



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 119543335 A

(43) 申请公布日 2025. 02. 28

(21) 申请号 202411539936.1

(22) 申请日 2024.10.31

(71) 申请人 中国电力科学研究院有限公司

地址 100192 北京市海淀区清河小营东路
15号申请人 国网山东省电力公司电力科学研究
院
国家电网有限公司(72) 发明人 赵国亮 孙华东 栾晓明 李卫国
徐云飞 乔光尧 赵兵 李文锋
靳艳娇 卢娟娟 郑超 李青平
石秋雨 陆振纲 胡锴 刘海军
袁婷婷 刘宗桦(74) 专利代理机构 北京安博达知识产权代理有
限公司 11271

专利代理师 徐国文

(51) Int.Cl.

H02J 3/50 (2006.01)

H02J 3/16 (2006.01)

H02J 3/32 (2006.01)

H02J 1/10 (2006.01)

H02J 5/00 (2016.01)

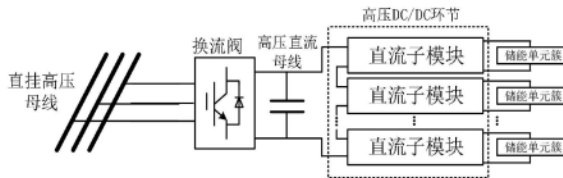
权利要求书2页 说明书5页 附图4页

(54) 发明名称

一种高压直流母线直挂储能的电网强度支
撑型装备

(57) 摘要

本发明提供了一种高压直流母线直挂储能的电网强度支撑型装备,所述装备与高压交流母线连接,装备包括:多个级联的直流子模块、高压直流母线和换流阀;每个直流子模块中包括储能单元簇;多个级联的直流子模块两端的引出线与高压直流母线连接,高压直流母线的另一侧连接换流阀;直流子模块将储能单元簇输出的初始低压直流电转换为电网强度支撑所需的低压直流电,并由多个级联的直流子模块将低压直流电转换为高压直流电输出至高压直流母线,通过换流阀对高压直流母线输出的高压直流电逆变,为高压交流母线提供稳定的电压支撑;本发明通过高压直流母线实现了储能单元簇与高压交流母线的隔离,减少了电网无功功率波动对储能元件的影响。



1. 一种高压直流母线直挂储能的电网强度支撑型装备,其特征在于,所述装备与外部的高压交流母线连接,所述装备包括:多个级联的直流子模块、高压直流母线和换流阀;每个所述直流子模块中包括储能单元簇;

所述多个级联的直流子模块两端的引出线与所述高压直流母线连接,所述高压直流母线的另一侧连接所述换流阀;

每个所述直流子模块将所述储能单元簇输出的初始低压直流电转换为电网强度支撑所需的低压直流电,并由所述多个级联的直流子模块将所述低压直流电转换为高压直流电输出至所述高压直流母线,通过所述换流阀对所述高压直流母线输出的高压直流电逆变,为所述高压交流母线提供稳定的电压支撑。

2. 如权利要求1所述的装备,其特征在于,所述直流子模块还包括全控型开关器件、和直流电容;

所述全控型开关器件的两端连接所述储能单元簇,所述直流电容与所述储能单元簇并联;

通过调节所述全控型开关的占空比,将所述储能单元簇输入所述直流电容的初始低压直流电转换为所述直流子模块所需的低压直流电;通过所述储能单元簇对所述直流电容进行充放电,维持所述直流子模块的电压恒定。

3. 如权利要求1所述的装备,其特征在于,所述储能单元簇中包括多个串联的储能单体,所述储能单体包括超级电容和/或储能电池。

4. 如权利要求3所述的装备,其特征在于,所述多个级联的直流子模块构成高压直流转换器模块;

所述高压直流转换器模块中所述直流子模块的最小所需数量,基于所述储能单元簇的额定电压、所述储能单元簇中储能单体的内阻和额定电流、以及所述直流子模块所需的低压直流电的电压,结合所述直流子模块的最小所需数量计算式得到;

所述储能单元簇的额定电压基于所述储能单元簇中储能单体的数量以及所述储能单体的额定电压得到。

5. 如权利要求4所述的装备,其特征在于,所述直流子模块的最小所需数量计算式为:

$$(N-1)(U_{bat}-mR_{nom}I_{bat}) \leq U_{dc} \leq N \cdot (U_{bat}-mR_{nom}I_{bat})$$

其中, N 表示直流子模块的最小所需数量; U_{bat} 表示所述储能单元簇的额定电压; m 表示所述储能单元簇中储能单体的数量; R_{nom} 表示储能单体的内阻; I_{bat} 表示储能单体的额定电流; U_{dc} 表示直流子模块所需的低压直流电的电压。

6. 如权利要求1所述的装备,其特征在于,所述高压直流母线上设有直流电容;

基于所述高压直流母线的电压变化,通过所述多个级联的直流子模块对所述直流电容进行充放电,维持所述高压直流母线的电压恒定。

7. 如权利要求1所述的装备,其特征在于,所述换流阀的两侧分别连接所述高压直流母线和所述高压交流母线。

8. 如权利要求7所述的装备,其特征在于,所述换流阀包括下述中的一种:全控型器件串联结构的两电平换流阀、全控型器件串联结构的三电平换流阀和模块化多电平换流器结构的换流阀。

9. 如权利要求7所述的装备,其特征在于,还包括:滤波模块,所述滤波模块连接于所述

换流阀与所述高压交流母线之间。

10. 如权利要求2所述的装备,其特征在于,所述直流子模块中还包括与所述储能单元簇串联的熔断器,用于保护电路。

一种高压直流母线直挂储能的电网强度支撑型装备

技术领域

[0001] 本发明涉及电网柔性交流输配电装备技术领域,具体涉及一种高压直流母线直挂储能的电网强度支撑型装备。

背景技术

[0002] 随着“双碳”目标的建设,电网中风、光等新能源接入比例逐渐升高,由于其采用电流源型并网控制,基本不具备电网支撑功能,导致电网强度降低,电力系统的新能源接纳能力受到限制。当前提高电网强度的方法是增加电压源性支撑,如加装同步调相机,但是该方案存在建设周期长、成本高、损耗大、维护复杂等问题。除此之外,采用电压源性控制的并网储能,如构网型控制的储能也可以提供电压源性支撑。这种方案的电网强度支撑型装备,将储能和电网支撑功能结合,不仅可以将新能源场站的调相机省去,降低新能源场站建设成本,同时相比调相机还具有成本低、损耗小、维护方便以及可控性强的优势。

[0003] 基于储能的电网电压强度支撑型装备,目前存在两种技术路线。一种是采用多组储能变流器(Power Conversion System,PCS)从低压侧接入后经多级变压器升压,因此场站内往往需要多组PCS并联达到并网容量,但是多组电压源特性的储能PCS并联容易引起环流和多机振荡的问题,导致电网稳定性下降;另一种技术路线是采用高压直挂式储能,具备大容量电网电压强度支撑型装备开发的能力。但是传统的基于链式SVG(Static Var Generator,静止无功发生器)结构的高压直挂式储能,将换流阀子模块的直流侧电容并联储能元件,造成电网与储能元件直接耦合,无功功率引起的电流波动流入储能元件,影响储能元件的寿命。

发明内容

[0004] 为克服上述现有技术的不足,本发明提出一种高压直流母线直挂储能的电网强度支撑型装备,所述装备与外部的高压交流母线连接,所述装备包括:多个级联的直流子模块、高压直流母线和换流阀;每个所述直流子模块中包括储能单元簇;

[0005] 所述多个级联的直流子模块两端的引出线与所述高压直流母线连接,所述高压直流母线的另一侧连接所述换流阀;

[0006] 每个所述直流子模块将所述储能单元簇输出的初始低压直流电转换为电网强度支撑所需的低压直流电,并由所述多个级联的直流子模块将所述低压直流电转换为高压直流电输出至所述高压直流母线,通过所述换流阀对所述高压直流母线输出的高压直流电逆变,为所述高压交流母线提供稳定的电压支撑。

[0007] 可选的,所述直流子模块还包括全控型开关器件、和直流电容;

[0008] 所述全控型开关器件的两端连接所述储能单元簇,所述直流电容与所述储能单元簇并联;

[0009] 通过调节所述全控型开关的占空比,将所述储能单元簇输入所述直流电容的初始低压直流电转换为所述直流子模块所需的低压直流电;通过所述储能单元簇对所述直流电

容进行充放电,维持所述直流子模块的电压恒定。

[0010] 可选的,所述储能单元簇中包括多个串联的储能单体,所述储能单体包括超级电容和/或储能电池。

[0011] 可选的,所述多个级联的直流子模块构成高压直流转换器模块;

[0012] 所述高压直流转换器模块中所述直流子模块的最小所需数量,基于所述储能单元簇的额定电压、所述储能单元簇中储能单体的内阻和额定电流,以及所述直流子模块所需的低压直流电的电压,结合所述直流子模块的最小所需数量计算式得到;

[0013] 所述储能单元簇的额定电压基于所述储能单元簇中储能单体的数量以及所述储能单体的额定电压得到。

[0014] 可选的,所述直流子模块的最小所需数量计算式为:

$$[0015] \quad (N-1)(U_{bat}-mR_{nom}I_{bat}) \leq U_{DC} \leq N \cdot (U_{bat}-mR_{nom}I_{bat})$$

[0016] 其中,N表示直流子模块的最小所需数量; U_{bat} 表示所述储能单元簇的额定电压;m表示所述储能单元簇中储能单体的数量; R_{nom} 表示储能单体的内阻; I_{bat} 表示储能单体的额定电流; U_{DC} 表示直流子模块所需的低压直流电的电压。

[0017] 可选的,所述高压直流母线上设有直流电容;

[0018] 基于所述高压直流母线的电压变化,通过所述多个级联的直流子模块对所述直流电容进行充放电,维持所述高压直流母线的电压恒定。

[0019] 可选的,所述换流阀的两侧分别连接所述高压直流母线和所述高压交流母线。

[0020] 可选的,所述换流阀包括下述中的一种:全控型器件串联结构的两电平换流阀、全控型器件串联结构的三电平换流阀和模块化多电平换流器结构的换流阀。

[0021] 可选的,所述装备还包括:滤波模块,所述滤波模块连接于所述换流阀与所述高压交流母线之间。

[0022] 可选的,所述直流子模块中还包括与所述储能单元簇串联的熔断器,用于保护电路。

[0023] 与最接近的现有技术相比,本发明具有的有益效果如下:

[0024] 本发明提供的一种高压直流母线直挂储能的电网强度支撑型装备,所述装备与外部的高压交流母线连接,所述装备包括:多个级联的直流子模块、高压直流母线和换流阀;每个所述直流子模块中包括储能单元簇;所述多个级联的直流子模块两端的引出线与所述高压直流母线连接,所述高压直流母线的另一侧连接所述换流阀;每个所述直流子模块将所述储能单元簇输出的初始低压直流电转换为电网强度支撑所需的低压直流电,并由所述多个级联的直流子模块将所述低压直流电转换为高压直流电输出至所述高压直流母线,通过所述换流阀对所述高压直流母线输出的高压直流电逆变,为所述高压交流母线提供稳定的电压支撑。本发明中通过换流阀与高压交流母线的连接,实现了整个支撑型装备直挂高压交流母线,避免了多组低压装备经升压并网后引起的环流和暂态振荡的问题,提高了电网稳定性;且通过高压直流母线实现了储能单元簇与高压交流母线的隔离,减少了电网无功功率波动引起的储能元件高频充放电电流,保证了储能元件寿命。

附图说明

[0025] 图1为本发明提供的一种高压直流母线直挂储能的电网强度支撑型装备的结构示

意图;

- [0026] 图2为本发明提供的多个高压直流子模块级联结构的示意图;
- [0027] 图3为本发明提供的直流子模块的拓扑结构图;
- [0028] 图4为本发明提供的储能电池簇的拓扑结构图;
- [0029] 图5为本发明提供的超级电容簇的拓扑结构图;
- [0030] 图6为本发明提供的一种IGBT串联结构的两电平换流阀的拓扑结构图;
- [0031] 图7为本发明提供的一种IGBT串联结构的三电平换流阀的拓扑结构图;
- [0032] 图8为本发明提供的MMC结构的换流阀的拓扑结构图。

具体实施方式

[0033] 下面结合附图对本发明的具体实施方式做进一步的详细说明。

[0034] 实施例1

[0035] 本发明提供一种高压直流母线直挂储能的电网强度支撑型装备,如图1所示,所述装备与外部的高压交流母线连接,所述装备包括:多个级联的直流子模块、高压直流母线和换流阀;每个所述直流子模块中包括储能单元簇;

[0036] 所述多个级联的直流子模块两端的引出线与所述高压直流母线连接,所述高压直流母线的另一侧连接所述换流阀;

[0037] 每个所述直流子模块将所述储能单元簇输出的初始低压直流电转换为电网强度支撑所需的低压直流电,并由所述多个级联的直流子模块将所述低压直流电转换为高压直流电输出至所述高压直流母线,通过所述换流阀对所述高压直流母线输出的高压直流电逆变,为所述高压交流母线提供稳定的电压支撑。

[0038] 如图1所示,所述换流阀的两侧分别连接所述高压直流母线和所述高压交流母线。通过换流阀与高压交流母线的连接,实现了电网强度支撑型装备直挂高压交流母线,即直挂交流电网的高压母线,避免了多组低压装备经升压并网后引起的环流和暂态振荡的问题;通过将包括多个储能单元簇的高压直流转换器模块与高压直流母线连接,实现了储能直挂高压直流母线,相较于其他通过低压平台接入储能,再经过变流器将低压直流电转换为高压直流电的装置,减少了电力电子变换的步骤和结构,使得装备的结构和控制更加简单。

[0039] 如图2所示,多个级联的直流子模块构成高压直流转换器模块,每个所述直流子模块输出端采用级联连接,多个级联的直流子模块两端的引出线与所述高压直流母线连接。

[0040] 如图3所示,所述直流子模块中包括全控型开关器件、直流电容、直流开关和所述储能单元簇,具备对储能元件双向充放电的功能;

[0041] 具体的,所述全控型开关器件通过桥臂上管和桥臂下管中的开关器件和二极管组成半桥结构,所述桥臂下管并联一个旁路开关,所述全控型开关器件两端连接所述直流电容;

[0042] 所述直流电容与所述储能单元簇并联,用于通过所述储能单元簇对自身进行充放电,维持所述直流子模块的电压稳定;

[0043] 所述储能单元簇通过自身串联的直流开关连接于所述全控型开关器件的两端。高压DC/DC(Direct Current,直流)环节,即高压直流/直流转换器模块,简称为高压直流转换

器模块,所述高压DC/DC环节中通过控制直流子模块的桥臂上全控型开关器件的占空比,可以控制输出的直流电压,因此,在所述直流子模块中,通过调节所述全控型开关的占空比,将所述储能单元簇输入所述直流电容的初始低压直流电转换为所述直流子模块所需的低压直流电,即电网故障期间直流子模块需要输出的电能。

[0044] 具体控制输出直流电压与占空比的表达式为:

$$[0045] \quad U_{DC} = N \cdot D \cdot U_{bat}$$

[0046] 其中, U_{DC} 表示直流子模块的所需的低压直流电的电压; N 表示直流子模块的数量,可以通过直流子模块的最小所需数量得到; D 表示直流子模块的桥臂上管的占空比; U_{bat} 表示储能单元簇的额定电压。

[0047] 所述直流子模块中还包括与所述储能元件串联的熔断器,用于保护电路。

[0048] 每个所述储能单元簇中包括多个串联的储能单体,所述储能单体包括超级电容和/或储能电池,典型的如磷酸铁锂电池单体、钛酸锂电池单体、超级电容单体等,如图4所示,为采用储能电池的储能单元簇;如图5所示,为采用超级电容的储能单元簇。

[0049] 所述储能单元簇的额定电压基于所述储能单元簇中储能单体的数量以及所述储能单体的额定电压得到,当储能单体的额定电压为 U_{cell} , m 支储能单体串联后储能单元簇的额定电压为:

$$[0050] \quad U_{bat} = mU_{cell}$$

[0051] 其中, U_{bat} 表示储能单元簇的额定电压; m 表示储能单元簇中串联的储能单体的数量; U_{cell} 表示储能单体的额定电压。

[0052] 依据直流电压,考虑到储能单体内阻的损耗,确定所述高压直流转换器模块中直流子模块的最小所需数量,具体的,所述高压直流转换器模块中所述直流子模块的最小所需数量,基于所述储能单元簇的额定电压、所述储能单元簇中储能单体的内阻和额定电流、以及所述直流子模块所需的低压直流电的电压,结合所述直流子模块的最小所需数量计算式得到;

[0053] 所述直流子模块的最小所需数量计算式为:

$$[0054] \quad (N-1)(U_{bat} - mR_{nom}I_{bat}) \leq U_{DC} \leq N \cdot (U_{bat} - mR_{nom}I_{bat})$$

[0055] 其中, N 表示直流子模块的最小所需数量; U_{bat} 表示所述储能单元簇的额定电压; m 表示所述储能单元簇中储能单体的数量; R_{nom} 表示储能单体的内阻; I_{bat} 表示储能单体的额定电流; U_{DC} 表示直流子模块所需的低压直流电的电压。

[0056] 所述高压直流母线上设有直流电容;

[0057] 基于所述高压直流母线的电压变化,通过所述多个级联的直流子模块对所述直流电容进行充放电,维持所述高压直流母线的电压恒定。

[0058] 所述换流阀由全控型器件构成,可采用基于IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor,绝缘栅双极晶体管)串联结构的换流阀,如图6所示,为一种IGBT串联结构的两电平换流阀,每相桥臂采用IGBT器件直接串联结构,直流侧连接高压直流母线,交流侧经桥臂电抗输出连接至电网A、B、C三相(高压交流母线三相);如图7所示,为一种IGBT串联结构的三电平换流阀,每相桥臂均采用IGBT器件直接串联结构,每相桥臂通过两组二极管进行钳位,直流侧连接高压直流母线,交流侧经桥臂电抗输出连接至电网A、B、C三相;也可以选择MMC(Modular Multilevel Converter,模块化多电平换流器)结构的换流阀,如图8所示,

每相由上、下两个桥臂组成,单个桥臂由子模块SM(Submodule)级联,并经桥臂电抗与电网连接;电抗用于保护所述换流阀和电网。子模块SM可采用由全控器件组成的全桥结构或者半桥结构,并配置旁路开关,旁路开关可单独由机械开关、晶闸管开关或者两者并联组成。

[0059] 可选的,所述装备还包括滤波模块,所述滤波模块连接于所述换流阀与所述高压交流母线之间,所述换流阀的交流侧经滤波模块直挂交流电网的高压母线。

[0060] 本发明中将储能元件(即储能单元簇)集成于直流子模块中,经过高压DC/DC环节和换流阀的直-交变换环节,实现并网。换流阀控制输出三相交流电流,为电网在故障期间提供支撑,高压DC/DC环节通过直流子模块控制储能单元簇的充放电,以控制高压直流母线的电压稳定,保证了在电网故障期间换流阀可稳定持续输出电流,使得装备具备在电压故障情况下支撑电网电压的功能,以及在频率故障期间,支撑电力系统惯量以及参与系统的调频,维持电网的稳定运行。

[0061] 除了上述提到的传统的直挂式储能装置中,换流阀子模块的直流侧电容并联储能元件,会造成电网与储能元件直接耦合,无功功率引起的电流波动流入储能元件,影响储能元件的寿命的问题,储能元件还会受模块直流电压运行范围的限制,储能元件安装容量大但利用率低,造价高;此外由于储能元件的易燃易爆特性,换流阀与储能元件直接耦合的拓扑结构存在安全性低和消防设计难度大等问题。

[0062] 针对上述电网强度支撑型装备的大容量设计和提高储能寿命及利用率要求,本发明提供一种高压直流母线直挂储能的电网强度支撑型装备,具备在电网电压故障的情况下支撑电网电压的功能,在频率故障期间支撑电力系统惯量以及参与系统的调频,维持电网稳定运行;通过换流阀与高压交流母线的连接,实现了整个支撑型装备直挂高压交流母线,避免了多组低压装备经升压并网后引起的环流和暂态振荡的问题,且可实现单组装备大容量设计;通过高压直流母线实现了储能单元簇与高压交流母线的隔离,减少了电网无功功率波动引起的储能元件高频充放电电流,保证了储能元件寿命,同时有利于大规模储能的接入。

[0063] 同时将储能元件与换流阀分开设计,能够实现电压以及无功支撑能力与储能容量的独立配置,提高了储能元件的利用率,可独立配置消防,安全性高。

[0064] 最后应当说明的是:以上实施例仅用于说明本发明的技术方案而非对其保护范围的限制,尽管参照上述实施例对本发明进行了详细的说明,所属领域的普通技术人员应当理解:本领域技术人员阅读本发明后依然可对申请的具体实施方式进行种种变更、修改或者等同替换,但这些变更、修改或者等同替换,均在申请待批的权利要求保护范围之内。

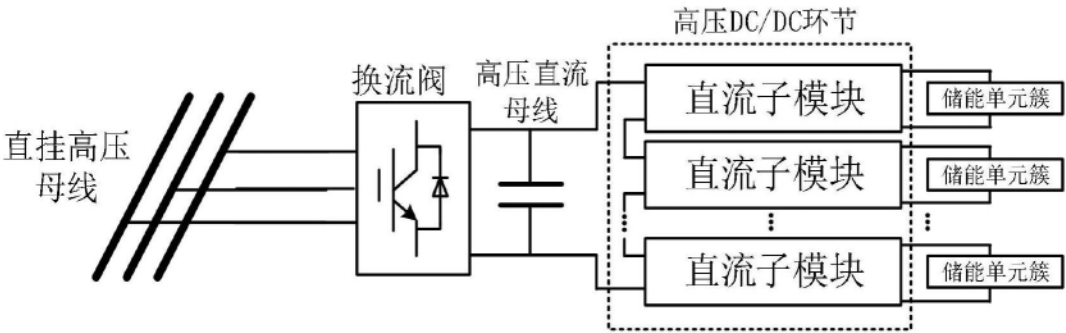


图1

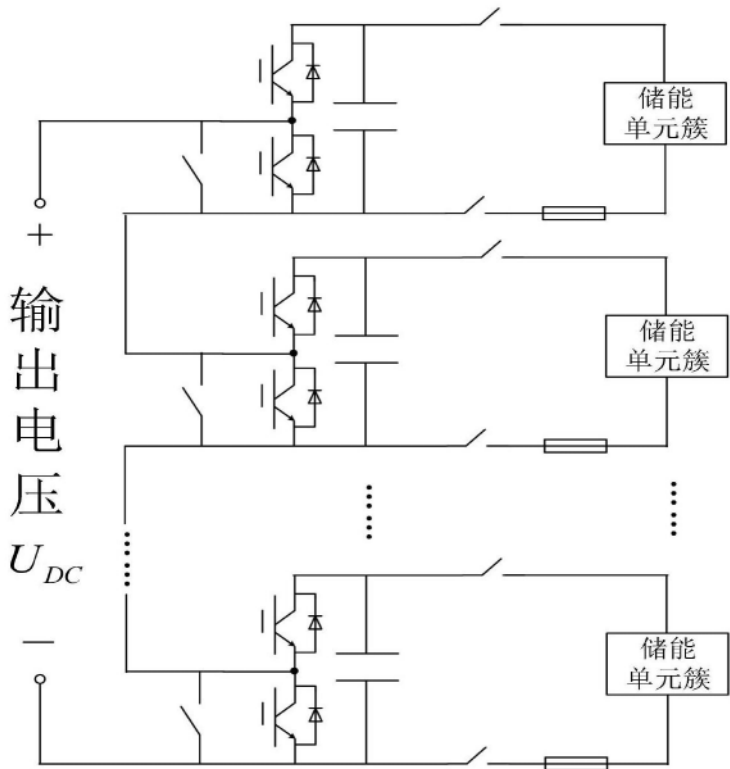


图2

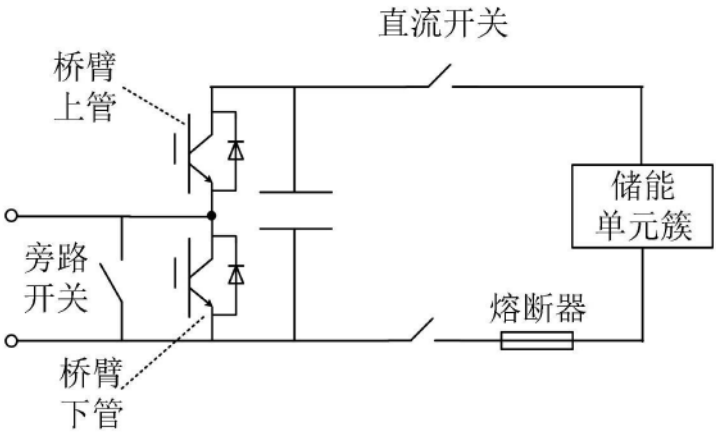


图3

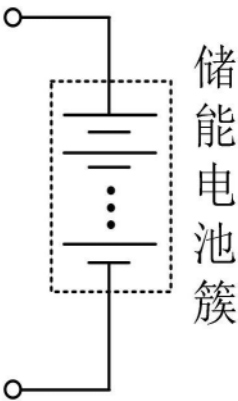


图4

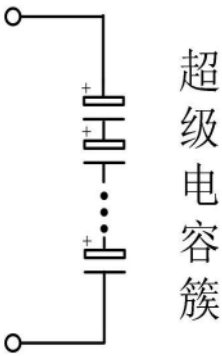


图5

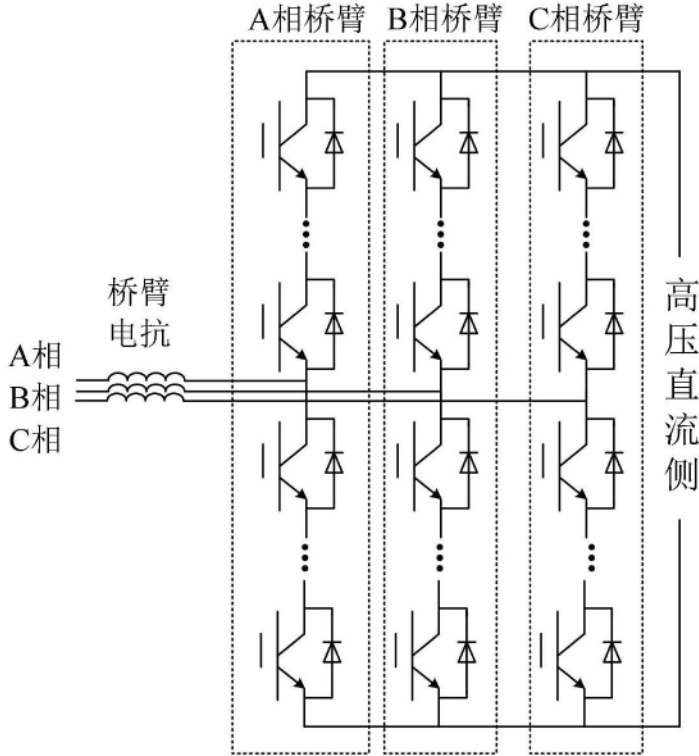


图6

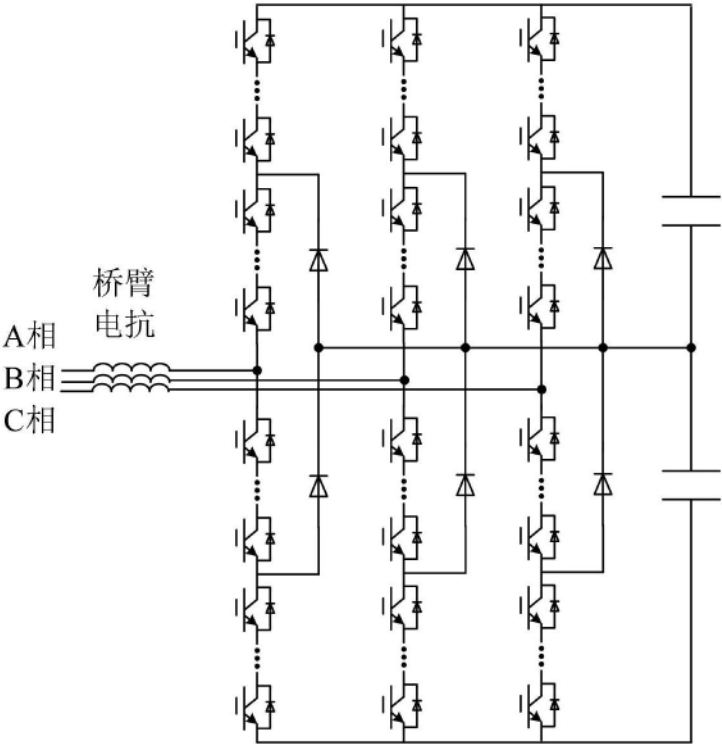


图7

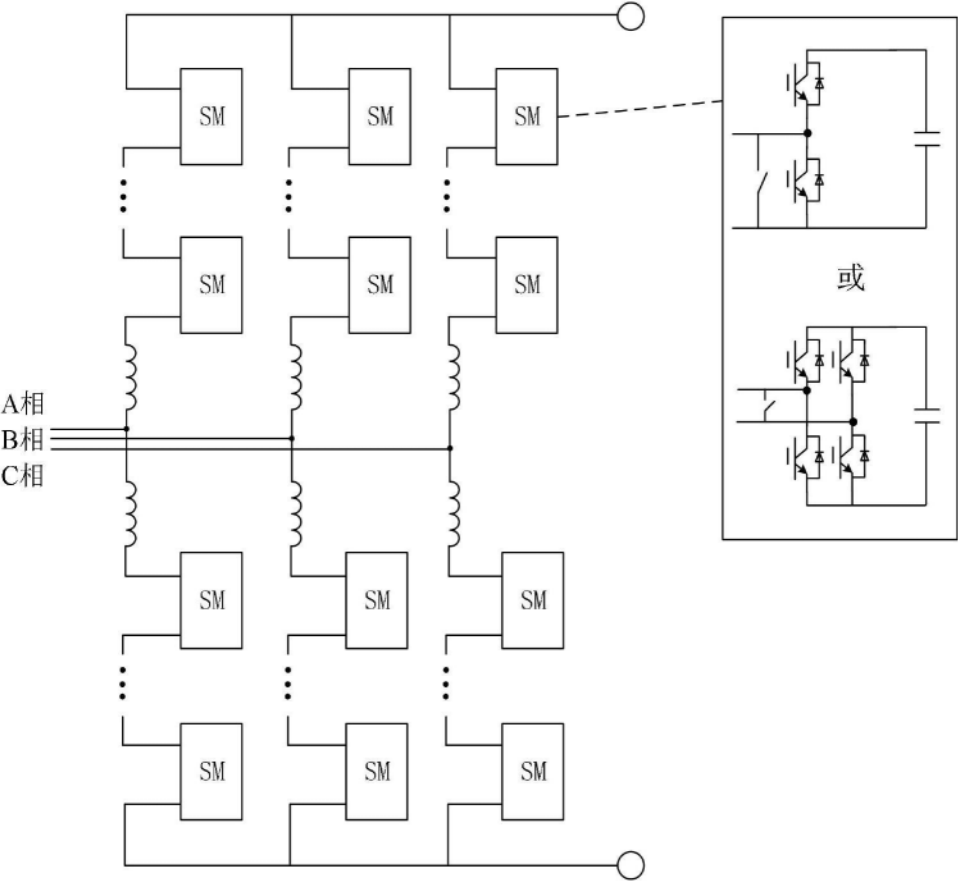


图8