



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107086547 B

(45)授权公告日 2018.08.28

(21)申请号 201710253301.9

(22)申请日 2017.04.18

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 107086547 A

(43)申请公布日 2017.08.22

(73)专利权人 浙江大学
地址 310013 浙江省杭州市西湖区余杭塘路866号

(72)发明人 徐政 刘高任 肖晔庆 肖亮

(74)专利代理机构 杭州天勤知识产权代理有限公司 33224

代理人 胡红娟

(51)Int.Cl.
H02H 7/26(2006.01)

(56)对比文件

CN 104993472 A,2015.10.21,
CN 105896488 A,2016.08.24,
CN 106558864 A,2017.04.05,
CN 104638619 A,2015.05.20,
US 2015171615 A1,2015.06.18,
US 2015338472 A1,2015.11.26,
刘高任等.“适用于直流电网的组合式高压直流断路器”.《电网技术》.2016,第40卷(第1期),第70-77页.

审查员 刘宇航

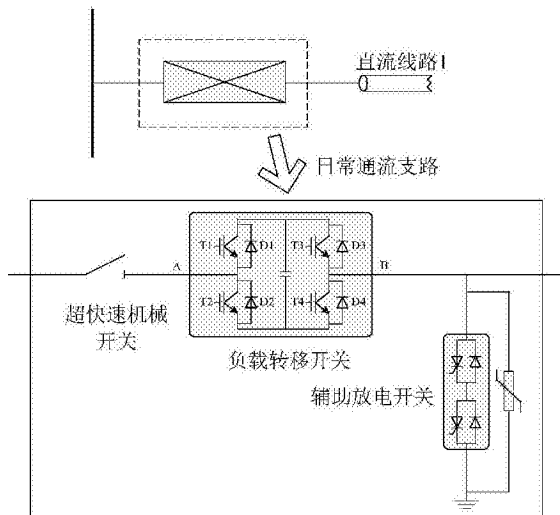
权利要求书1页 说明书5页 附图3页

(54)发明名称

一种具有自供能能力的组合式高压直流断路器及其自供能方法

(57)摘要

本发明公开了一种具有自供能能力的组合式高压直流断路器及其自供能方法,其针对传统组合式高压直流断路器的日常通流支路进行了改进,将负载转移开关由原有的IGBT串联变为全桥子模块串联,同时设计了相应的自供能方法,使子模块中的电容在正常工况下带电运行。本发明断路器拓扑的负载转移开关直接通过其子模块电容取能,无需外部供电,避免了工程中难以克服的绝缘问题,可提升断路器在高压直流电网中的应用前景。



1. 一种组合式高压直流断路器的自供能方法,所述组合式高压直流断路器包括一条故障断流支路和多条日常通流支路;所述故障断流支路包括主动短路式断流开关和隔离开关,隔离开关的一端接在换流站的直流母线上,另一端与主动短路式断流开关的高压端相连,主动短路式断流开关的低压端接地;

所述日常通流支路包括超快速机械开关、负载转移开关以及辅助放电开关,超快速机械开关的一端接在所述直流母线上,另一端与负载转移开关的一端相连,负载转移开关的另一端与辅助放电开关的高压端以及对应直流输电线路相连,辅助放电开关的低压端接地;

所述负载转移开关由至少一个全桥子模块串联而成,所述全桥子模块由四个带反并联二极管的IGBT管T1~T4和一个子模块电容构成;其中,IGBT管T1的发射极与IGBT管T2的集电极相连并作为子模块面向超快速机械开关一侧的连接端口A,IGBT管T1的集电极与IGBT管T3的集电极以及子模块电容的一端相连,IGBT管T2的发射极与IGBT管T4的发射极以及子模块电容的另一端相连,IGBT管T3的发射极与IGBT管T4的集电极相连并作为子模块面向辅助放电开关一侧的连接端口B,IGBT管T1~T4的基极接IGBT驱动电路所提供的开关控制信号;

所述自供能方法包括如下过程:

(1) 换流站充电完毕并完成启动的准备工作,此时使故障断流支路中的隔离开关处于导通状态、主动短路式断流开关处于关断状态,使日常通流支路中的超快速机械开关处于导通状态、辅助放电开关处于关断状态,负载转移开关由于缺少电能为其IGBT驱动电路供电,因此处于关断状态;

(2) 换流站启动后,将其有功功率参考值设定在额定有功功率的1%~5%范围内,保证换流站的直流电流维持在较低水平;此时,由于负载转移开关处于关断状态,因此直流电流将为其子模块电容充电且电容电压的上升速度较为缓慢;

(3) 当负载转移开关中的子模块电容电压上升至设定的启动阈值后,使其IGBT驱动电路解锁,并利用子模块电容中的电能为IGBT驱动电路供电;

(4) IGBT驱动电路解锁后,根据子模块电容电压大小对全桥子模块进行控制,具体分以下三种情况:

① 当子模块电容电压小于设定的稳态阈值下限,则使子模块电容继续充电,具体控制方式为:若电流流向为正即电流从端口A流入从端口B流出,则对IGBT管T1和T4施加导通信号,对IGBT管T2和T3施加关断信号;若电流流向为负即电流从端口B流入从端口A流出,则对IGBT管T1和T4施加关断信号,对IGBT管T2和T3施加导通信号;

② 当子模块电容电压大于设定的稳态阈值上限,则使子模块电容放电,具体控制方式为:若电流流向为正,则对IGBT管T1和T4施加关断信号,对IGBT管T2和T3施加导通信号;若电流流向为负,则对IGBT管T1和T4施加导通信号,对IGBT管T2和T3施加关断信号;

③ 当子模块电容电压在稳态阈值上下限之间,则保持全桥子模块当前开关状态不变;

(5) 负载转移开关中的子模块电容完成初始充电过程后,将换流站的有功功率参考值提升至额定有功功率,使系统进入稳态运行状态。

一种具有自供能能力的组合式高压直流断路器及其自供能方法

技术领域

[0001] 本发明属于电力电子系统技术领域,具体涉及一种具有自供能能力的组合式高压直流断路器及其自供能方法。

背景技术

[0002] 直流电网的直流故障自清除能力是关乎直流电网发展前景的重要技术难题。与交流输电相比,研制适用于直流电网的高压直流断路器主要存在两点技术难度:(1) 直流电网阻尼较低,其故障发展速度更快,这对于断路器的动作速度提出了较高要求;(2) 由于直流输电没有电流过零点,因此其故障电弧更难熄灭。目前高压直流断路器的研究方案主要集中于三种类型,分别是基于常规开关的传统机械式断路器、基于纯电力电子器件的固态断路器和基于二者结合的混合式断路器。其中,混合式高压直流断路器结合了前两种断路器的优点,既具备较低的通态损耗,又有很快的分断速度,具有良好的应用前景。

[0003] ABB公司于2012年宣布其开发出世界首台混合式高压直流断路器,该断路器由超快速机械开关、电流转移开关以及主断路器三部分组成,额定电压为320kV,开断时间为5ms,电流开断能力约为9kA。虽然该断路器具有较好的动作性能,然而对于直流线路数量较多、网架结构复杂的直流电网,该断路器将带来较大的工程投资,其原因在于:在直流系统中,为有效切除故障电流,每条直流线路两端都需要安装高压直流断路器。为保证输电的可靠性,在未来的直流系统中,网状结构的直流电网将成为主流。此时直流线路的条数将明显多于换流站个数,直流断路器的安装个数亦将大大增加。若采用混合式高压直流断路器,这将导致电网的造价成倍增加。

[0004] 未来直流电网的可行度很大程度上依赖于系统对于直流故障的承受能力。针对现有技术所存在的问题,公开号为CN104767185A的中国专利提出一种适用于直流电网的组合式高压直流断路器,该断路器参考了混合式高压直流断路器的设计理念,并对其各主要部件进行了重新配置并加以改进,尤其适用于网架结构较为复杂的直流电网系统。

[0005] 目前,无论混合式高压直流断路器还是组合式高压直流断路器,其在高压领域,如直流电压为500kV的直流电网中尚不能成功运行,其根本原因在于:目前工程中均采用外部供电的方式,为断路器中IGBT的驱动电路供能,但由于断路器需要串联在直流线路中,且直流电压等级较高,因此对外部供电电路的绝缘、耐压能力提出了较高要求,工程中尚不能满足;这一缺陷大大限制了直流断路器在高压技术领域的应用。

发明内容

[0006] 鉴于上述情况,本发明提出了一种具有自供能能力的组合式高压直流断路器及其自供能方法,其针对传统组合式高压直流断路器的日常通流支路进行了改进,将负载转移开关由原有的IGBT串联变为全桥子模块串联,同时设计了相应的自供能方法,使子模块中的电容在正常工况下带电运行。

[0007] 一种具有自供能能力的组合式高压直流断路器,包括一条故障断流支路和多条日常通流支路;所述故障断流支路包括主动短路式断流开关和隔离开关,隔离开关的一端接在换流站的直流母线上,另一端与主动短路式断流开关的高压端相连,主动短路式断流开关的低压端接地;

[0008] 所述日常通流支路包括超快速机械开关、负载转移开关以及辅助放电开关,超快速机械开关的一端接在所述直流母线上,另一端与负载转移开关的一端相连,负载转移开关的另一端与辅助放电开关的高压端以及对应直流输电线路相连,辅助放电开关的低压端接地;

[0009] 所述负载转移开关由至少一个全桥子模块串联而成,所述全桥子模块由四个带反并联二极管的IGBT管T1~T4和一个子模块电容构成;其中,IGBT管T1的发射极与IGBT管T2的集电极相连并作为子模块面向超快速机械开关一侧的连接端口A,IGBT管T1的集电极与IGBT管T3的集电极以及子模块电容的一端相连,IGBT管T2的发射极与IGBT管T4的发射极以及子模块电容的另一端相连,IGBT管T3的发射极与IGBT管T4的集电极相连并作为子模块面向辅助放电开关一侧的连接端口B,IGBT管T1~T4的基极接IGBT驱动电路所提供的开关控制信号;负载转移开关在稳态运行时用于导通直流线路的直流电流,在故障处理时用于将电流转移至故障断流支路,由于不需要承受高电压等级,串联的全桥子模块数不需要太多。

[0010] 进一步地,所述主动短路式断流开关由多个开关单元串联而成,所述的开关单元由多个带反并联二极管的IGBT管串联后与一个避雷器并联构成。

[0011] 进一步地,所述辅助放电开关由多个带反并联二极管的晶闸管串联后与一个避雷器并联构成。

[0012] 由于主动短路式断流开关以及辅助放电开关高压端接直流线路,低压端接地,因此其自然带电,其驱动电路的供电不存在绝缘、耐压等问题。因此,本发明主要解决的是负载转移开关从初始不带电状态到稳态运行状态时的驱动电路供能问题,故提出上述组合式高压直流断路器的自供能方法,包括如下过程:

[0013] (1) 换流站充电完毕并完成启动的准备工作,此时使故障断流支路中的隔离开关处于导通状态、主动短路式断流开关处于开断状态,使日常通流支路中的超快速机械开关处于导通状态、辅助放电开关处于开断状态,负载转移开关由于缺少电能为其IGBT驱动电路供电,因此处于关断状态;

[0014] (2) 换流站启动后,将其有功功率参考值设定在额定有功功率的1%~5%范围内,保证换流站的直流电流维持在较低水平;此时,由于负载转移开关处于关断状态,因此直流电流将为其子模块电容充电且电容电压的上升速度较为缓慢;

[0015] (3) 当负载转移开关中的子模块电容电压上升至设定的启动阈值后,使其IGBT驱动电路解锁,并利用子模块电容中的电能为IGBT驱动电路供电;

[0016] (4) IGBT驱动电路解锁后,根据子模块电容电压大小对全桥子模块进行控制,具体分以下三种情况:

[0017] ① 当子模块电容电压小于设定的稳态阈值下限,则使子模块电容继续充电,具体控制方式为:若电流流向为正即电流从端口A流入从端口B流出,则对IGBT管T1和T4施加导通信号,对IGBT管T2和T3施加关断信号;若电流流向为负即电流从端口B流入从端口A流出,则对IGBT管T1和T4施加关断信号,对IGBT管T2和T3施加导通信号;

[0018] ②当子模块电容电压大于设定的稳态阈值上限,则使子模块电容放电,具体控制方式为:若电流流向为正,则对IGBT管T1和T4施加关断信号,对IGBT管T2和T3施加导通信号;若电流流向为负,则对IGBT管T1和T4施加导通信号,对IGBT管T2和T3施加关断信号;

[0019] ③当子模块电容电压在稳态阈值上下限之间,则保持全桥子模块当前开关状态不变;

[0020] (5) 负载转移开关中的子模块电容完成上述初始充电过程后,将换流站的有功功率参考值提升至额定有功功率,使系统进入稳态运行状态。

[0021] 上述自供能方法适用场景为:断路器负载转移开关中的子模块电容尚未充能,其IGBT驱动电路无外部供电,此时全桥子模块中的4个IGBT全部处于默认的关断状态。一般情况下,此场景出现在直流断路器已安装完毕,但直流系统尚未启动的初始调试时刻。

[0022] 与现有技术相比,本发明断路器拓扑的负载转移开关直接通过其子模块电容取能,无需外部供电,避免了工程中难以克服的绝缘问题,可提升断路器在高压直流电网中的应用前景。故本发明具有以下有益技术效果:

[0023] (1) 本发明负载转移开关无需外部供电电路为其驱动电路供电,避免了工程中难以解决的绝缘及耐压问题,降低了设计、制造及施工难度,有利于该断路器拓扑在高压直流系统中的应用。

[0024] (2) 通过本发明自供能控制方法,可使子模块电容电压在人为设定的阈值内波动,保证了能量的稳定性,防止电容电压出现剧烈波动,从而影响其驱动电路的供电可靠性。

附图说明

[0025] 图1为本发明组合式高压直流断路器的应用结构示意图。

[0026] 图2为本发明组合式高压直流断路器中日常通流支路的结构示意图。

[0027] 图3为本发明电容电压稳定策略的流程示意图。

[0028] 图4为本发明实施例所采用的测试系统结构示意图。

[0029] 图5为测试系统负载转移开关中的电容电压波形图。

[0030] 图6为测试系统中线路24的直流电流波形图。

具体实施方式

[0031] 为了更为具体地描述本发明,下面结合附图及具体实施方式对本发明的技术方案进行详细说明。

[0032] 如图1和图2所示,本发明具有自供能能力的组合式高压直流断路器由故障断流支路及日常通流支路组成,其中故障断流支路包括主动短路式断流开关及其隔离开关,日常通流支路包括超快速机械开关、负载转移开关以及辅助放电开关;主动短路式断流开关的高压端通过隔离开关与直流母线相连,低压端直接接地;超快速机械开关的一端连接直流母线,另一端与负载转移开关的一端相连,负载转移开关的另一端连接至直流线路;辅助放电开关的高压端与直流线路相连,低压端直接接地。

[0033] 如图2所示,本发明与传统组合式高压直流断路器拓扑相比,其区别在于对负载转移开关结构进行了改进,其余部分的结构不变。由于主动短路式断流开关以及辅助放电开关高压端接直流线路,低压端接地,因此其自然带电,其驱动电路的供电不存在绝缘、耐压

等问题。因此,本发明主要解决负载转移开关从初始不带电状态到稳态运行状态时的驱动电路供能问题。

[0034] 本发明负载转移开关由少量全桥子模块串联构成,所采用的全桥子模块由4个IGBT(编号为T1~T4)、4个反并联二极管(编号为D1~D4)以及子模块电容C构成。负载转移开关在稳态运行时用于导通直流线路的直流电流,在故障处理时用于将电流转移至故障断流支路;由于不需要承受高电压等级,串联的全桥子模块数不需要太多。

[0035] 本发明组合式高压直流断路器的自供能方法,其适用场景为:断路器负载转移开关中的子模块电容尚未充能,其IGBT驱动电路无外部供电,此时全桥子模块中的4个IGBT全部处于默认的关断状态。一般情况下,此场景出现在直流断路器已安装完毕,但直流系统尚未启动的初始调试时刻;具体过程如下:

[0036] (1) 直流系统中各换流站已充电完毕,已完成直流系统启动的准备工作;组合式高压直流断路器已安装完毕,其故障断流支路的主动短路式断流开关处于开断状态,日常通流支路的超快速机械开关处于导通状态、辅助放电开关处于开断状态;负载转移开关的IGBT由于缺少能量为其驱动电路供电,因此处于关断状态。

[0037] (2) 直流系统中各换流站启动,传输功率参考值设定为较低值,如1%~5%,保证直流线路中的电流维持在较小水平;由于负载转移开关中的IGBT默认为关断状态,因此直流电流将为电容充电;由于直流电流已被控制在较少水平,因此负载转移开关中的子模块电容上升速度较为缓慢。

[0038] (3) 当负载转移开关中的子模块电容电压上升至人为设定的启动阈值后,其驱动电路解锁,通过辅助电路,利用子模块电容中的能量为其供电。

[0039] (4) 驱动电路解锁后,判断子模块电容电压的大小。如图3所示,可分三种情况:①若电容电压小于人为设定的稳态阈值下限 U_{min} ,则电容需继续充电,若电流流向为正(从T1、T2中间的端口A流入,从T3、T4中间的端口B流出),则对T1、T4施加导通信号,对T2、T3施加关断信号;若电流流向为负(从T3、T4中间的端口B流入,从T1、T2中间的端口A流出),则对T2、T3施加导通信号,对T1、T4施加关断信号。②若电容电压大于人为设定的稳态阈值上限 U_{max} ,则电容需进行放电,若电流流向为正,则对T2、T3施加导通信号,对T1、T4施加关断信号;若电流流向为负,则对T1、T4施加导通信号,对T2、T3施加关断信号。③若电容电压大于人为设定的稳态阈值下限 U_{min} ,且小于人为设定的稳态阈值上限 U_{max} ,则保持当前开关状态不动作。

[0040] (5) 当驱动电路解锁,子模块电容完成初始充电过程后,直流系统功率参考值提升至额定水平,系统进入稳态运行状态。

[0041] 如图4所示,本发明以典型的四端直流系统为例进行仿真验证,系统主回路参数如表1所示;其中,换流站4为定直流电压控制,换流站1、2、3均为定有功功率控制。

[0042] 表1

换流站编号	1	2	3	4	
换流器额定容量/ MVA	750	1500	750	1500	
网侧交流母线电压/ kV	230	230	230	230	
直流电压/ kV	500	500	500	500	
联接变压器	额定容量/	900	1800	900	1800

[0044]	MVA				
	变比	230/255	230/255	230/255	230/255
	短路阻抗 uk/%	15	15	15	15
	子模块额定电压/ kV	1.6	2.2	1.6	2.2
	单桥臂子模块个数	313	228	313	228
	子模块电容值/mF	12	18	12	18
	桥臂电抗/ mH	66	32	66	32
	换流站出口平波电抗器/ mH	300	300	300	300

[0045] 以线路24中换流站2侧的负载转移开关充电为例进行说明,负载转移开关由8个全桥子模块构成,构成形式为2并4串;每个子模块的电容值为1000 μ F,开关的整体等效电容为500 μ F,设定每个子模块内电容的波动范围为0.9kV~1.1kV。

[0046] 初始时刻,断路器已安装完毕;由于IGBT缺少能量触发,因此全部子模块均处于默认闭锁状态。 $t=4s$ 时,将换流站1、2、3的有功功率参考值均设为额定值的5%,子模块电容电压波形如图5所示,线路24的直流电流波形如图6所示。

[0047] 可以看出,系统初始时刻流过线路24的电流为110A左右,电流方向为正;由于子模块IGBT处于关断状态,因此直流电流将为电容电压充能,电容电压快速上升;约10ms左右,电容电压升至约500V,IGBT的驱动电路启动,利用子模块电容能量供能,实现对IGBT的有效控制。在本发明自供能控制方法的作用下,子模块电容电压在0.9kV~1.1kV内平滑波动,保证了电容能量的稳定均衡。可以看出,利用本发明所提拓扑结构及自供能方法,可有效实现断路器IGBT的自供能能力,具有较强的工程应用价值。

[0048] 上述对实施例的描述是为便于本技术领域的普通技术人员能理解和应用本发明。熟悉本领域技术的人员显然可以容易地对上述实施例做出各种修改,并把在此说明的一般原理应用到其他实施例中而不必经过创造性的劳动。因此,本发明不限于上述实施例,本领域技术人员根据本发明的揭示,对于本发明做出的改进和修改都应该在本发明的保护范围之内。

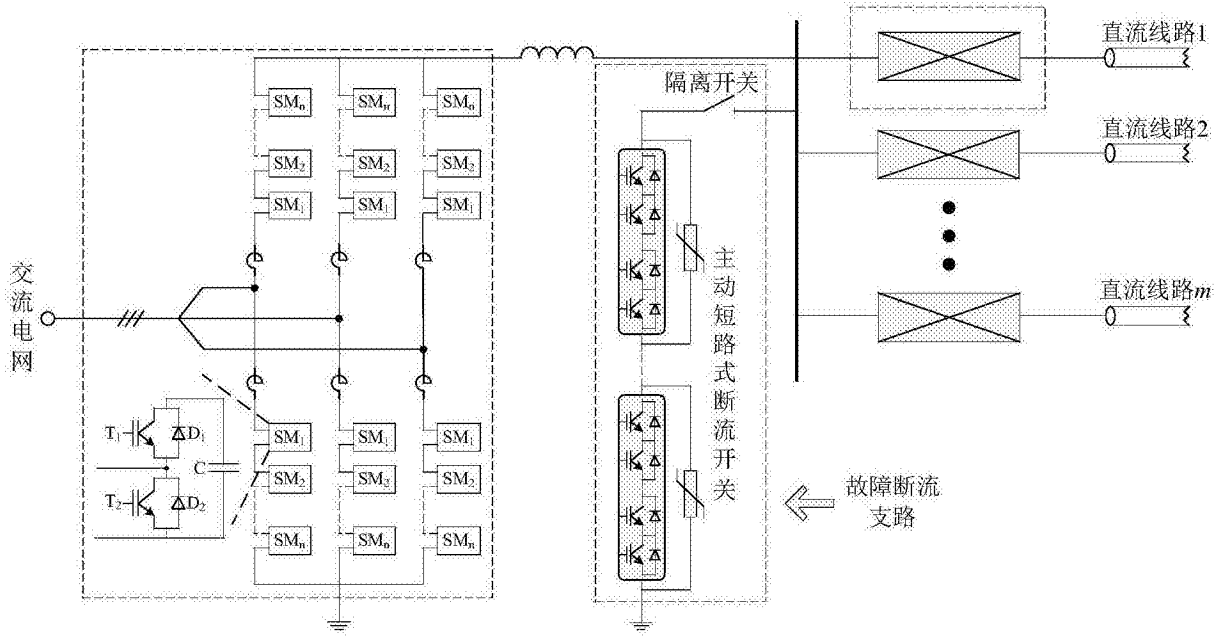


图1

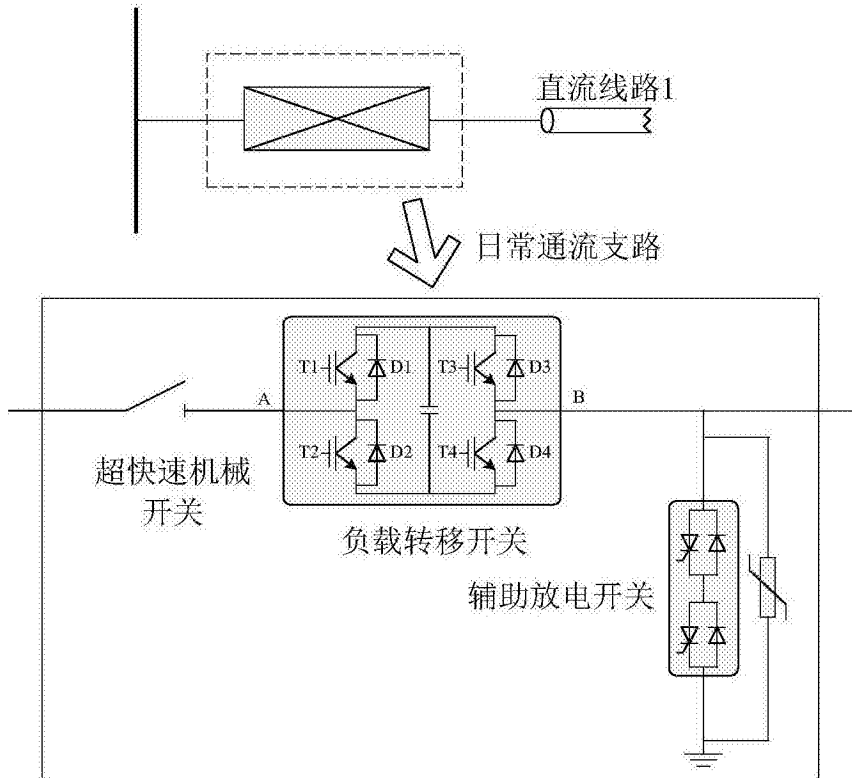


图2

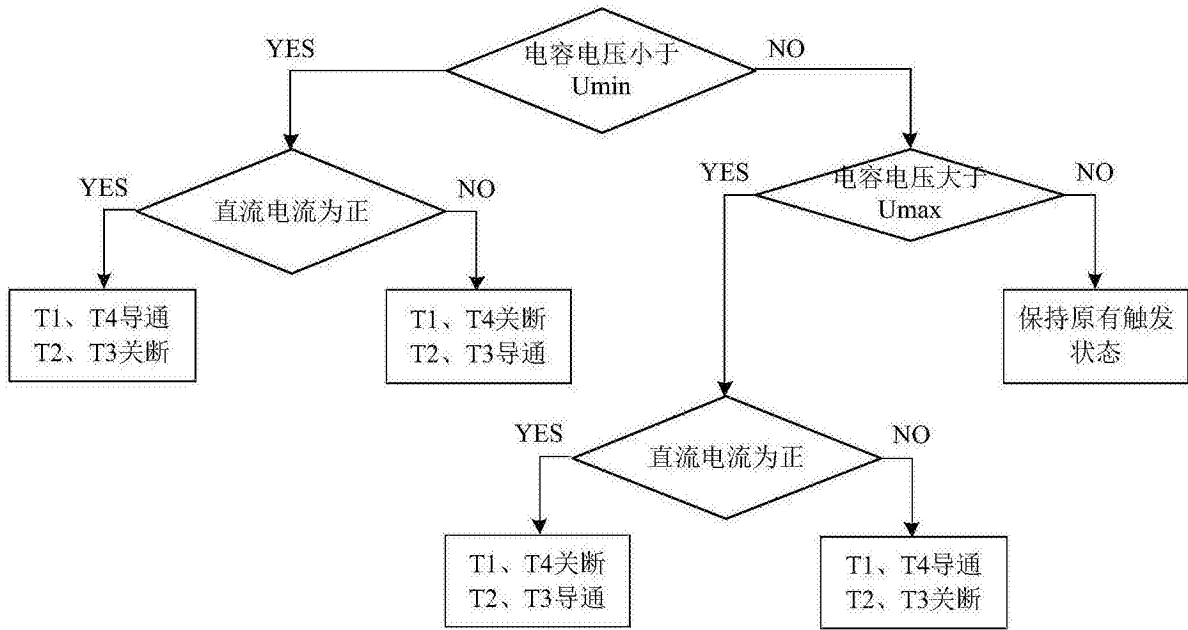


图3

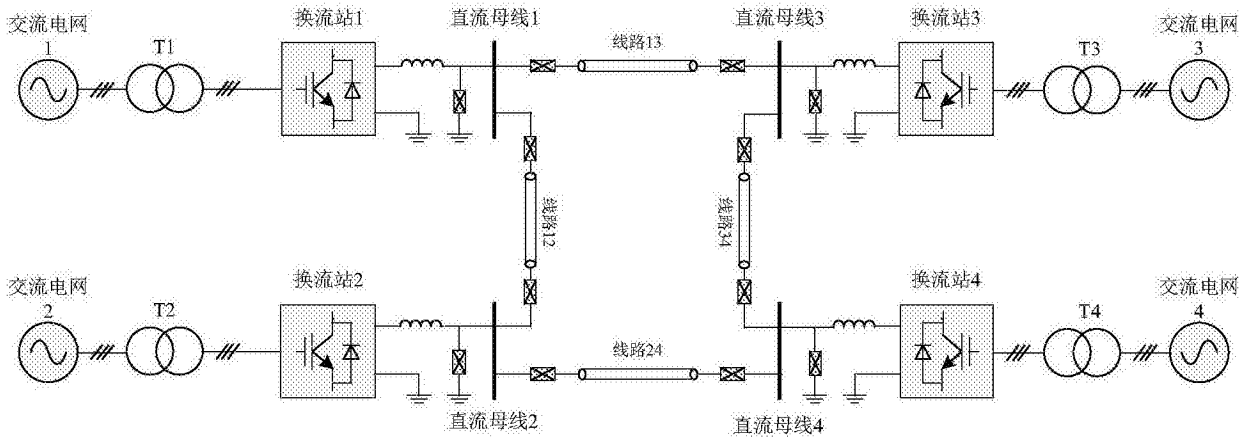


图4

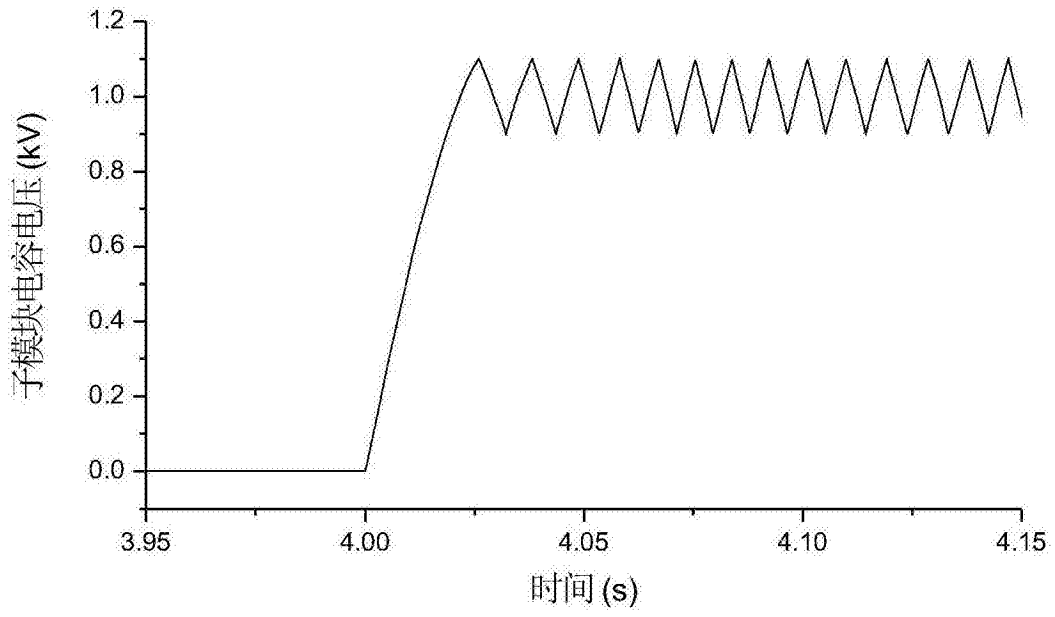


图5

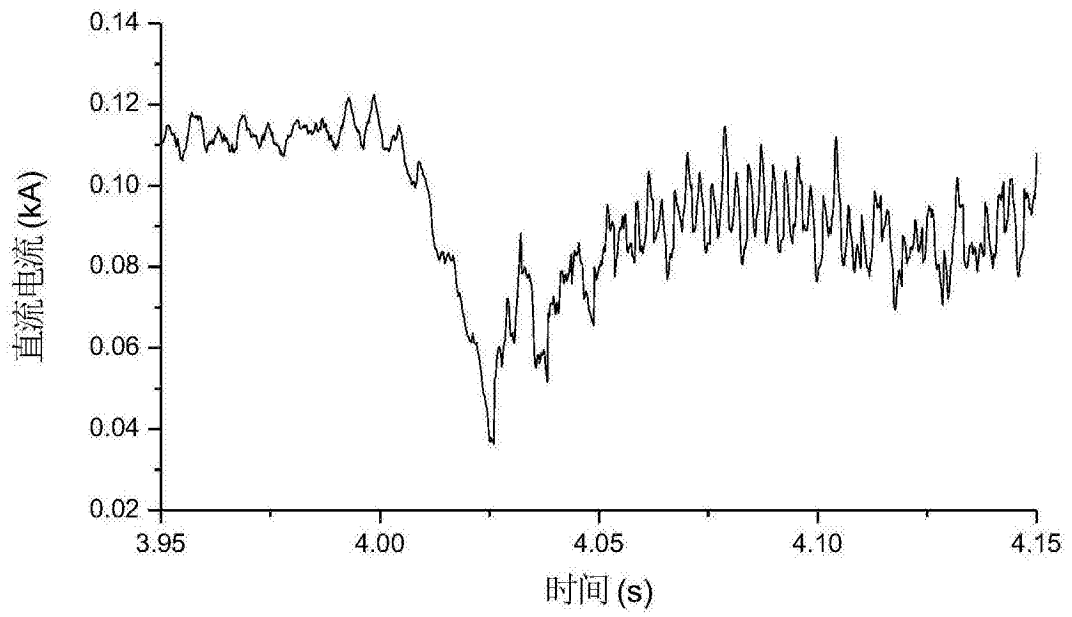


图6