



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106505902 B

(45)授权公告日 2019.08.09

(21)申请号 201610895246.9

(22)申请日 2016.10.13

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 106505902 A

(43)申请公布日 2017.03.15

(73)专利权人 上海交通大学
地址 200240 上海市闵行区东川路800号

(72)发明人 蔡旭 游洪程

(74)专利代理机构 上海汉声知识产权代理有限公司 31236

代理人 郭国中

(51)Int.Cl.

H02M 7/5387(2007.01)

H02M 7/5395(2006.01)

H02J 3/36(2006.01)

(56)对比文件

CN 104218808 A,2014.12.17,

CN 105576982 A,2016.05.11,

CN 105375757 A,2016.03.02,

CN 103812101 A,2014.05.21,

Hongcheng You.A family of un-isolated modular DC/DC converters.《IEEE》.2016,

审查员 王红

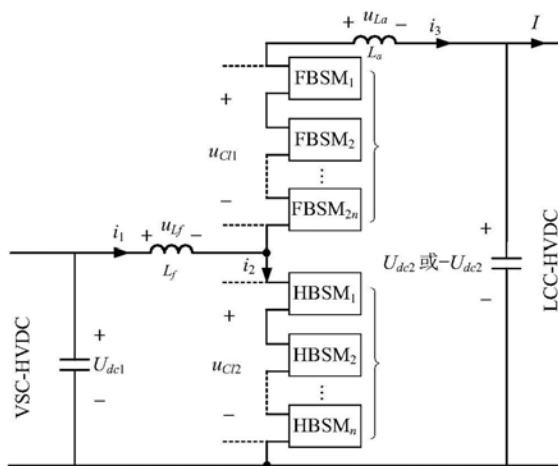
权利要求书1页 说明书4页 附图3页

(54)发明名称

LCC/VSC直流互联变压器

(57)摘要

本发明提供了一种LCC/VSC直流互联变压器,包括:上桥臂、下桥臂以及中心连接电感 L_f ,上桥臂的一端分别与下桥臂一端、中心连接电感 L_f 的一端相连;中心连接电感 L_f 的另一端与下桥臂的另一端构成VSC-HVDC的连接端;上桥臂的另一端与下桥臂的另一端构成LCC-HVDC的连接端;其中:所述上桥臂包括桥臂电感 L_a 和2n个依次串联的FBSM模块;所述下桥臂包括n个依次串联的HBSM模块;n为大于等于1的自然数。本发明中的变压器开关频率更小,交流环流更小,因此损耗更低;此外,当LCC-HVDC工作在反转潮流工况下时,可跟随改变LCC侧电压极性反转。



1. 一种LCC/VSC直流互联变压器,其特征在于,包括:上桥臂、下桥臂以及中心连接电感 L_f ,上桥臂的一端分别与下桥臂一端、中心连接电感 L_f 的一端相连;中心连接电感 L_f 的另一端与下桥臂的另一端构成VSC-HVDC的连接端;上桥臂的另一端与下桥臂的另一端构成LCC-HVDC的连接端;其中:

所述上桥臂包括桥臂电感 L_a 和 $2n$ 个依次串联的FBSM模块,记作链式模块串1;所述下桥臂包括 n 个依次串联的HBSM模块,记作链式模块串2; n 为大于等于1的自然数;

在所述LCC/VSC直流互联变压器处于反转潮流工况下时:

工作电压为 $-U_{dc2}$;

在 $0 \sim d_s T$ 时刻,链式模块串1和2的输出电压分别为 $-2U_{dc2}$ 和0;

在 $d_s T \sim d T$ 时刻,链式模块串1和2的输出电压分别为 $-2U_{dc2}$ 和 U_{dc2} ;

在 $d T \sim (d+d_s) T$ 时刻,链式模块串1和2的输出电压分别为 $-U_{dc2}$ 和 U_{dc2} ;

在 $(d+d_s) T \sim T$ 时刻,链式模块串1和2的输出电压分别为 $-U_{dc2}$ 和0;

其中, T 为开关周期, d_s 为移相占空比, d 为占空比。

2. 根据权利要求1所述的LCC/VSC直流互联变压器,其特征在于,所述VSC-HVDC与LCC-HVDC的电压等级不同。

3. 根据权利要求1所述的LCC/VSC直流互联变压器,其特征在于,FBSM模块是指全桥型子模块,包括:电容、第一功率开关管、第二功率开关管、第三功率开关管、第四功率开关管、第一二极管、第二二极管、第三二极管、第四二极管;电容的正极分别连接第一功率开关管的集电极、第三功率开关管的集电极、第一二极管的负极、第二二极管的负极;第一功率开关管的发射极、第一二极管的正极与第二功率开关管集电极、第二二极管负极相连并构成所述FBSM模块的一端;第三功率开关管的发射极、第三二极管的正极与第四功率开关管集电极、第四二极管负极相连并构成所述FBSM模块的另一端;第二功率开关管的发射极、第二二极管正极、第四功率开关管发射极、第四二极管正极均连接至电容的负极。

4. 根据权利要求1所述的LCC/VSC直流互联变压器,其特征在于,HBSM模块是指半桥型子模块,包括:电容、第一功率开关管、第二功率开关管、第一二极管、第二二极管;电容的正极与第一功率开关管集电极、第一二极管负极相连;第一功率开关管发射极、第一二极管正极与第二功率开关管集电极、第二二极管负极相连并构成HBSM模块的一端;第二功率开关管发射极、第二二极管正极均连接至电容的负极并构成HBSM模块的另一端。

5. 根据权利要求3或4所述的LCC/VSC直流互联变压器,其特征在于,第一功率开关管的基极、第二功率开关管的基极、第三功率开关管的基极、第四功率开关管的基极与PWM输出模块的输出端相连,所述PWM输出模块用于输出两组电平的脉冲波,所述脉冲波能够决定第一功率开关管、第二功率开关管、第三功率开关管、第四功率开关管的开启与关闭。

LCC/VSC直流互联变压器

技术领域

[0001] 本发明涉及直流输电技术领域,具体地,涉及一种LCC/VSC直流互联变压器。

背景技术

[0002] 我国能源资源与负荷中心分布极不均衡,为满足大规模远距离电能输送的需要,我国建设了大量基于电网换相换流器的高压直流输电系统(Line Commutated Converter-High Voltage Direct Current,LCC-HVDC)。另一方面,随着风能、太阳能等可再生能源大量接入及对电网灵活性需求的不断增强,基于电压源换流器的柔性直流输电系统(Voltage Source Converter-High Voltage Direct Current,VSC-HVDC)得到快速发展。结合我国国情,未来我国电网发展方向是利用VSC-HVDC输电技术将西南地区、三北地区和东部沿海地区的新能源连接成多个区域直流电网,再进一步利用LCC-HVDC输电技术将区域直流电网输出的大规模电力送往中东部负荷中心。因此连接LCC-HVDC和VSC-HVDC的直流互联变压器成为构建直流电网的关键装置之一。

[0003] 下面是对现有技术的检索以及存在的缺陷:

[0004] 名称为:“A versatile DC-DC converter for energy collection and distribution using the Modular Multilevel Converter”发表于Power Electronics and Applications (EPE 2011),Proceedings of the 2011-14th European Conference on的文献中提出一种基于模块化多电平变换器(Modular Multilevel Converter,MMC)的隔离型DC-DC变换器拓扑,该变换器本质上是一个DC-AC-DC变换器,它先通过一个MMC将直流电压逆变得得到交流电压,该交流电压经过变压器变压后再通过另一个MMC整流得到直流电压。交流环节的变压器用于实现电压匹配和电气隔离。由于交流环节需要交流变压器,且需要两级功率变换,因此该直流变压器的体积和损耗均较大,成本也很高,在不需要隔离的应用场合并不适用。

[0005] 名称为“直流-直流自耦变压器”,发表于电机工程学报的文献中提出了一种直流-直流自耦变压器的拓扑,用于互联两个电压等级不同的高压直流系统。常规的隔离型直流-直流变换器一般需要经过直流-交流-直流两级交/直变换,两个互联的直流系统之间没有直接的电气连接,而直流自耦变压器所互联的两个直流系统之间有直接的电气连接,只有部分互联功率需要经过两级交流/直流变换。为此,直流自耦变压器所使用的换流器总容量低于常规直流-交流-直流变换技术。该文详细介绍了直流自耦变压器的拓扑,推导了直流自耦变压器中每个换流器的额定直流电压和额定功率的设计方法,设计了直流自耦变压器的控制策略,在PSCAD/EMTDC下仿真验证了直流自耦变压器的可行性。研究结果表明,所提出的直流自耦变技术能显著降低所使用的换流器容量,并降低运行损耗。

[0006] 上述文献与本发明相比需要隔离变压器,成本与损耗大,且不具备LCC-HVDC极性反转能力。

[0007] 此外,申请(专利)号:W02013026477名称:Bidirectional unisolated converter based on cascaded cells的文献中提出基于MMC的非隔离型直流变压器拓扑,该直流变压

器中链式模块输出电压包含直流分量和交流分量,它通过交直流功率守恒来实现子模块电容电压平衡,其中交流分量按正弦波调制。与隔离型DC-AC-DC变换器相比,它不需要交流变压器,且不需要两级变换,因此成本更低。但为了实现子模块电容电压平衡,该直流变压器中存在较大的交流环流,变压器损耗较大,而且所需的滤波电感感值很大,使得变压器的整体体积较大。同样由于该拓扑只采用了半桥型子模块,其并不能实现电压极性反转,不适用与LCC/VSC互联。

发明内容

[0008] 针对现有技术中的缺陷,本发明的目的是提供一种LCC/VSC直流互联变压器。

[0009] 根据本发明提供的LCC/VSC直流互联变压器,包括:上桥臂、下桥臂以及中心连接电感 L_f ,上桥臂的一端分别与下桥臂一端、中心连接电感 L_f 的一端相连;中心连接电感 L_f 的另一端与下桥臂的另一端构成VSC-HVDC的连接端;上桥臂的另一端与下桥臂的另一端构成LCC-HVDC的连接端;其中:

[0010] 所述上桥臂包括桥臂电感 L_a 和 $2n$ 个依次串联的FBSM模块;所述下桥臂包括 n 个依次串联的HBSM模块; n 为大于等于1的自然数。

[0011] 优选地,所述VSC-HVDC与LCC-HVDC的电压等级不同。

[0012] 优选地,FBSM模块是指全桥型子模块,包括:电容、第一功率开关管、第二功率开关管、第三功率开关管、第四功率开关管、第一二极管、第二二极管、第三二极管、第四二极管;电容的正极分别连接第一功率开关管的集电极、第三功率开关管的集电极、第一二极管的负极、第二二极管的负极;第一功率开关管的发射极、第一二极管的正极与第二功率开关管集电极、第二二极管负极相连并构成所述FBSM模块的一端;第三功率开关管的发射极、第三二极管的正极与第四功率开关管集电极、第四二极管负极相连并构成所述FBSM模块的另一端;第二功率开关管的发射极、第二二极管正极、第四功率开关管发射极、第四二极管正极均连接至电容的负极。

[0013] 优选地,HBSM模块是指半桥型子模块,包括:电容、第一功率开关管、第二功率开关管、第一二极管、第二二极管;电容的正极与第一功率开关管集电极、第一二极管负极相连;第一功率开关管发射极、第一二极管正极与第二功率开关管集电极、第二二极管负极相连并构成HBSM模块的一端;第二功率开关管发射极、第二二极管正极均连接至电容的负极并构成HBSM模块的另一端。

[0014] 优选地,第一功率开关管的基极、第二功率开关管的基极、第三功率开关管的基极、第四功率开关管的基极与PWM输出模块的输出端相连,所述PWM输出模块用于输出两组电平的脉冲波,所述脉冲波能够决定第一功率开关管、第二功率开关管、第三功率开关管、第四功率开关管的开启与关闭。

[0015] 与现有技术相比,本发明具有如下的有益效果:

[0016] 1、现有技术需要交流变压器,且交流环流大,损耗大,且不适用于LCC/VSC互联;本发明的开关频率更小,交流环流更小,因此损耗更低。同时,当LCC-HVDC工作在反转潮流工况下时,可跟随改变LCC侧电压极性反转。

[0017] 2、本发明提供的LCC/VSC直流互联变压器开关频率更小,所以开关损耗更小,效率更高。

[0018] 3、本发明提供的LCC/VSC直流互联变压器交流环流更小，所以导通损耗更小，从而使得开关频率更小。

[0019] 4、本发明提供的LCC/VSC直流互联变压器中的滤波电感的感值大大减小，可显著减小直流变压器的体积。

附图说明

[0020] 通过阅读参照以下附图对非限制性实施例所作的详细描述，本发明的其它特征、目的和优点将会变得更明显：

[0021] 图1为直接耦合式直流变压器拓扑示意图；

[0022] 图2为半桥、全桥型子模块链式模块串的电路对比图；

[0023] 图2(a)为半桥型子模块(HBSM)示意图；

[0024] 图2(b)为全桥型子模块(FBSM)示意图；

[0025] 图3为常态潮流工况下运行波形示意图；

[0026] 图4为反转潮流工况下运行波形示意图。

具体实施方式

[0027] 下面结合具体实施例对本发明进行详细说明。以下实施例将有助于本领域的技术人员进一步理解本发明，但不以任何形式限制本发明。应当指出的是，对本领域的普通技术人员来说，在不脱离本发明构思的前提下，还可以做出若干变化和改进。这些都属于本发明的保护范围。

[0028] 根据本发明提供的LCC/VSC直流互联变压器，包括：上桥臂、下桥臂以及中心连接电感 L_f ，上桥臂的一端分别与下桥臂一端、中心连接电感 L_f 的一端相连；中心连接电感 L_f 的另一端与下桥臂的另一端构成VSC-HVDC的连接端；上桥臂的另一端与下桥臂的另一端构成LCC-HVDC的连接端；其中：

[0029] 所述上桥臂包括桥臂电感 L_a 和 $2n$ 个依次串联的FBSM模块；所述下桥臂包括 n 个依次串联的HBSM模块； n 为大于等于1的自然数。

[0030] 所述VSC-HVDC与LCC-HVDC的电压等级不同。

[0031] FBSM模块是指全桥型子模块，包括：电容、第一功率开关管、第二功率开关管、第三功率开关管、第四功率开关管、第一二极管、第二二极管、第三二极管、第四二极管；电容的正极分别连接第一功率开关管的集电极、第三功率开关管的集电极、第一二极管的负极、第二二极管的负极；第一功率开关管的发射极、第一二极管的正极与第二功率开关管集电极、第二二极管负极相连并构成所述FBSM模块的一端；第三功率开关管的发射极、第三二极管的正极与第四功率开关管集电极、第四二极管负极相连并构成所述FBSM模块的另一端；第二功率开关管的发射极、第二二极管正极、第四功率开关管发射极、第四二极管正极均连接至电容的负极。

[0032] HBSM模块是指半桥型子模块，包括：电容、第一功率开关管、第二功率开关管、第一二极管、第二二极管；电容的正极与第一功率开关管集电极、第一二极管负极相连；第一功率开关管发射极、第一二极管正极与第二功率开关管集电极、第二二极管负极相连并构成HBSM模块的一端；第二功率开关管发射极、第二二极管正极均连接至电容的负极并构成

HBSM模块的另一端。

[0033] 第一功率开关管的基极、第二功率开关管的基极、第三功率开关管的基极、第四功率开关管的基极与PWM输出模块的输出端相连,所述PWM输出模块用于输出两组电平的脉冲波,所述脉冲波能够决定第一功率开关管、第二功率开关管、第三功率开关管、第四功率开关管的开启与关闭。

[0034] 本发明提供的LCC/VSC直流互联变压器拓扑如图1所示,直流互联变压器用于连接电压等级不同的LCC-HVDC和VSC-HVDC。一般LCC-HVDC电压等级比VSC-HVDC更高,不考虑LCC侧电压极性,有 $U_{dc2} > U_{dc1}$ 。该拓扑上桥臂由桥臂电感 L_a 和 $2n$ 个FBSM(链式模块串1)串联而成,下桥臂由 n 个HBSM(链式模块串2)串联而成。桥臂中点通过一个电感 L_f 与VSC-HVDC连接。

[0035] 其中,FBSM是指:全桥型子模块(Full-bridge Submodule,FBSM);HBSM是指半桥型子模块(Half-bridge Submodule,HBSM),具体电路结构如图2所示。

[0036] 下面结合具体实施例对本发明中的技术方案做更加详细的说明。

[0037] 实施例1:

[0038] 当LCC-HVDC处于常态潮流工况下,其工作电压为 $+U_{dc2}$ 。在该运行方式下,链式模块串1的子模块 $FBSM_1 \sim FBSM_n$ 中 S_3 和 S_4 全部闭锁,且 S_3 被旁路开关旁路,此时 $FBSM_1 \sim FBSM_n$ 实际上转化为HBSM。同时链式模块串1的子模块 $FBSM_{(n+1)} \sim FBSM_{(2n)}$ 均被旁路开关旁路,因此链式模块串1由 $2n$ 个FBSM转化为 n 个HBSM运行,以减小导通损耗、提高LCC/VSC直流互联变压器的效率。此时运行波形如图3所示,令链式模块串1和2工作在两电平PWM模式下,开关周期均为 T ,占空比分别为 $(1-d)$ 和 d 。链式模块串串1输出电压 u_{c11} 相对于链式模块串串2输出电压 u_{c12} 存在相移,移相占空比为 d_s 。图3中 u_{c11} 和 u_{c12} 分别为链式模块串1和2输出电压, u_{La} 和 u_{Lf} 分别为电感 L_a 和 L_f 两端的电压, i_1 、 i_2 和 i_3 分别为VSC侧电流、下桥臂电流和LCC侧电流,正方向均在图1中标出。

[0039] 实施例2:

[0040] 当LCC-HVDC处于反转潮流工况下,其工作电压为 $-U_{dc2}$,此时链式模块串1中的所有FBSM均投入。此时的运行波形如图4所示。

[0041] 以上对本发明的具体实施例进行了描述。需要理解的是,本发明并不局限于上述特定实施方式,本领域技术人员可以在权利要求的范围内做出各种变化或修改,这并不影响本发明的实质内容。在不冲突的情况下,本申请的实施例和实施例中的特征可以任意相互组合。

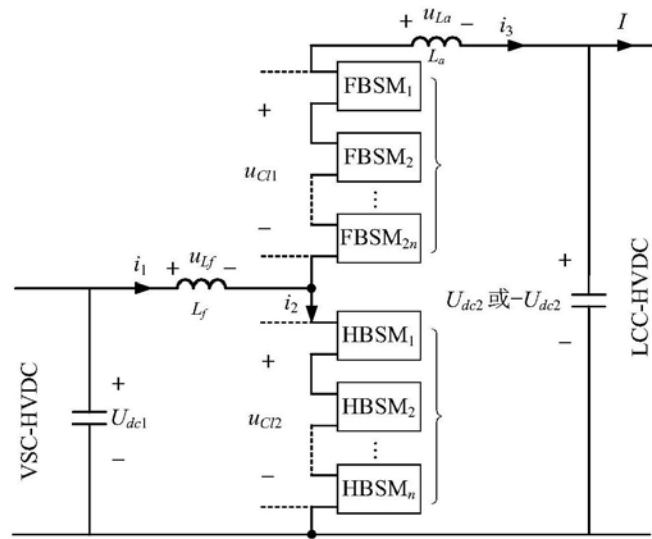


图1

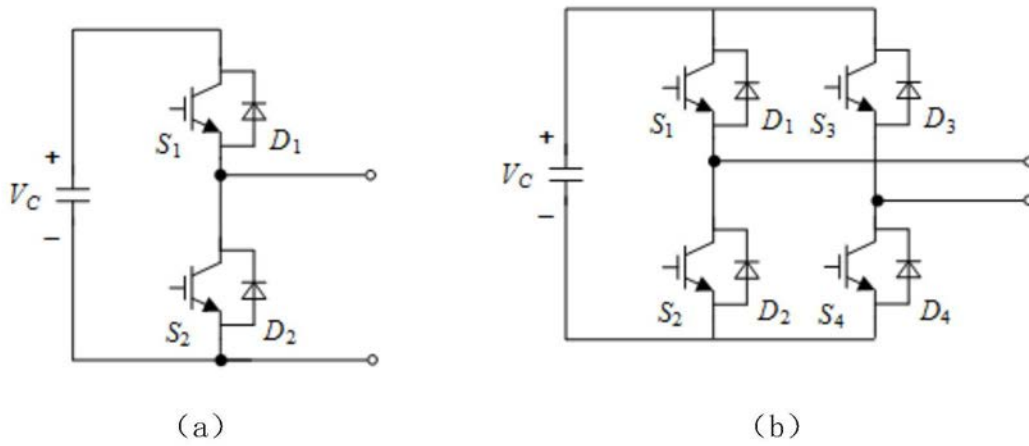


图2

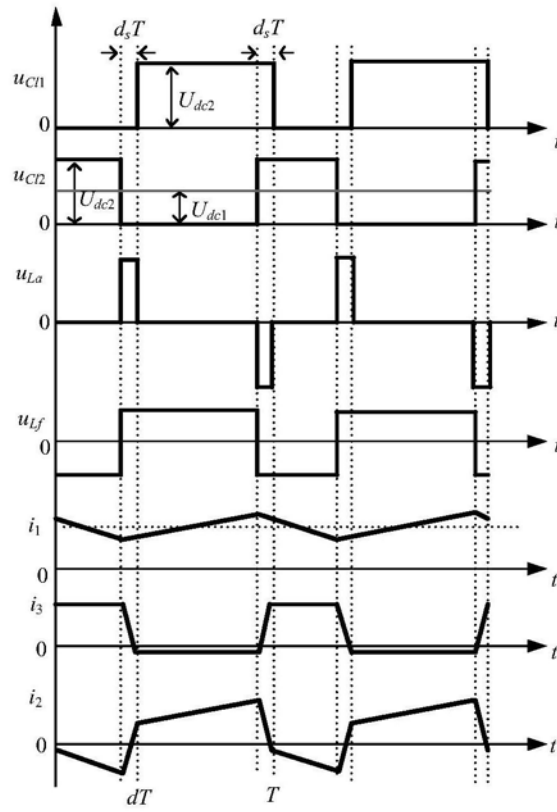


图3

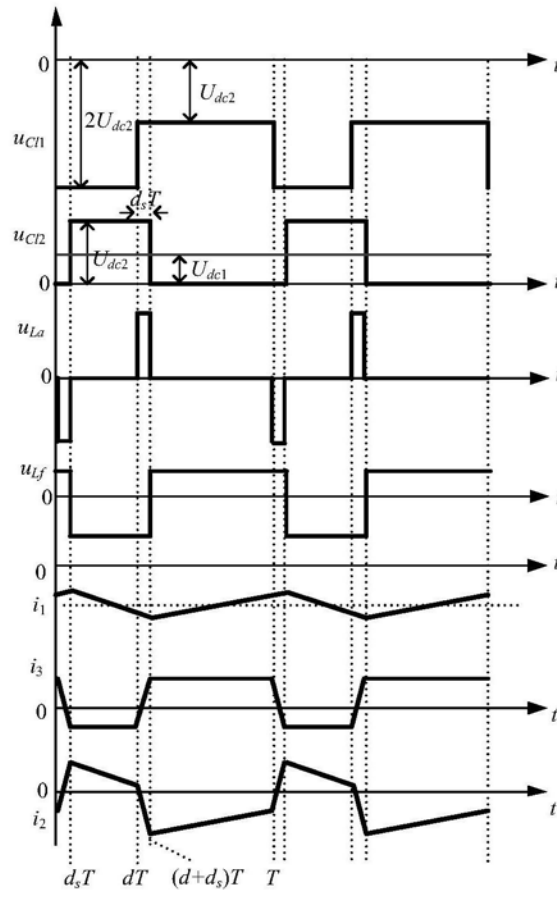


图4