

1. 一种多层次多拓扑混联的海上风电输电系统,适用于用电负荷5MW及以下、离岸路由距离150km以上的远海用电负荷,其特征在于,包括高压直流输电系统及中压直流输电系统:高压直流输电系统的风电场风机经66kV交流海底电缆汇集至 ± 500 kV海上换流站的66kV交流母线,交流电能经海上换流站汇集并整流后采用直流海底电缆接至陆上换流站,经陆上换流站逆变后采用交流500kV线路接入系统站;中压直流功能系统采用对称双极输电结构,高压直流输电系统及中压直流输电系统的输电拓扑、换流器拓扑及电压等级均与不相同的直流输电系统通过交流66kV耦合。

2. 根据权利要求1所述的一种多层次多拓扑混联的海上风电输电系统,其特征在于,中压直流输电主系统从海上换流站66kV交流母线经多绕组变压器引接至级联三电平整流换流阀,整流后的电能采用直流海缆传输至受端站,通过级联三电平逆变换流阀,经多绕组变压器引接至400V母线。

3. 根据权利要求1所述的一种多层次多拓扑混联的海上风电输电系统,其特征在于,中压直流输电主系统的整流装置及逆变装置均包含两极的CNPC换流阀,输电海缆由1根三芯海缆或三根单芯海缆将海、陆站连接而成。

4. 根据权利要求1所述的一种多层次多拓扑混联的海上风电输电系统,其特征在于,中压直流输电主系统的正极系统及负极系统单极均包括软启回路、多绕组联接变压器、多级三电平NPC子模块级联的C-NPC单元以及极线电抗。

5. 根据权利要求1所述的一种多层次多拓扑混联的海上风电输电系统,其特征在于,中压直流输电主系统的中性极系统包括中性线电抗和接地电阻,每一级的NPC三电平换流器和LC滤波器组成一个NPC子单元,各级NPC子单元通过多绕组联接变压器隔离后,在直流侧串联;输电系统的接地点位于受端负荷侧的中性线回路处。

6. 根据权利要求5所述的一种多层次多拓扑混联的海上风电输电系统,其特征在于,NPC三电平换流器接线,包括滤波电路、换流电路、保护电路,每相包含4个开关管与2个箝位二极管,每个开关管均包含IGBT元器件与二极管的并联回路,箝位二极管用于电平钳位,C1、C2为三电平直流侧电容,为逆变器提供两个相同的直流电压,电容中点电压即为零电平。

一种多层次多拓扑混联的海上风电输电系统

技术领域

[0001] 本实用新型涉及海上风电直流输电系统技术,尤其是涉及一种多层次多拓扑混联的海上风电输电系统。

背景技术

[0002] 随着海洋资源的不断开发,深远海化发展已经成为未来的发展趋势。除了能源领域,包括海洋养殖、旅游开发、科学研究等越来越多的领域向着海洋纵深发展。然而,这些远离陆地的功能的开发与利用都离不开电能,因此,深远海的电能供应就成为目前亟需解决的一项技术难题。

[0003] 深远海供能系统与常规陆上的供能系统的一大主要区别在于其“输电距离”与“用电负荷”呈现极为不匹配的特征,主要体现在两方面:第一方面,输电距离越远则线路损耗越大,需要匹配越高的电压等级以降低损耗,然而电压等级越高则意味着经济成本就越高,对于远海低容量的用电负荷需求却用较高的经济成本去解决供能问题则有些“本末倒置”,用电的低负荷需求与供电的高成本不匹配;第二方面,深远海供电往往需要有一定的可靠性,如供能可靠性不足,则远海负荷失电的情况下,轻则带来用电功能无法正常运行、重则带来危及人员、设备安全的后果,因此,虽然是低负荷的功能,仍需要足够高的安全可靠保障;然而安全可靠性的保障则意味着需要冗余度或者高规格设备的支撑,仍然是对经济性提出较高的需求。

[0004] 在现有的技术条件下,利用海上风电的已有电源是一种比较切实可行的技术解决手段。从海上风电的换流站/升压站/风电机组取能,再送至各需要的远海负荷点,能有有效地利用已有能源、节省电能取能方面的部分经济成本。因此,海上风电输电系统与综合开发的供能系统的形成的多层次电能输送系统将是未来海上电源开发的主要解决方案之一。

[0005] 对于海上风电的远海风电开发,柔性直流输电技术具有系统稳定、交直流系统相互解耦、有功无功可独立控制、调节方式灵活、占地面积少等诸多优点,尤其适用于远距离、大容量的深远海上风电场的并网送电。目前已建设并投运了若干陆地柔性直流科技示范项目,但海上风电场柔性直流送出在国内尚在起步阶段。海上风电输电系统与综合功能开发的供能系统如何形成多层次协同供能系统,解决综合功能开发低负荷供电与高成本开发的矛盾,是需要重点解决的难点。

[0006] 基于上述情况,本实用新型提出了一种多层次多拓扑混联的海上风电输电系统,在保证供能系统的高可靠性的同时,兼具经济性较优的特点,解决远海的低负荷功能需求。

实用新型内容

[0007] 为了解决背景技术中存在的问题,本实用新型提供一种多层次多拓扑混联的海上风电输电系统。

[0008] 本实用新型采用如下的技术方案:

[0009] 一种多层级多拓扑混联的海上风电输电系统,适用于用电负荷5MW及以下、离岸路由距离150km以上的远海用电负荷,包括高压直流输电系统及中压直流输电系统:风电场风机经66kV交流海底电缆汇集至 ± 500 kV海上换流站的66kV交流母线,交流电能经海上换流站汇集并整流后采用直流海底电缆接至陆上换流站,经陆上换流站逆变后采用交流500kV线路接入系统站,换流器采用基于模块化多电平的换流阀;中压直流功能系统采用对称双极输电结构,换流器采用基于级联三电平的换流阀,高压直流输电系统及中压直流输电系统的输电拓扑、换流器拓扑及电压等级均与不相同的直流输电系统通过交流66kV耦合。

[0010] 进一步,中压直流输电主系统用于满足各类能源/功能需求的远距离电能传输,采用对称双极输电系统:从海上换流站66kV交流母线取能,经多绕组变压器引接至级联三电平整流换流阀,整流后的电能采用直流海缆传输至受端站,通过级联三电平逆变换流阀,经多绕组变压器引接至400V母线,供各类功能开发的负荷使用。

[0011] 进一步,中压级联三电平直流输电系统的整流装置及逆变装置均包含两极的CNPC换流阀,输电海缆由1根三芯海缆(1芯正极、1芯负极海缆、1芯中性线)或三根单芯海缆将海、陆站连接而成。由于采用对称双极输电,换流阀、直流海缆等核心设备都存在冗余配置,这种接线方案可靠性相当高:当整流装置及逆变装置任何一极故障时,另外一极可以继续运行,不会导致功率传输中断。

[0012] 进一步,中压直流输电主系统的正极系统及负极系统单极均包括软启回路、多绕组联接变压器、多级三电平NPC子模块级联的C-NPC单元以及极线电抗。

[0013] 进一步,中压直流输电主系统的中性极系统包括中性线电抗和接地电阻,每一级的NPC三电平换流器和LC滤波器组成一个NPC子单元,各级NPC子单元通过多绕组联接变压器隔离后,在直流侧串联,共同支撑系统的直流电压;在交流侧并联,共同分担系统的传输功率,输电系统的接地点位于受端负荷侧的中性线回路处。

[0014] 送端换流器与受端换流器采用等同选择最高额定电压、增大海缆截面等方式,以防止在输送功率变化情况下的绝缘击穿问题。

[0015] 进一步,NPC三电平换流器接线,包括滤波电路、换流电路、保护电路,每相包含4个开关管与2个箝位二极管,每个开关管均包含IGBT元器件与二极管的并联回路,箝位二极管用于电平钳位,C1、C2为三电平直流侧电容,为逆变器提供两个相同的直流电压,电容中点电压即为零电平。

[0016] 基于级联三电平的换流阀系统采用并网模式控制方式和孤岛模式控制方式,其中,并网模式控制策略应用于靠近海上风电场换流站/升压站侧,孤岛模式应用于靠近功能应用负荷侧。

[0017] 本实用新型提供的一种多层级多拓扑混联的海上风电输电系统:针解决了容量为5MW及以下、远离电能供应中心150km以上的远海用电负荷,存在的“输电距离”与“用电负荷”呈现极为不匹配的问题;

[0018] 电能的取能从离岸100km以上的海上风电换流站取能,再采用中压直流输电系统,在考虑输电损耗的基础上,可适用于用电负荷离岸150km以上的场景,对于远海的多场景多功能开发具有十分重要的意义;

[0019] 电能的电源基本上不需要投资成本,借助海上换流站的交流母线即可完成,对于供电回路只需要建设输电系统,因此,对于用电负荷的供电回路具有较高的经济价值;

[0020] 电能取能从海上换流站的交流母线取得,因此,电源的安全可靠性也能够得到保障;另外,低负荷的用电回路对于风电场的运行基本不造成影响,因此,是具有高可靠性的解决方案。

附图说明

- [0021] 图1是本实用新型整体拓扑图;
[0022] 图2是级联三电平CNPC换流器系统接线图;
[0023] 图3是单个NPC三电平换流器接线图;
[0024] 图4是单相桥臂工作状态示意图;
[0025] 图5是旁路单元工作状态示意图。

具体实施方式

[0026] 下面结合附图和具体实施方式对本实用新型作进一步详细说明。

[0027] 如附图1所示,一种多层次多拓扑混联的海上风电输电系统,适用于用电负荷5MW及以下、离岸路由距离150km以上的远海用电负荷,包括高压直流输电系统及中压直流输电系统:高压直流输电采用对称单极输电结构,换流器采用基于模块化多电平(MMC)的换流阀;中压直流功能系统采用对称双极输电结构,以提升供能的安全可靠性,换流器采用基于级联三电平(C-NPC)的换流阀,高压直流输电系统及中压直流输电系统的输电拓扑、换流器拓扑及电压等级均不相同的直流输电系统通过交流66kV耦合,解决远海低负荷用电的供能难题。

[0028] 如图,高压直流输电为典型的海上风电输电系统,采用对称单极输电方案,海上风电电能传输主系统为:风电场风机100,经66kV交流海底电缆200汇集至 ± 500 kV海上换流站300的66kV交流母线330,所有电能经海上换流站整流后采用2根直流海底电缆800登陆接至陆上换流站600,经陆上换流站逆变后采用2回500kV线路接入系统站700。

[0029] 中压直流输电主系统用于满足各类功能需求的远距离电能传输,采用对称双极输电系统:从海上换流站66kV交流母线330取能,经多绕组变压器340引接至级联三电平整流换流阀350,整流后的电能采用直流海缆400传输至受端站500,通过级联三电平逆变换流阀510,经多绕组变压器520引接至400V母线530,供各类功能开发的负荷使用。

[0030] 系统电源来自于海上换流站300的交流66kV母线330。由于海上换流站采用定交流母线电压、交流母线频率的控制策略,因此其66kV母线330具备足够的稳定性以提供中压直流功能系统的需求。

[0031] 系统中压直流功能系统采用对称双极输电方式以提升供能的安全可靠性。通常整流装置350及逆变装置510均包含两极的CNPC换流阀,输电海缆由1根三芯海缆(1芯正极、1芯负极海缆、1芯中性线)400或三根单芯海缆将海、陆站连接而成。由于采用对称双极输电,换流阀、直流海缆等核心设备都存在冗余配置,这种接线方案的特点是可靠性相当高,当整流装置350及逆变装置510任何一极故障时,另外一极可以继续运行,不会导致功率传输中断。

[0032] 系统各换流站之间的协调控制是控制保护的核心。为了维持直流电压和系统的稳定,根据柔性直流输电的基本运行原理,各换流站的运行区间应满足下列约束条件:

$$[0033] \quad \sum_{i=1}^n P_i + P_{\text{loss}} = 0;$$

$$[0034] \quad -P_{i\text{max}} \leq P_i \leq P_{i\text{max}};$$

$$[0035] \quad -Q_{i\text{max}} \leq Q_i \leq Q_{i\text{max}};$$

$$[0036] \quad S_{i\text{min}}(P_i, Q_i) \leq S_i(P_i, Q_i) \leq S_{i\text{max}}(P_i, Q_i);$$

$$[0037] \quad U_{\text{dcimin}} \leq U_{\text{dci}} \leq U_{\text{dcimax}};$$

[0038] 上式中换流站编号 $i=1 \sim n$, $i=1$ 为海上换流站、 $i=2$ 为陆上换流站、 $i=3 \sim n$ 为各类功能负荷站; P_i 、 Q_i 、 S_i 、 U_{dci} 分别为换流站 i 的有功功率、无功功率、视在功率和直流电压; $P_{i\text{max}}$ 、 $Q_{i\text{max}}$ 、 $S_{i\text{max}}$ 、 U_{dcimax} 分别为换流站 i 的有功功率、无功功率、视在功率和直流电压最大允许值; $S_{i\text{min}}$ 、 U_{dcimin} 分别为换流站 i 的视在功率和直流电压最小允许值; P_{loss} 为直流系统损耗。换流站向直流网络注入有功时有功功率 P 为正,当换流站从直流网络中汲取有功功率时有功功率 P 为负。

[0039] 系统由于低负荷的用电需求,因此中压直流海缆400的截面通常不大,因此会带来长距离输电情况下的高电压降、高损耗等问题。

[0040] 对于长距离输电的高电压降,当用电负荷满功率运行时,供电回路电流较高,根据 $U=I \times R$ 的基本公式,电压降也会增大,送端和受端的运行电压将处于较高的电压差异;当用电负荷在启动或低功率运行状态下,供电回路电流可能接近于0,则电压降也会接近于0,因此送端和受端的运行电压又呈现十分趋近的状态。因此,对于中压直流功能系统,送端换流器350与受端换流器510应采用等同选择最高额定电压、增大海缆截面等方式,以防止在输送功率变化情况下的绝缘击穿问题。

[0041] 如图2所示,海上级联三电平(CNPC)直流输电系统,正极系统及负极系统单极均主要包括软启回路340、多绕组联接变压器520、多级三电平NPC子模块级联的C-NPC单元以及极线电抗352。中性极系统主要包括中性线电抗353和接地电阻354,每一级的NPC三电平换流器351和LC滤波器组成一个NPC子单元,各级NPC子单元通过多绕组联接变压器隔离后,在直流侧串联,共同支撑系统的直流电压;在交流侧并联,共同分担系统的传输功率。系统接地点位于受端负荷侧的中性线回路。

[0042] 基于级联三电平的换流阀统接线,级联三电平换流器是由多个NPC子单元级联而成,从交流侧看多个NPC子单元相当于并联关系,从直流侧看相当于串联关系,每个NPC子单元都是独立的、功能完善的复合集成功率模块。

[0043] 基于级联三电平的换流阀接线,单极CNPC换流单元由7个NPC子单元级联,其中包括一个为热备用。正常工作时,7个子模块投入运行;当子模块出现短时不可清除故障时,将故障子模块闭锁旁路,同时由剩余的6个子模块继续稳定运行。

[0044] 如图3所示,NPC三电平换流器接线,由滤波电路、换流电路、保护电路三部分组成。每相包含4个开关管 $S1 \sim S4$ 与2个箝位二极管 $D5$ 、 $D6$,每个开关管 $S1 \sim S4$ 均包含IGBT元器件 $T1 \sim T4$ 与二极管 $D1 \sim D4$ 的并联回路。箝位二极管 $D5$ 、 $D6$ 用于电平钳位, $C1$ 、 $C2$ 为三电平直流侧电容,为逆变器提供两个相同的直流电压,电容中点电压即为零电平。

[0045] 如图4所示,单相桥臂工作状态示意图,假设其输出电压的开关函数为:

$$\begin{aligned}
 U_{out} &= U_1 - \frac{1}{2} U_{3\&4} \\
 [0046] \quad &= \alpha_1 U_{dc} - \alpha_2 U_{dc} \\
 &= k U_{dc}
 \end{aligned}$$

[0047] 令 $k = \alpha_1 - \alpha_2$, 式中开关函数 α_i 为

$$[0048] \quad \alpha_i = \begin{cases} 1 & \text{第 } i \text{ 桥臂上管开通} \\ 0 & \text{第 } i \text{ 桥臂下管开通 (} i=1, 2 \text{)} \end{cases} ;$$

[0049] 则 k 有两种可能: 1、0、-1, 输出电压如下表所示:

[0050]	开关管状态	S1、S2导通	S2、S3导通	S3、S4导通
	K	1	0	-1
	交流侧电压	+U _{dc} /2	0	-U _{dc} /2

[0051] 表1

[0052] 如图5所示, 为旁路单元工作状态示意图, 旁路回路由4个开关管S11、S12、S13、S14组成, 每个开关管S11~S14均包含IGBT元器件T11~T14与二极管D11~D14的并联回路。其中S12、S13与旁路开关K并联。当旁路开关K闭合, S11、S14导通, 回路为旁路状态, 输出电压为0; 当旁路开关K打开, 但是S12、S13导通的状态下, 同样直流侧电压为0。

[0053] 级联三电平 (CNPC) 换流器控制策略主要采用: 并网模式控制策略和孤岛模式控制策略两种方式。其中, 并网模式控制策略一般应用于靠近海上风电场换流站/升压站侧, 孤岛模式应用于靠近功能应用负荷侧。

[0054] 注意, 上述仅为本实用新型的较佳实施例及所运用技术原理。本领域技术人员会理解, 本实用新型不限于这里所述的特定实施例, 对本领域技术人员来说能够进行各种明显的变化、重新调整和替代而不会脱离本实用新型的保护范围。因此, 虽然通过以上实施例对本实用新型进行了较为详细的说明, 但是本实用新型不仅仅限于以上实施例, 在不脱离本实用新型构思的情况下, 还可以包括更多其他等效实施例, 而本实用新型的范围由所附的权利要求范围决定。

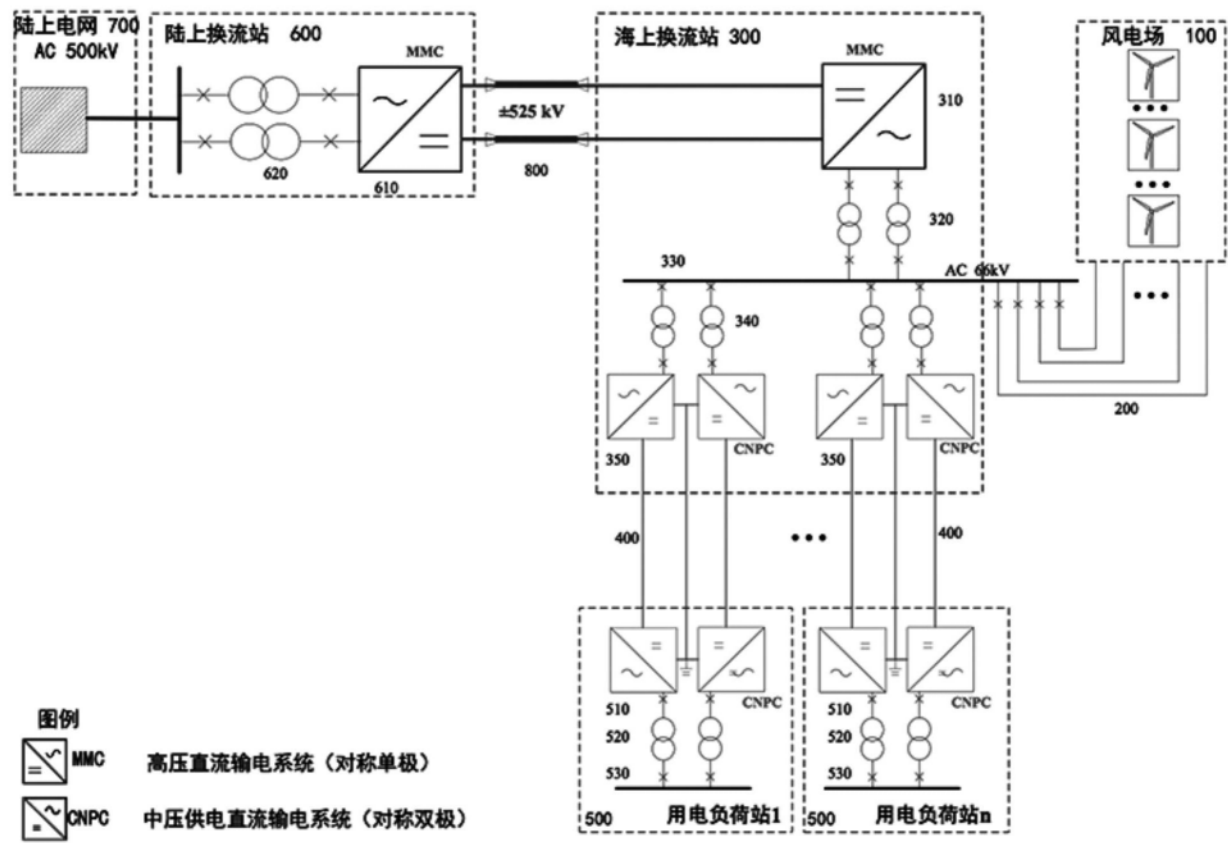


图1

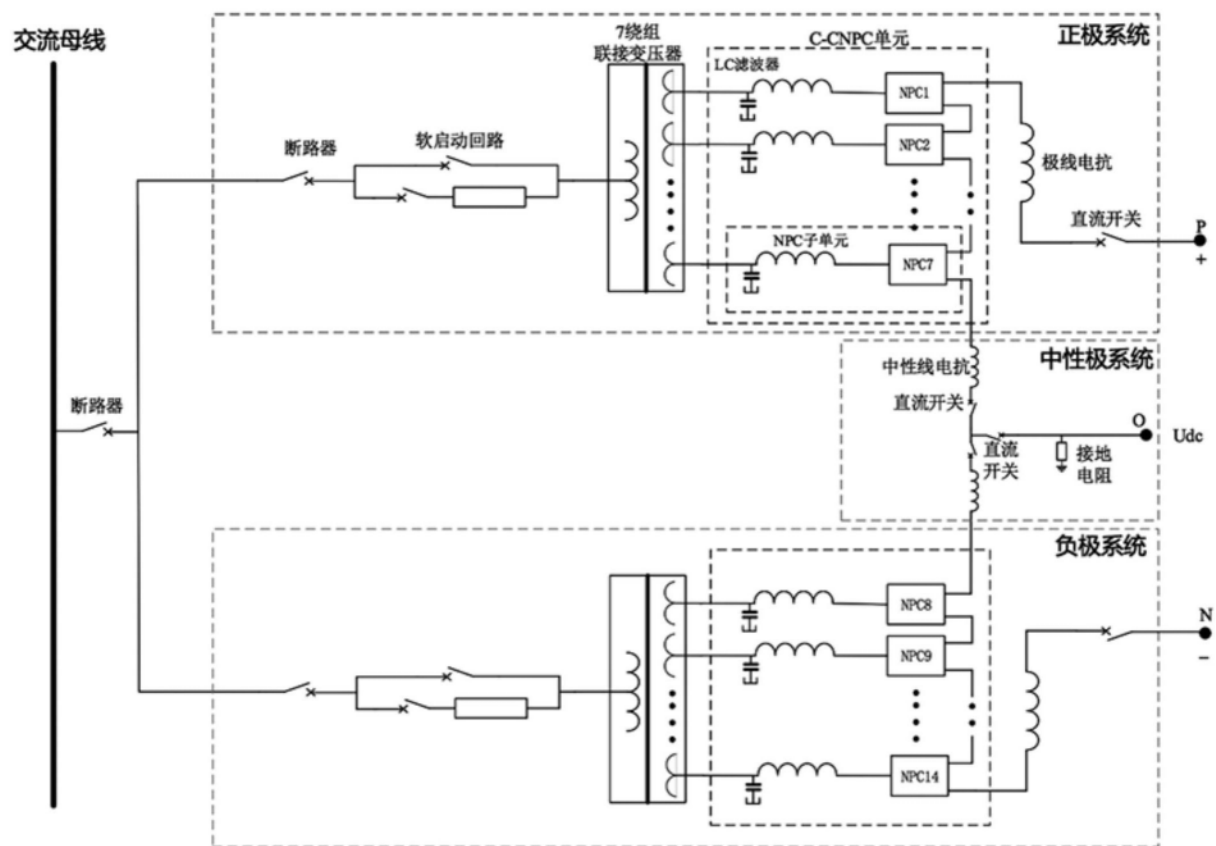


图2

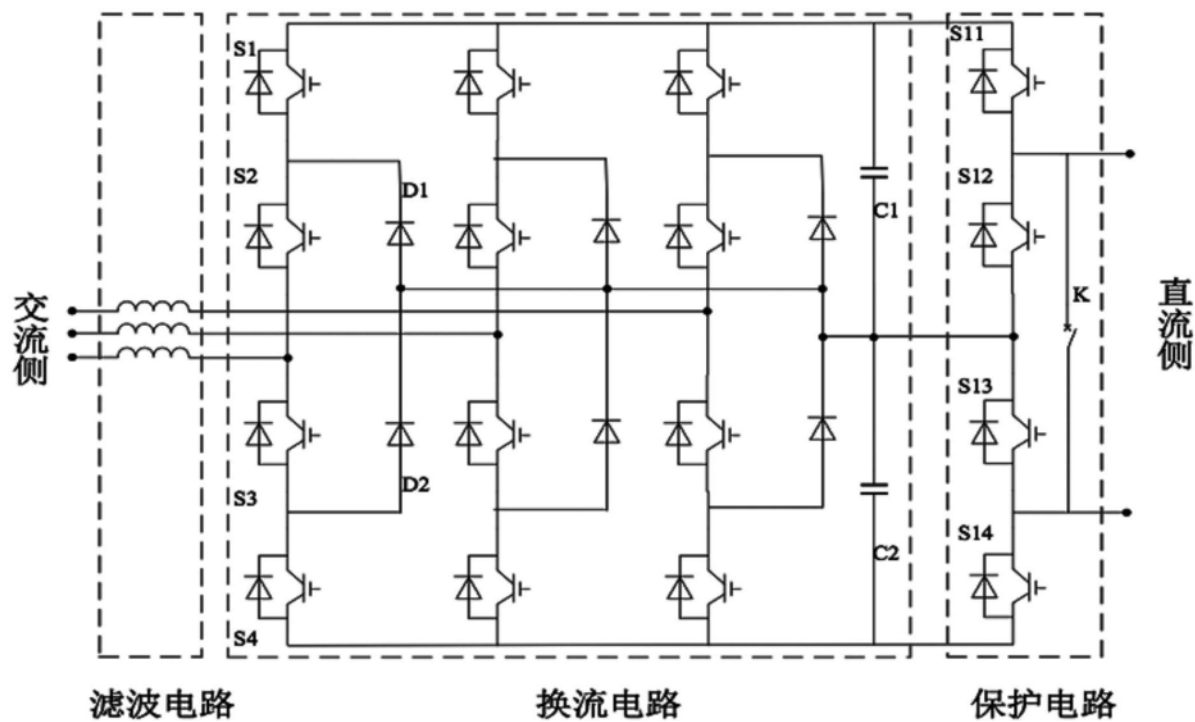


图3

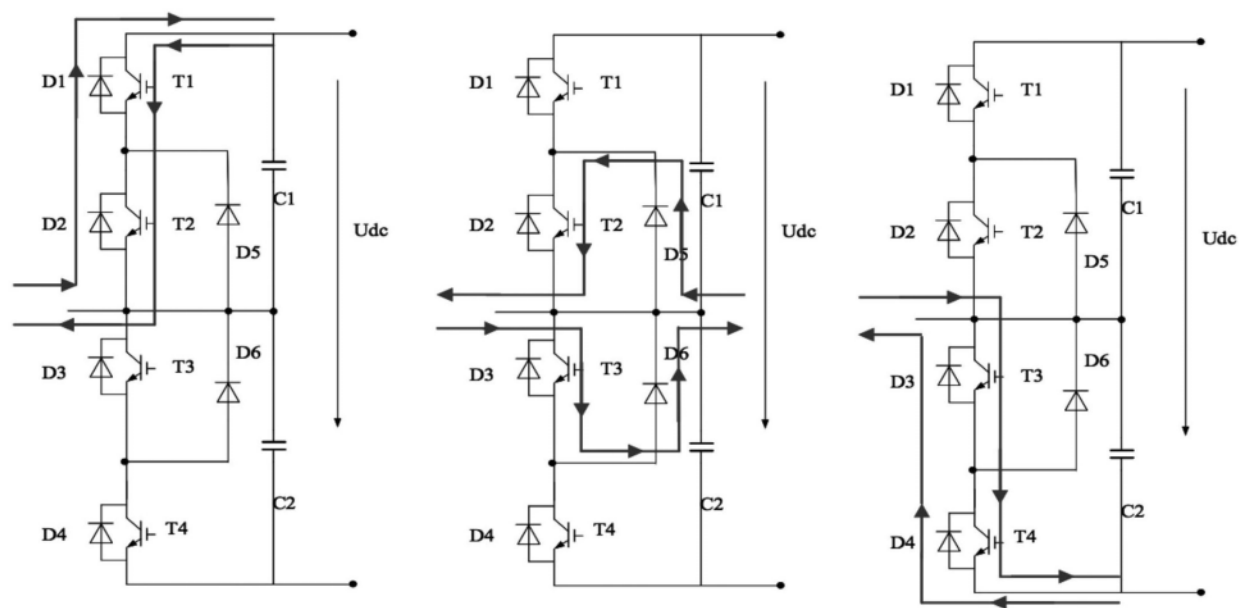


图4

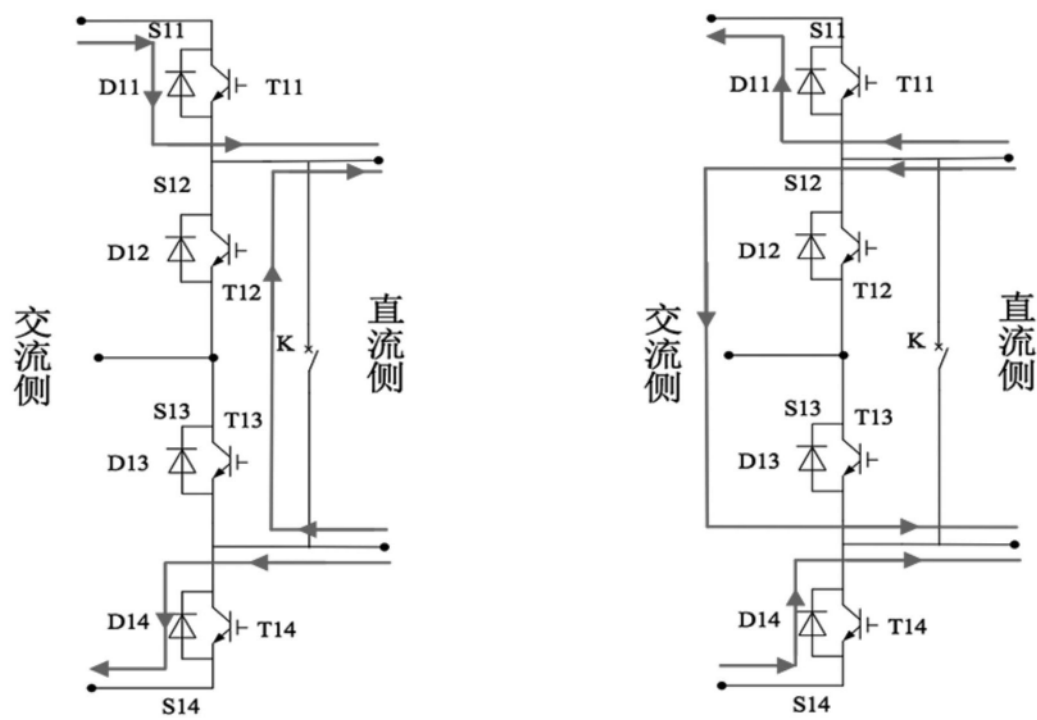


图5