



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111181416 B

(45) 授权公告日 2021.03.19

(21) 申请号 202010021453.8

审查员 刘侠

(22) 申请日 2020.01.09

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 111181416 A

(43) 申请公布日 2020.05.19

(73) 专利权人 华北电力大学
地址 102206 北京市昌平区回龙观镇北农
路2号

(72) 发明人 韩民晓 周光阳

(74) 专利代理机构 北京高沃律师事务所 11569
代理人 杨媛媛

(51) Int.Cl.
H02M 7/00 (2006.01)
H02J 3/36 (2006.01)
H02H 7/26 (2006.01)

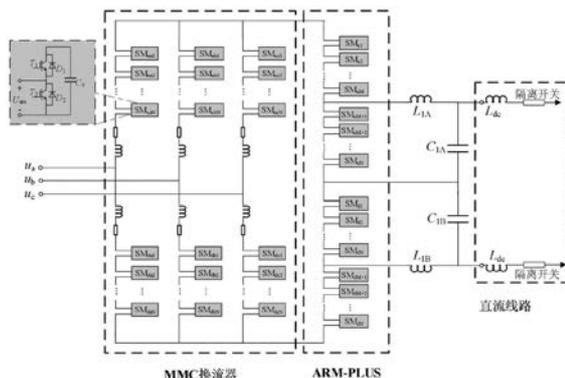
权利要求书2页 说明书5页 附图4页

(54) 发明名称

一种模块化多电平换流器及直流故障清除方法

(57) 摘要

本发明涉及一种模块化多电平换流器及直流故障清除方法,在传统半桥型MMC换流器的基础上,增加一组上下桥臂,并辅以适当的控制,即可实现对直流故障的清除。在直流侧正常工作状态下,上桥臂的前M个子模块处于切除状态,后M个处于投入状态,直流侧发生短路故障时,封锁ARM-PLUS上桥臂前M个子模块和下桥臂后M个子模块的触发脉冲,使其工作在闭锁状态。若直流侧残压较高,控制ARM-PLUS工作在反向Boost状态。在直流输出侧增加隔离开关,可清除永久性故障。短路故障排除后,短路电流达到零值时,等待数ms,待短路电弧完全熄灭,恢复ARM-PLUS至正常工作状态。本发明所提出的ARM-PLUS拓扑,原理清晰,实现方法简单,可显著提高直流故障处理与运行恢复速度。



CN 111181416 B

1. 一种模块化多电平换流器,其特征在于,所述换流器包括:

三相半桥型模块化多电平换流器MMC、相单元、第一电感、第二电感、第一电容、第二电容、第三电感、第四电感、第一隔离开关以及第二隔离开关;所述MMC包括6个第一桥臂,每个所述第一桥臂包括N个子模块, $N \geq 2$;所述相单元包含上桥臂和下桥臂,所述上桥臂和下桥臂均包括N个子模块;

所述相单元与所述MMC的输出端连接,所述第一电感的一端与所述相单元上桥臂的输出端连接,所述第二电感的一端与所述相单元下桥臂的输出端连接,所述相单元上桥臂的输出端为上桥臂子模块的中间节点,所述相单元下桥臂的输出端为下桥臂子模块的中间节点,所述第一电感的另一端与所述第一电容的一端以及所述第三电感的一端连接,所述第二电感的另一端与所述第二电容的一端以及所述第四电感的一端连接,所述第一电容的另一端和所述第二电容的另一端连接,并连接于相单元上桥臂和下桥臂之间的中间节点,所述第三电感的另一端与所述第一隔离开关连接,所述第四电感的另一端与所述第二隔离开关连接。

2. 根据权利要求1所述的模块化多电平换流器,其特征在于,所述子模块包括:第一IGBT、第二IGBT、第一二极管、第二二极管以及第三电容;

所述第一IGBT的集电极与所述第一二极管的阴极和所述第三电容的一端连接,所述第一IGBT的发射极与所述第一二极管的阳极连接;

所述第二IGBT的集电极与所述第一IGBT的发射极以及所述第二二极管的阴极连接,所述第二IGBT的发射极与所述第二二极管的阳极以及所述第三电容的另一端连接。

3. 根据权利要求1所述的模块化多电平换流器,其特征在于,所述相单元中的器件参数与所述MMC中的器件参数相同。

4. 根据权利要求1所述的模块化多电平换流器,其特征在于,所述上桥臂和所述下桥臂的工作状态镜像对称。

5. 一种直流故障清除方法,其特征在于,所述直流故障清除方法基于权利要求1所述的模块化多电平换流器;所述方法包括:

检测直流线路侧直流电流或电压,得到第一直流电流或电压;

基于所述第一直流电流或电压判断直流侧是否发生短路,得到第一判断结果;

若第一判断结果表示发生短路故障时,封锁相单元中的上桥臂的前M个子模块和下桥臂的后M个子模块的触发脉冲;其中, $M=1/2N$,N表示一个桥臂中子模块的总个数;所述相单元中的器件参数与三相半桥型模块化多电平换流器MMC中的器件参数相同;

判断直流残压是否超出设定阈值,若超出设定阈值,则控制相单元工作在反向Boost状态;

等待固定时间间隔,直到短路电弧完全熄灭;

继续检测直流侧电流或电压,得到第二直流电流或电压;

基于所述第二直流电流或电压判断直流侧是否发生短路,得到第二判断结果;

若第二判断结果表示仍然存在短路故障时,封锁上桥臂前M个子模块和下桥臂后M个子模块的触发脉冲,并判定短路故障为永久性故障;

待短路电流降为0时,断开直流侧隔离开关。

6. 根据权利要求5所述的一种直流故障清除方法,其特征在于,通过电流或电压传感器

持续检测直流线路侧直流电流或电压。

一种模块化多电平换流器及直流故障清除方法

技术领域

[0001] 本发明涉及电力电子技术领域,特别是涉及一种模块化多电平换流器及直流故障清除方法。

背景技术

[0002] 随着大容量远距离输电、大规模可再生能源并网、孤岛供电等电力传输需求的提出,基于半桥型模块化多电平换流器 (Modular Multilevel Converter, MMC) 的柔性直流输电技术,以谐波畸变小、拓展性好等优点,成为了国内外研究的焦点。与两端系统相比,多端直流柔性输电 (multi-terminal HVDC, MTDC) 系统可实现多电源供电和多落点受电,具有较好的灵活性、经济性和稳定性,应用前景广阔。

[0003] 高压直流输电技术发展所带来的直流网络化,导致直流短路故障可能造成网络化直流系统的崩溃且恢复周期长的问题。在直流短路故障情况下,控制系统可快速响应以闭锁换流站,但交流电网仍会通过传统半桥型MMC换流器的反并联二极管为短路点提供短路电流,只能通过跳开交流侧断路器清除短路故障,无论是在动作时间还是保证系统供电可靠性方面都无法满足要求,且换流站的闭锁及交流侧断路器的跳开,加大了故障处理与恢复运行的周期。

[0004] 直流断路器可在短时间内清除直流故障,不失为一种有效的解决方案,但国内外大容量直流断路器的研发尚处于起步阶段,目前可商业应用的直流断路器容量有限、价格昂贵且可靠性差,故障发生后的协调控制也较为困难。

[0005] 剖析导致直流短路故障危害严重的原因,其关键点为用于直流电网的AC/DC换流器为电压源型换流器 (VSC),直流侧短路相当于对电压源的短路。而换流器本身没有任何控制手段,导致了短路故障对直流系统造成巨大的冲击。因此,对传统VSC的进行拓扑改进和控制,使其具备直流故障清除能力是一种值得关注的解决方案。

发明内容

[0006] 本发明的目的是提供一种半桥型模块化多电平换流器及直流故障清除方法实现对短路电流的控制,并提高故障处理与运行恢复速度。

[0007] 为实现上述目的,本发明提供了如下方案:

[0008] 一种模块化多电平换流器,所述换流器包括:

[0009] 三相半桥型模块化多电平换流器MMC、相单元、第一电感、第二电感、第一电容、第二电容、第三电感、第四电感、第一隔离开关以及第二隔离开关;所述MMC包括6个第一桥臂,每个所述第一桥臂包括N个子模块, $N \geq 2$;所述相单元包含上桥臂和下桥臂,所述上桥臂和下桥臂均包括N个子模块, $N \geq 2$;

[0010] 所述相单元与所述MMC的输出端连接,所述第一电感 L_{1A} 的一端以及所述第二电感的一端均与所述相单元的输出端连接,所述第一电感的另一端与所述第一电容的一端以及所述第三电感的一端连接,所述第二电感的另一端与所述第二电容的一端以及所述第四电

感的一端连接,所述第一电容的另一端和所述第二电容的另一端连接,所述第三电感的另一端与所述第一隔离开关连接,所述第四电感的另一端与所述第二隔离开关连接。

[0011] 可选的,所述子模块包括:第一IGBT、第二IGBT、第一二极管、第二二极管以及第三电容;

[0012] 所述第一IGBT的集电极与所述第一二极管的阴极和所述第三电容的一端连接,所述第一IGBT的发射极与所述第一二极管的阳极连接;

[0013] 所述第二IGBT的集电极与所述第一IGBT的发射极以及所述第二二极管的阴极连接,所述第二IGBT的发射极与所述第二二极管的阳极以及所述第三电容的另一端连接。

[0014] 可选的,所述相单元中的器件参数与所述MMC中的器件参数相同。

[0015] 可选的,所述上桥臂和所述下桥臂的工作状态镜像对称。

[0016] 本发明另外提供一种直流故障清除方法,所述方法应用于上述模块化多电平换流器中,所述方法包括:

[0017] 检测直流线路测直流电流或电压,得到第一直流电流或电压;

[0018] 基于所述第一直流电流或电压判断直流侧是否发生短路,得到第一判断结果;

[0019] 若第一判断结果表示发生短路故障时,封锁相单元中的上桥臂的前M个子模块和下桥臂的后M个子模块的触发脉冲;其中, $M=1/2N$,N表示一个桥臂中子模块的总个数;

[0020] 判断直流残压是否超出设定阈值,若超出设定阈值,则控制相单元工作在反向Boost状态,将直流侧能量返送给交流侧;

[0021] 等待固定时间间隔,直到短路电弧完全熄灭;

[0022] 继续检测直流侧电流或电压,得到第二直流电流或电压;

[0023] 基于所述第二直流电流或电压判断直流侧是否发生短路,得到第二判断结果;

[0024] 若第二判断结果表示仍然存在短路故障时,封锁上桥臂前M个子模块和下桥臂后M个子模块的触发脉冲,并判定短路故障为永久性故障;

[0025] 待短路电流降为0时,断开直流侧隔离开关。

[0026] 可选的,通过电流或电压传感器持续检测直流线路测直流电流或电压。

[0027] 根据本发明提供的具体实施例,本发明公开了以下技术效果:

[0028] 本发明提出一种具备直流故障清除能力的ARM-PLUS方式半桥型模块化多电平换流器(Modular Multilevel Converter,MMC)。在传统半桥型MMC换流器拓扑的基础上,通过增加一组上下桥臂,即一个相单元(ARM-PLUS)并辅以适当的控制,即可实现对直流故障的清除。此外,在直流输出侧增加隔离开关,以配合ARM-PLUS,可清除永久性故障。由于故障过程中不必紧急封锁MMC换流器的脉冲,交流侧断路器也不必跳开,所以系统可快速恢复运行。本发明所提出的新型ARM-PLUS拓扑,原理清晰,实现方法简单,可显著提高直流故障处理与运行恢复速度。

附图说明

[0029] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动性的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

- [0030] 图1为本发明实施例为ARM-PLUS方式模块化多电平换流器拓扑图；
[0031] 图2为本发明实施例半桥型MMC子模块工作状态图；
[0032] 图3为本发明实施例ARM-PLUS故障动作流程图；
[0033] 图4为本发明实施例为直流短路后电容放电回路示意图；
[0034] 图5为本发明实施例为直流短路后电感放电回路示意图。

具体实施方式

[0035] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0036] 本发明的目的是提供一种半桥型模块化多电平换流器及直流故障清除方法实现对短路电流的控制,并提高故障处理与运行恢复速度。

[0037] 为使本发明的上述目的、特征和优点能够更加明显易懂,下面结合附图和具体实施方式对本发明作进一步详细的说明。

[0038] 为了解决上述问题,本发明基于传统半桥型模块化多电平换流器(Modular Multilevel Converter, MMC),提出了一种具备直流故障清除能力的改进拓扑与控制的换流器,称为ARM-PLUS方式半桥型模块化多电平MMC换流器。ARM-PLUS方式的半桥型MMC换流器,在传统半桥型MMC换流器的基础上,在原有换流器的三个相单元之后,增加了一个器件参数和结构与原换流器一致的一个相单元(ARM-PLUS),并在ARM-PLUS直流电网侧串联电感和电容,相当于在原有半桥型MMC换流器的直流侧,增加了一个Buck-Boost DC/DC电路。

[0039] 如图1和图2所示,正常工况下,上桥臂的前 M ($M=N/2$) 个子模块 SM_{u1} - SM_{uM} 处于切除状态,后 M 个子模块 SM_{uM+1} - SM_{uN} 处于投入状态;下桥臂与上桥臂工作状态沿中线镜像对称;此时ARM-PLUS可近似认为是增益为1的Buck电路,即正常工况下ARM-PLUS方式半桥型MMC换流器与传统半桥型MMC换流器工作状态相同。

[0040] 当直流侧发生短路故障时,通过检测线路侧直流电流或线路侧直流电压判断故障的发生,进而封锁ARM-PLUS上桥臂的前 M 个子模块和ARM-PLUS下桥臂的后 M 个子模块的触发脉冲,以阻断交流系统的能量向直流系统传递。此后直流侧电容电流通过电容、电缆、电弧电阻流通,电流不经过功率器件,不会对换流器造成损毁;电感电流通过电感、电缆、电弧电阻及上桥臂的后 M 个子模块和下桥臂的前 M 个子模块中的续流二极管流通;由于电感电流不能突变,不会超过功率器件的电流允许值。此外,若直流侧残压较高(为正常运行电压的25%-90%,其中25%考虑Boost电路的最大升压比限制,90%考虑正常运行的最低电压要求),可以控制ARM-PLUS工作在反向Boost状态,将直流侧能量反馈到交流侧。且电感放电过程,一方面放电电流由于没有外接交流系统供电,因而只能从初始值衰减,不会造成器件过流;另一方面,电感放电通过串联二极管通路,二极管的正向导通压降和通态电阻,可使得放电过程的能量耗散维持在ARM-PLUS中器件可承受范围内,不会造成器件损坏。直流输出侧的隔离开关,可用于配合ARM-PLUS,清除永久性故障。由于封锁ARM-PLUS上桥臂的前 M 个子模块和ARM-PLUS下桥臂的后 M 个子模块的触发脉冲后,换流器与直流线路故障点的能量传递通路被隔断,其不会对短路点提供短路电流,所以故障过程中不必紧急封锁换流器的

脉冲,交流侧断路器也不必跳开,只需调整换流器的控制策略,可显著提高直流故障处理与运行恢复速度。

[0041] 当短路故障清除后,检测到短路电流达到零值时,等待数ms,待短路电弧完全熄灭,控制ARM-PLUS恢复至正常工作状态,整个直流系统即可快速恢复正常运行。

[0042] 本发明通过增加一个相单元,加上适当的控制,就可实现对短路电流的控制,并提高了故障处理与运行恢复速度。

[0043] 图1为本发明实施例为ARM-PLUS方式模块化多电平换流器拓扑图,如图1所示,所述换流器包括:

[0044] 三相半桥型模块化多电平换流器MMC、相单元ARM-PLUS、第一电感 L_{1A} 、第二电感 L_{1B} 、第一电容 C_{1A} 、第二电容 C_{1B} 、第三电感 L_{dc} 、第四电感 L_{dc} 、第一隔离开关以及第二隔离开关;所述MMC包括6个第一桥臂,每个所述第一桥臂包括N个子模块, $N \geq 2$;所述相单元包含上桥臂和下桥臂,所述上桥臂和下桥臂均包括N个子模块, $N \geq 2$;

[0045] 所述相单元与所述MMC的输出端连接,所述第一电感 L_{1A} 的一端以及所述第二电感 L_{1B} 的一端均与所述相单元的输出端连接,所述第一电感 L_{1A} 的另一端与所述第一电容 C_{1A} 的一端以及所述第三电感 L_{dc} 的一端连接,所述第二电感 L_{1B} 的另一端与所述第二电容 C_{1B} 的一端以及所述第四电感 L_{dc} 的一端连接,所述第一电容 C_{1A} 的另一端和所述第二电容 C_{1B} 的另一端连接,所述第三电感 L_{dc} 的另一端与所述第一隔离开关连接,所述第四电感 L_{dc} 的另一端与所述第二隔离开关连接。

[0046] 如图2所示,所述子模块包括:第一IGBT T_1 、第二IGBT T_2 、第一二极管 D_1 、第二二极管 D_2 以及第三电容 C_0 ;所述子模块共包含三个状态:闭锁状态、投入状态以及切除状态。

[0047] 所述第一IGBT T_1 的集电极与所述第一二极管 D_1 的阴极和所述第三电容 C_0 的一端连接,所述第一IGBT T_1 的发射极与所述第一二极管 D_1 的阳极连接;

[0048] 所述第二IGBT T_2 的集电极与所述第一IGBT T_1 的发射极以及所述第二二极管 D_2 的阴极连接,所述第二IGBT T_2 的发射极与所述第二二极管 D_2 的阳极以及所述第三电容 C_0 的另一端连接。

[0049] 具体的,所述相单元中的器件参数和结构与所述MMC中的器件参数和结构相同。

[0050] 图3为本发明实施例ARM-PLUS故障动作流程图,具体包含如下步骤:

[0051] 检测直流线路测直流电流或电压,得到第一直流电流或电压;具体的,是通过电流或电压传感器持续检测直流线路测直流电流或电压。

[0052] 基于所述第一直流电流或电压判断直流侧是否发生短路,得到第一判断结果。

[0053] 若第一判断结果表示发生短路故障时,直流电流将急速上升超过阈值,直流电压将急速下降低于阈值,此时封锁相单元中的上桥臂的前M个子模块和下桥臂的后M个子模块的触发脉冲,阻断能量向直流系统的传递;其中, $M=1/2N$,N表示一个桥臂中子模块的总个数。

[0054] 判断直流残压是否超出设定阈值,若超出设定阈值,则控制相单元工作在反向Boost状态。即,若直流侧残压较高,控制ARM-PLUS工作在反向Boost状态,将能量反馈到交流侧。

[0055] 当短路故障排除后,短路电流将下降至0,此时等待数ms,待短路电弧完全熄灭,恢复ARM-PLUS至正常工作状态,同时直流系统也恢复至正常运行状态。

[0056] 继续检测直流侧电流或电压,得到第二直流电流或电压。

[0057] 基于所述第二直流电流或电压判断直流侧是否发生短路,得到第二判断结果。

[0058] 若直流侧短路故障已被清除,则控制ARM-PLUS桥臂至正常运行状态,上桥臂的前M个子模块处于切除,后M个子模块投入,下桥臂与上桥臂的工作状态沿中线镜像对称,直流系统恢复至正常运行状态。

[0059] 若第二判断结果表示直流侧依然存在短路故障,则立即封锁ARM-PLUS上桥臂前M个子模块和下桥臂后M个子模块的触发脉冲,阻断交流侧向短路点提供短路电流,并判定短路故障为永久性故障,清除永久性故障。

[0060] 待短路电流降为0时,断开直流侧隔离开关。

[0061] 图4为本发明实施例直流短路后电容放电回路示意图,如图4所示,由于直流故障发生后,上桥臂的前M个子模块和下桥臂的后M个子模块闭锁,向子模块电容充电,交流侧的能量将无法通过ARM-PLUS流向直流侧。若此时上桥臂的后M个子模块也处于闭锁状态,那么电容电流通过电容、电缆、电弧电阻流通,如图4点划线所示。电容放电电流不经过功率器件,不会对换流器造成损毁;当电感电流降为0后,使ARM-PLUS工作在反向Boost状态,则电容电流不仅会通过电容、电缆、电弧电阻流通,也会通过ARM-PLUS经MMC换流器流向交流侧,如图4中虚线所示。由于在反向Boost状态下的电流处于可控状态,所以也不会对换流器造成损害。

[0062] 图5为本发明实施例直流短路后电感放电回路示意图。如图5所示,同理,由于直流故障发生后,上桥臂的前M个子模块和下桥臂的后M个子模块闭锁,向子模块电容充电,所以交流侧的能量将无法通过ARM-PLUS流向直流侧。若此时上桥臂的后M个子模块和下桥臂的前M个子模块也处于闭锁状态,那么电感电流通过电感、电缆、电弧电阻,及上桥臂的后M个子模块和下桥臂的前M个子模块中的续流二极管流通,如图5中点划线所示。由于电感电流不能突变,不会超过功率器件的电流允许值。且此过程一方面放电电流由于没有外接电源供电,因而只能从初始值衰减,不会造成器件过流;另一方面,电感放电通过串联二极管通路,二极管的正向导通压降和通态电阻,可使得放电过程的能量耗散维持在ARM-PLUS中器件可承受范围内,不会造成器件损坏。

[0063] 本说明书中各个实施例采用递进的方式描述,每个实施例重点说明的都是与其他实施例的不同之处,各个实施例之间相同相似部分互相参见即可。对于实施例公开的系统而言,由于其与实施例公开的方法相对应,所以描述的比较简单,相关之处参见方法部分说明即可。

[0064] 本文中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方法及其核心思想;同时,对于本领域的一般技术人员,依据本发明的思想,在具体实施方式及应用范围上均会有改变之处。综上所述,本说明书内容不应理解为对本发明的限制。

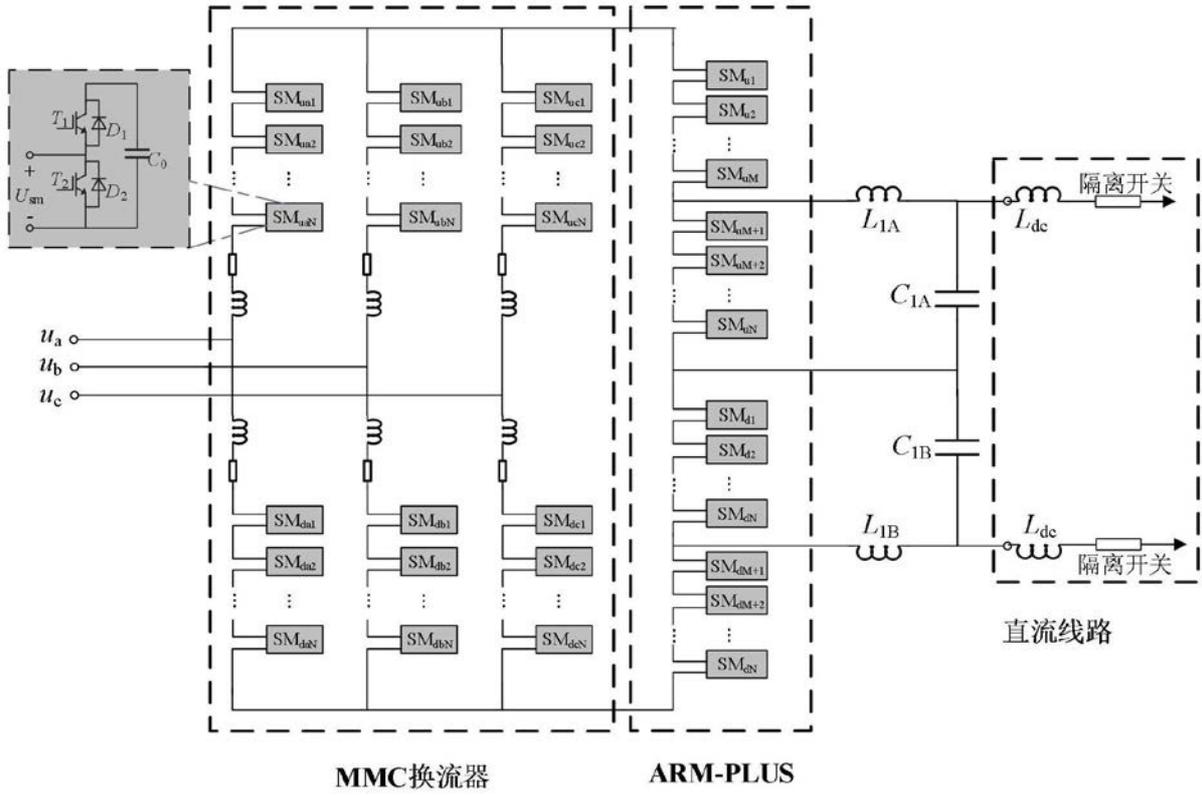


图1

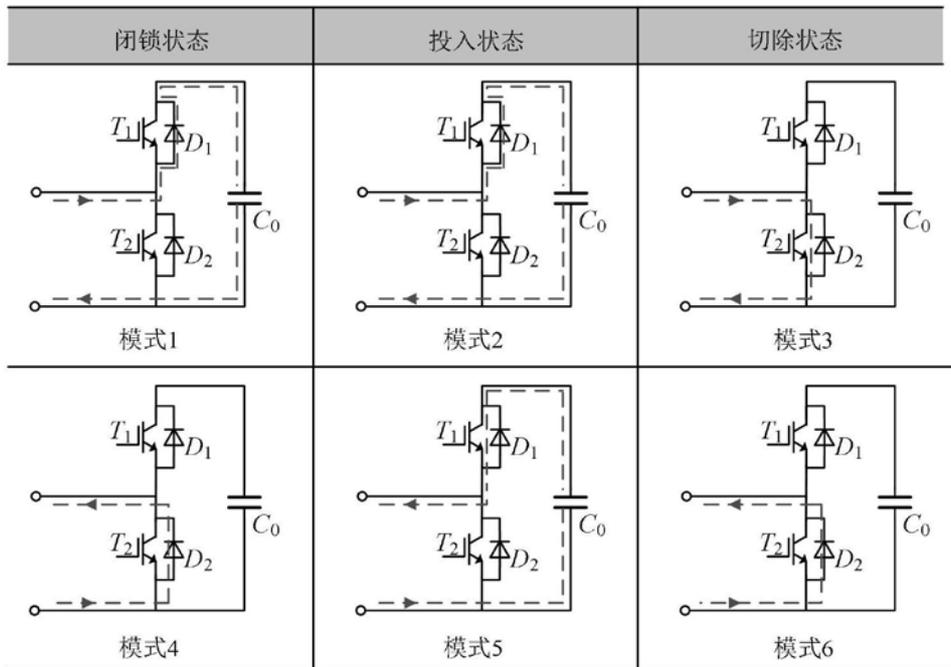


图2

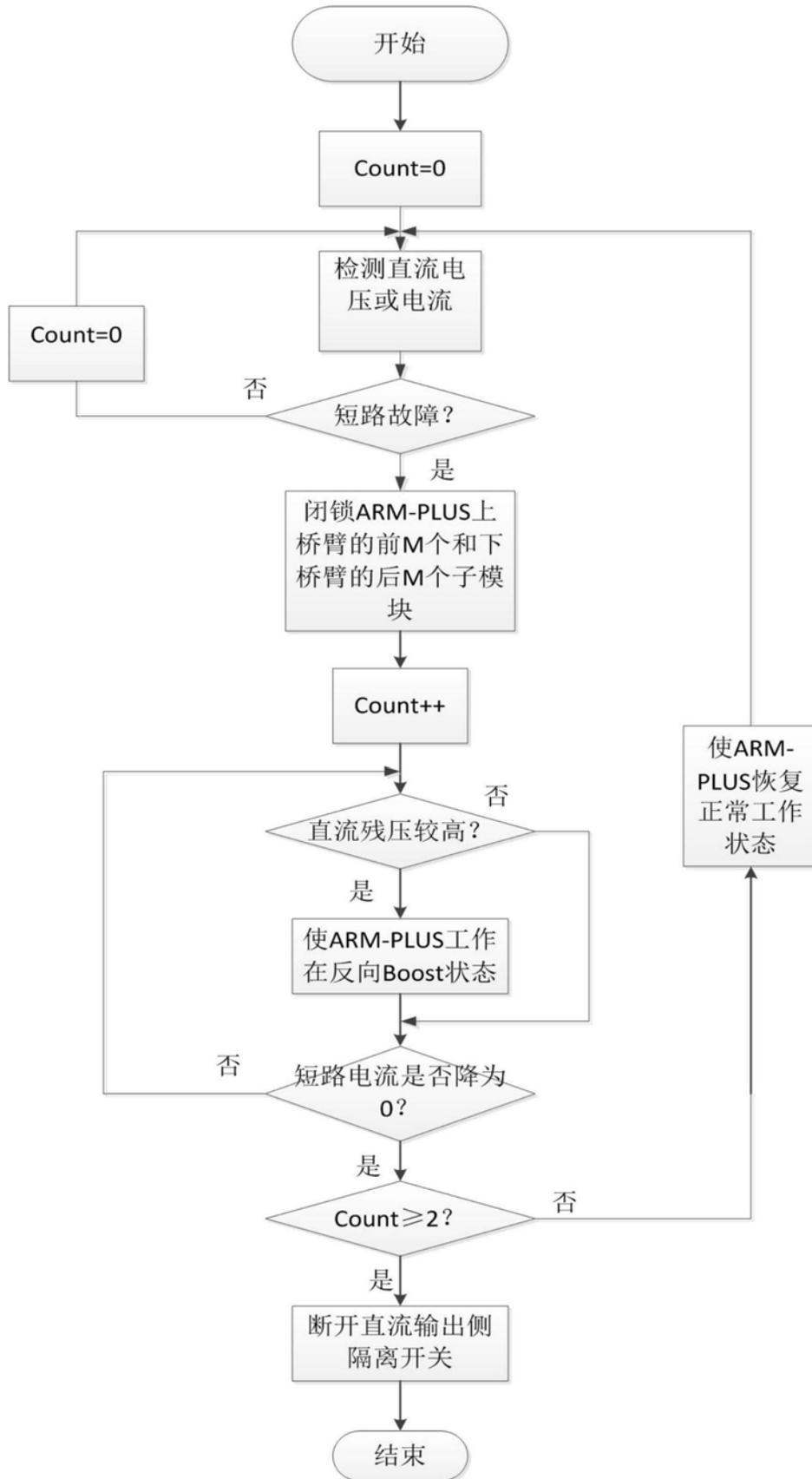


图3

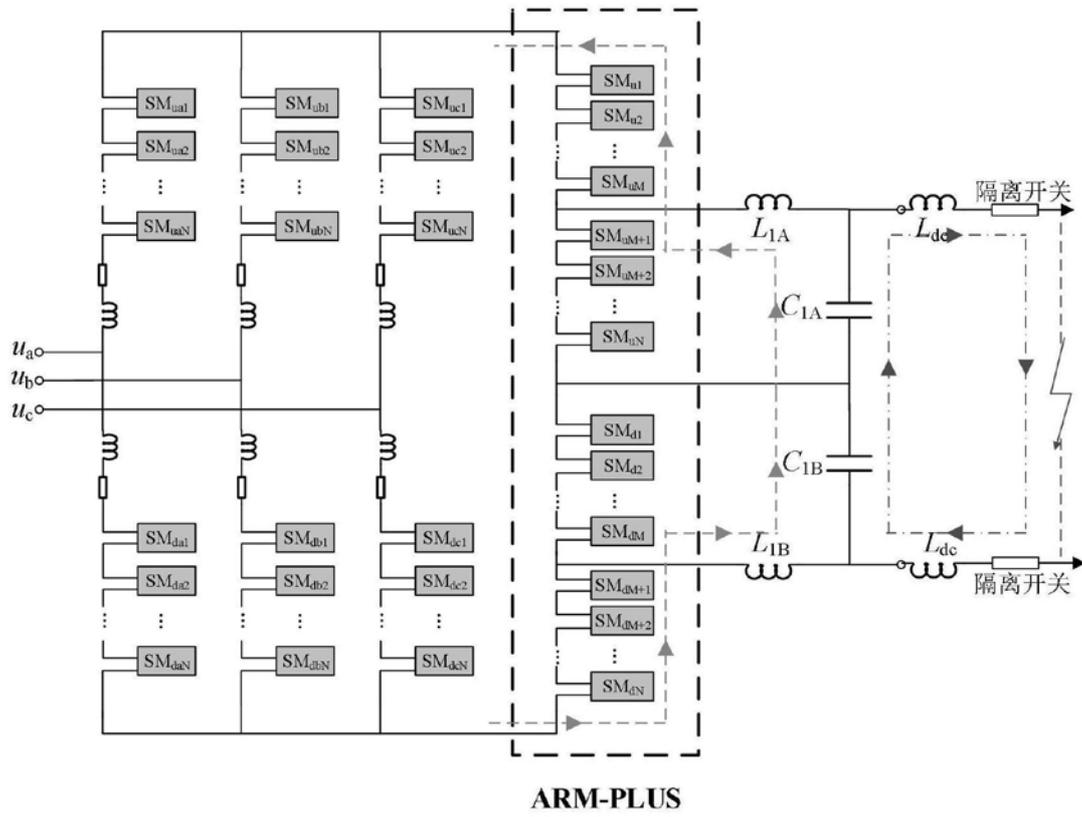


图4

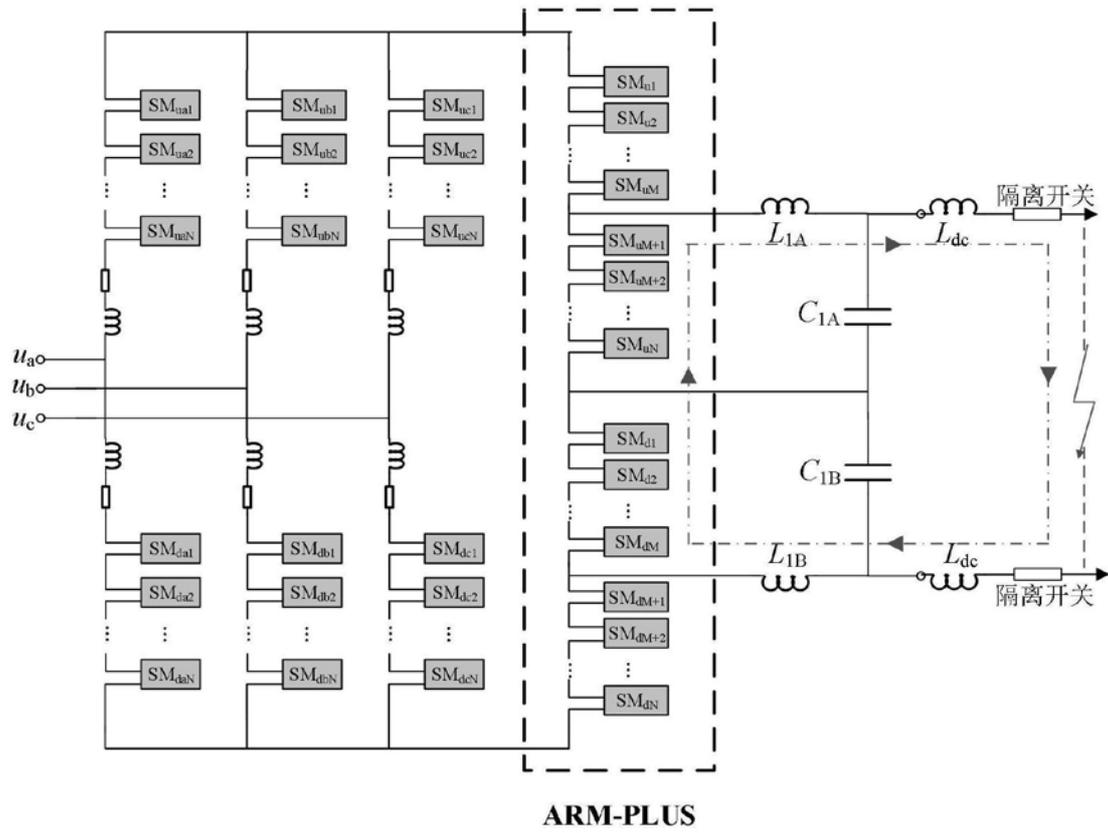


图5