



## (12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108616223 A

(43)申请公布日 2018. 10. 02

(21)申请号 201810719149.3

(22)申请日 2018.07.03

(71)申请人 清华大学

地址 100084 北京市海淀区清华园

(72)发明人 孙谦浩 赵彪 宋强 曾嵘

余占清 许超群

(74)专利代理机构 北京知联天下知识产权代理  
事务所(普通合伙) 11594

代理人 王冲 吴鑫

(51)Int.Cl.

H02M 7/219(2006.01)

H02M 7/25(2006.01)

H02M 1/34(2007.01)

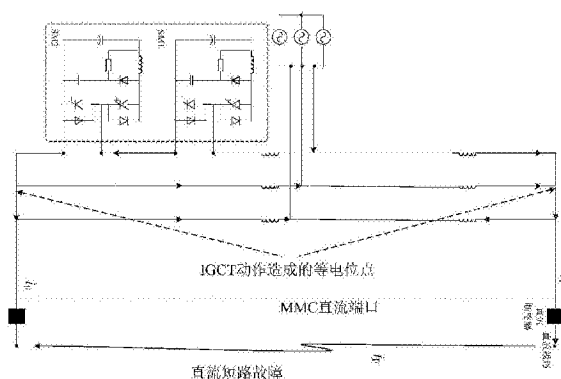
权利要求书1页 说明书4页 附图3页

### (54)发明名称

一种基于IGCT的模块化多电平换流器及故障处理方法

### (57)摘要

本发明涉及一种基于IGCT的模块化多电平换流器,所述模块化多电平换流器具有多个桥臂,多个桥臂中的每个桥臂上设有一个或多个基于IGCT的半桥装置;所述半桥装置包括缓冲电路、多个IGCT开关器件,所述多个IGCT开关器件级联连接,形成IGCT级联电路;所述缓冲电路与所述级联电路连接。通过本发明的技术方案,降低了对设备的通流能力的要求,提高了直流故障处理能力的经济性与可靠性。



1. 一种基于IGCT的模块化多电平换流器,所述模块化多电平换流器具有多个桥臂,多个桥臂中的每个桥臂上设有一个或多个基于IGCT的半桥装置;

所述半桥装置包括缓冲电路、多个IGCT开关器件,其中,

所述多个IGCT开关器件级联连接,形成IGCT级联电路;

所述缓冲电路与所述级联电路连接。

2. 根据权利要求1所述的基于IGCT的模块化多电平换流器,其中,

所述缓冲电路包括第一二极管、第一电容、第一电感和第一电阻,其中,

所述第一电感的第一端与所述第一电阻的第一端连接,所述第一电感的第二端与所述第一二极管的阳极连接;所述第一二极管的阴极与所述第一电阻的第二端连接,所述第一电容的第一端与所述第一二极管的阴极连接;

所述缓冲电路中所述第一二极管的阳极与所述IGCT级联电路中第一IGCT开关器件的阳极连接,所述缓冲电路中所述第一电容的第二端与所述IGCT级联电路中第二IGCT开关器件的阴极连接。

3. 根据权利要求2所述的基于IGCT的模块化多电平换流器,所述半桥装置还包括第二电容,其中,

所述第二电容的第一端与所述缓冲电路中的所述第一电感的第一端连接,所述第二电容的第二端与所述缓冲电路中的第一电容的第二端连接。

4. 根据权利要求1所述的基于IGCT的模块化多电平换流器,其中,

所述多个IGCT开关器件中的每一个均反并联二极管。

5. 根据权利要求1-4任一所述的基于IGCT的模块化多电平换流器,所述半桥装置还包括第一连接端和第二连接端,其中,

所述第一连接端与所述多个IGCT开关器件中第一个IGCT开关器件的阴极连接;

所述第二连接端与所述多个IGCT开关器件中第二个IGCT开关器件的阴极连接。

6. 根据权利要求1所述的基于IGCT的模块化多电平换流器,其中,

每个桥臂上的多个半桥装置以级联方式连接。

7. 一种对权利要求1-6任一所述的基于IGCT的模块化多电平换流器进行故障处理的方法,所述方法包括:

同时控制所述半桥装置中第一个IGCT开关器件断开、控制所述半桥装置中第二IGCT开关器件导通;

在上述控制的同时,控制直流线路上的直流断路器断开。

## 一种基于IGCT的模块化多电平换流器及故障处理方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及电力电子技术领域,具体涉及一种基于IGCT的模块化多电平换流器及故障处理方法。

### 背景技术

[0002] MMC(modular multilevel converter,模块化多电平换流器)由多个结构相同的SM(Sub-module,子模块)级联构成,在换流器领域具有极大的应用前景。如图1示出了一种三相电路中的MMC的拓扑结构图。如图1所示,三相电路中有六个桥臂,每个桥臂具有多个级联的SM:如图1中所示的第一桥臂中有级联的SM<sub>ap1</sub>-SM<sub>apn</sub>、第二桥臂有级联的SM<sub>bp1</sub>-SM<sub>bpn</sub>、第三桥臂有级联的SM<sub>cp1</sub>-SM<sub>cpn</sub>、第四桥臂有级联的SM<sub>an1</sub>-SM<sub>ann</sub>、第五桥臂有级联的SM<sub>bn1</sub>-SM<sub>bnn</sub>、第六桥臂有级联的SM<sub>cn1</sub>-SM<sub>cnn</sub>。

[0003] 目前在MMC中一般都采用了IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor,绝缘栅双极型晶体管),如图2输出了传统的基于IGBT的SM,如图所示其包括级联的IGBT元件,每个IGBT元件的阳极和阴极之间反并联二极管。

[0004] 传统基于IGBT的SM应用到MMC后,在直流侧发生故障时,由于IGBT缺乏渡过故障电流的能力,必须闭锁IGBT以保护其不受破坏。此时,由于反并联二极管的作用,基于IGBT的传统MMC将等效为不空整流电路的短路故障状态,交流电压仍持续向直流端口施压。而实际中,直流断路器在检测到短路故障后到其动作仍需要一定的时间(大约1~2ms),如图3中t<sub>1</sub>时刻到t<sub>2</sub>时刻之间的虚线所示的*i*<sub>FIGBT</sub>。在此期间故障电流继续增大,因此传统MMC下,直流断路器以及相关的直流故障处理装置的故障电流处理能力应根据直流断路器的动作时间时的故障电流*i*<sub>FIGBT</sub>进行设置,从而增加了对设备的通流能力的要求,降低了直流故障处理能力的经济性与可靠性。

### 发明内容

[0005] 针对现有技术中针对直流故障处理能力不足的技术问题,本发明提出了一种基于IGCT的模块化多电平换流器及故障处理方法。

[0006] 一种基于IGCT的模块化多电平换流器,所述模块化多电平换流器具有多个桥臂,多个桥臂中的每个桥臂上设有一个或多个基于IGCT的半桥装置;

[0007] 所述半桥装置包括缓冲电路、多个IGCT开关器件,其中,

[0008] 所述多个IGCT开关器件级联连接,形成IGCT级联电路;

[0009] 所述缓冲电路与所述级联电路连接。

[0010] 进一步地:

[0011] 所述缓冲电路包括第一二极管、第一电容、第一电感和第一电阻,其中,

[0012] 所述第一电感的第一端与所述第一电阻的第一端连接,所述第一电感的第二端与所述第一二极管的阳极连接;所述第一二极管的阴极与所述第一电阻的第二端连接,所述第一电容的第一端与所述第一二极管的阴极连接;

[0013] 所述缓冲电路中所述第一二极管的阳极与所述IGCT级联电路中第一IGCT开关器件的阳极连接,所述缓冲电路中所述第一电容的第二端与所述IGCT级联电路中第二IGCT开关器件的阴极连接。

[0014] 进一步地,所述第二电容的第一端与所述缓冲电路中的所述第一电感的第一端连接,所述第二电容的第二端与所述缓冲电路中的第一电容的第二端连接。

[0015] 进一步地,所述多个IGCT开关器件中的每一个均反并联二极管。

[0016] 进一步地:

[0017] 所述第一连接端与所述多个IGCT开关器件中第一个IGCT开关器件的阴极连接;

[0018] 所述第二连接端与所述多个IGCT开关器件中第二个IGCT开关器件的阴极连接。

[0019] 进一步地,每个桥臂上的多个半桥装置以级联方式连接。

[0020] 一种对上述任一所述的基于IGCT的模块化多电平换流器进行故障处理的方法,所述方法包括:

[0021] 同时控制所述半桥装置中第一个IGCT开关器件断开、控制所述半桥装置中第二IGCT开关器件导通;

[0022] 在上述控制的同时,控制直流线路上的直流断路器断开。

[0023] 通过本发明的技术方案,降低了对设备的通流能力的要求,提高了直流故障处理能力的经济性与可靠性。本发明的其它特征和优点将在随后的说明书中阐述,并且,部分地从说明书中变得显而易见,或者通过实施本发明而了解。本发明的目的和其他优点可通过在说明书、权利要求书以及附图中所指出的结构来实现和获得。

## 附图说明

[0024] 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,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作一简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图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的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0025] 图1示出了根据现有技术的一种MMC系统结构示意图;

[0026] 图2示出了根据现有技术基于IGBT的SM结构示意图;

[0027] 图3示出了根据本发明实施例的利用IGCT浪涌电流能力的直流故障处理过程示意图;

[0028] 图4示出了根据本发明实施例的基于IGCT的SM结构示意图;

[0029] 图5示出了根据本发明实施例的IGCT动作后的短路故障处理过程等效电路示意图。

## 具体实施方式

[0030] 为使本发明实施例的目的、技术方案和优点更加清楚,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、完整地说明。显然,所描述的实施例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。

[0031] 如图4示出了根据本发明实施例的基于IGCT的SM结构示意图。

[0032] 所述SM模块包括级联的两个或多个IGCT开关器件,本发明实施例中以一个SM中含有两个IGCT开关器件为例进行示例性说明,但并不限于两个IGCT开关器件。如图4所示,IGCT开关器件 $S_{Xi1}$ 和IGCT开关器件 $S_{Xi2}$ 级联连接,即IGCT开关器件 $S_{Xi1}$ 的阴极与IGCT开关器件 $S_{Xi2}$ 的阳极连接。

[0033] 每个IGCT开关器件的阳极与阴极之间反并联二极管,以给反向的桥臂电流提供流通路径,来确保SM子模块的电流双向流通性。如图4所示,所述IGCT开关器件 $S_{Xi1}$ 反并联二极管 $D_{Xi1}$ :二极管 $D_{Xi1}$ 的阴极与所述IGCT开关器件 $S_{Xi1}$ 的阳极连接、二极管 $D_{Xi1}$ 的阳极与所述IGCT开关器件 $S_{Xi1}$ 的阴极连接;所述IGCT开关器件 $S_{Xi2}$ 反并联二极管 $D_{Xi2}$ :二极管 $D_{Xi2}$ 的阴极与所述IGCT开关器件 $S_{Xi2}$ 的阳极连接、二极管 $D_{Xi2}$ 的阳极与所述IGCT开关器件 $S_{Xi2}$ 的阴极连接。

[0034] 所述SM模块还包括缓冲电路,所述缓冲电路包括二极管 $D_{Xis}$ 、电容 $C_{Xis}$ 、电感 $L_{Xis}$ 和电阻 $R_{Xis}$ ,以抑制电路工作过程中产生的过电压或过电流,防止过电压或过电流对IGCT造成伤害,减小IGCT的开关损耗,改善其工作条件。如图4所示,所述电感 $L_{Xis}$ 的第一端与所述电阻 $R_{Xis}$ 的第一端连接,所述电感 $L_{Xis}$ 的第二端与所述二极管 $D_{Xis}$ 的阳极连接。所述二极管 $D_{Xis}$ 的阴极与所述电阻 $R_{Xis}$ 的第二端连接,所述电容 $C_{Xis}$ 的第一端与所述二极管 $D_{Xis}$ 的阴极连接。所述缓冲电路中所述二极管 $D_{Xis}$ 的阳极与所述IGCT开关器件 $S_{Xi1}$ 的阳极连接,所述电容 $C_{Xis}$ 的第二端与所述IGCT开关器件 $S_{Xi2}$ 的阴极连接。需要说明的是,在SM模块包括级联的三个或三个以上的IGCT开关器件时,所述二极管 $D_{Xis}$ 的阳极与级联的IGCT开关器件中的第一个IGCT开关器件的阳极连接,所述电容 $C_{Xis}$ 的第二端与级联的IGCT开关器件中的最后一个IGCT开关器件的阴极连接。

[0035] 所述SM模块还包括直流电容 $C_{Xi}$ ,所述直流电容 $C_{Xi}$ 的阳极与所述电感 $L_{Xis}$ 的第一端连接,所述直流电容 $C_{Xi}$ 的阴极与所述电容 $C_{Xis}$ 的第二端连接。需要说明的是,本发明实施例以有极性的电容为例进行示例性说明,但是所述直流电容 $C_{Xi}$ 并不限于有极性的电容,非有极性的电容同样可以适用于本发明实施例。

[0036] 所述SM模块还包括两个连接端,其中第一连接端在两个级联的IGCT开关器件之间,如图4所示,第一连接端与所述IGCT开关器件 $S_{Xi1}$ 的阴极连接,即也与所述IGCT开关器件 $S_{Xi2}$ 的阳极连接;第二连接端与最后一个IGCT开关器件的阴极连接,如图4所示,第二端与所述IGCT开关器件 $S_{Xi2}$ 的阴极连接。

[0037] 所述SM模块构建MMC时,通过SM模块的所述两个连接端实现多个SM模块的级联。如图5中,示例性地示出了三相电路的情况,在三相电路中具有6个桥臂,在图5的虚线框内示例性地示出了两个SM模块在其中一个桥臂上实现级联的连接方式。如图5所示,SM模块SM1的第二连接端与SM模块SM2的第一连接端连接,以实现两个SM模块的级联,并通过级联的SM模块中的第一个SM模块SM1的第一连接端、级联的SM模块中的第二个SM模块SM2的第二连接端而将级联的两个SM模块设置在其中的一个桥臂上。需要说明的是,虽然图5仅仅示意性地在六个桥臂中的一个桥臂上设置SM模块,但是本发明实施例中,各个桥臂均设有一个SM模块或者多个级联的SM模块。而对于两相电路,MMC中欧四个桥臂,在该四个桥臂上均设置SM模块或者设置多个级联的SM模块。

[0038] 本发明实施例的上述基于IGCT的SM应用于MMC电路结构中,能够利用IGCT的浪涌电流能力进行有效处理。本发明实施例中,结合附图3的过程示意图对直流故障的处理方法

进行介绍。

[0039] 如图3所示,该方法主要分为如下时间段:

[0040] 1)  $t_0$ 时刻:即直流故障发生时刻。假定在 $t_0$ 时刻,与MMC直流侧相连的直流线路发生短路故障,此时直流电流 $i_F$ 开始快速上升。

[0041] 2)  $t_1$ 时刻:即IGCT触发脉冲转换时刻。在 $t_1$ 时刻,系统检测到直流故障,立即控制IGCT开关器件 $S_{Xi1}$ 关断、IGCT开关器件 $S_{Xi2}$ 打开,此时基于IGCT的浪涌电流能力,半桥子模块SM的触发脉冲直接由稳态运行状态转换为IGCT开关器件 $S_{Xi2}$ 导通、IGCT开关器件 $S_{Xi1}$ 关断的旁路状态,其中在稳态运行情况下,触发脉冲控制所述 $S_{Xi1}$ 、 $S_{Xi2}$ 在导通与关断状态之间进行有规律的连续切换,而旁路状态下 $S_{Xi1}$ 导通、 $S_{Xi2}$ 关断。同时,由系统级控制器将控制直流断路器断开的信号发送至直流断路器以控制所述直流断路器断开,使得直流线路断路。但由于实际设备的动作需要延时,此时,直流断路器并未立刻断开,等效电路如图5所示。从图5中可知,在此操作下,基于IGCT的MMC的直流端口电势差将下降到零,直流故障电流停止上升,交流电网则相当于通过MMC的桥臂电抗发生三相短路。也就是说由于IGCT具有承受较大浪涌电流的能力,在IGCT子模块的动作时,直流断路器接收到动作信号到实际动作这段时间,流过直流断路器的故障电流并未上升,而是基本保持了 $t_1$ 的电流值,如图3中 $t_1$ - $t_2$ 之间的实线所示。

[0042] 3)  $t_2$ 时刻:即直流断路器实际动作时刻。从图3中可以看出,由于IGCT的动作,直流断路器的开断电流 $i_{FIGCT}$ 明显小于基于IGBT的传统方案的故障电流 $i_{FIGBT}$ ,从而极大的降低了对直流断路器以及其他直流故障处理设备的要求。

[0043] 需要说明的是:以上实施例仅用以说明本发明的技术方案,而非对其限制。同时,本发明的“第一”、“第二”等并非表示一种前后顺序,仅仅用于识别相关的单元、装置等。

[0044] 尽管参照前述实施例对本发明进行了详细的说明,本领域的普通技术人员应当理解:其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改,或者对其中部分技术特征进行等同替换;而这些修改或者替换,并不使相应技术方案的本质脱离本发明各实施例技术方案的精神和范围。

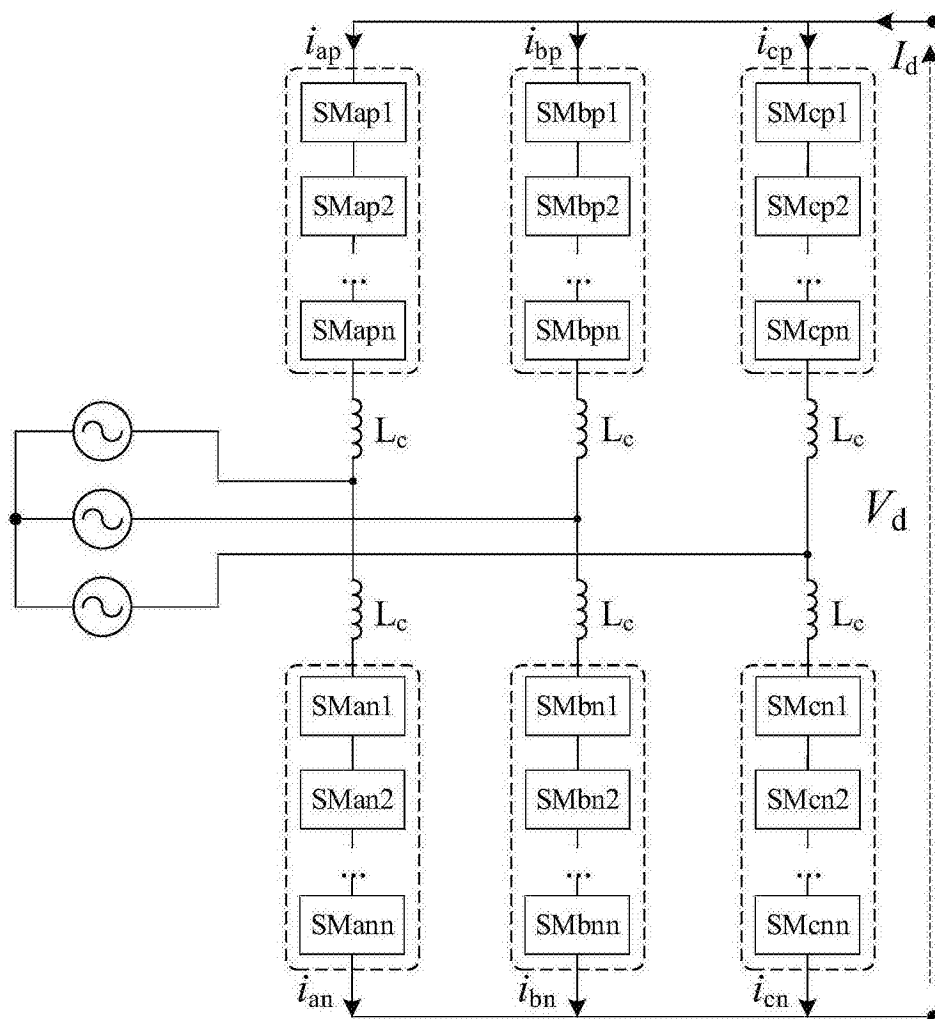


图1

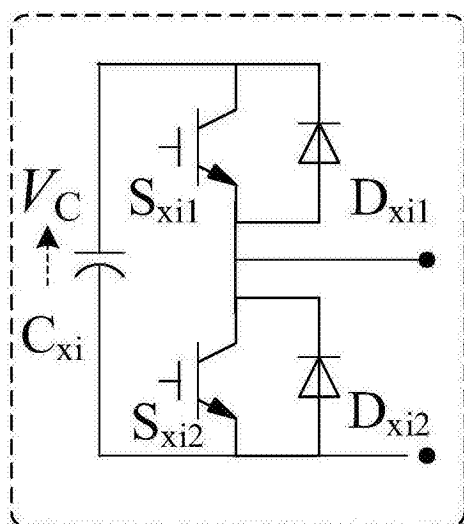


图2

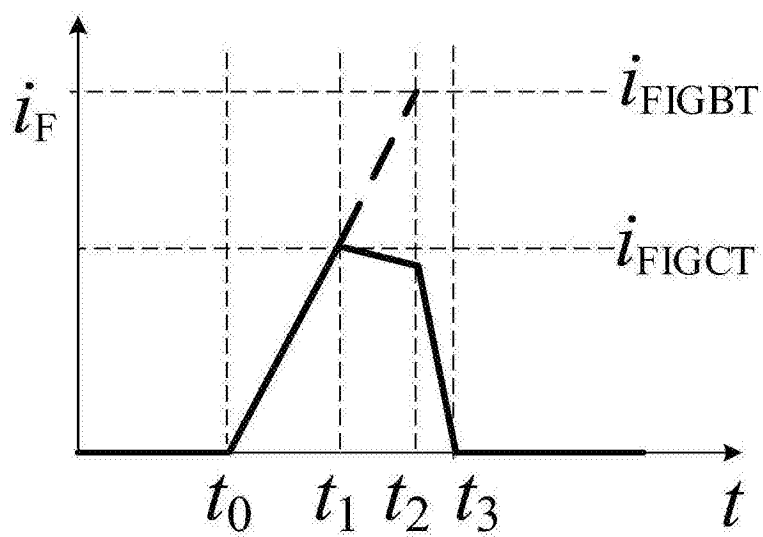


图3

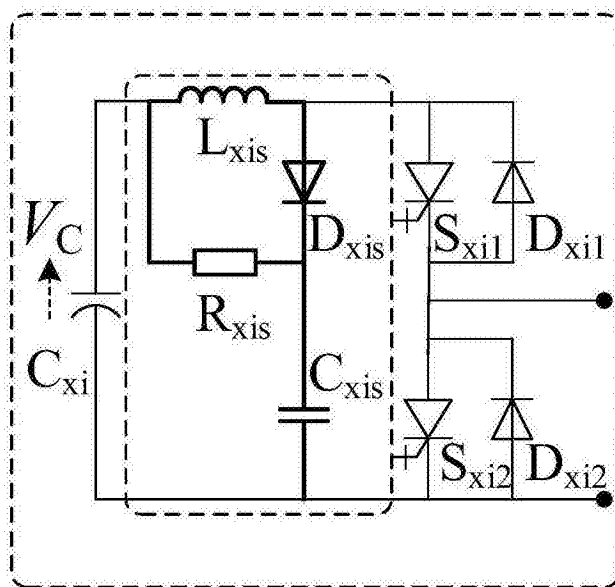


图4

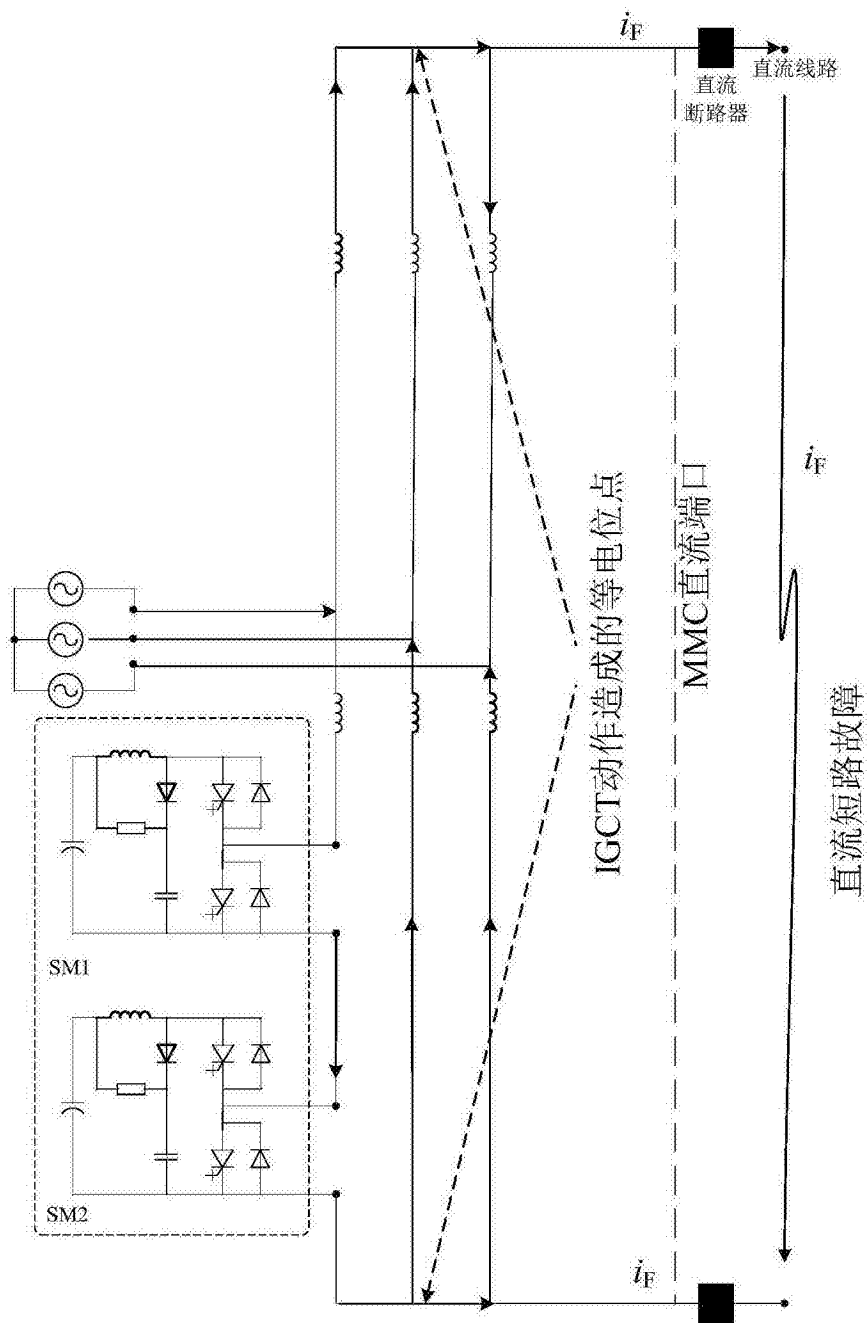


图5