(19)国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 114498711 B
(45)授权公告日 2024.03.19

(21)申请号 202210030535.8

(22)申请日 2022.01.12

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 114498711 A

(43)申请公布日 2022.05.13

(73)专利权人 国网浙江省电力有限公司电力科学研究院
地址 310014 浙江省杭州市下城区朝晖八区华电弄1号

(72)发明人 许烽 金玉琪 裘鹏 倪晓军 林进钿 黄晓明 陆承宇 陆翌 陈晓刚 徐华 毛航银 宣佳卓 陈骞 丁超 郑眉

(74)专利代理机构 浙江翔隆专利事务所(普通合伙) 33206
专利代理师 张建青

(51)Int.Cl.
H02J 3/34(2006.01)
H02J 3/38(2006.01)
H02J 3/28(2006.01)
H02M 5/293(2006.01)

(56)对比文件
CN 102545644 A,2012.07.04
CN 104377720 A,2015.02.25
CN 112769131 A,2021.05.07
CN 113595067 A,2021.11.02
CN 209313433 U,2019.08.27
US 2017054294 A1,2017.02.23
US 2017170660 A1,2017.06.15
张靠社,王建华,姚李孝,王锡凡.分频输电与金沙江电力外送输电方案的经济技术比较.电网技术.2000,(第10期),全文.

审查员 勾艳凤

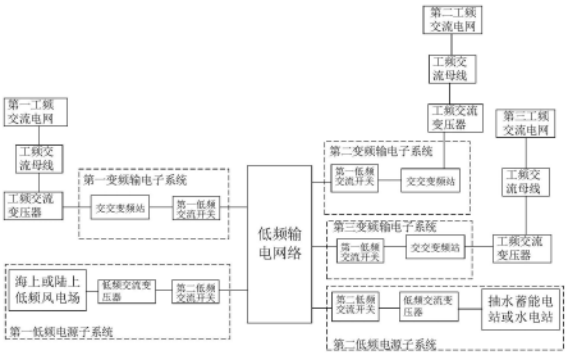
权利要求书2页 说明书4页 附图2页

(54)发明名称

一种低频输电系统及其控制方式

(57)摘要

本发明公开了一种低频输电系统及其控制方式。本发明包括变频输电子系统以及低频电源子系统;变频输电子系统包括:通过工频交流母线和工频交流变压器与工频交流电网连接的交交变频站、与所述交交变频站连接的第一低频交流开关;低频电源子系统包括:低频风电场或抽水蓄能电站/水电站、与低频风电场或抽水蓄能电站/水电站连接的低频交流变压器、与所述低频交流变压器连接的第二低频交流开关;所述第一低频交流开关和第二低频交流开关均与所述低频输电网络连接。本发明可实现风电、抽水蓄能电站等能源的远距离电力输送,在保障电力有效传输的同时,兼顾传输效率和建设成本。



CN 114498711 B

1.一种低频输电系统的控制方式,其特征在于,所述的低频输电系统包括第一变频输电子系统、第二变频输电子系统、第三变频输电子系统,以及第一低频电源子系统和第二低频电源子系统;

变频输电子系统包括:通过工频交流母线和工频交流变压器与工频交流电网连接的交交变频站,其用于将工频交流电转换为低频交流电;与所述交交变频站连接的第一低频交流开关;

低频电源子系统包括:低频风电场或抽水蓄能电站/水电站;与低频风电场或抽水蓄能电站/水电站连接的低频交流变压器,其用于将低频电源子系统的低频交流电进行电压变换;与所述低频交流变压器连接的第二低频交流开关;

所述第一低频交流开关和第二低频交流开关均与所述低频输电网络连接;

所述低频输电系统的控制方式,具体内容如下:低频输电系统运行在五端、四端、三端、两端或一端运行状态,其中,五端运行状态为完全运行状态,即三个变频输电子系统和两个低频电源子系统均处于运行状态;所有运行状态中,至少有一个变频输电子系统处于运行状态,否则,低频输电系统不能稳定运行,变频输电子系统和低频电源子系统均具备在线投退能力,在线投退期间都不会影响低频输电系统的正常运行;

当第三变频输电子系统投入运行时,低频输电系统的频率因倍频变压器的缘故,被限制于1/3工频频率值,其他子系统的频率必须跟随该频率值;当第三变频输电子系统退出运行时,低频输电系统的频率可通过频率控制进行调节,但频率范围需要在低频交流变压器和低频交流开关的可运行范围之内;

所述第二变频输电子系统的交交变频站采用基于晶闸管的周波变换器,所述周波变换器的每一相都由反并联的两组整流桥组成,改变两组整流桥的切换频率就可改变输出频率,改变整流桥中电力半导体管的门极触发延迟角就可改变相控周波变换器输出电压的幅值和工作方式,使周波变换器方便地工作于整流和逆变状态,实现四象限运行;

所述第三变频输电子系统的交交变频站采用倍频变压器,所述的倍频变压器为利用铁磁饱和特性构成的三倍频变压器。

2.根据权利要求1所述的低频输电系统的控制方式,其特征在于,整流桥内,为使得每个桥臂具备一定电压的承受能力,都采用晶闸管直接串联。

3.根据权利要求1所述的低频输电系统的控制方式,其特征在于,所述第一低频电源子系统中的低频电源为中远距离海上或陆上低频风电场,其风机采用永磁直驱形式,对其变压器、变频器和环网柜进行改造,实现工频风机向低频风机的过渡,使得风机能直接输出低频电能。

4.根据权利要求1所述的低频输电系统的控制方式,其特征在于,所述第二低频电源子系统中的电源为中远距离抽水蓄能电站或水电站,通过低频改造,直接输出低频电能,向连接的低频输电网络送电。

5.根据权利要求1所述的低频输电系统的控制方式,其特征在于,所述的低频输电网络采用放射状或环状结构。

6.根据权利要求1-5任一项所述的低频输电系统的控制方式,其特征在于,所述第一变频输电子系统的交交变频站采用模块化多电平矩阵型换流器,且为三相九桥臂结构,每个桥臂均含有多个全桥子模块且每个桥臂串接电感;

所述全桥子模块包括:第一带反向二极管的IGBT、第二带反向二极管的IGBT、第三带反向二极管的IGBT、第四带反向二极管的IGBT和第一电容,所述第一带反向二极管的IGBT的集电极与第二带反向二极管的IGBT的集电极和所述第一电容的一端连接,所述第一带反向二极管的IGBT的发射极与所述第三带反向二极管的IGBT的集电极连接作为所述全桥子模块的高压端,所述第三带反向二极管的IGBT的发射极与所述第四带反向二极管的IGBT的发射极和所述第一电容的另一端连接,所述第二带反向二极管的IGBT的发射极与所述第四带反向二极管的IGBT的集电极连接作为所述全桥子模块的低压端。

7.根据权利要求6所述的低频输电系统的控制方式,其特征在于,所述全桥子模块内还含有储能模块,使得模块化多电平矩阵型换流器具备储能功能,为低频输电系统提供功率/能量灵活性调节。

一种低频输电系统及其控制方式

技术领域

[0001] 本发明属于电力系统输电领域,具体地说是一种低频输电系统及其控制方式。

背景技术

[0002] 风能是一种资源丰富、可再生的绿色能源,以其良好的生态效益和巨大的发展潜力得到了全球的青睐,有望成为世界的主导能源。风电因巨大的开发潜能和商业化价值受到了世界各国的重视,并得到了大规模的开发和利用。在我国,由于风电场大多位置偏远,电力系统对风电的消纳不足,从而抑制了风电的发展,所以解决风电并网和远距离大容量输送的问题极其重要。

[0003] 低频输电通过降低输电频率,减小线路阻抗、减少电缆充电无功、提升电网的输送能力和调控能力,是工频交流输电与直流输电方式的有益补充,适用于中远距离海上风电送出、城市电网分区互联、海岛互联供电等场景。海上风电低频输电系统可利用风机直接输出低频电能,通过汇集系统将低频电能传输至海上平台,并通过低频变压器升压后经海缆线路送出,最后通过陆上交交变频站将低频电能变换为工频,汇入工频电网。交交变频器的工、低频相互独立,输电能力不受工频电压、功率因数影响。

[0004] 低频输电在中远海风电送出场景中有明显的技术经济优势,但由于低频输电技术尚处于发展起步阶段,并无相关工程应用,因此,针对其拓扑结构形式的研究几乎空白。

发明内容

[0005] 针对上述现有技术存在的缺陷,本发明提出一种低频输电系统,其可实现风电、抽水蓄能电站等能源的远距离电力输送,在保障电力有效传输的同时,兼顾传输效率和建设成本。

[0006] 为此,本发明采用如下的技术方案:一种低频输电系统,其包括第一变频输电子系统、第二变频输电子系统、第三变频输电子系统,以及第一低频电源子系统和第二低频电源子系统;

[0007] 变频输电子系统包括:通过工频交流母线和工频交流变压器与工频交流电网连接的交交变频站,其用于将工频交流电转换为低频交流电;与所述交交变频站连接的第一低频交流开关;

[0008] 低频电源子系统包括:低频风电场或抽水蓄能电站/水电站;与低频风电场或抽水蓄能电站/水电站连接的低频交流变压器,其用于将低频电源子系统的低频交流电进行电压变换;与所述低频交流变压器连接的第二低频交流开关;

[0009] 所述第一低频交流开关和第二低频交流开关均与所述低频输电网络连接。

[0010] 所述的低频交流变压器和低频交流开关的工作原理分别与工频交流变压器和工频交流开关相同,由于频率变低、过零点周期变长,低频交流变压器体积将大于同电压等级同容量的工频交流变压器;低频交流开关的熄弧难度大于工频交流开关。

[0011] 进一步地,所述第二变频输电子系统的交交变频站采用基于晶闸管的周波变换

器,所述周波变换器的每一相都由反并联的两组整流桥组成,改变两组整流桥的切换频率就可改变输出频率,改变整流桥中电力半导体管的门极触发延迟角就可改变相控周波变换器输出电压的幅值和工作方式,使周波变换器方便地工作于整流和逆变状态,实现四象限运行。

[0012] 更进一步地,整流桥内,为使得每个桥臂具备一定电压的承受能力,都采用晶闸管直接串联。

[0013] 进一步地,所述第三变频输电子系统的交交变频站采用倍频变压器,所述的倍频变压器为利用铁磁饱和特性构成的三倍频变压器。三倍频变压器可实现基频和三分之一基频交流互联,能量互通。

[0014] 进一步地,所述第一低频电源子系统中的低频电源为中远距离(70km-200km)海上或陆上低频风电场,其风机采用永磁直驱形式,对其变压器、变频器和环网柜进行改造,实现工频风机向低频风机的过渡,使得风机能直接输出低频电能。

[0015] 进一步地,所述第二低频电源子系统中的电源为中远距离抽水蓄能电站或水电站,通过低频改造,直接输出低频电能,向连接的低频输电网络送电。

[0016] 进一步地,所述的低频输电网络采用放射状或环状结构,起到连接各子系统的作用,其故障保护原理可借鉴传统工频输电网络,如过流保护、距离保护等。

[0017] 进一步地,所述第一变频输电子系统的交交变频站采用模块化多电平矩阵型换流器,且为三相九桥臂结构,每个桥臂均含有多个全桥子模块且每个桥臂串接电感;

[0018] 所述全桥子模块包括:第一带反向二极管的IGBT、第二带反向二极管的IGBT、第三带反向二极管的IGBT、第四带反向二极管的IGBT和第一电容,所述第一带反向二极管的IGBT的集电极与第二带反向二极管的IGBT的集电极和所述第一电容的一端连接,所述第一带反向二极管的IGBT的发射极与所述第三带反向二极管的IGBT的集电极连接作为所述全桥子模块的高压端,所述第三带反向二极管的IGBT的发射极与所述第四带反向二极管的IGBT的发射极和所述第一电容的另一端连接,所述第二带反向二极管的IGBT的发射极与所述第四带反向二极管的IGBT的集电极连接作为所述全桥子模块的低压端。

[0019] 更进一步地,所述全桥子模块内还含有储能模块,使得模块化多电平矩阵型换流器具备储能功能,为低频输电系统提供功率/能量灵活性调节。

[0020] 本发明还提供上述低频输电系统的控制方式,其内容如下:低频输电系统运行在五端、四端、三端、两端或一端运行状态,其中,五端运行状态为完全运行状态,即三个变频输电子系统和两个低频电源子系统均处于运行状态;所有运行状态中,至少有一个变频输电子系统处于运行状态,否则,低频输电系统不能稳定运行,变频输电子系统和低频电源子系统均具备在线投退能力,在线投退期间都不会影响低频输电系统的正常运行;

[0021] 当第三变频输电子系统投入运行时,低频输电系统的频率因倍频变压器的缘故,被限制于1/3工频频率值,其他子系统的频率必须跟随该频率值;当第三变频输电子系统退出运行时,低频输电系统的频率可通过频率控制进行调节,但频率范围需要在低频交流变压器和低频交流开关的可运行范围之内。

[0022] 与现有技术相比,本发明具有的有益技术效果如下:

[0023] 本发明不仅能够实现风电、抽水蓄能电站等能源的远距离电力输送,保障电力的有效传输;同时,本发明提供了多种交交变频站的选择,可为工程实际应用匹配兼顾技术合

理性和系统建设成本的拓扑结构。

附图说明

[0024] 图1为本发明低频输电系统示意图;

[0025] 图2为本发明模块化多电平矩阵型换流器(M3C)示意图;

[0026] 图3为图2中全桥子模块的示意图。

具体实施方式

[0027] 为了更为具体地描述本发明,下面结合说明书附图及具体实施方式对本发明的技术方案及其相关原理进行详细说明。

[0028] 如图1所示的一种低频输电系统,包括第一变频输电子系统、第二变频输电子系统和第三变频输电子系统,以及第一低频电源子系统和第二低频电源子系统。

[0029] 变频输电子系统包括:通过工频交流母线和工频交流变压器与工频交流电网连接的交交变频站,其用于将工频交流电转换为低频交流电;以及与交交变频站连接的第一低频交流开关。低频电源子系统包括:低频风电场或抽水蓄能电站/水电站;与低频风电场或抽水蓄能电站/水电站连接的低频交流变压器,其用于将低频电源子系统的低频交流电进行电压变换;以及与低频交流变压器连接的第二低频交流开关。第一、第二低频交流开关均与低频输电网络连接。

[0030] 低频输电网络可采用放射状或环状结构,其故障保护原理可借鉴传统工频输电网络,如过流保护、距离保护等。低频交流变压器和低频交流开关的工作原理分别与工频交流变压器和工频交流开关相同,由于频率变低、过零点周期变长,低频交流变压器体积将大于同电压等级同容量的工频交流变压器;低频交流断路器的熄弧难度大于工频交流断路器。

[0031] 第一变频输电子系统的交交变频站采用模块化多电平矩阵型换流器(M3C),如图2所示,M3C为三相九桥臂结构,每个桥臂均由一个电感和N个全桥子模块级联而成。M3C两侧的三相交流系统分别由9个桥臂连接,且输入侧三相系统的每一相均经由唯一的桥臂同输出侧的各相连接。由于M3C各个桥臂的结构相同、参数对称,且相互独立,故从输入侧三相系统来看,可分为a、b、c三个子转换器;从输出侧三相系统又可分为u、v、w三个子转换器。每个子转换器的结构与链式的静止无功发生器(STATCOM,图2中简称SM)相同,因此也可以认为M3C是由三个STATCOM并联构成。M3C各桥臂中的电感能够抑制在各相桥臂功率或子模块电容电压瞬时值不完全一致时产生的环流,且能够在低频输电系统发生故障时抑制冲击电流,增强低频输电系统运行的稳定性。

[0032] 其中,如图3所示,全桥子模块包括:第一带反向二极管的IGBT、第二带反向二极管的IGBT、第三带反向二极管的IGBT、第四带反向二极管的IGBT和第一电容,所述第一带反向二极管的IGBT的集电极与第二带反向二极管的IGBT的集电极和所述第一电容的一端连接,所述第一带反向二极管的IGBT的发射极与所述第三带反向二极管的IGBT的集电极连接作为所述全桥子模块的高压端,所述第三带反向二极管的IGBT的发射极与所述第四带反向二极管的IGBT的发射极和所述第一电容的另一端连接,所述第二带反向二极管的IGBT的发射极与所述第四带反向二极管的IGBT的集电极连接作为所述全桥子模块的低压端。

[0033] 所述的全桥子模块内还可含有储能模块,使得模块化多电平矩阵型换流器具备一

定的储能功能,为低频输电系统提供功率/能量的灵活性调节。

[0034] 第二变频输电子系统的交交变频站采用基于晶闸管的周波变换器,周波变换器的每一相都由反并联的两组整流桥组成。改变两组整流桥的切换频率就可以改变输出频率。改变整流桥中电力半导体管的门极触发延迟角就可以改变相控周波变换器输出电压的幅值和工作方式,使周波变换器方便地工作于整流和逆变状态,实现四象限运行。整流桥内,为使得每个桥臂具备一定电压的承受能力,一般都采用晶闸管直接串联技术。

[0035] 第三变频输电子系统的交交变频站采用倍频变压器,倍频变压器为利用铁磁饱和特性构成的三倍频变压器。三倍频变压器可实现基频和三分之一基频交流互联,能量互通。

[0036] 第一低频电源子系统的低频电源为中远距离(70km-200km)海上或陆上低频风电场,风机采用永磁直驱形式,对其变压器、变频器和环网柜进行改造,可实现工频风机向低频风机的过渡,使得风机具备直接输出低频电能的能力。

[0037] 第二低频电源子系统中的电源为中远距离抽水蓄能电站或水电站,电站通过低频改造,可直接输出低频电能,向连接的低频输电系统送电。

[0038] 上述低频输电系统的控制方式,其内容如下:低频输电系统运行在五端、四端、三端、两端或一端运行状态,其中,五端运行状态为完全运行状态,即三个变频输电子系统和两个低频电源子系统均处于运行状态;所有运行状态中,至少有一个变频输电子系统处于运行状态,否则,低频输电系统不能稳定运行,变频输电子系统和低频电源子系统均具备在线投退能力,在线投退期间都不会影响低频输电系统的正常运行;

[0039] 当第三变频输电子系统投入运行时,低频输电系统的频率因倍频变压器的缘故,被限制于1/3工频频率值,其他子系统的频率必须跟随该频率值;当第三变频输电子系统退出运行时,低频输电系统的频率可通过频率控制进行调节,但频率范围需要在低频交流变压器和低频交流开关的可运行范围之内。

[0040] 本发明应用了具体个例对本发明的原理及实施方式进行了阐述,以上实施例的说明只是用于帮助理解本发明的核心思想。应当指出,对于本技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明原理的前提下,还可以对本发明进行若干改进和修饰,这些改进和修饰也落入本发明权利要求的保护范围内。

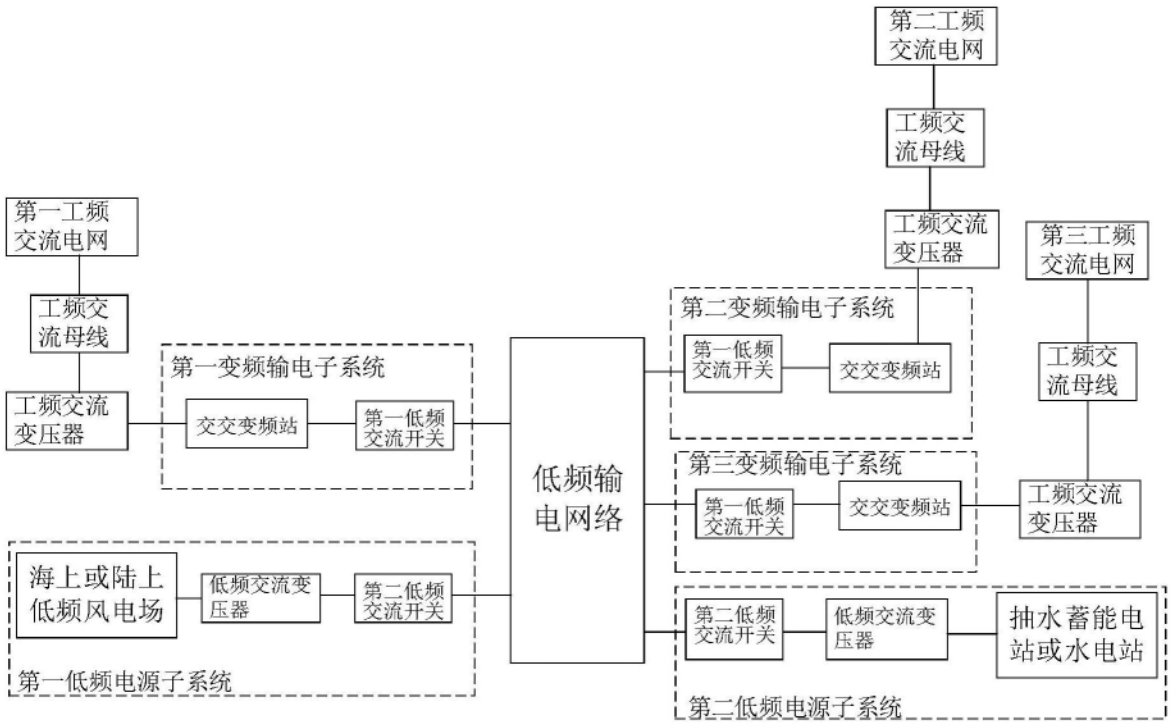

第二工频交流电网
工频交流母线
工频交流变压器
第三工频交流电网
第一工频交流电网
工频交流母线
第二变频输电子系统
第一低频交流开关
交交变频站
工频交流母线
第一变频输电子系统
工频交流变压器
交交变频站
第一低频交流开关
低频输电网络
第三变频输电子系统
第一低频交流开关
交交变频站
工频交流变压器
海上或陆上低频风电场
低频交流变压器
第二低频交流开关
第二低频交流开关
低频交流变压器
抽水蓄能电站或水电站
第一低频电源子系统
第二低频电源子系统

图1

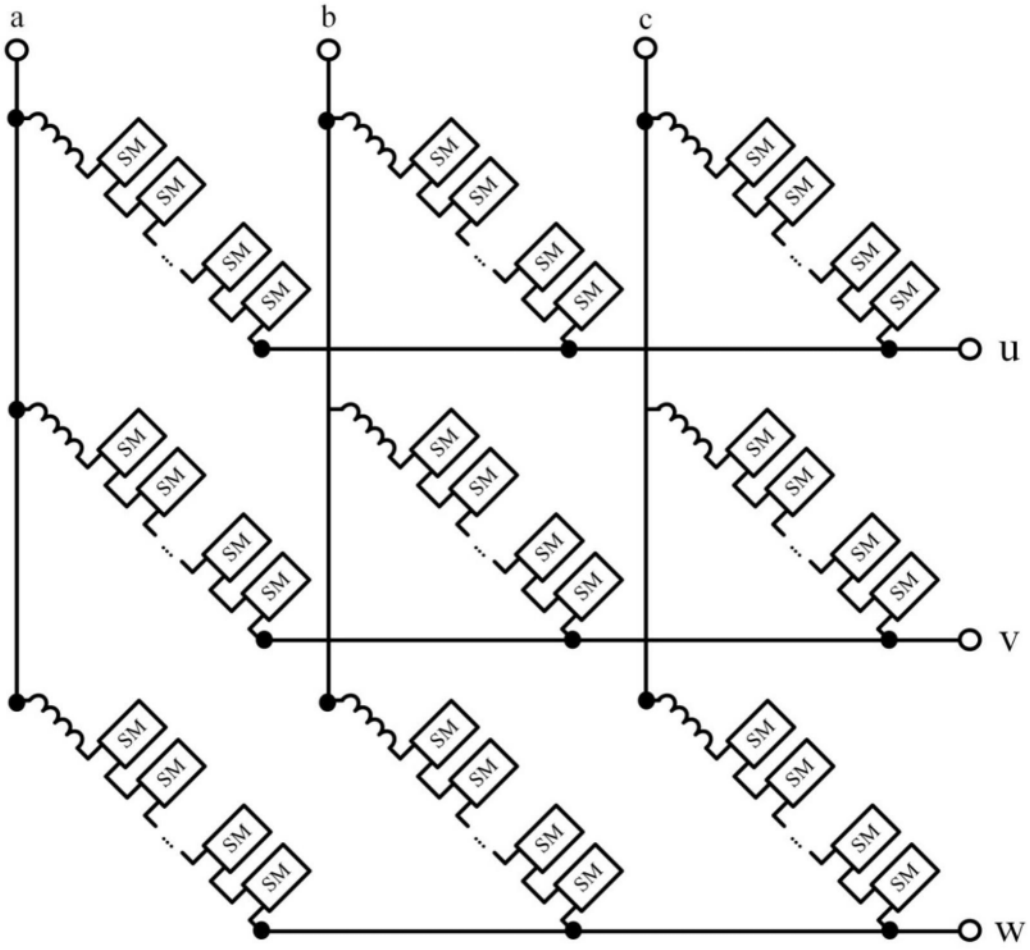


图2

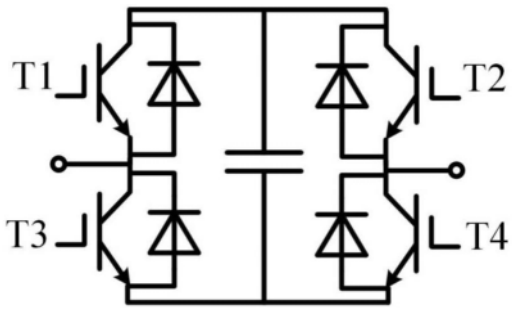


图3