



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114172128 A

(43) 申请公布日 2022. 03. 11

(21) 申请号 202111463885.5

(22) 申请日 2021.12.02

(71) 申请人 中国科学院电工研究所
地址 100190 北京市海淀区中关村北二条6号

(72) 发明人 朱晋 曾庆鹏 韦统振 霍群海 尹靖元

(74) 专利代理机构 北京瀚仁知识产权代理事务所(普通合伙) 11482
代理人 宋宝库 屠晓旭

(51) Int. Cl.
H02H 7/26 (2006.01)
H02H 3/087 (2006.01)
H02H 3/06 (2006.01)
H02H 11/00 (2006.01)

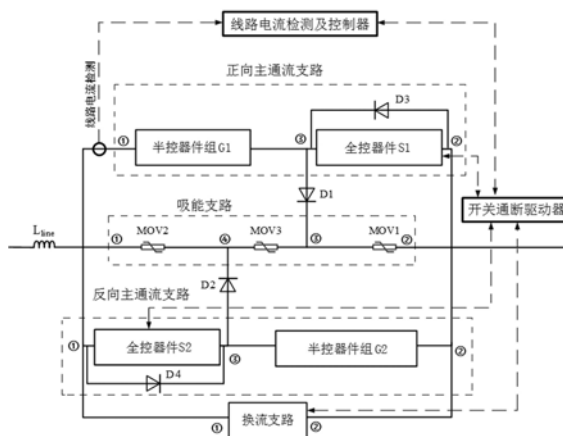
权利要求书3页 说明书10页 附图4页

(54) 发明名称

基于混合器件的可双向开断的直流固态断路器

(57) 摘要

本发明属于直流固态断路器领域,具体涉及了一种基于混合器件的可双向开断的直流固态断路器,旨在解决现有直流断路器无法在实现快速反应的同时实现高可靠性双向开断的问题。本发明包括:在电网稳态时,主通流支路半控器件组和全控器件均处于导通状态,正常导通系统电流;一旦发生故障,则关闭相应的主通流支路全控器件,当全控器件两端电压升高至吸能支路中相应避雷器的动作电压,避雷器接入系统;此时导通换流支路,故障电流转至换流支路,主通流支路半控器件组电流降至0后关断;此时,再关断换流支路,故障电流转至吸能支路进行吸能,直至直流断路器安全断开。本发明实现直流断路器低损耗、快速开断,器件数量少,结构简单,系统安全性高。



1. 一种基于混合器件的可双向开断的直流固态断路器,其特征在于,该直流固态断路器包括以下模块:

线路电流检测及控制器,用于检测直流固态断路器的电路状态,并根据线路状态生成相应的开关通断驱动信号;

开关通断驱动器,用于根据所述开关通断驱动信号驱动正向主通流支路的全控器件S1、反向主通流支路的全控器件S2和换流支路开关的导通或断开;

正向主通流支路的全控器件S1、反向主通流支路的全控器件S2和换流支路开关,用于在开关通断驱动器的驱动下导通或断开,其状态包括:

正向主通流支路的全控器件S1导通,其对应的半控器件组G1均导通,实现直流固态断路器正向电流通流的稳态通路;反向主通流支路的全控器件S2导通,其对应的半控器件组G2均导通,实现直流固态断路器反向电流通流的稳态通路;

系统右侧发生短路故障,正向主通流支路的全控器件S1断开:当所述全控器件S1两端电压升高至对应的吸能支路的避雷器MOV1的动作电压时,故障电流通过续流二极管D1流入避雷器MOV1;导通换流支路,故障电流流入换流支路,所述半控器件组G1承受反压并断开;断开换流支路,故障电流经过反向主通流支路的二极管D4以及续流二极管D2流入吸能支路的避雷器MOV3和避雷器MOV1,实现直流固态断路器的右侧故障关断;

系统左侧发生短路故障,反向主通流支路的全控器件S2断开:当所述全控器件S2两端电压升高至对应的吸能支路的避雷器MOV2的动作电压时,故障电流通过续流二极管D2流入避雷器MOV2;导通换流支路,故障电流流入换流支路,所述半控器件组G2承受反压并断开;断开换流支路,故障电流经过正向主通流支路的二极管D3以及续流二极管D1流入吸能支路的避雷器MOV3和避雷器MOV2,实现直流固态断路器的左侧故障关断。

2. 根据权利要求1所述的基于混合器件的可双向开断的直流固态断路器,其特征在于,所述正向主通流支路的半控器件组G1和所述反向主通流支路的半控器件组G2分别为一组串联的低损耗半控型半导体器件。

3. 根据权利要求1所述的基于混合器件的可双向开断的直流固态断路器,其特征在于,所述正向主通流支路的二极管D3与所述正向主通流支路的全控器件S1为反向并联关系,所述反向主通流支路的二极管D4与所述反向主通流支路的全控器件S2为反向并联关系。

4. 根据权利要求3所述的基于混合器件的可双向开断的直流固态断路器,其特征在于,所述直流固态断路器,其模块连接关系为:

所述正向主通流支路的第一连接端、所述吸能支路的第一连接端、所述反向主通流支路的第一连接端和所述换流支路的第一连接端一起连接至电源侧的直流电源;

所述正向主通流支路的第二连接端、所述吸能支路的第二连接端、所述反向主通流支路的第二连接端和所述换流支路的第二连接端一起连接至负载侧的负载;

所述续流二极管D1的阳极连接至所述正向主通流支路的第三连接端,阴极连接至所述吸能支路的第三连接端;

所述续流二极管D2的阳极连接至所述反向主通流支路的第三连接端,阴极连接至所述吸能支路的第四连接端;

所述线路电流检测及控制器的输入端连接至电源侧的直流电源,输出端连接至所述开关通断驱动器的输入端;

所述开关通断驱动器的输出端连接至正向主通流支路的全控器件S1、反向主通流支路的全控器件S2和换流支路开关的控制端。

5. 根据权利要求4所述的基于混合器件的可双向开断的直流固态断路器,其特征在于,所述正向主通流支路包括全控器件S1、半控器件组G1和二极管D3;

所述半控器件组G1的输入端作为所述正向主通流支路的第一连接端,输出端连接至所述全控器件S1的输入端和所述二极管D3的阴极,作为所述正向主通流支路的第三连接端;

所述全控器件S1的输出端和所述二极管D3的阳极连接到一起作为所述正向主通流支路的第二连接端。

6. 根据权利要求4所述的基于混合器件的可双向开断的直流固态断路器,其特征在于,所述反向主通流支路包括全控器件S2、半控器件组G2和二极管D4;

所述半控器件组G2的输入端作为所述反向主通流支路的第二连接端,输出端连接至所述全控器件S2的输入端和所述二极管D4的阴极,作为所述反向主通流支路的第三连接端;

所述全控器件S2的输出端和所述二极管D4的阳极连接到一起作为所述反向主通流支路的第一连接端。

7. 根据权利要求4所述的基于混合器件的可双向开断的直流固态断路器,其特征在于,所述吸能支路包括避雷器MOV1、避雷器MOV2和避雷器MOV3;

所述避雷器MOV2的输入端作为所述吸能支路的第一连接端,所述避雷器MOV1的输出端作为所述吸能支路的第二连接端;

所述避雷器MOV1的输入端和所述避雷器MOV3的输出端连接到一起作为所述吸能支路的第三连接端;

所述避雷器MOV3的输入端和所述避雷器MOV2的输出端连接到一起作为所述吸能支路的第四连接端。

8. 根据权利要求7所述的基于混合器件的可双向开断的直流固态断路器,其特征在于,当换流过程为强制换流时,所述换流支路选用全控器件;当换流过程为自然换流时,所述换流支路选用未预充电电容。

9. 根据权利要求8所述的基于混合器件的可双向开断的直流固态断路器,其特征在于,当换流过程为强制换流时,所述避雷器MOV1、避雷器MOV2和避雷器MOV3,其动作电压满足约束条件:

$$V_{protect} = V_{break} / \beta_1$$

$$V_{protect} + V_{clamp} = V_{sys} / \beta_2$$

其中, $V_{protect}$ 为避雷器MOV1、避雷器MOV2的动作电压, V_{clamp} 为避雷器MOV3的动作电压, V_{break} 为全控器件S1、全控器件S2的击穿电压, V_{sys} 为系统直流电压, β_1 和 β_2 为大于1的安全系数。

10. 根据权利要求8所述的基于混合器件的可双向开断的直流固态断路器,其特征在于,当换流过程为自然换流时,所述避雷器MOV1、避雷器MOV2和避雷器MOV3,其动作电压满足约束条件:

$$V_{protect} = V_{break} / \beta_1$$

$$V_{protect} + V_{clamp} = V_{sys} / \beta_2$$

$$V_{protect} > V_{t_{rr}}$$

其中, $V_{protect}$ 为避雷器MOV1、避雷器MOV2的动作电压, V_{clamp} 为避雷器MOV3的动作电压, V_{break} 为全控器件S1、全控器件S2的击穿电压, V_{sys} 为系统直流电压, β_1 和 β_2 为大于1的安全系数, t_{rr} 为全控器件S1、全控器件S2的反向电压恢复时间, $V_{t_{rr}}$ 为充电至 $V_{t_{rr}}$ 时刻的未预充电电容两端的电压。

基于混合器件的可双向开断的直流固态断路器

技术领域

[0001] 本发明属于直流固态断路器领域,具体涉及了一种基于混合器件的可双向开断的直流固态断路器。

背景技术

[0002] 直流输配电系统以其独特的高效率、低损耗的优点,近年来得到了越来越多的发展。但由于直流系统故障电流高,且缺乏自然电流零点,使得直流系统面临更加困难的故障分断问题,具有快速反应和高可靠性分断能力的直流断路器是现实之需。

[0003] 目前已有的直流断路器拓扑主要分为混合型和纯固态型。混合直流断路器采用“超快速机械开关+电力电子开关”的动作模式,能够保证故障的可靠开断,但超快速机械开关的触头分离需要数毫秒的时间。纯固态断路器采用纯电力电子器件进行动作,仅需几十微秒即可开断故障,满足快速反应的要求,但电力电子器件的耐压、耐流能力有限,通态损耗也很大。如何综合混合型和纯固态型直流断路器的优点,是直流断路器研究的热点。

[0004] XU,X.等人基于混合器件的思路,提出了一种混合器件的固态断路器[1],利用两种不同的电力电子器件,分别实现原有混合直流断路器超快速机械开关和电力电子开关的功能,在一定程度上兼顾了开断的快速性和可靠性。

[0005] Shu,J.等人提出了一种Z源断路器[2],同样利用混合式器件的思路进行故障开断,同时也可以主动控制和中断故障电流或者工作电流,并得出了半控型器件恢复时间与断路器承受反向电压之间的关系。

[0006] 已有的直流断路器在快速反应和高可靠性上都只能做到有所侧重,并不能实现完全兼顾。利用电力电子器件来代替原有混合断路器的超快速机械开关,进而利用两种混合器件进行故障开断是兼顾开断快速性和可靠性的方案之一。但目前的混合器件固态断路器还处在初步研究阶段,前述两种拓扑结构存在着一个很明显的双向问题,当故障需要双向开断时,两种拓扑结构使用的全控型器件过多,同步问题也难以解决。现有的混合器件固态断路器拓扑仍需进行优化,性能仍需拓展。

[0007] 以下文献是与本发明相关的技术背景资料:

[1]Xu, X., Chen, W., Liu, C., and et al: ‘An Efficient and Reliable Solid-State Circuit Breaker Based on Mixture Device’, IEEE Transactions on Power Electronics., vol.36, no.9, pp.9767-9771,2021。

[0008] [2]Shu, J., Wang, S., Ma, J., and et al: ‘An Active Z-Source DC Circuit Breaker Combined With SCR and IGBT’, IEEE Transactions on Power Electronics., vol.35, no.10, pp.10003-10007,2020。

发明内容

[0009] 为了解决现有技术中的上述问题,即现有直流断路器无法在实现快速反应的同时实现高可靠性双向开断的问题,本发明提供了一种基于混合器件的可双向开断的直流固态

断路器,该直流固态断路器包括以下模块:

线路电流检测及控制器,用于检测直流固态断路器的电路状态,并根据线路状态生成相应的开关通断驱动信号;

开关通断驱动器,用于根据所述开关通断驱动信号驱动正向主通流支路的全控器件S1、反向主通流支路的全控器件S2和换流支路开关的导通或断开;

正向主通流支路的全控器件S1、反向主通流支路的全控器件S2和换流支路开关,用于在开关通断驱动器的驱动下导通或断开,其状态包括:

正向主通流支路的全控器件S1导通,其对应的半控器件组G1均导通,实现直流固态断路器正向电流通流的稳态通路;反向主通流支路的全控器件S2导通,其对应的半控器件组G2均导通,实现直流固态断路器反向电流通流的稳态通路;

系统右侧发生短路故障,正向主通流支路的全控器件S1断开:当所述全控器件S1两端电压升高至对应的吸能支路的避雷器MOV1的动作电压时,故障电流通过续流二极管D1流入避雷器MOV1;导通换流支路,故障电流流入换流支路,所述半控器件组G1承受反压并断开;断开换流支路,故障电流经过反向主通流支路的二极管D4以及续流二极管D2流入吸能支路的避雷器MOV3和避雷器MOV1,实现直流固态断路器的右侧故障关断;

系统左侧发生短路故障,反向主通流支路的全控器件S2断开:当所述全控器件S2两端电压升高至对应的吸能支路的避雷器MOV2的动作电压时,故障电流通过续流二极管D2流入避雷器MOV2;导通换流支路,故障电流流入换流支路,所述半控器件组G2承受反压并断开;断开换流支路,故障电流经过正向主通流支路的二极管D3以及续流二极管D1流入吸能支路的避雷器MOV3和避雷器MOV2,实现直流固态断路器的左侧故障关断。

[0010] 在一些优选的实施例中,所述正向主通流支路的半控器件组G1和所述反向主通流支路的半控器件组G2分别为一组串联的低损耗半控型半导体器件。

[0011] 在一些优选的实施例中,所述正向主通流支路的二极管D3与所述正向主通流支路的全控器件S1为反向并联关系,所述反向主通流支路的二极管D4与所述反向主通流支路的全控器件S2为反向并联关系。

[0012] 在一些优选的实施例中,所述直流固态断路器,其模块连接关系为:

所述正向主通流支路的第一连接端、所述吸能支路的第一连接端、所述反向主通流支路的第一连接端和所述换流支路的第一连接端一起连接至电源侧的直流电源;

所述正向主通流支路的第二连接端、所述吸能支路的第二连接端、所述反向主通流支路的第二连接端和所述换流支路的第二连接端一起连接至负载侧的负载;

所述续流二极管D1的阳极连接至所述正向主通流支路的第三连接端,阴极连接至所述吸能支路的第三连接端;

所述续流二极管D2的阳极连接至所述反向主通流支路的第三连接端,阴极连接至所述吸能支路的第四连接端;

所述线路电流检测及控制器的输入端连接至电源侧的直流电源,输出端连接至所述开关通断驱动器的输入端;

所述开关通断驱动器的输出端连接至正向主通流支路的全控器件S1、反向主通流支路的全控器件S2和换流支路开关的控制端。

[0013] 在一些优选的实施例中,所述正向主通流支路包括全控器件S1、半控器件组G1和

二极管D3；

所述半控器件组G1的输入端作为为所述正向主通流支路的第一连接端，输出端连接至所述全控器件S1的输入端和所述二极管D3的阴极，作为所述正向主通流支路的第三连接端；

所述全控器件S1的输出端和所述二极管D3的阳极连接到一起作为所述正向主通流支路的第二连接端。

[0014] 在一些优选的实施例中，所述反向主通流支路包括全控器件S2、半控器件组G2和二极管D4；

所述半控器件组G2的输入端作为为所述反向主通流支路的第二连接端，输出端连接至所述全控器件S2的输入端和所述二极管D4的阴极，作为所述反向主通流支路的第三连接端；

所述全控器件S2的输出端和所述二极管D4的阳极连接到一起作为所述反向主通流支路的第一连接端。

[0015] 在一些优选的实施例中，所述吸能支路包括避雷器MOV1、避雷器MOV2和避雷器MOV3；

所述避雷器MOV2的输入端作为所述吸能支路的第一连接端，所述避雷器MOV1的输出端作为所述吸能支路的第二连接端；

所述避雷器MOV1的输入端和所述避雷器MOV3的输出端连接到一起作为所述吸能支路的第三连接端；

所述避雷器MOV3的输入端和所述避雷器MOV2的输出端连接到一起作为所述吸能支路的第四连接端。

[0016] 在一些优选的实施例中，当换流过程为强制换流时，所述换流支路选用全控器件；当换流过程为自然换流时，所述换流支路选用未预充电电容。

[0017] 在一些优选的实施例中，当换流过程为强制换流时，所述避雷器MOV1、避雷器MOV2和避雷器MOV3，其动作电压满足约束条件：

$$\begin{aligned} V_{protect} &= V_{break} / \beta_1 \\ V_{protect} + V_{clamp} &= V_{sys} / \beta_2 \end{aligned}$$

其中， $V_{protect}$ 为避雷器MOV1、避雷器MOV2的动作电压， V_{clamp} 为避雷器MOV3的动作电压， V_{break} 为全控器件S1、全控器件S2的击穿电压， V_{sys} 为系统直流电压， β_1 和 β_2 为大于1的安全系数。

[0018] 在一些优选的实施例中，当换流过程为自然换流时，所述避雷器MOV1、避雷器MOV2和避雷器MOV3，其动作电压满足约束条件：

$$\begin{aligned} V_{protect} &= V_{break} / \beta_1 \\ V_{protect} + V_{clamp} &= V_{sys} / \beta_2 \\ V_{protect} &> V_{trr} \end{aligned}$$

其中, $V_{protect}$ 为避雷器MOV1、避雷器MOV2的动作电压, V_{clamp} 为避雷器MOV3的动作电压, V_{break} 为全控器件S1、全控器件S2的击穿电压, V_{sys} 为系统直流电压, β_1 和 β_2 为大于1的安全系数, t_{rr} 为全控器件S1、全控器件S2的反向电压恢复时间, $V_{t_{rr}}$ 为充电至 $V_{t_{rr}}$ 时刻的未预充电电容两端的电压。

[0019] 本发明的有益效果:

(1) 本发明基于混合器件的可双向开断的直流固态断路器, 结合了半控型器件的低损耗高通流能力与全控型器件的快速开关特性, 能够实现大电流的低损耗通流、故障电流的快速可靠双向开断, 最大程度的兼顾了故障双向开断的快速性、可靠性和低损耗要求。

[0020] (2) 本发明基于混合器件的可双向开断的直流固态断路器, 控制简单, 单向开断仅需控制一到两个全控型器件, 半控型器件的关断由系统特性决定, 尽量少的控制全控型器件也尽可能地避免了全控型器件的不同步问题, 相较于其他固态断路器在节省控制系统成本的同时提高了控制可靠性。

[0021] (3) 本发明基于混合器件的可双向开断的直流固态断路器, 换流支路可根据使用场景和要求灵活选取, 若换流支路采用自然换流则无需额外控制的换流方式, 控制系统将更加简化; 若换流支路采用强制换流则可集成PWM功能, 提高断路器功能的集成度。不同的换流支路能够尽可能满足断路器不同场景下的使用需求和功能拓展。

[0022] (4) 本发明基于混合器件的可双向开断的直流固态断路器, 使用的半控型器件数量远多于全控型器件, 装置开断过程的承压大部分由耐压能力较强的半控型器件承担, 相比于全部使用全控型器件的直流断路器, 本发明可大大减少器件使用数量, 降低成本和损耗。同时整个故障开断过程都利用支路换流原理换流至其他支路完成, 对主支路带来的影响很小, 这有利于系统在故障后的重合闸和快速恢复。

附图说明

[0023] 通过阅读参照以下附图所作的对非限制性实施例所作的详细描述, 本申请的其它特征、目的和优点将会变得更明显:

图1是本发明基于混合器件的可双向开断的直流固态断路器的结构示意图;

图2是本发明基于混合器件的可双向开断的直流固态断路器一种实施例的正向稳态通路示意图;

图3是本发明基于混合器件的可双向开断的直流固态断路器一种实施例的系统右侧故障关断过程示意图;

图4是本发明基于混合器件的可双向开断的直流固态断路器一种实施例的基于晶闸管和IGBT混合器件的直流断路器拓扑结构图。

具体实施方式

[0024] 下面结合附图和实施例对本申请作进一步的详细说明。可以理解的是, 此处所描述的具体实施例仅用于解释相关发明, 而非对该发明的限定。另外还需要说明的是, 为了便于描述, 附图中仅示出了与有关发明相关的部分。

[0025] 需要说明的是, 在不冲突的情况下, 本申请中的实施例及实施例中的特征可以相

互组合。下面将参考附图并结合实施例来详细说明本申请。

[0026] 本发明提供一种基于混合器件的可双向开断的直流固态断路器,主要利用主通流支路半控器件的低导通损耗和全控器件的快速控制能力,并结合支路换流原理对混合器件固态断路器的动作进行优化,结构主要由双向主通流支路,主通流支路半控器件组,主通流支路全控器件,续流二极管,换流支路和吸能支路组成。主通流支路半控器件组和全控器件共同构成了装置的主通流支路,为了实现双向通流,共设置两条方向不同的主通流支路(正向主通流支路和反向主通流支路)。主通流支路半控器件组为一组串联的低损耗半控型半导体器件,在系统无故障时通流大电流,可充分发挥半控型器件通态压降低、通流能力强的优点,在系统发生故障时承受大部分系统电压,可减少全控型器件使用的数量,其数量由系统电压等级所决定。主通流支路全控器件为全控型半导体器件,用于在故障发生时快速控制,对故障做出反应。续流二极管D1和D2用于将故障电流续流至吸能支路。换流支路用于对故障电流进行换流,进而保证半控器件的顺利关断。通过控制主通流支路全控器件和换流支路,可实现故障电流的换流操作以及半控器件组的可靠关断,通过设置合理的吸能支路避雷器动作电压,实现故障电流的最终吸收。

[0027] 本发明的一种基于混合器件的可双向开断的直流固态断路器,该直流固态断路器包括以下模块:

线路电流检测及控制器,用于检测直流固态断路器的电路状态,并根据线路状态生成相应的开关通断驱动信号;

开关通断驱动器,用于根据所述开关通断驱动信号驱动正向主通流支路的全控器件S1、反向主通流支路的全控器件S2和换流支路开关的导通或断开;

正向主通流支路的全控器件S1、反向主通流支路的全控器件S2和换流支路开关,用于在开关通断驱动器的驱动下导通或断开,其状态包括:

正向主通流支路的全控器件S1导通,其对应的半控器件组G1均导通,实现直流固态断路器正向电流通流的稳态通路;反向主通流支路的全控器件S2导通,其对应的半控器件组G2均导通,实现直流固态断路器反向电流通流的稳态通路;

系统右侧发生短路故障,正向主通流支路的全控器件S1断开:当所述全控器件S1两端电压升高至对应的吸能支路的避雷器MOV1的动作电压时,故障电流通过续流二极管D1流入避雷器MOV1;导通换流支路,故障电流流入换流支路,所述半控器件组G1承受反压并断开;断开换流支路,故障电流经过反向主通流支路的二极管D4以及续流二极管D2流入吸能支路的避雷器MOV3和避雷器MOV1,实现直流固态断路器的右侧故障关断;

系统左侧发生短路故障,反向主通流支路的全控器件S2断开:当所述全控器件S2两端电压升高至对应的吸能支路的避雷器MOV2的动作电压时,故障电流通过续流二极管D2流入避雷器MOV2;导通换流支路,故障电流流入换流支路,所述半控器件组G2承受反压并断开;断开换流支路,故障电流经过正向主通流支路的二极管D3以及续流二极管D1流入吸能支路的避雷器MOV3和避雷器MOV2,实现直流固态断路器的左侧故障关断。

[0028] 为了更清晰地对本发明基于混合器件的可双向开断的直流固态断路器进行说明,下面结合图1对本发明实施例中各模块展开详述。

[0029] 本发明第一实施例的基于混合器件的可双向开断的直流固态断路器,各模块详细描述如下:

线路电流检测及控制器,用于检测直流固态断路器的电路状态,并根据线路状态生成相应的开关通断驱动信号。

[0030] 开关通断驱动器,用于根据所述开关通断驱动信号驱动正向主通流支路的全控器件S1、反向主通流支路的全控器件S2和换流支路开关的导通或断开。

[0031] 本发明的特点之一是其所具有的双向开断能力,本发明故障开断的控制主要通过线路电流检测及控制器获取电流检测信号,并传递到开关通断驱动器,再由开关通断驱动器来控制主通流支路(包括正向主通流支路和反向主通流支路)全控器件S1和S2的驱动状态,进而控制故障电流的流向,若换流支路上存在开关器件,同样需要开关通断驱动器加以控制。

[0032] 线路电流检测及控制器在完成短路故障检测的同时,也对开关器件的驱动状态进行实时监测。

[0033] 正向主通流支路的全控器件S1、反向主通流支路的全控器件S2和换流支路开关,用于在开关通断驱动器的驱动下导通或断开,其状态包括:

正向主通流支路的全控器件S1导通,其对应的半控器件组G1均导通,实现直流固态断路器正向电流通流的稳态通路。

[0034] 反向主通流支路的全控器件S2导通,其对应的半控器件组G2均导通,实现直流固态断路器反向电流通流的稳态通路。

[0035] 如图2所示,为本发明基于混合器件的可双向开断的直流固态断路器一种实施例的正向稳态通路示意图,在电网稳态时,主通流支路半控器件组和全控器件均处于导通状态,系统中电流正常导通,由直流电源侧流向正向主通流支路的半控器件组G1、全控器件S1,最后流向系统负载侧(图中粗线部分展示了电流流经的器件和电流方向),固态断路器对系统不产生影响。通流半控器件的数量多于全控器件,导通损耗相较于都使用全控器件通流时明显减小。

[0036] 系统右侧发生短路故障,正向主通流支路的全控器件S1断开:当所述全控器件S1两端电压升高至对应的吸能支路的避雷器MOV1的动作电压时,故障电流通过续流二极管D1流入避雷器MOV1;导通换流支路,故障电流流入换流支路,所述半控器件组G1承受反压并断开;断开换流支路,故障电流经过反向主通流支路的二极管D4以及续流二极管D2流入吸能支路的避雷器MOV3和避雷器MOV1,实现直流固态断路器的右侧故障关断。

[0037] 一旦发生短路故障,固态断路器将进入短路故障暂态,如图3所示,为本发明基于混合器件的可双向开断的直流固态断路器一种实施例的系统右侧故障关断过程示意图。

[0038] 如图3上图所示,线路电流检测及控制器判定短路故障之后,立即通过开关通断驱动器关断正向主通流支路全控器件S1,全控器件S1两端的电压随之迅速升高。

[0039] 当全控器件S1两端电压升高至避雷器MOV1的动作电压时,避雷器MOV1将接入系统用于保护全控器件S1,故障电流通过续流二极管D1流入避雷器MOV1。

[0040] 此时导通换流支路,如图中图所示,故障电流将换流至换流支路,流经正向主通流支路半控器件组G1的电流将降至0,同时在避雷器MOV1的钳位作用下,半控器件组G1将承受反压进而被关断,正向主通流支路完全断开。

[0041] 在半控器件组G1可靠关断后,控制换流支路关断,如图下图所示,故障电流将流经与反向主通流支路全控器件S2反并联的二极管D4和续流二极管D2,并转移至吸能支路,主

通流支路将被旁路,故障电流最后由避雷器MOV3和避雷器MOV1进行吸能,直至最后被开断。

[0042] 系统左侧发生短路故障,反向主通流支路的全控器件S2断开:当所述全控器件S2两端电压升高至对应的吸能支路的避雷器MOV2的动作电压时,故障电流通过续流二极管D2流入避雷器MOV2;导通换流支路,故障电流流入换流支路,所述半控器件组G2承受反压并断开;断开换流支路,故障电流经过正向主通流支路的二极管D3以及续流二极管D1流入吸能支路的避雷器MOV3和避雷器MOV2,实现直流固态断路器的左侧故障关断。

[0043] 正向主通流支路的半控器件组G1和反向主通流支路的半控器件组G2分别为一组串联的低损耗半控型半导体器件。正向主通流支路的全控器件组S1和反向主通流支路的全控器件组S2分别为全控型半导体器件。

[0044] 正向主通流支路的二极管D3与正向主通流支路的全控器件S1为反向并联关系,反向主通流支路的二极管D4与反向主通流支路的全控器件S2为反向并联关系。

[0045] 直流固态断路器,其模块连接关系为:

正向主通流支路的第一连接端、吸能支路的第一连接端、反向主通流支路的第一连接端和换流支路的第一连接端一起连接至电源侧的直流电源;

正向主通流支路的第二连接端、吸能支路的第二连接端、反向主通流支路的第二连接端和换流支路的第二连接端一起连接至负载侧的负载;

续流二极管D1的阳极连接至正向主通流支路的第三连接端,阴极连接至吸能支路的第三连接端;

续流二极管D2的阳极连接至反向主通流支路的第三连接端,阴极连接至吸能支路的第四连接端;

线路电流检测及控制器的输入端连接至电源侧的直流电源,输出端连接至开关通断驱动器的输入端;

开关通断驱动器的输出端连接至正向主通流支路的全控器件S1、反向主通流支路的全控器件S2和换流支路开关的控制端。

[0046] 正向主通流支路包括全控器件S1、半控器件组G1和二极管D3:

半控器件组G1的输入端作为正向主通流支路的第一连接端,输出端连接至全控器件S1的输入端和二极管D3的阴极,作为正向主通流支路的第三连接端;

全控器件S1的输出端和二极管D3的阳极连接到一起作为正向主通流支路的第二连接端。

[0047] 反向主通流支路包括全控器件S2、半控器件组G2和二极管D4:

半控器件组G2的输入端作为反向主通流支路的第二连接端,输出端连接至全控器件S2的输入端和所述二极管D4的阴极,作为反向主通流支路的第三连接端;

全控器件S2的输出端和二极管D4的阳极连接到一起作为反向主通流支路的第一连接端。

[0048] 吸能支路包括避雷器MOV1、避雷器MOV2和避雷器MOV3:

避雷器MOV2的输入端作为吸能支路的第一连接端,避雷器MOV1的输出端作为吸能支路的第二连接端;

避雷器MOV1的输入端和避雷器MOV3的输出端连接到一起作为吸能支路的第三连接端;

避雷器MOV3的输入端和避雷器MOV2的输出端连接到一起作为吸能支路的第四连接端。

[0049] 本发明能够实现双向开断的另一关键因素是换流支路。换流支路在系统正常时不接入系统,只有在故障发生后才对故障电流进行换流,换流成功与否是换流支路所考虑的唯一因素。根据换流策略的不同,可将支路换流方式分为强制换流和自然换流两种。

[0050] 当换流过程为强制换流时,换流支路选用全控器件。换流支路只是在故障发生后接入系统,其导通损耗基本可以忽略不计,因此可以考虑使用全控型器件,在需要换流时直接导通全控器件,故障电流将会被强制换流至换流支路。在主通流支路半控器件组成功关断后,再关断换流支路上的全控器件使得故障电流再次被换流至吸能支路,两次换流均依靠的是全控器件的开关能力。采用全控器件进行强制换流的优点在于可依靠全控型器件的高开关频率集成PWM限流软起动等功能,在中低压场合提高设备的抗涌流能力和动作可靠性。虽然该过程控制灵活,换流过程可随时控制,但随着电压等级的提高,使用全控型器件的数量将会显著增加,导致成本也会明显提高。

[0051] 若换流过程为强制换流,且依靠全控型器件的高开关频率集成PWM限流软起动功能,则在电网稳态,主通流支路正常导通系统电流,此时有大容量负载接入系统(负载涌流对于一次开/关模式的断路器来说通常难以判断,常造成断路器的误动作,降低了输电系统的工作可靠性),可依赖于换流支路的高频通断能力,对涌流先进行限流操作,将涌流在非主通流支路上得到处理后,再接入主通流支路当中,进而实现负载的软起动。

[0052] 当换流过程为自然换流时,换流支路选用未预充电电容。在主通流支路全控器件关断时,其两端电压明显升高,由于换流支路与主通流支路并联,两端电压同样受到影响。可将一个未预充电,初始电压为0的电容作为换流元件接入到系统中,此时由于两端电压的变化,该电容将被充电,产生一个大的充电电流流过换流支路,完成对故障电流的换流。同时,在电容充电过程中,主通流支路上电流逐渐降至0并承受一段时间的反压,半控器件组能够可靠关断。当电容电压充电至吸能支路动作电压后,故障电流被再次换流至吸能支路。采用电容作为换流支路,利用电路电压和电容充电过程进行自然换流,其优点在于不需要使用全控器件,简化了关断的控制过程,同时成本很低,但换流过程不可控,换流过程对于电容参数选取的要求也很高。

[0053] 两种支路换流策略各有优缺点,但都能达到成功换流的效果,实际使用时应根据系统特性和开断性能要求进行具体分析。

[0054] 本发明的吸能支路由三个避雷器组成,且三个避雷器的作用不完全相同,避雷器MOV1和避雷器MOV2并联在主通流支路全控器件的两端用于保护全控器件,其动作电压应略小于全控器件的击穿电压。避雷器MOV3和避雷器MOV1、避雷器MOV2一起用于最后的故障吸能,其值应略大于系统电压。

[0055] 避雷器动作电压选取的另一约束条件来自换流支路,特别是采用自然换流时,避雷器MOV1和避雷器MOV2的动作电压决定了换流的成功与否。

[0056] 当换流过程为自然换流时,避雷器MOV1、避雷器MOV2和避雷器MOV3,其动作电压的约束条件满足式(1)和式(2):

$$V_{protect} = V_{break} / \beta_1 \quad (1)$$

$$V_{protect} + V_{clamp} = V_{sys} / \beta_2 \quad (2)$$

其中, $V_{protect}$ 为避雷器MOV1、避雷器MOV2的动作电压, V_{clamp} 为避雷器MOV3的动作电压, V_{break} 为全控器件S1、全控器件S2的击穿电压, V_{sys} 为系统直流电压, β_1 和 β_2 为大于1的安全系数。

[0057] 当换流过程为自然换流时, 换流取决于外电路特性, 避雷器MOV1和避雷器MOV2的动作电压对电容充电过程带来影响, 为保证主通流支路半控器件可靠关断, 电容充电时间应至少大于半控器件反向电压恢复时间, 因此, 避雷器MOV1、避雷器MOV2和避雷器MOV3, 其动作电压的约束条件除了满足上述的式(1)和式(2), 还需要满足式(3):

$$V_{protect} > V_{trr} \quad (3)$$

其中, t_{trr} 为全控器件S1、全控器件S2的反向电压恢复时间, V_{trr} 为充电至 V_{trr} 时刻的未预充电电容两端的电压。

[0058] 如图4所示, 为本发明基于混合器件的可双向开断的直流固态断路器一种实施例的基于晶闸管和IGBT混合器件的直流断路器拓扑结构图, 包括: 线路电感 L_{line} 、双向晶闸管组G1和G2、双向IGBT开关S1和S2、续流二极管D1和D2、换流电容C1、ZnO避雷器MOV1、MOV2和MOV3。线路电感 L_{line} 代表线路和杂散电感的总和, 双向晶闸管组G1和G2, 双向IGBT开关S1和S2分别接入到两条主通流支路当中。线路电感 L_{line} 、晶闸管组G1与IGBT开关S1构成系统正常工作的一条主通流支路(正向主通流支路), 线路电感 L_{line} 、晶闸管组G2与IGBT开关S2构成系统正常工作时的另一条主通流支路(反向主通流支路)。换流电容C1为一未预充电, 初始电压为0的电容, 单独作为换流支路与两条主通流支路并联, 用于故障时对故障电流进行换流。三个避雷器MOV1、MOV2和MOV3串联后组成吸能支路, 再与主通流支路并联, MOV1和MOV2的动作电压较小, 起到保护IGBT器件的作用, MOV3的动作电压较大, 起到故障吸能的作用。续流二极管D1、D2分别接在两条主通流支路IGBT和保护避雷器MOV1、MOV2之间, 用于将故障电流续流至吸能支路。

[0059] 基于晶闸管和IGBT混合器件的直流断路器的工作过程也包括稳态和短路故障暂态两种:

当系统处于稳态时, 额定系统电流正常流过主通流支路, 两条主通流支路进行双向通流, 电流流电路径为: $L_{line} \rightarrow G1 \rightarrow S1$ 或 $G2 \rightarrow S2 \rightarrow L_{line}$ 。作为主通流支路半控器件的双向晶闸管组G1和G2在流通系统电流时, 可发挥晶闸管器件通态压降小, 通流能力强的特点, 相比与全部使用全控型器件可大大降低损耗。

[0060] 当系统发生短路故障时, 进入短路故障暂态。以系统右侧发生短路故障为例, 线路电流检测及控制器收到故障信号后, 进行故障识别, 并在故障识别完成后控制主通流支路上的IGBT开关S1关断。在S1关断后, S1两端的电压随之迅速升高。当S1两端电压升高至避雷器MOV1的动作电压时, MOV1将接入系统用于保护S1, 故障电流通过续流二极管D1流入MOV1。同时, 由于换流电容C1与主通流支路并联, S1两端电压的突然升高将导致C1两端电压突变, C1开始被这一电压充电。在C1充电过程中, 充电电流远大于流入MOV1的电流, 这意味着故障电流将不再流经主通流支路, 而是被换流至换流支路。故障电流被换流后, 流过晶闸管组G1的电流逐渐降到0, 同时C1电压在未充至MOV1保护电压之前G1将始终承受反压, 保证了G1的

可靠关断。G1关断后,主通流支路完全断开,C1将继续被充电,直至达到MOV3和MOV1的动作电压之和后被续流二极管D2转移至吸能支路,MOV3和MOV1发挥吸能作用,直至故障电流降至0,短路故障电流被开断。

[0061] 需要说明的是,上述实施例提供的基于混合器件的可双向开断的直流固态断路器,仅以上述各功能模块的划分进行举例说明,在实际应用中,可以根据需要而将上述功能分配由不同的功能模块来完成,即将本发明实施例中的模块再分解或者组合,例如,上述实施例的模块可以合并为一个模块,也可以进一步拆分成多个子模块,以完成以上描述的全部或者部分功能。对于本发明实施例中涉及的模块的名称,仅仅是为了区分各个模块,不视为对本发明的不当限定。

[0062] 术语“第一”、“第二”等是用于区别类似的对象,而不是用于描述或表示特定的顺序或先后次序。

[0063] 术语“包括”或者任何其它类似用语旨在涵盖非排他性的包含,从而使得包括一系列要素的过程、方法、物品或者设备/装置不仅包括那些要素,而且还包括没有明确列出的其它要素,或者还包括这些过程、方法、物品或者设备/装置所固有的要素。

[0064] 至此,已经结合附图所示的优选实施方式描述了本发明的技术方案,但是,本领域技术人员容易理解的是,本发明的保护范围显然不局限于这些具体实施方式。在不偏离本发明的原理的前提下,本领域技术人员可以对相关技术特征做出等同的更改或替换,这些更改或替换之后的技术方案都将落入本发明的保护范围之内。

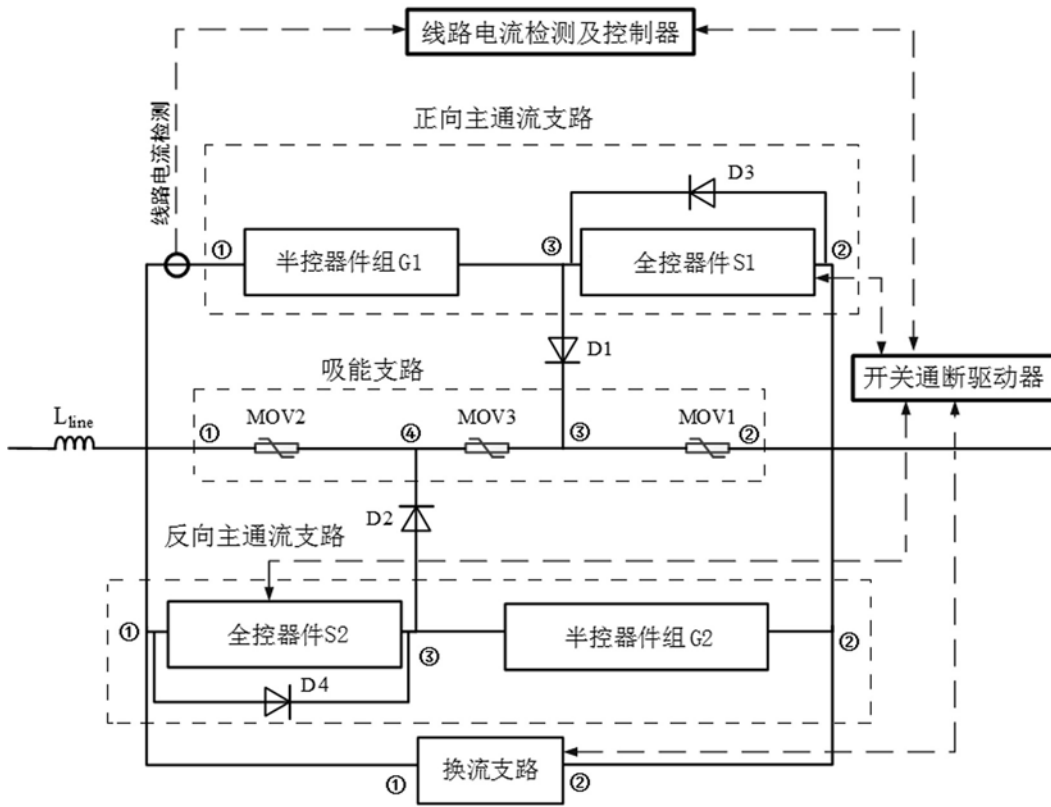


图 1

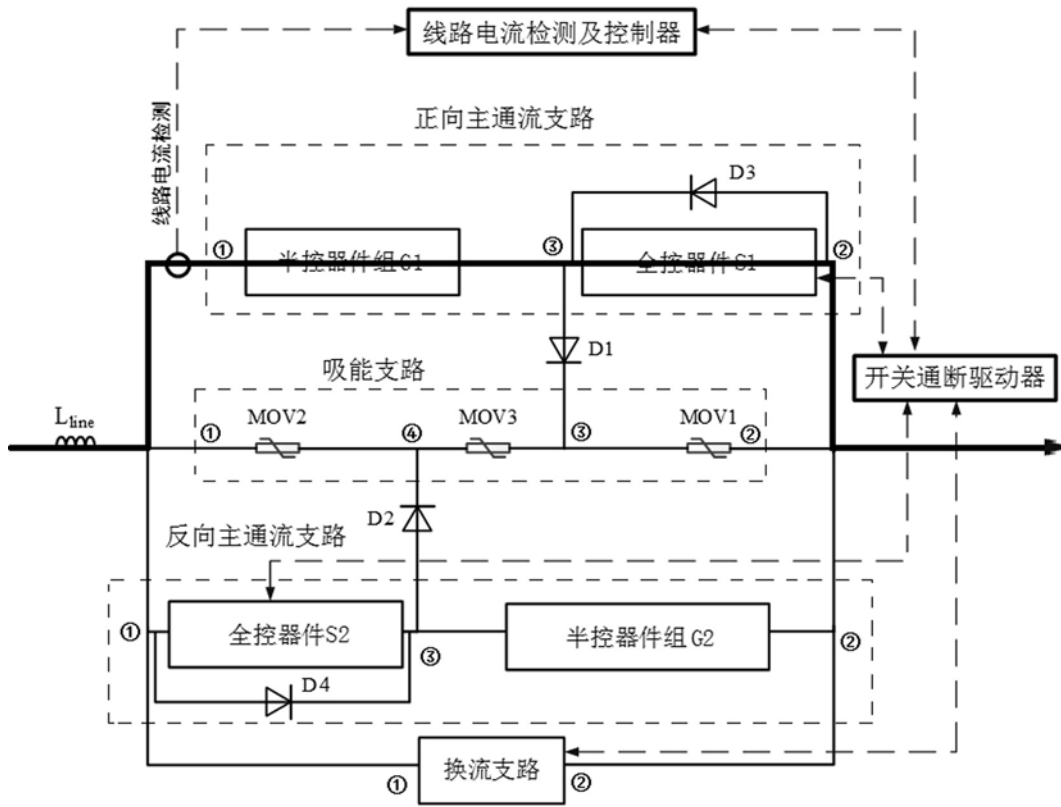


图 2

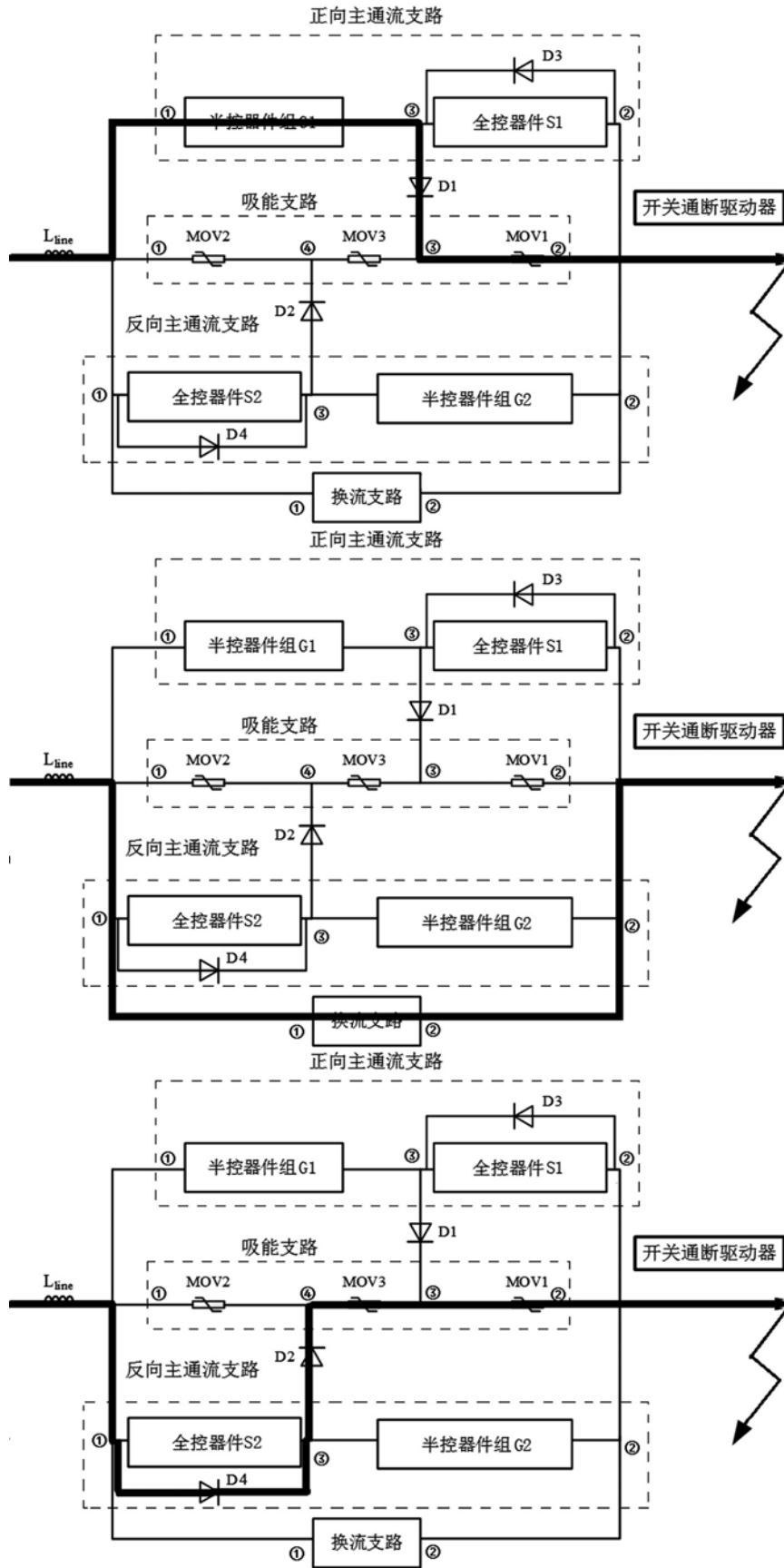


图 3

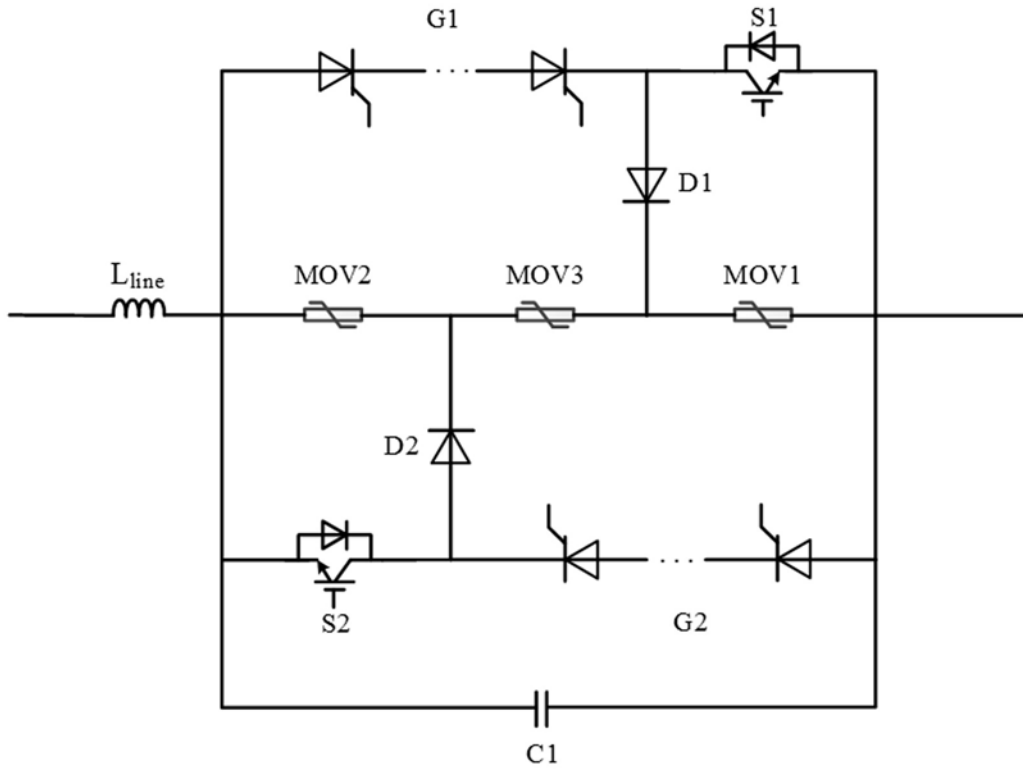


图 4