



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 110011538 B

(45)授权公告日 2020.09.08

(21)申请号 201910092765.5

CN 108306484 A, 2018.07.20

(22)申请日 2019.01.30

CN 107819403 A, 2018.03.20

(65)同一申请的已公布的文献号

CN 104539187 A, 2015.04.22

申请公布号 CN 110011538 A

CN 108448903 A, 2018.08.24

(43)申请公布日 2019.07.12

CN 104052292 A, 2014.09.17

(73)专利权人 深圳供电局有限公司

CN 1595782 A, 2005.03.16

地址 518001 广东省深圳市罗湖区深南东路4020号电力调度通信大楼

CN 104702114 A, 2015.06.10

专利权人 清华大学

CN 107634655 A, 2018.01.26

李建国 等.适用于中高压直流电网的开关电容接入式直流变压器.《电工技术学报》.2018,第33卷(第4期),第817-825页.

(72)发明人 孙谦浩 赵彪 孙杰 宋强

李建国 等.适用于直流微电网的开关电容接入式双主动移相变换器.《中国电机工程学报》.2017,第37卷(第17期),第4922-4930页.

余占清 曾嵘 刘国伟 赵宇明 艾精文

(74)专利代理机构 北京知联天下知识产权代理事务所(普通合伙) 11594

Biao Zhao et al.Full-Process Operation, Control, and Experiments of Modular High-Frequency-Link DC Transformer Based on Dual Active Bridge for Flexible MVDC Distribution: A Practical Tutorial.《IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS》.2017,第32卷(第9期),第6751-6765页.

代理人 张陆军 张迎新

(51)Int.Cl.

H02M 3/335(2006.01)

H02H 7/12(2006.01)

(56)对比文件

CN 105743352 A, 2016.07.06

CN 108322056 A, 2018.07.24

审查员 周容

权利要求书1页 说明书7页 附图2页

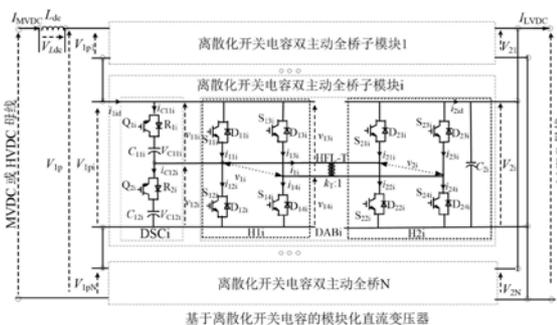
(54)发明名称

基于离散化开关电容的模块化直流变压器及其调制方法

成本,且方便进行安装、调试及运输等工作。

(57)摘要

本发明涉及基于离散化开关电容的模块化直流变压器,包括一个或多个DSC-DAB子模块;所述多个DSC-DAB子模块输入端串联或并联,输出端串联或并联;所述DSC-DAB子模块包括依次连接的离散化开关电容模块、中/高压直流变换模块、高频隔离变换模块以及低压直流变换模块。本发明采用模块化设计,避免了大容量集中式高频变压器的使用,减小了高频环节的电压变化速度,避免了变压器寄生电容造成的过电流,同时降低直流变压器的体积,减小直流变压器的生产



CN 110011538 B

1. 基于离散化开关电容的模块化直流变压器,其特征在于,包括一个或多个DSC-DAB子模块;

所述多个DSC-DAB子模块输入端串联或并联,输出端串联或并联;

所述DSC-DAB子模块包括依次连接的离散化开关电容模块、中/高压直流变换模块、高频隔离变换模块以及低压直流变换模块;

所述离散化开关电容模块包括依次串联的开关管 $Q_{1i}$ 、开关电容 $C_{11i}$ 、开关管 $Q_{2i}$ 、开关电容 $C_{12i}$ ,开关管 $Q_{1i}$ 的发射极引出第一连接端子,用于接入中压/高压直流侧或低压直流侧;开关管 $Q_{1i}$ 的集电极连接开关电容 $C_{11i}$ 的正极,开关电容 $C_{11i}$ 的负极连接开关管 $Q_{2i}$ 的发射极,开关管 $Q_{2i}$ 的集电极连接开关电容 $C_{12i}$ 的正极,开关电容 $C_{12i}$ 的负极引出第二连接端子,用于接入中压/高压直流侧或低压直流侧。

2. 根据权利要求1所述的基于离散化开关电容的模块化直流变压器,其特征在于,所述开关管 $Q_{1i}$ 、开关管 $Q_{2i}$ 均反向并联二极管。

3. 根据权利要求2所述的基于离散化开关电容的模块化直流变压器,其特征在于,所述中/高压直流变换模块采用全桥电路。

4. 根据权利要求3所述的基于离散化开关电容的模块化直流变压器,其特征在于,所述开关电容 $C_{11i}$ 的负极与开关管 $Q_{2i}$ 的发射极之间形成第一连接点与中/高压直流变换模块的前桥臂中间节点连接。

5. 根据权利要求2所述的基于离散化开关电容的模块化直流变压器,其特征在于,所述低压直流变换模块采用全桥电路或不控整流桥电路。

6. 根据权利要求3或5所述的基于离散化开关电容的模块化直流变压器,其特征在于,所述全桥电路的开关管均反向并联二极管。

7. 根据权利要求5所述的基于离散化开关电容的模块化直流变压器,其特征在于,所述全桥电路的低压侧串联离散化开关电容模块,离散化开关电容模块串联/并联接入低压侧母线,开关电容 $C_{11i}$ 的负极与开关管 $Q_{2i}$ 的发射极之间形成第二连接点与低压直流变换模块的后桥臂中间节点连接。

8. 根据权利要求5所述的基于离散化开关电容的模块化直流变压器,其特征在于,所述不控整流桥电路并联电容。

9. 如权利要求1~8任意一项所述的基于离散化开关电容的模块化直流变压器的调制方法,其特征在于:

在直流变压器的运行中,所述开关管 $Q_{1i}$ 、与所述开关管 $Q_{1i}$ 连接的所述中/高压直流变换模块的后桥臂开关管 $S_{13i}$ 、与所述开关电容 $C_{12i}$ 连接的前桥臂开关管 $S_{12i}$ 具有相同的开关状态和调制波,并形成第一关系组;

离散开关电容模块的开关管 $Q_{2i}$ 、与开关管 $Q_{1i}$ 连接的中/高压直流变换模块的前桥臂开关管 $S_{11i}$ 、与开关电容 $C_{12i}$ 连接的后桥臂开关管 $S_{14i}$ 具有相同的开关状态和调制波,并形成第二关系组;

所述第一关系组和所述第二关系组之间采用180度移相;

对所述第一关系组和所述第二关系组移相后的调制波进行矩形波调制。

## 基于离散化开关电容的模块化直流变压器及其调制方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于直流变压器技术领域,特别涉及基于离散化开关电容的模块化直流变压器及其基本调制方法。

### 背景技术

[0002] 在直流电网中,由于全控型电压源换流器(VSC)技术的成熟,柔性直流输电技术发展迅速,在风电场接入、孤立负荷供电、非同步电网联网等方面具有很大的应用前景。尤其是多端柔性直流输电的发展,为直流组网提供了有效的技术途径,并且激励着柔性直流技术向配电侧延伸。

[0003] 为了实现直流配电网高、中压直流配电母线与低压直流微电网母线或各种不同直流电压等级的负荷、储能系统和分布式发电的连接,直流变压器得到广泛的研究;而模块化提高直流变压器电压等级和容量是现有技术的重要研究方向。

[0004] 但是,现有技术大多以提高直流变压器电压等级和容量来满足高、中压直流配电网或低压直流微电网母线间不同直流电压等级的连接,难以实现调制和控制的灵活性,难以实现冗余模块的在线投入,以及故障模块的不停机切除,因而影响了直流变压器整体的可靠性;并且现有技术需要在外部电网中配置较多的中高压直流断路器,因而提高了直流电网的运行损耗和成本。

### 发明内容

[0005] 针对上述问题,本发明提出基于离散化开关电容的模块化直流变压器,包括一个或多个DSC-DAB子模块;

[0006] 所述多个DSC-DAB子模块输入端串联或并联,输出端串联或并联;

[0007] 所述DSC-DAB子模块包括依次连接的离散化开关电容模块、中/高压直流变换模块、高频隔离变换模块以及低压直流变换模块。

[0008] 优选的,所述离散化开关电容模块包括依次串联的开关管 $Q_{1i}$ 、开关电容 $C_{11i}$ 、开关管 $Q_{2i}$ 、开关电容 $C_{12i}$ ,开关管 $Q_{1i}$ 的发射极引出第一连接端子,用于接入中压/高压直流侧或低压直流侧;开关管 $Q_{1i}$ 的集电极连接开关电容 $C_{11i}$ 的正极,开关电容 $C_{11i}$ 的负极连接开关管 $Q_{2i}$ 的发射极,开关管 $Q_{2i}$ 的集电极连接开关电容 $C_{12i}$ 的正极,开关电容 $C_{12i}$ 的负极引出第二连接端子,用于接入中压/高压直流侧或低压直流侧。

[0009] 优选的,所述开关管 $Q_{1i}$ 、开关管 $Q_{2i}$ 均反向并联二极管。

[0010] 优选的,所述中/高压直流变换模块采用全桥电路。

[0011] 优选的,开关电容 $C_{11i}$ 的负极与开关管 $Q_{2i}$ 的发射极之间形成第一连接点与中/高压直流变换模块的前桥臂中间节点连接。

[0012] 优选的,所述低压直流变换模块采用全桥电路或不控整流桥电路。

[0013] 优选的,全桥电路的开关管均反向并联二极管。

[0014] 优选的,所述全桥电路的低压侧串联离散化开关电容模块,离散化开关电容模块

串联/并联接入低压侧母线,开关电容C11i的负极与开关管Q2i的发射极之间形成第二连接点与低压直流变换模块的后桥臂中间节点连接。

[0015] 优选的,所述不控整流桥电路并联电容。

[0016] 根据上述的基于离散化开关电容的模块化直流变压器的调制方法,

[0017] 在直流变压器的运行中,所述开关管Q1i、与所述开关管Q1i连接的所述中/高压直流变换模块的后桥臂开关管S13i、与所述开关电容C12i连接的前桥臂开关管S12i具有相同的开关状态和调制波,并形成第一关系组;

[0018] 离散开关电容模块的开关管Q2i、与开关管Q1i连接的中/高压直流变换模块的前桥臂开关管S11i、与开关电容C12i连接的后桥臂开关管S14i具有相同的开关状态和调制波,并形成第二关系组;

[0019] 所述第一关系组和所述第二关系组之间采用180度移相;

[0020] 对所述第一关系组和所述第二关系组移相后的调制波进行矩形波调制。

[0021] 本发明的具有以下优点:

[0022] (1) 本发明采用模块化设计,避免了大容量集中式高频变压器的使用,减小了高频环节的电压变化速度,避免了变压器寄生电容造成的过电流,同时降低直流变压器的体积,减小直流变压器的生产成本,且方便进行安装、调试及运输等工作;

[0023] (2) 本发明通过离散化开关电容结构与模块化设计将直流断路器的功能融合到每一个离散化开关电容子模块中,能够在中(高)压直流电网故障时,实现直流变压器整体隔离,同时减少外部电网中中(高)压直流断路器的使用,以此降低直流电网运行损耗与成本;

[0024] (3) 本发明通过离散化开关电容结构实现冗余子模块设计能力与在线投切功能,能够实现冗余子模块的在线投入与故障子模块的不停机切除,提高直流变压器整体可靠性;

[0025] (4) 本发明在制造过程中仅采用半桥子模块及开关器件等成熟的工业元件即可组成,没有特殊元件的设计要求,以此进一步降低直流变压器制造和设计成本;

[0026] (5) 本发明通过离散化开关电容结构为双主动全桥结构提供了中性点电位,使该直流变压器具有更灵活的调制与控制策略;

[0027] (6) 在离散化开关模块与全桥电路结构支架在三角同步调制的原则下,该直流变压器具有良好的软开关特性。

[0028] 本发明的其它特征和优点将在随后的说明书中阐述,并且,部分地从说明书中变得显而易见,或者通过实施本发明而了解。本发明的目的和其他优点可通过在说明书、权利要求书以及附图中所指出的结构来实现和获得。

## 附图说明

[0029] 为了更清楚地说明本发明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一简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0030] 图1示出了本发明实施例1的基于离散化开关电容的模块化直流变压器的拓扑结构图;

[0031] 图2示出了本发明实施例2的基于离散化开关电容的模块化直流变压器的拓扑结构图;

[0032] 图3示出了本发明实施例3的基于离散化开关电容的模块化直流变压器的拓扑结构图;

[0033] 图4示出了本发明的调制方法拓扑结构图。

### 具体实施方式

[0034] 现在将参照附图更全面地描述示例实施例;然而,示例实施例可以以不同的形式被实现并且不应该被解释为限于在这里阐述的实施例。相反,这些实施例被提供以使本公开是全面的和完整的,并且将向本领域技术人员完全地传达示例性实施方式,相同的标号始终表示相同的元件。

[0035] 还将理解,当一个元件被称为在另一元件“之间”、“连接到”或“结合到”另一元件时,该元件可以直接在另一元件之间、直接连接或结合到另一元件,或者可以存在中间元件。相反,当一个元件被称为“直接”在另一元件“之间”、直接“连接到”或“结合到”另一元件时,不存在中间元件。

[0036] 本发明提供应用于中高压直流电网的基于离散化开关电容的模块化直流变压器及其基本调制方法,基于离散化开关电容的模块化直流变压器包括N个离散化开关电容双主动全桥子模块DSC-DAB (Discrete-Switched Capacitors Dual Active Bridge):离散化开关电容双主动全桥子模块DSC-DAB1、•••、离散化开关电容双主动全桥子模块DSC-DABi、•••、离散化开关电容双主动全桥子模块DSC-DABN,N为任意正整数,i为大于1且小于等于N的任意正整数,并且N个离散化开关电容双主动全桥子模块DSC-DAB的中(高)压直流侧串联/并联中(高)压直流母线、低压直流侧串联/并联低压直流母线;比如可以采用MVDC(中压直流)串联输入,LVDC(低压直流)并联输出的形式,这样N个离散化开关电容双主动全桥子模块DSC-DAB的输入端之和等于MVDC端口电压,即 $V_{1p1}+\dots+V_{1pi}+\dots+V_{1pn}=V_{1p}$ ;N个离散化开关电容双主动全桥子模块DSC-DAB输出端电压的均值等于LVDC的电压,即 $(V_{21}+\dots+V_{2i}+\dots+V_{2N})/N=V_{2p}$ ;当然,也可以采用中(高)压直流侧串联-低压直流侧串联、中(高)压直流侧并联-低压直流侧并联以及中(高)压直流侧并联-低压直流侧串联的结构。灵活运用散化开关电容双主动全桥子模块DSC-DAB的个数,合理选择可关断器件的耐压和通流能力,可设计出针对不同电压等级变换应用场合的直流变换器。

[0037] 所述DSC-DAB子模块包括依次连接的离散化开关电容模块、中/高压直流变换模块、高频隔离变换模块以及低压直流变换模块。

[0038] 如图1所示,所述离散化开关电容模块包括依次串联的开关管 $Q_{1i}$ 、开关电容 $C_{11i}$ 、开关管 $Q_{2i}$ 、开关电容 $C_{12i}$ ,开关管 $Q_{1i}$ 的发射极引出第一连接端子,用于接入中压/高压直流侧或低压直流侧,开关管 $Q_{1i}$ 的集电极连接开关电容 $C_{11i}$ 的正极,开关电容 $C_{11i}$ 的负极连接开关管 $Q_{2i}$ 的发射极,开关管 $Q_{2i}$ 的集电极连接开关电容 $C_{12i}$ 的正极,开关电容 $C_{12i}$ 的负极引出第二连接端子,用于接入中压/高压直流侧或低压直流侧。

[0039] 为便于描述,仅以中(高)压直流侧串联输入、低压直流侧并联输出的应用情况为例,进行说明。同样可以适用于中(高)压直流侧输出、低压直流侧输入的情况。其中,中(高)压表示中压或高压。

[0040] 示例性的,第1台离散化开关电容双主动全桥子模块DSC-DAB中(高)压直流侧通过第一连接端子连接电感 $L_{dc}$ ,通过电感 $L_{dc}$ 与中(高)压直流母线的正极相连;第 $i-1$ 台离散化开关电容双主动全桥子模块DSC-DAB的中(高)压直流侧第二连接端子与第 $i$ 台离散化开关电容双主动全桥子模块DSC-DAB的中(高)压直流侧第一连接端子相连;第 $N$ 台离散化开关电容双主动全桥子模块DSC-DAB的中(高)压直流侧第二连接端子与中(高)压直流母线的负极相连; $N$ 台离散化开关电容双主动全桥子模块DSC-DAB的低压直流侧并联低压直流母线。

[0041] 实施例1,如图1所示,本实施例下的离散化开关电容双主动全桥子模块DSC-DAB $i$ 包括一个离散化开关电容模块DSC $i$ 以及一个双主动全桥子模块DAB $i$ ;离散化开关电容双主动全桥子模块DSC-DAB $i$ 通过离散化开关电容模块DSC $i$ 串联接入中(高)压直流母线,离散化开关电容双主动全桥子模块DSC-DAB $i$ 通过双主动全桥子模块DAB $i$ 的低压直流侧第一连接端子和低压直流侧第二连接端子并联接入低压直流母线;在中(高)压直流侧采用多个离散化开关电容双主动全桥子模块DSC-DAB串联结构以提高直流变压器的耐压等级,在低压接口侧采用多个离散化开关电容双主动全桥子模块DSC-DAB并联结构以提高直流变压器的功率等级。

[0042] 离散化开关电容模块DSC $i$ 包括串联在离散化开关电容双主动全桥子模块DSC-DAB $i$ 的中(高)压直流侧第一连接端子和第二连接端子之间的开关管 $Q_{1i}$ 、开关电容 $C_{11i}$ 、开关管 $Q_{2i}$ 、开关电容 $C_{12i}$ ,开关管 $Q_{1i}$ 的发射极连接离散化开关电容双主动全桥子模块DSC-DAB $i$ 的第一连接端子,开关管 $Q_{1i}$ 集电极连接开关电容 $C_{11i}$ 的正极,开关电容 $C_{11i}$ 的负极连接开关管 $Q_{2i}$ 的发射极,开关电容 $C_{11i}$ 的负极与开关管 $Q_{2i}$ 的发射极之间形成第一连接点,开关管 $Q_{1i}$ 和开关管 $Q_{2i}$ 分别反向并联二极管 $R_{1i}$ 、二极管 $R_{2i}$ ,开关管 $Q_{2i}$ 的集电极连接开关电容 $C_{12i}$ 的正极,开关电容 $C_{12i}$ 的负极连接离散化开关电容双主动全桥子模块DSC-DAB $i$ 的第二连接端子;

[0043] 双主动全桥子模块DAB $i$ 包括作为中/高压直流变换模块的输入全桥电路H1 $i$ 、作为高频隔离变换模块的高频隔离变压器HFL-T $i$ 、作为低压直流变换模块的输出电路H2 $i$ ;

[0044] 输入全桥电路H1 $i$ 和输出电路H2 $i$ 均采用开关管反向并联二极管的开关结构作为桥臂的全桥结构,具体的,输入全桥电路H1 $i$ 的第一桥臂包括开关管 $S_{11i}$ 反向并联二极管 $D_{11i}$ 组成的第一上桥臂,和开关管 $S_{12i}$ 反向并联二极管 $D_{12i}$ 组成的第一下桥臂;输入全桥电路H1 $i$ 的第二桥臂包括开关管 $S_{13i}$ 反向并联二极管 $D_{13i}$ 组成的第二上桥臂,和开关管 $S_{14i}$ 反向并联二极管 $D_{14i}$ 组成的第二下桥臂;输入全桥电路H1 $i$ 的第一上桥臂和第一下桥臂的连接中点与输入全桥电路H1 $i$ 的第二上桥臂和第二下桥臂的连接中点引出连接至高频隔离变压器HFL-T $i$ 原边绕组两端;输入全桥电路H1 $i$ 的第一上桥臂和第一下桥臂的连接中点与开关电容 $C_{11i}$ 的负极和开关管 $Q_{2i}$ 的发射极之间形成的第一连接点相连接;输入全桥电路H1 $i$ 的输入端正极与开关管 $Q_{1i}$ 的发射极相连,输入全桥电路H1 $i$ 的输入端负极与开关电容 $C_{12i}$ 的负极相连;

[0045] 输出电路H2 $i$ 的第一桥臂包括开关管 $S_{21i}$ 反向并联二极管 $D_{21i}$ 组成的第一上桥臂,和开关管 $S_{22i}$ 反向并联二极管 $D_{22i}$ 组成的第一下桥臂;输出电路H2 $i$ 的第二桥臂包括开关管 $S_{23i}$ 反向并联二极管 $D_{23i}$ 组成的第二上桥臂,和开关管 $S_{24i}$ 反向并联二极管 $D_{24i}$ 组成的第二下桥臂,开关管 $S_{23i}$ 的集电极并联开关电容 $C_{2i}$ ,开关管 $S_{24i}$ 的发射极并联开关电容 $C_{2i}$ ,开关电容 $C_{2i}$ 的正极接入离散化开关电容双主动全桥子模块DSC-DAB $i$ 的第一连接端子,开关电容 $C_{2i}$ 的负极接入离散化开关电容双主动全桥子模块DSC-DAB $i$ 的第二连接端子;输出电路H2 $i$ 的第一上桥臂和第一下桥臂的连接中点与输出全桥电路H1 $i$ 的第二上桥臂和第二下桥臂的

连接中点引出连接至高频隔离变压器HFL-Ti副边绕组两端。

[0046] 实施例2,作为本发明的另一种实施例,如图2所示,与实施例1的区别仅在于去除了双主动全桥子模块DABi的输出电路H2i的开关管,具体为:

[0047] 输出电路H2i的第一桥臂包括二极管D<sub>21i</sub>组成的第一上桥臂,和二极管D<sub>22i</sub>组成的第一下桥臂;输出电路H2i的第二桥臂包括二极管D<sub>23i</sub>组成的第二上桥臂,和二极管D<sub>24i</sub>组成的第二下桥臂,二极管D<sub>23i</sub>的负极并联开关电容C<sub>2i</sub>,二极管D<sub>24i</sub>的正极并联开关电容C<sub>2i</sub>,开关电容C<sub>2i</sub>的正极接入离散化开关电容双主动全桥子模块DSC-DABi的第一连接端子,开关电容C<sub>2i</sub>的负极接入离散化开关电容双主动全桥子模块DSC-DABi的第二连接端子;输出电路H2i的第一上桥臂和第一下桥臂的连接中点与输出全桥电路H1i的第二上桥臂和第二下桥臂的连接中点引出连接至高频隔离变压器HFL-Ti副边绕组两端。

[0048] 实施例3,作为本发明的另一种实施例,如图3所示,与实施例1的区别仅在于,通过离散化开关电容模块DSC替换开关电容C<sub>2i</sub>;导致离散化开关电容双主动全桥子模块DSC-DABi包括两个离散化开关电容模块DSC<sub>i</sub>(离散化开关电容模块DSC<sub>1i</sub>、离散化开关电容模块DSC<sub>2i</sub>)以及一个双主动全桥子模块DABi;离散化开关电容双主动全桥子模块DSC-DABi通过离散化开关电容模块DSC<sub>1i</sub>串联接入中(高)压直流母线,离散化开关电容双主动全桥子模块DSC-DABi通过离散化开关电容模块DSC<sub>2i</sub>的低压直流侧第一连接端子和低压直流侧第二连接端子并联接入低压直流母线,使其在低压直流侧同样具有了冗余结构设计与直流故障处理能力,具体的:

[0049] 离散化开关电容模块DSC<sub>1i</sub>包括串联在离散化开关电容双主动全桥子模块DSC-DABi的中(高)压直流侧第一连接端子和第二连接端子之间的开关管Q<sub>11i</sub>、开关电容C<sub>11i</sub>、开关管Q<sub>12i</sub>、开关电容C<sub>12i</sub>,开关管Q<sub>11i</sub>的发射极连接离散化开关电容双主动全桥子模块DSC-DABi的第一连接端子,开关管Q<sub>11i</sub>集电极连接开关电容C<sub>11i</sub>的正极,开关电容C<sub>11i</sub>的负极连接开关管Q<sub>12i</sub>的发射极,开关电容C<sub>11i</sub>的负极与开关管Q<sub>12i</sub>的发射极之间形成第一连接点,开关管Q<sub>11i</sub>和开关管Q<sub>12i</sub>分别反向并联二极管R<sub>1i</sub>、二极管R<sub>2i</sub>,开关管Q<sub>12i</sub>的集电极连接开关电容C<sub>12i</sub>的正极,开关电容C<sub>12i</sub>的负极连接离散化开关电容双主动全桥子模块DSC-DABi的第二连接端子;

[0050] 离散化开关电容模块DSC<sub>2i</sub>包括串联在离散化开关电容双主动全桥子模块DSC-DABi的低压直流侧第一连接端子和第二连接端子之间的开关管Q<sub>21i</sub>、开关电容C<sub>21i</sub>、开关管Q<sub>21i</sub>、开关电容C<sub>21i</sub>,开关管Q<sub>21i</sub>的发射极连接离散化开关电容双主动全桥子模块DSC-DAB2i的第一连接端子,开关管Q<sub>21i</sub>集电极连接开关电容C<sub>21i</sub>的正极,开关电容C<sub>21i</sub>的负极连接开关管Q<sub>21i</sub>的发射极,开关电容C<sub>21i</sub>的负极与开关管Q<sub>21i</sub>的发射极之间形成第二连接点,开关管Q<sub>21i</sub>和开关管Q<sub>21i</sub>分别反向并联二极管R<sub>21i</sub>、二极管R<sub>21i</sub>,开关管Q<sub>21i</sub>的集电极连接开关电容C<sub>21i</sub>的正极,开关电容C<sub>21i</sub>的负极连接离散化开关电容双主动全桥子模块DSC-DAB2i的第二连接端子;

[0051] 双主动全桥子模块DABi包括输入全桥电路H1i、高频隔离变压器HFL-Ti、输出电路H2i;

[0052] 输入全桥电路H1i和输出电路H2i均采用开关管反向并联二极管的开关结构作为桥臂的全桥结构,具体的,输入全桥电路H1i的第一桥臂包括开关管S<sub>11i</sub>反向并联二极管D<sub>11i</sub>组成的第一上桥臂,和开关管S<sub>12i</sub>反向并联二极管D<sub>12i</sub>组成的第一下桥臂;输入全桥电路H1i

的第二桥臂包括开关管 $S_{13i}$ 反向并联二极管 $D_{13i}$ 组成的第二上桥臂,和开关管 $S_{14i}$ 反向并联二极管 $D_{14i}$ 组成的第二下桥臂;输入全桥电路 $H_{1i}$ 的第一上桥臂和第一下桥臂的连接中点与输入全桥电路 $H_{1i}$ 的第二上桥臂和第二下桥臂的连接中点引出连接至高频隔离变压器HFL-Ti原边绕组两端;输入全桥电路 $H_{1i}$ 的第一上桥臂和第一下桥臂的连接中点与开关电容 $C_{11i}$ 的负极和开关管 $Q_{12i}$ 的发射极之间形成的第一连接点相连接;输入全桥电路 $H_{1i}$ 的输入端正极与开关管 $Q_{11i}$ 的发射极相连,输入全桥电路 $H_{1i}$ 的输入端负极与开关电容 $C_{12i}$ 的负极相连;

[0053] 输出电路 $H_{2i}$ 的第一桥臂包括开关管 $S_{21i}$ 反向并联二极管 $D_{21i}$ 组成的第一上桥臂,和开关管 $S_{22i}$ 反向并联二极管 $D_{22i}$ 组成的第一下桥臂;输出电路 $H_{2i}$ 的第二桥臂包括开关管 $S_{23i}$ 反向并联二极管 $D_{23i}$ 组成的第二上桥臂,和开关管 $S_{24i}$ 反向并联二极管 $D_{24i}$ 组成的第二下桥臂;输出电路 $H_{2i}$ 的第一上桥臂和第一下桥臂的连接中点与输出全桥电路 $H_{1i}$ 的第二上桥臂和第二下桥臂的连接中点引出连接至高频隔离变压器HFL-Ti副边绕组两端;输出电路 $H_{2i}$ 的第一上桥臂和第一下桥臂的连接中点与开关电容 $C_{21i}$ 的负极和开关管 $Q_{21i}$ 的发射极之间形成的第一连接点相连接;输出电路 $H_{2i}$ 的输出端正极与开关管 $Q_{21i}$ 的发射极相连,输出电路 $H_{2i}$ 的输出端负极与开关电容 $C_{21i}$ 的负极相连。

[0054] 需要说明的是,本发明中,通过中/高压直流变换模块、高频隔离变换模块以及低压直流变换模块进行高压(低压)直流变换为低压(高压)直流的工作,充当DC/DC子模块,而作为基本单元的DC/DC子模块变换电路也可以为下图所示的演化结构。即DC/DC子模块变换电路的低压侧采用与高压侧相同的基于半桥结构改进的H桥。在演化结构中,由于低压侧同样采用了改进的H桥结构,使其在低压侧同样具有了冗余结构设计及直流故障处理能力。

[0055] 关于本发明的基于离散化开关电容的模块化直流变压器的调制方法:

[0056] 如图4所示,在该直流变压器中,开关电容部分与DAB部分需要相互协调以完成功率传输,本专利同时提出了该直流变压器的一种基本调制方法——三角同步法,在每个DSC-DABi子模块中,对于每个DSCi+H1i具有两组处于三角关系位置的开关,由开关管 $Q_{2i}$ 、开关管 $S_{14i}$ 以及开关管 $S_{11i}$ 构成的正三角关系组(第一关系组)与由开关管 $Q_{1i}$ 、开关管 $S_{13i}$ 以及开关管 $S_{12i}$ 构成的倒三角关系组(第二关系组)在直流变压器的运行过程中,同一个三角位置的开关具有相同的开关状态与调制波,同时两个三角关系组的调制波之间采用了180度移相,以便实现更灵活的矩形波调制,主动调节高频链电压的幅值,改善高频链的运行性能与直流变压器的传输效率。

[0057] 旁路子模块及故障隔离原理:

[0058] 如图1所示,在该直流变压器中,冗余的离散化开关电容双主动全桥子模块DSC-DABi通常运行在旁路状态,开关管 $Q_{1i} \sim Q_{2i}$ 以及开关管 $S_{21i} \sim S_{22i}$ 处于闭锁状态,同时,开关管 $S_{11i} \sim S_{14i}$ 处于解锁状态,中压/高压侧电流流经开关管 $S_{11i} \sim S_{14i}$ ,开关管 $S_{11i} \sim S_{12i}$ 与开关管 $S_{13i} \sim S_{14i}$ 组成两组并联电路以减小冗余离散化开关电容双主动全桥子模块DSC-DABi旁路状态下的通态损耗。

[0059] 同时,当正常运行的子模块故障时,也可采用旁路模式来实现直流变压器的不停机故障模块在线切除,提高供电可靠性。

[0060] 当检测到外部中(高)压直流电网故障后,只需闭锁所有开关器件,便可实现变压器的整体隔离,并阻断开关电容的放电电路,从而维持其电压保证直流变压器的快速重启;尤其对于外部瞬时性故障,由于故障隔离时,直流变压器与直流电网之间不存在物理断点,

当故障清除后,可以很快的恢复系统,提高整个电网的供电可靠性。

[0061] 尽管参照前述实施例对本发明进行了详细的说明,本领域的普通技术人员应当理解:其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改,或者对其中部分技术特征进行等同替换;而这些修改或者替换,并不使相应技术方案的本质脱离本发明各实施例技术方案的精神和范围。

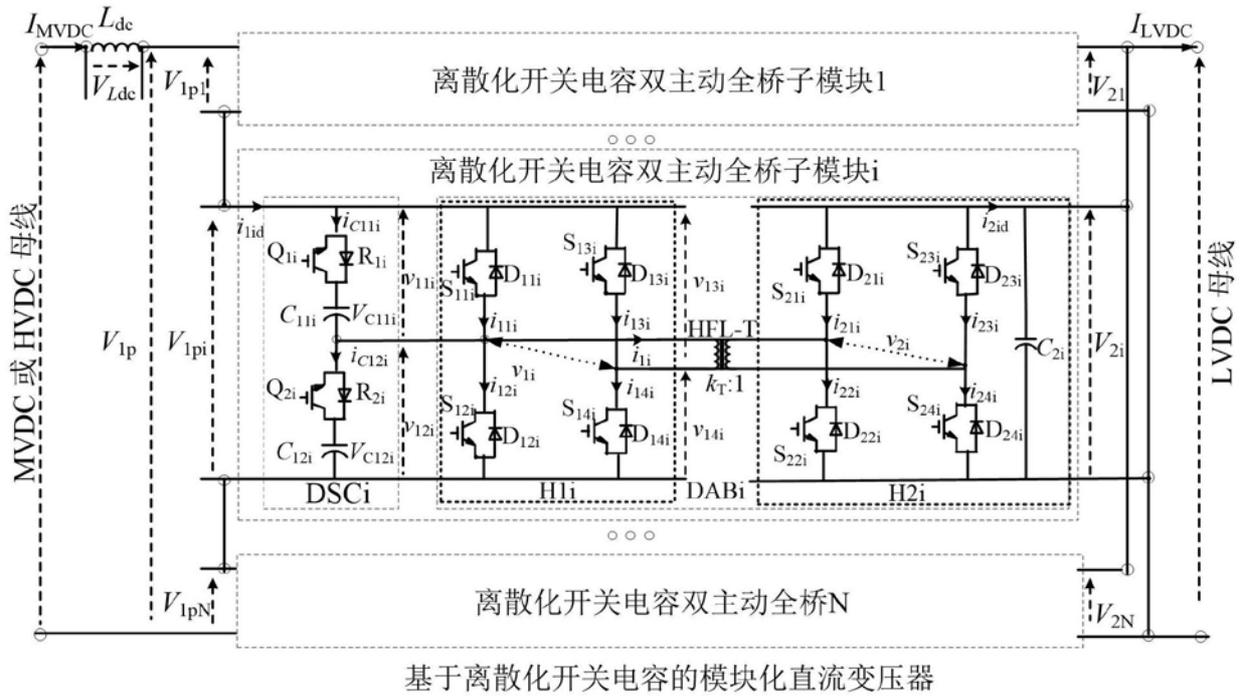


图1

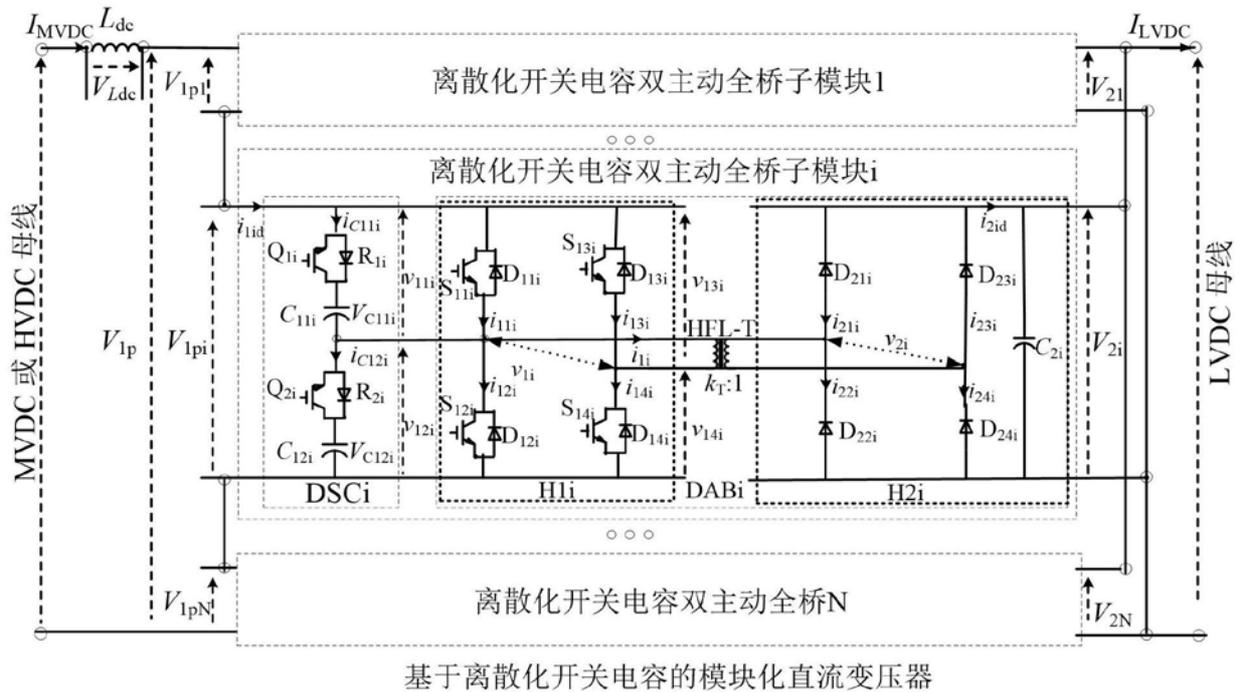


图2

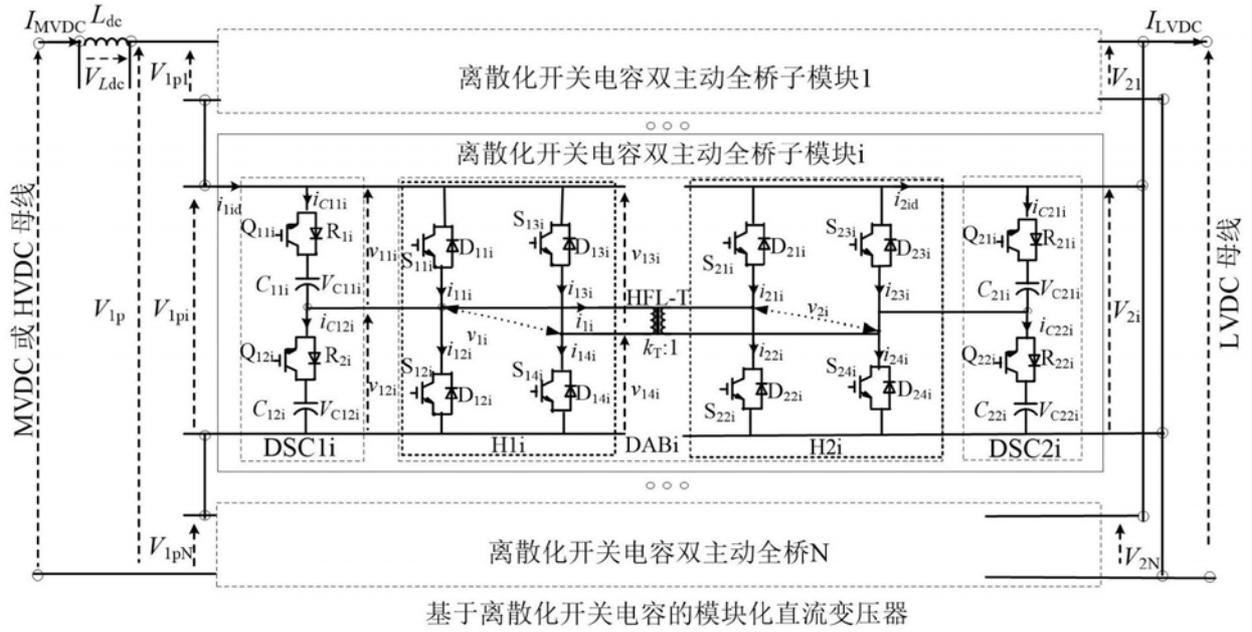


图3

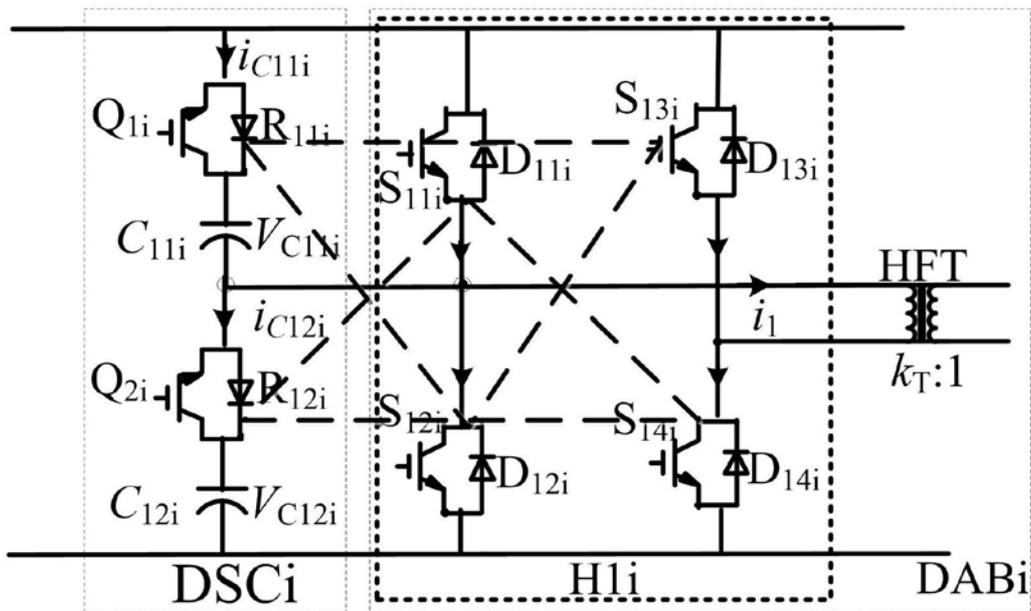


图4