VSC 换流器持续运行控制两回线的功率；

（4）若故障在第一控制电路中，则通过保护动作闭锁第一控制电路中发生故障的 VSC 换流器，并跳与发生故障的 VSC 换流器相连的直流断路器，同时合对应串联侧旁路开关，第二控制电路、直流线路和第三控制电路持续运行。

本发明的有益效果：

本发明提出一种双极型 VSC-HVDC 和 UPFC 混合拓扑结构及其运行方法，综合了 VSC-HVDC 和 UPFC 的功能和优点，具备柔性直流工程大功率远距离功率传输的能力，也具备 UPFC 调节交流电网潮流分布的功能，并采用双极结构结合运行策略提高系统运行灵

活性和可用率，可实现设备故障运行方式的灵活切换，以及设备能力的充分利用。

附图说明

图 1 为双极型 VSC-HVDC 和 UPFC 混合拓扑结构的结构图；

图 2 为双极型 VSC-HVDC 和 UPFC 混合系统运行示意图；

图 3 为双极型 VSC-HVDC 和 UPFC 混合系统中区域③正极故障跳闸后系统运行情况示意图；

图 4 为双极型 VSC-HVDC 和 UPFC 混合系统中区域④正极故障跳闸后系统运行情况示意图；

图 5 为双极型 VSC-HVDC 和 UPFC 混合系统中区域①正极故障跳闸后系统运行情况示意图；

图 6 为双极型 VSC-HVDC 和 UPFC 混合系统中区域②正极故障跳闸后系统运行情况示意图；

图 7 为 UPFC 系统运行示意图；

图 8 为双极型 VSC-HVDC 系统运行示意图；

图 9 为广义 UPFC 系统均运行示意图。

具体实施方式

为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白，以下结合实施例，对本发明进行进一步详细说明。应当理解，此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明，并不用于限定本发明。

下面结合附图对本发明的应用原理作详细的描述。

近年来，随着 VSC 技术从两电平、三电平等拓扑发展到多电平拓扑技术，其中模块化多电平（Modular Multilevel Converter，MMC）使其中的典型代表，这也使电力电子技术在高电压大功率输电领域得以推广应用。实际工程中，柔性直流输电装置和 UPFC 一般是独立建设与运行的，为了提高设备利用率、降低成本，同时充分发挥柔性直流和 UPFC 的功率传输和潮流调节的作用，采用新型的拓扑结构实现柔性直流和 UPFC 共同建设、集中运行、协调控制将有重要的经济和技术意义。

如图 1 所示，一种双极型 VSC-HVDC 和 UPFC 混合拓扑结构，包括第一控制电路、第二控制电路、直流线路和第三控制电路；

所述第一控制电路为两回线结构，用于作为 UPFC 串联侧电路，所述第一控制电路为两回线结构，用于作为 UPFC 串联侧电路，包括串联侧正极电路和串联侧负极电路，其中串联侧正极电路和串联侧负极电路均包括串联的 VSC 换流器和串联变压器，还包括设于

VSC 换流器和串联变压器之间的晶闸管旁路开关、快速机械旁路开关、电阻器，串联侧正极电路和串联侧负极电路中的 VSC 换流器做双极运行，第一控制电路的正负极分别通过直流断路器连接到直流母线；第一控制电路用于分别控制两回交流线路的潮流。所述串联侧正极电路和串联侧负极电路中的串联变压器通过旁路开关连接到交流线路中。

所述第二控制电路包括正极电路和负极电路，包括正极电路和负极电路均包括顺次串联的并联变压器、VSC 换流器，正极电路和负极电路中的 VSC 换流器做双极运行，配置有接地极（即将各 VSC 换流器的负极均接地），第二控制电路的正负极分别通过直流断路器连接到直流母线；本发明的第二控制电路既可作为 UPFC 的并联侧，也可作为双极型 VSC-HVDC 系统（柔性直流输电系统）的一端。可以根据实际的情况来选择其用途。

第三控制电路的结构与第二控制电路相同；第三控制电路既可作为 UPFC 的并联侧，也可作为双极型 VSC-HVDC 系统（柔性直流输电系统）的另一端。可以根据实际的情况来选择其用途。

第三控制电路的结构与第二控制电路相同；直流线路的一端通过直流断路器连接到直流母线；直流线路的另一端分别通过直流断路器与第三控制电路的正负极连接。

所述第一控制电路与第二控制电路中的各 VSC 换流器公用接地极。

所述第一控制电路与第二控制电路中的 VSC 换流器共用直流母线，背靠背联接。

由图 1 可知，在本发明的优选实施例中，UPFC 串联侧电路中的各 VSC 换流器与第二控制电路（第一 UPFC 并联侧电路）中的各 VSC 换流器共用接地极。第一控制电路和第二控制电路组成两回线 UPFC 运行方式；第二控制电路、直流线路和第三控制电路构成两端双极柔性直流输电系统，该拓扑结构可以直接扩展至多端双极柔性直流输电系统，因此，第一控制电路、第二控制电路、直流线路和第三控制电路共同构成了双极型 VSC-HVDC 及 UPFC 混合输电系统。

一种双极型 VSC-HVDC 和 UPFC 混合拓扑结构的运行方法，包括以下步骤：

步骤一、控制基于双极型 VSC-HVDC 和 UPFC 的混合拓扑结构中第一控制电路、第二控制电路、直流线路和第三控制电路的运行状态，形成设定的电路系统；

步骤二、根据设定的控制策略分别控制设定的电路系统中的第一控制电路、第二控制电路和第三控制电路。

所述步骤一中的设定的电路系统具体为以下四种：

1.1 第一控制电路、第二控制电路、直流线路和第三控制电路均运行，形成双极型 VSC-HVDC 和 UPFC 的混合系统；

1.2 第一控制电路、第二控制电路运行；直流线路和第三控制电路不运行，形成 UPFC

系统；

1.3 第一控制电路不运行；第二控制电路、直流线路和第三控制电路均运行，形成双极型 VSC-HVDC 系统；

1.4 第一控制电路、直流线路和第三控制电路均运行；第二控制电路不运行，形成广义 UPFC 系统。

所述步骤二具体为：

2.1 当电路系统为双极型 VSC-HVDC 和 UPFC 混合系统时，采用定直流电压控制策略控制第二控制电路，同时进行交流系统无功电压调节；采用线路功率控制策略控制第一控制电路，进行线路有功无功控制；采用定有功功率控制策略控制第三控制电路，同时进行交流系统无功电压调节；具体见图 2；

当电路系统为双极型 VSC-HVDC 和 UPFC 混合系统时，若混合系统出现故障，则采用以下策略进行故障隔离：

（1）当故障发生在直流线路中，则通过保护动作跳出现故障的直流线路两侧直流断路器，并闭锁第三控制电路中与出现故障的直流电路相连的 VSC 换流器，第二控制电路中的 VSC 换流器持续运行，控制直流电压，VSC-HVDC 系统单极输送功率，第一控制电路中 VSC 换流器持续运行控制两回线的功率；

（2）当故障发生在第三控制电路中，则通过保护动作闭锁第三控制电路中发生故障的 VSC 换流器，并跳与发生故障的 VSC 换流器相连的直流断路器，第二控制电路中两个 VSC 故障后持续运行，控制直流电压，VSC-HVDC 系统单极输送功率，第一控制电路中 VSC 换流器持续运行控制两回线的功率；

（3）若故障在第二控制电路中，则通过保护动作闭锁第二控制电路中发生故障的 VSC 换流器，并跳与发生故障的 VSC 换流器相连的直流断路器，第三控制电路中的 VSC 换流器持续运行，且发生故障的 VSC 换流器的控制模式转为定直流电压控制，VSC-HVDC 系统单极输送功率，第一控制电路中 VSC 换流器持续运行控制两回线的功率；

（4）若故障在第一控制电路中，则通过保护动作闭锁第一控制电路中发生故障的 VSC 换流器，并跳与发生故障的 VSC 换流器相连的直流断路器，同时合对应串联侧旁路开关，第二控制电路、直流线路和第三控制电路持续运行。

下面结合图 1 以正极故障为例，详细说明按照上述策略进行故障隔离：

图 1 中的①代表第二控制电路，②代表第一控制电路，③代表直流线路，④代表第三控制电路；

若故障在③中，则通过保护动作跳故障的直流线路两侧直流断路器，并闭锁④中故障

极 VSC，①中两个 VSC 故障后持续运行，控制直流电压，VSC-HVDC 系统单极输送功率，②中 VSC 持续运行控制两回线的功率，运行示意如图 3。

若故障在④中，则通过保护动作闭锁④中故障极 VSC，并跳故障极直流断路器，①中两个 VSC 故障后持续运行，控制直流电压，VSC-HVDC 系统单极输送功率，②中 VSC 持续运行控制两回线的功率，运行示意如图 4。

若故障在①中，则通过保护动作闭锁①中故障极 VSC，并跳故障极直流断路器，④中两个 VSC 故障后持续运行，且故障极控制模式转为定直流电压控制，VSC-HVDC 系统单极输送功率，②中 VSC 持续运行控制两回线的功率，运行示意如图 5。

若故障在②中，则通过保护动作闭锁②中故障极 VSC，并跳故障极直流断路器，同时合对应串联侧旁路开关，①③及④持续运行，运行示意如图 6。

2.2 当电路系统为 UPFC 系统时，采用定直流电压控制策略控制第二控制电路，同时进行交流系统无功电压调节；采用线路功率控制策略控制第一控制电路，进行线路有功无功控制，第三控制电路中 VSC 换流器均闭锁停止运行；

当电路系统为 UPFC 系统时，若 UPFC 系统出现故障，采用与双极型 VSC-HVDC 和 UPFC 的混合系统出现故障时相同的策略进行故障隔离。

2.3 当电路系统为双极型 VSC-HVDC 系统时，采用定直流电压控制策略控制第二控制电路，同时进行交流系统无功电压调节；采用定有功功率控制策略控制第三控制电路，同时进行交流系统无功电压调节；第一控制电路中的 VSC 换流器均闭锁停止运行，对应的旁路开关合闸；运行示意如图 8；

当电路系统为双极型 VSC-HVDC 系统时，若双极型 VSC-HVDC 系统出现故障，采用与双极型 VSC-HVDC 和 UPFC 的混合系统出现故障时相同的策略进行故障隔离。

2.4 当电路系统为广义 UPFC 系统时，采用定直流电压控制策略控制第三控制电路，同时进行交流系统无功电压调节；采用线路功率控制策略控制第一控制电路，进行线路有功无功控制；第二控制电路中 VSC 换流器均闭锁停止运行，运行示意如图 9。

当电路系统为广义 UPFC 系统系统时，若广义 UPFC 系统出现故障，采用与双极型 VSC-HVDC 和 UPFC 的混合系统出现故障时相同的策略进行故障隔离。

综上所述，本发明可以同时兼顾 VSC-HVDC 和 UPFC 的功能和优点，具备 VSC-HVDC 工程大功率远距离功率传输的能力，也具备 UPFC 调节交流电网潮流分布的功能，并采用双极结构结合运行策略提高系统运行灵活性和可用率，可实现设备故障运行方式的灵活切换，以及设备能力的充分利用。

以上显示和描述了本发明的基本原理和主要特征和本发明的优点。本行业的技术人员

应该了解，本发明不受上述实施例的限制，上述实施例和说明书中描述的只是说明本发明的原理，在不脱离本发明精神和范围的前提下，本发明还会有各种变化和改进，这些变化和改进都落入要求保护的本发明范围内。本发明要求保护范围由所附的权利要求书及其等效物界定。

权 利 要 求 书

1. 一种双极型 VSC-HVDC 和 UPFC 混合拓扑结构，其特征在于：包括第一控制电路、第二控制电路、直流线路和第三控制电路；所述第一控制电路为两回线结构，用于作为 UPFC 串联侧电路，包括串联侧正极电路和串联侧负极电路，其中串联侧正极电路和串联侧负极电路均包括串联的 VSC 换流器和串联变压器，还包括设于 VSC 换流器和串联变压器之间的晶闸管旁路开关、机械旁路开关、电阻器，串联侧正极电路和串联侧负极电路中的 VSC 换流器做双极运行，第一控制电路的正负极分别通过直流断路器连接到直流母线；所述第二控制电路包括正极电路和负极电路，其中正极电路和负极电路均包括并联变压器、VSC 换流器，正极电路和负极电路中的 VSC 换流器做双极运行，配置有接地极，第二控制电路的正负极分别通过直流断路器连接到直流母线；第三控制电路的结构与第二控制电路相同；直流线路的一端通过直流断路器连接到直流母线；直流线路的另一端分别通过直流断路器与第三控制电路的正负极连接。
2. 根据权利要求 1 所述的一种双极型 VSC-HVDC 和 UPFC 混合拓扑结构，其特征在于：所述第一控制电路与第二控制电路中的各 VSC 换流器公用接地极。
3. 根据权利要求 1 所述的一种双极型 VSC-HVDC 和 UPFC 混合拓扑结构，其特征在于：第一控制电路与第二控制电路中的 VSC 换流器共用直流母线，背靠背联接。
4. 一种双极型 VSC-HVDC 和 UPFC 混合拓扑结构的运行方法，其特征在于，包括以下步骤：

   步骤一、控制双极型 VSC-HVDC 和 UPFC 混合拓扑结构中第一控制电路、第二控制电路、直流线路和第三控制电路的运行状态，形成设定的电路系统；

   步骤二、根据设定的控制策略分别控制设定的电路系统中的第一控制电路、第二控制电路和第三控制电路。
5. 根据权利要求 4 所述的一种双极型 VSC-HVDC 和 UPFC 混合拓扑结构的运行方法，其特征在于：所述步骤一中的设定的电路系统具体为以下四种：

   1.1 第一控制电路、第二控制电路、直流线路和第三控制电路均运行，形成双极型 VSC-HVDC 和 UPFC 混合系统；

   1.2 第一控制电路、第二控制电路运行；直流线路和第三控制电路不运行，形成 UPFC 系统；

   1.3 第一控制电路不运行；第二控制电路、直流线路和第三控制电路均运行，形成双极型 VSC-HVDC 系统；

   1.4 第一控制电路、直流线路和第三控制电路均运行；第二控制电路不运行，形成广义 UPFC 系统。

6. 根据权利要求 5 所述的一种双极型 VSC-HVDC 和 UPFC 混合拓扑结构的运行方法，其特征在于：所述步骤二具体为：

2.1 当电路系统为双极型 VSC-HVDC 和 UPFC 混合系统时，采用定直流电压控制策略控制第二控制电路，同时进行交流系统无功电压调节；采用线路功率控制策略控制第一控制电路，进行线路有功无功控制；采用定有功功率控制策略控制第三控制电路，同时进行交流系统无功电压调节；

2.2 当电路系统为 UPFC 系统时，采用定直流电压控制策略控制第二控制电路，同时进行交流系统无功电压调节；采用线路功率控制策略控制第一控制电路，进行线路有功无功控制，第三控制电路中 VSC 换流器均闭锁停止运行；

2.3 当电路系统为双极型 VSC-HVDC 系统时，采用定直流电压控制策略控制第二控制电路，同时进行交流系统无功电压调节；采用定有功功率控制策略控制第三控制电路，同时进行交流系统无功电压调节；第一控制电路中的 VSC 换流器均闭锁停止运行，对应的旁路开关合闸；

2.4 当电路系统为广义 UPFC 系统时，采用定直流电压控制策略控制第三控制电路，同时进行交流系统无功电压调节；采用线路功率控制策略控制第一控制电路，进行线路有功无功控制；第二控制电路中 VSC 换流器均闭锁停止运行。

7. 根据权利要求 5 所述的一种双极型 VSC-HVDC 和 UPFC 混合拓扑结构的运行方法，其特征在于：当电路系统为双极型 VSC-HVDC 和 UPFC 的混合系统时，当出现故障时，采用以下策略进行故障隔离：

（1）当故障发生在直流线路中，则通过保护动作跳出现故障的直流线路两侧直流断路器，并闭锁第三控制电路中与出现故障的直流电路相连的 VSC 换流器，第二控制电路中的 VSC 换流器持续运行，控制直流电压，VSC-HVDC 系统单极输送功率，第一控制电路中 VSC 换流器持续运行控制两回线的功率；

（2）当故障发生在第三控制电路中，则通过保护动作闭锁第三控制电路中发生故障的 VSC 换流器，并跳与发生故障的 VSC 换流器相连的直流断路器，第二控制电路中两个 VSC 故障后持续运行，控制直流电压，VSC-HVDC 系统单极输送功率，第一控制电路中 VSC 换流器持续运行控制两回线的功率；

（3）若故障在第二控制电路中，则通过保护动作闭锁第二控制电路中发生故障的 VSC 换流器，并跳与发生故障的 VSC 换流器相连的直流断路器，第三控制电路中的 VSC 换流器持续运行，且发生故障的 VSC 换流器的控制模式转为定直流电压控制，VSC-HVDC 系统单极输送功率，第一控制电路中 VSC 换流器持续运行控制两回线的功率；

（4）若故障在第一控制电路中，则通过保护动作闭锁第一控制电路中发生故障的 VSC 换流器，并跳与发生故障的 VSC 换流器相连的直流断路器，同时合对应串联侧旁路开关，第二控制电路、直流线路和第三控制电路持续运行。

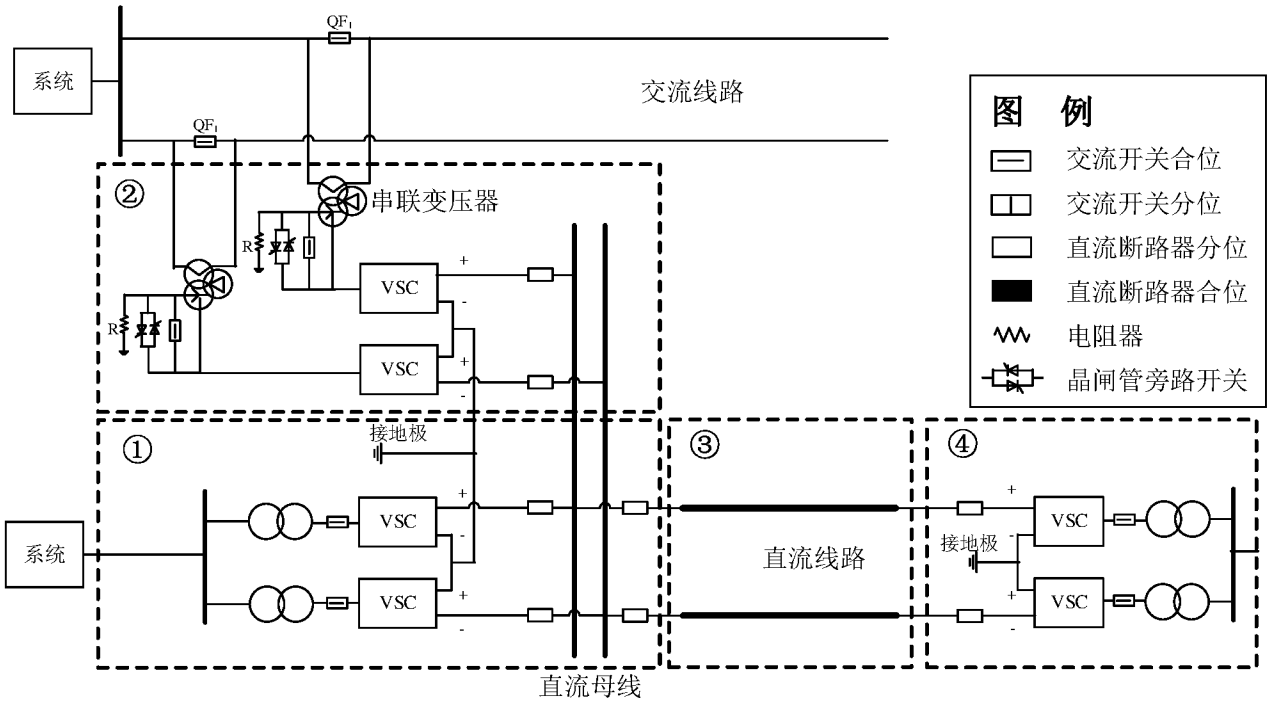

系统
QF_1
交流线路
QF_2
②
串联变压器
R
VSC
VSC
①
接地极
VSC
VSC
系统
③
直流线路
④
接地极
VSC
VSC
直流母线
图 例
交流开关合位
交流开关分位
直流断路器分位
直流断路器合位
电阻器
晶闸管旁路开关

图 1

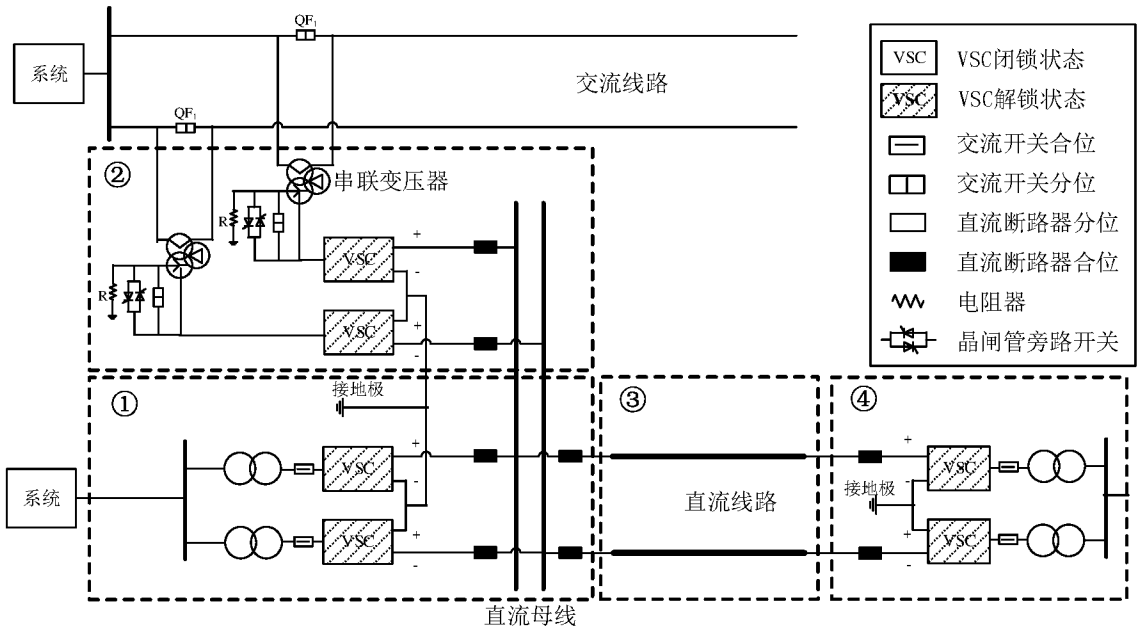

系统
QF_1
交流线路
QF_2
②
串联变压器
R
VSC
VSC
①
接地极
VSC
VSC
系统
③
直流线路
④
接地极
VSC
VSC
直流母线
VSC闭锁状态
VSC解锁状态
交流开关合位
交流开关分位
直流断路器分位
直流断路器合位
电阻器
晶闸管旁路开关

图 2

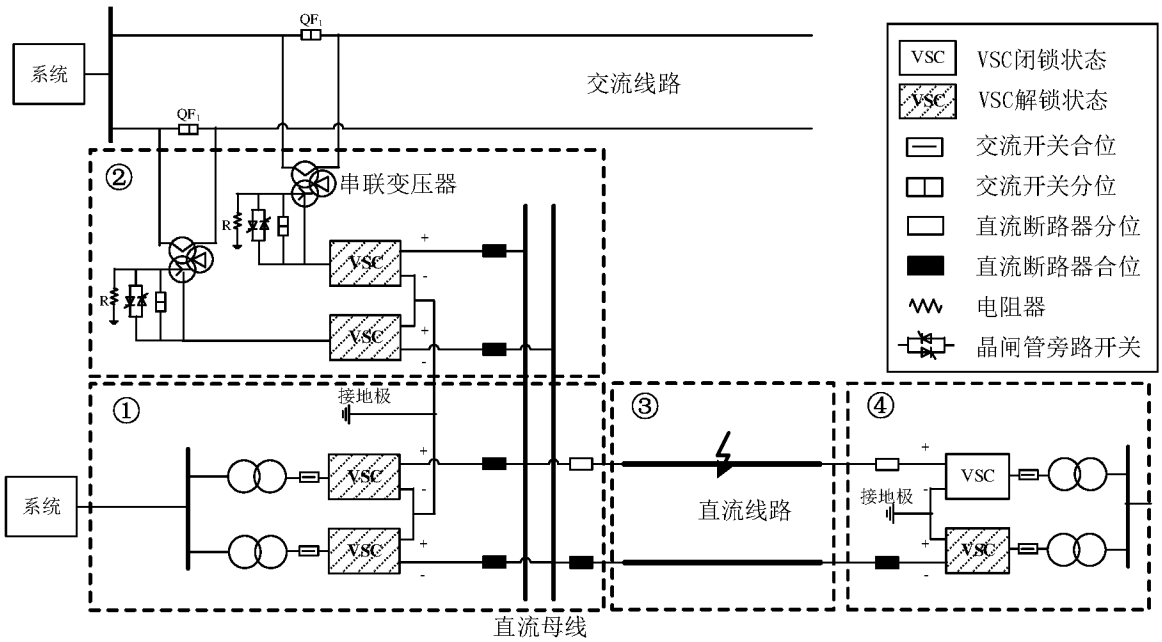

系统
QF1
交流线路
串联变压器
R
VSC
接地极
①
②
③
④
直流线路
直流母线
VSC闭锁状态
VSC解锁状态
交流开关合位
交流开关分位
直流断路器分位
直流断路器合位
电阻器
晶闸管旁路开关

图 3

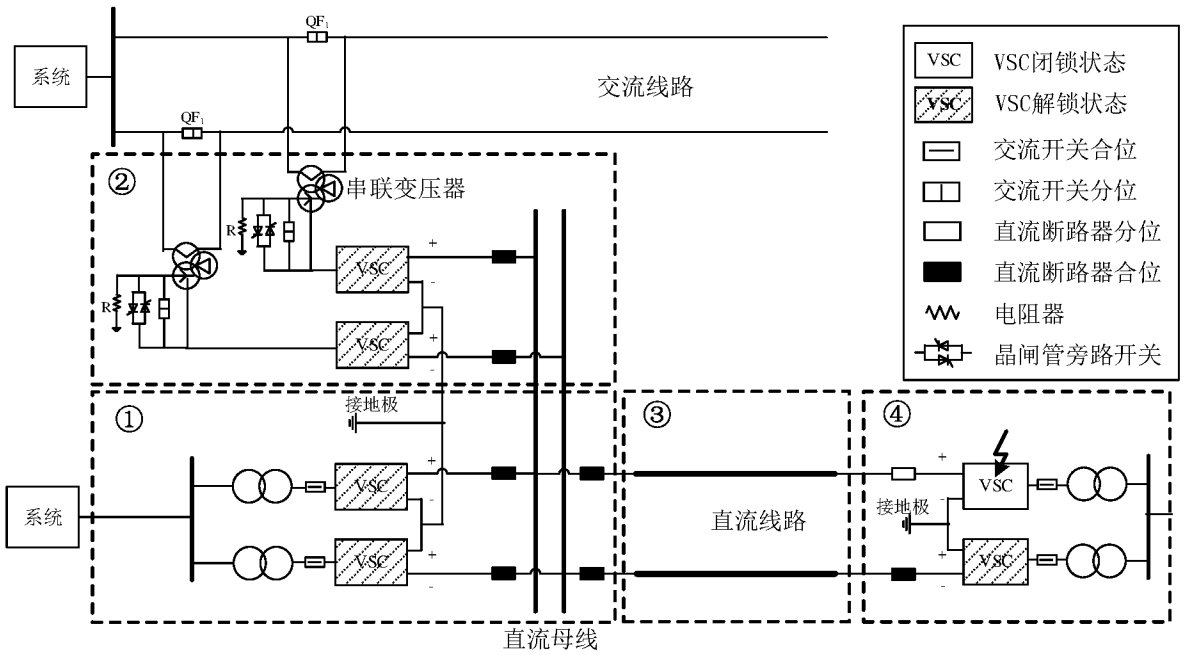

系统
QF1
交流线路
串联变压器
R
VSC
接地极
①
②
③
④
直流线路
直流母线
VSC闭锁状态
VSC解锁状态
交流开关合位
交流开关分位
直流断路器分位
直流断路器合位
电阻器
晶闸管旁路开关

图 4

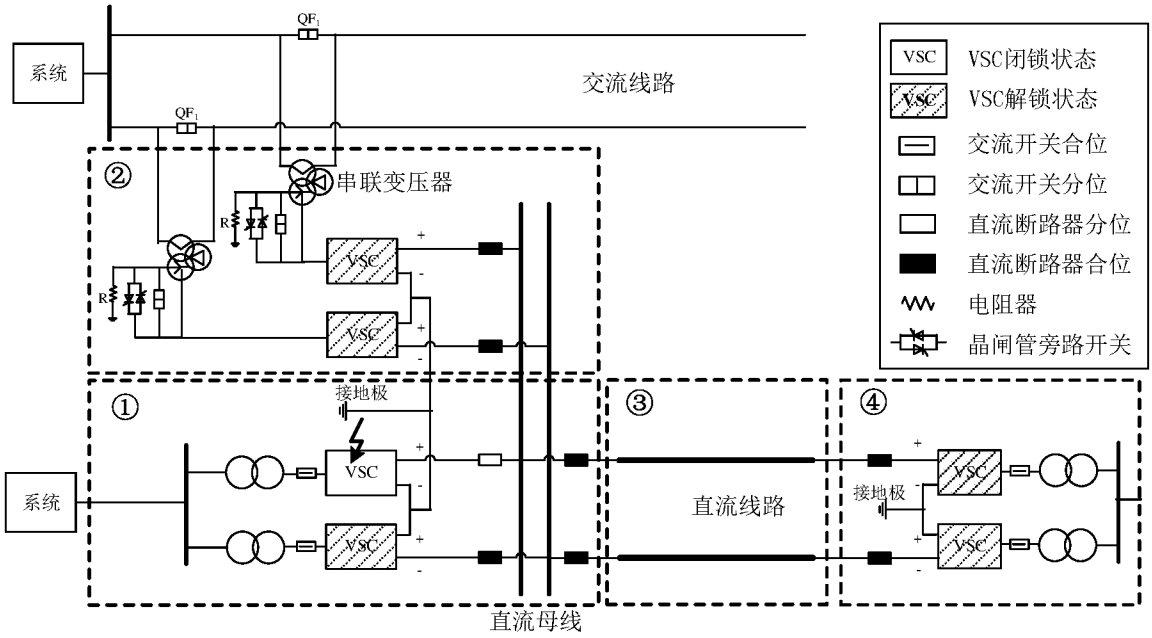

系统
QF1
交流线路
串联变压器
R
VSC
接地极
①
②
③
④
直流线路
直流母线
VSC闭锁状态
VSC解锁状态
交流开关合位
交流开关分位
直流断路器分位
直流断路器合位
电阻器
晶闸管旁路开关

图 5

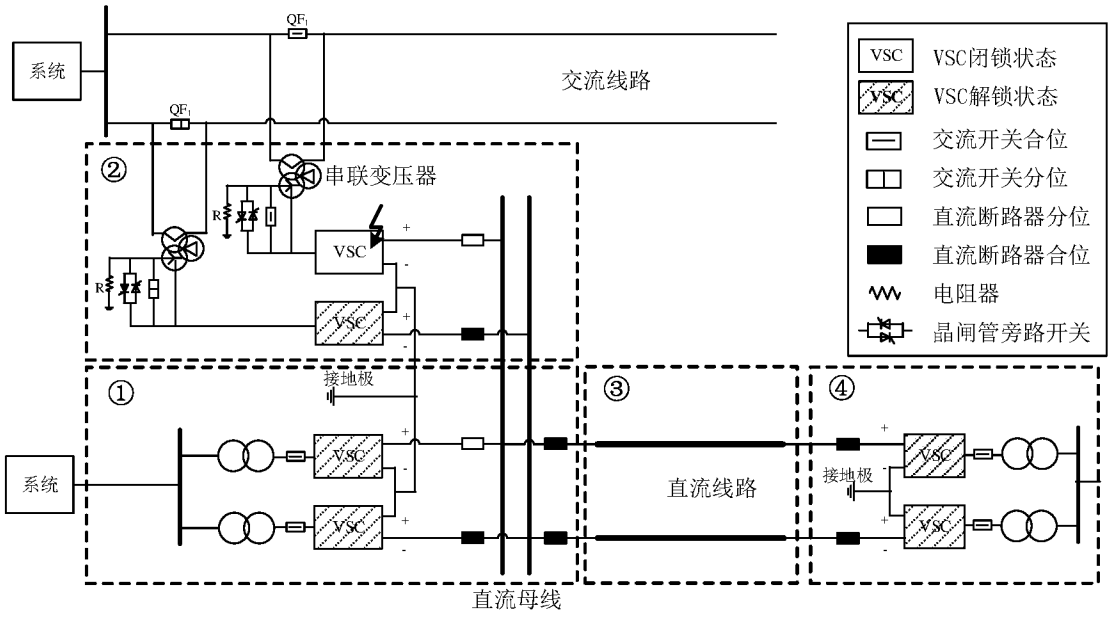

系统
QF1
交流线路
串联变压器
R
VSC
接地极
①
②
③
④
直流线路
直流母线
VSC闭锁状态
VSC解锁状态
交流开关合位
交流开关分位
直流断路器分位
直流断路器合位
电阻器
晶闸管旁路开关

图 6

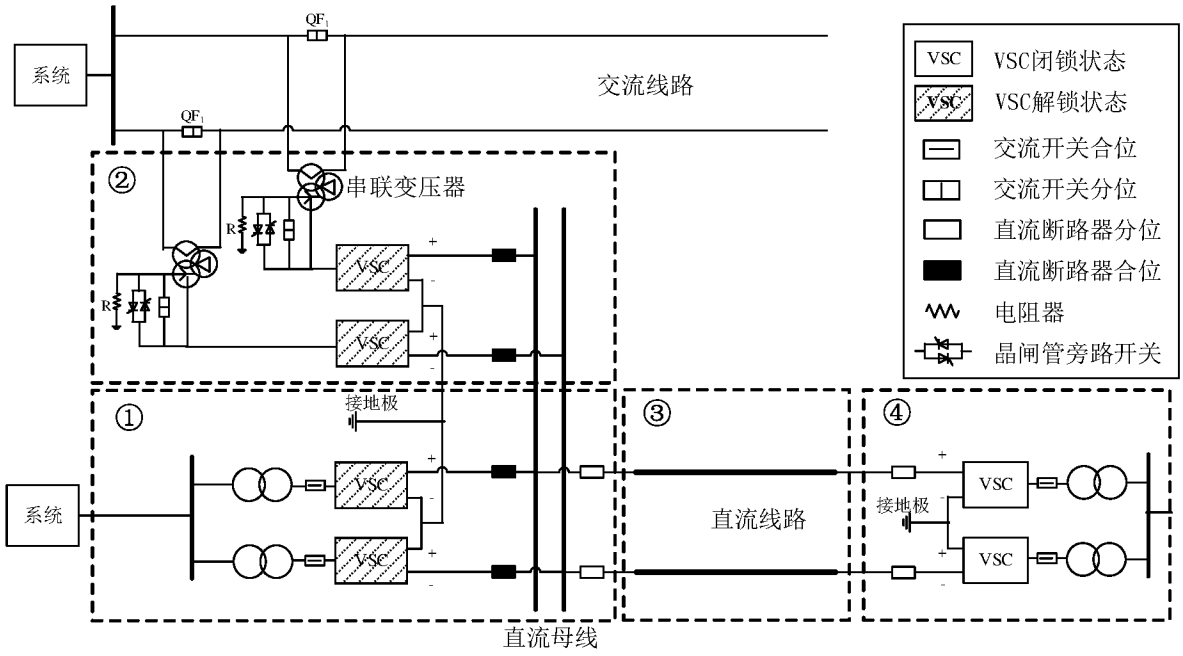

系统
交流线路
串联变压器
VSC
接地极
直流线路
直流母线
VSC闭锁状态
VSC解锁状态
交流开关合位
交流开关分位
直流断路器分位
直流断路器合位
电阻器
晶闸管旁路开关

图 7

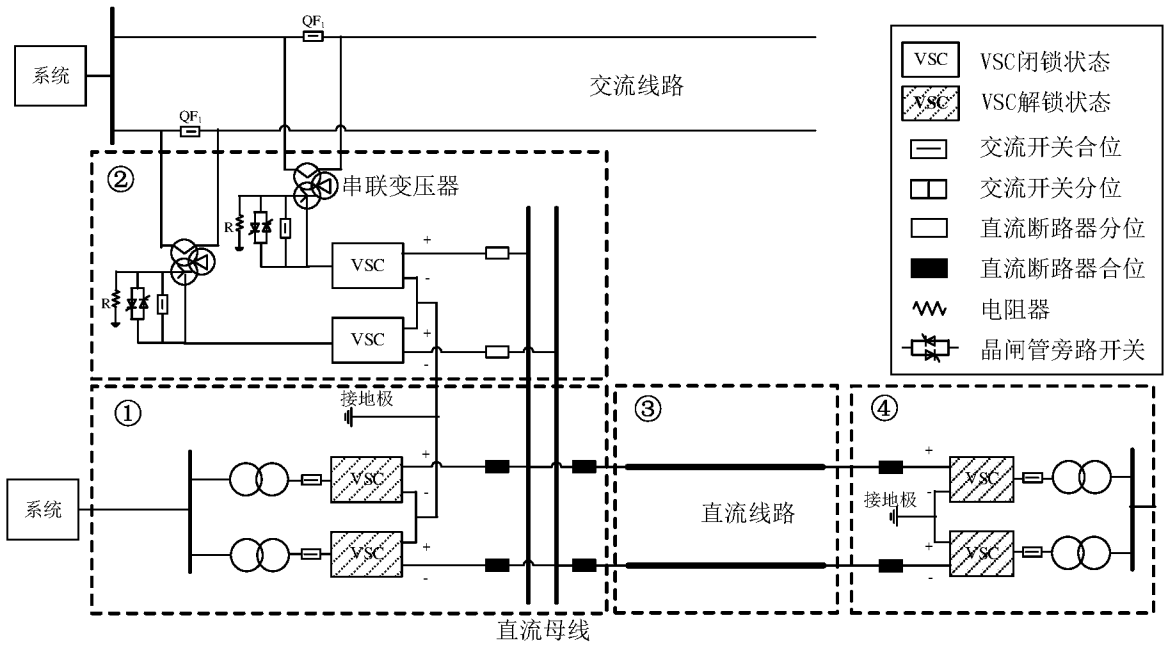

系统
交流线路
串联变压器
VSC
接地极
直流线路
直流母线
VSC闭锁状态
VSC解锁状态
交流开关合位
交流开关分位
直流断路器分位
直流断路器合位
电阻器
晶闸管旁路开关

图 8

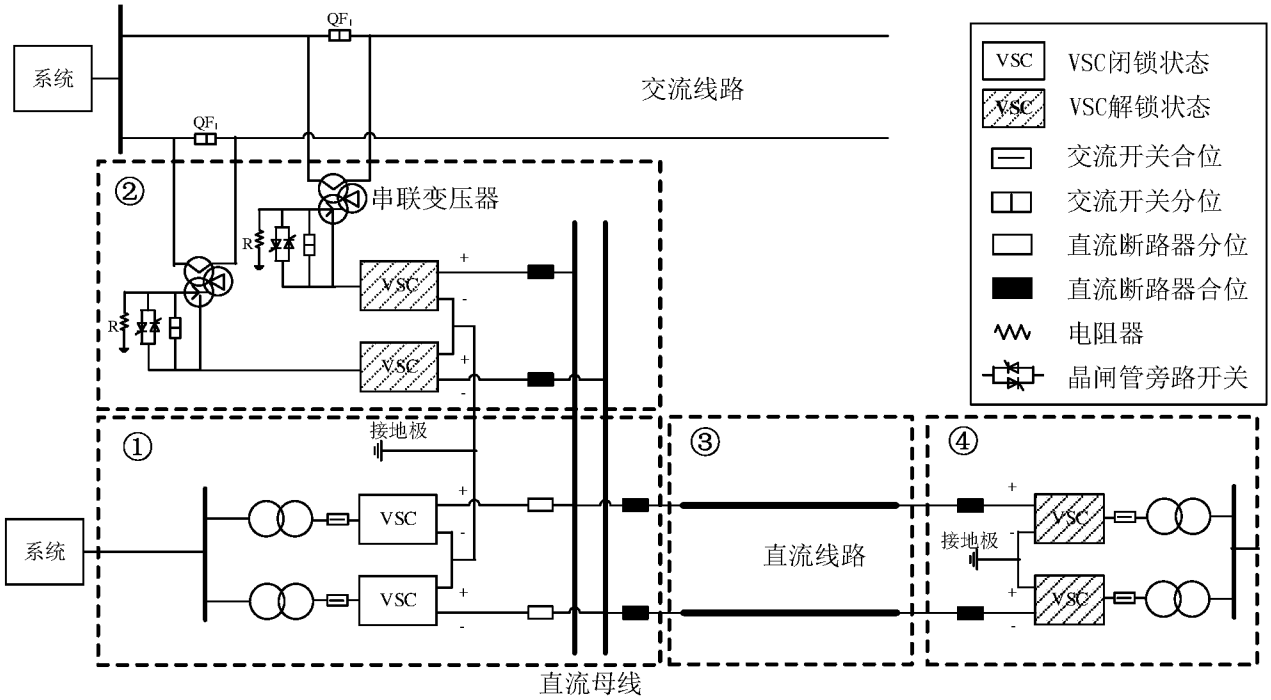

系统
QF1
QF1
交流线路
②
串联变压器
R
R
VSC
VSC
①
接地极
VSC
VSC
系统
③
直流线路
④
接地极
VSC
VSC
直流母线
VSC闭锁状态
VSC解锁状态
交流开关合位
交流开关分位
直流断路器分位
直流断路器合位
电阻器
晶闸管旁路开关

图 9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2016/107964

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02J 3/36 (2006.01) i; H02J 3/18 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H02J; H02M

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

WPI, EPODOC, CNPAT, CNKI: 潮流, 功率流, 输电, 统一潮流控制, 统一电能质量控制, 换流器, 变流器, 变换器, 混合, 复合, 共用, 共享, 串联, 并联, HVDC, VSC, UPFC, IPFC, GUPFC, UPQC, power flow, load flow, unified power flow, converter, inverter, hybrid, share, transmission, power quality, mode, shunt, parallel, series

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	CN 102983586 A (CHINA EPRI SCIENCE & TECHNOLOGY CO., LTD. et al.) 20 March 2013 (20.03.2013), description, paragraphs [0032]-[0042], and figures 1-3	4
A	CN 103001242 A (CHINA EPRI SCIENCE & TECHNOLOGY CO., LTD. et al.) 27 March 2013 (27.03.2013), entire document	1-7
A	CN 105896587 A (XJ ELECTRIC CO., LTD. et al.) 24 August 2016 (24.08.2016), entire document	1-7
A	CN 103972887 A (NANJING NARI-RELAYS ELECTRIC CO., LTD. et al.) 06 August 2014 (06.08.2014), entire document	1-7
A	US 2014247629 A1 (GE ENERGY POWER CONVERSION TECHNOLOGY LIMITED) 04 September 2014 (04.09.2014), entire document	1-7

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&"document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
17 July 2017	27 July 2017

Name and mailing address of the ISA
State Intellectual Property Office of the P. R. China
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao
Haidian District, Beijing 100088, China
Facsimile No. (86-10) 62019451

Authorized officer
HAN, Fei
Telephone No. (86-10) 53318913

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2016/107964

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	ANGELES-CAMACHO, C. et al. Phase-domain Power Flows in the Rectangular Co-ordinates Frame of Reference Including VSC-based FACTS Controllers. Electric Power Systems Research. 31 March 2008 (31.03.2008), 78(3), pp. 494-506	1-7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2016/107964

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 102983586 A	20 March 2013	CN 102983586 B	20 January 2016
CN 103001242 A	27 March 2013	CN 103001242 B	20 January 2016
CN 105896587 A	24 August 2016	None	
CN 103972887 A	06 August 2014	EP 3125394 A1	01 February 2017
		WO 2015176546 A1	26 November 2015
		US 2017098936 A1	06 April 2017
US 2014247629 A1	04 September 2014	CA 2842648 A1	01 September 2014
		US 9048691 B2	02 June 2015
		CN 104022674 A	03 September 2014
		EP 2773032 A1	03 September 2014

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2016/107964

A. 主题的分类

H02J 3/36(2006.01)i; H02J 3/18(2006.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

H02J, ; H02M

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称，和使用的检索词（如使用）)

WPI, EPODOC, CNPAT, CNKI: 潮流，功率流，输电，统一潮流控制，统一电能质量控制，换流器，变流器，变换器，混合，复合，共用，共享，串联，并联，HVDC, VSC, UPFC, IPFC, GUPFC, UPQC, power flow, load flow, unified power flow, converter, inverter, hybrid, share, transmission, power quality, mode, shunt, parallel, series

C. 相关文件

类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
X	CN 102983586 A (中电普瑞科技有限公司 等) 2013年 3月 20日 (2013-03-20) 说明书第0032-0042段及图1-3	4
A	CN 103001242 A (中电普瑞科技有限公司 等) 2013年 3月 27日 (2013-03-27) 全文	1-7
A	CN 105896587 A (许继电气股份有限公司 等) 2016年 8月 24日 (2016-08-24) 全文	1-7
A	CN 103972887 A (南京南瑞继保电气有限公司 等) 2014年 8月 6日 (2014-08-06) 全文	1-7
A	US 2014247629 A1 (GE ENERGY POWER CONVERSION TECHNOLOGY LIMITED) 2014年 9月 4日 (2014-09-04) 全文	1-7

☑ 其余文件在C栏的续页中列出。

☑ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型：

"A" 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

"E" 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

"L" 可能对优先权要求构成怀疑的文件，或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件（如具体说明的）

"O" 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

"P" 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

"T" 在申请日或优先权日之后公布，与申请不相抵触，但为了理解发明之理论或原理的在后文件

"X" 特别相关的文件，单独考虑该文件，认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

"Y" 特别相关的文件，当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时，要求保护的发明不具有创造性

"&" 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期	国际检索报告邮寄日期
2017年 7月 17日	2017年 7月 27日

ISA/CN的名称和邮寄地址	受权官员
中华人民共和国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088	韩菲
传真号 (86-10)62019451	电话号码 (86-10)01053318913

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2016/107964

C. 相关文件

类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
A	ANGELES-CAMACHO, C.等. "Phase-domain power flows in the rectangular co-ordinates frame of reference including VSC-based FACTS controllers" Electric Power Systems Research, 第78卷，第3期，2008年 3月 31日 (2008-03-31)， 第494-506页	1-7

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2016/107964

检索报告引用的专利文件			公布日（年/月/日）	同族专利			公布日（年/月/日）
CN	102983586	A	2013年 3月 20日	CN	102983586	B	2016年 1月 20日
CN	103001242	A	2013年 3月 27日	CN	103001242	B	2016年 1月 20日
CN	105896587	A	2016年 8月 24日		无		
CN	103972887	A	2014年 8月 6日	EP	3125394	A1	2017年 2月 1日
				WO	2015176546	A1	2015年 11月 26日
				US	2017098936	A1	2017年 4月 6日
US	2014247629	A1	2014年 9月 4日	CA	2842648	A1	2014年 9月 1日
				US	9048691	B2	2015年 6月 2日
				CN	104022674	A	2014年 9月 3日
				EP	2773032	A1	2014年 9月 3日