



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105119511 B

(45)授权公告日 2018.01.09

(21)申请号 201510543349.4

(22)申请日 2015.08.28

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 105119511 A

(43)申请公布日 2015.12.02

(73)专利权人 国网江苏省电力公司扬州供电公司

地址 225009 江苏省扬州市维扬路179号

专利权人 国家电网公司

(72)发明人 王靓 吴志坚 李培培 沈飞
任洪强 徐欢欢 卜扬 陈国宇

(74)专利代理机构 扬州市苏为知识产权代理事务
所(普通合伙) 32283

代理人 周全

(51)Int.Cl.

H02M 7/483(2007.01)

H02H 7/122(2006.01)

(56)对比文件

CN 103944430 A,2014.07.23,

CN 103997232 A,2014.08.20,

CN 104009661 A,2014.08.27,

CN 204906215 U,2015.12.23,

US 2012068756 A1,2012.03.22,

US 2014092660 A1,2014.04.03,

审查员 韩朋乐

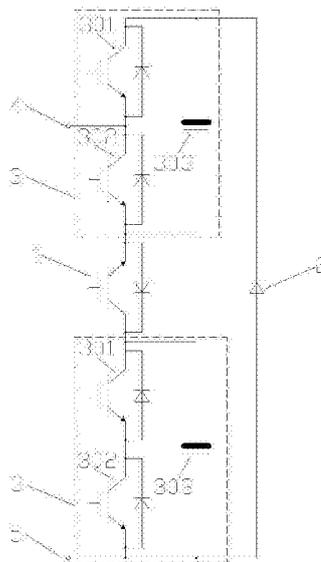
权利要求书1页 说明书5页 附图5页

(54)发明名称

一种具有直流侧故障阻断能力的MMC子模块
电路

(57)摘要

一种具有直流侧故障阻断能力的MMC子模块
电路。涉及电力系统保护控制领域。能完全地锁
闭短路电流,结构简单、所需器件少、集成度高。
包括两个半桥子模块、带反向并联二极管的功率
开关管一和二极管。半桥子模块一个与所述带反
向并联二极管的功率开关管一的发射极连接,另
一个与所述带反向并联二极管的功率开关管一
的集电极连接。二极管的负极与和带反向并联二
极管的功率开关管一的发射极连接的半桥子模
块中的带反向并联二极管的功率开关管二的集
电极连接,正极与另一个半桥子模块中的带反
向并联二极管的功率开关管三的发射极连接。产
品体积小,稳定性高;拓扑结构简单,成本低,易
实现;配置灵活,降低功耗;时能够断开直流侧,响
应迅速。



1. 一种具有直流侧故障阻断能力的MMC子模块电路,包括两个半桥子模块、带反向并联二极管的功率开关管一和二极管,半桥子模块包括带反向并联二极管的功率开关管二、带反向并联二极管的功率开关管三和稳压电容,带反向并联二极管的功率开关管二与带反向并联二极管的功率开关管三串联连接,稳压电容的正极端与所述带反向并联二极管的功率开关管二的集电极连接,负极端与带反向并联二极管的功率开关管三的发射极连接,带反向并联二极管的功率开关管二的发射极与带反向并联二极管的功率开关管三的集电极之间为子模块进线端;稳压电容的负极端为子模块出线端,

其特征在于,所述半桥子模块其中一个与所述带反向并联二极管的功率开关管一的发射极连接,另一个与所述带反向并联二极管的功率开关管一的集电极连接;

所述二极管的负极与和带反向并联二极管的功率开关管一的发射极连接的半桥子模块中的带反向并联二极管的功率开关管二的集电极连接,正极与另一个半桥子模块中的带反向并联二极管的功率开关管三的发射极连接,还包括N个用于扩容的半桥子模块,采用模块化制作多电平换流器将子模块相串联,避免了开关器件直接串联带来的分压不均衡的问题,而且MMC子模块电路通过均压策略来实现各个子模块之间的直流侧电压均衡,另外MMC子模块电路输出电平数增加到指定的数量,使得器件的开关频率降低。

2. 根据权利要求1所述的一种具有直流侧故障阻断能力的MMC子模块电路,其特征在于,包括进线端和出线端;

所述进线端与和带反向并联二极管的功率开关管一的发射极相连的半桥子模块的子模块进线端相同,出线端与和带反向并联二极管的功率开关管一的集电极相连的半桥子模块的子模块出线端相同。

3. 根据权利要求1所述的一种具有直流侧故障阻断能力的MMC子模块电路,其特征在于,N=1时,用于扩容的所述半桥子模块的子模块进线端与和带反向并联二极管的功率开关管一的集电极连接的半桥子模块的子模块进线端相连;

用于扩容的所述半桥子模块中稳压电容的负极端为新的出线端。

4. 根据权利要求3所述的一种具有直流侧故障阻断能力的MMC子模块电路,其特征在于,N=2时,新增用于扩容的所述半桥子模块的进线端与前一个用于扩容的半桥子模块的出线端相连;

新增加的所述半桥子模块中稳压电容的负极端为新的出线端。

5. 根据权利要求1所述的一种具有直流侧故障阻断能力的MMC子模块电路,其特征在于,所述稳压电容为电解电容。

一种具有直流侧故障阻断能力的MMC子模块电路

技术领域

[0001] 本发明涉及电力系统保护控制领域,尤其涉及一种具有直流侧故障阻断能力的MMC子模块电路。

背景技术

[0002] 传统以三相半桥为主电路的电能质量综合补偿装置输出电压电平数受到限制并且对负序电流的补偿能力有限,导致其最终的补偿结果并不能达到所要求的效果,并且其开关频率较高、损耗大。有时为了提高系统的耐压,需要多个开关器件串联分压,但这会带来开关器件动作一致性和均压等问题。

[0003] 国家知识产权局2015-5-13公布的一项发明专利申请(申请号:201410848005X名称:具有直流故障限流能力MMC换流器改进结构及隔离方法)公开了一种具有直流故障限流能力的MMC换流器,包括限流模块,可控开关,电阻和直流断路器。在直流侧发生故障时,通过快速、全面的故障限流,降低了对直流断路器的动作速度和切除容量的要求。其缺陷在于所需器件多样,耐压值低,直流断路器反应时间长,动作频率高,对器件损耗大。在直流侧短路时,由于二极管的续流作用,造成直流侧不能及时完全锁闭短路电流,需要与断路器配合实现直流侧电路断开。

发明内容

[0004] 本发明针对以上问题,提供了一种直流侧能够及时、完全地锁闭短路电流,且结构简单、所需器件少、集成度高的具有直流侧故障阻断能力的MMC子模块电路。

[0005] 本发明的技术方案是:

[0006] 包括两个半桥子模块、带反向并联二极管的功率开关管一和二极管,半桥子模块包括带反向并联二极管的功率开关管二、带反向并联二极管的功率开关管三和稳压电容,带反向并联二极管的功率开关管二与带反向并联二极管的功率开关管三串联连接,稳压电容的正极端与所述带反向并联二极管的功率开关管二的集电极连接,负极端与带反向并联二极管的功率开关管三的发射极连接,带反向并联二极管的功率开关管二的发射极与带反向并联二极管的功率开关管三的集电极之间为子模块进线端;稳压电容的负极端为子模块出线端,其特征在于,所述半桥子模块其中一个与所述带反向并联二极管的功率开关管一的发射极连接,另一个与所述带反向并联二极管的功率开关管一的集电极连接;

[0007] 所述二极管的负极与和带反向并联二极管的功率开关管一的发射极连接的半桥子模块中的带反向并联二极管的功率开关管二的集电极连接,正极与另一个半桥子模块中的带反向并联二极管的功率开关管三的发射极连接。

[0008] 包括进线端和出线端;

[0009] 所述进线端与和带反向并联二极管的功率开关管一的发射极相连的半桥子模块的子模块进线端相同,出线端与和带反向并联二极管的功率开关管一的集电极相连的半桥子模块的子模块出线端相同。

- [0010] 还包括N个用于增容的半桥子模块。
- [0011] N=1时,用于增容的所述半桥子模块的子模块进线端与和带反向并联二极管的功率开关管一的集电极连接的半桥子模块的子模块进线端相连;
- [0012] 用于增容的所述半桥子模块中稳压电容的负极端为新的出线端。
- [0013] N=2时,新增用于增容的所述半桥子模块的进线端与前一个用于增容的半桥子模块的出线端相连;
- [0014] 新增加的所述增容模块中稳压电容的负极端为新的出线端。
- [0015] 所述稳压电容为电解电容。
- [0016] 本发明采用功率开关管作为开关器件,集成度高,产品体积小,稳定性高;避免使用直流断路器,规避了直流断路器损耗大的问题;所需器件少,拓扑结构简单,控制算法难度降低;所需器件少,成本低,易实现;采用模块化制作,可以根据实际需要灵活配置,降低功耗;在电路故障时不需要配置直流断路器就能够断开直流侧,响应迅速,断开直流侧,进行故障隔离。

附图说明

- [0017] 图1是本发明的电路图,
- [0018] 图2是半桥子模块的电路图,
- [0019] 图3是N=1时本发明电路图,
- [0020] 图4是N=2时本发明电路图,
- [0021] 图5是本发明的仿真波形图,
- [0022] 图6是电流方向为正时电流的流通过程示意图,
- [0023] 图7是电流方向为负时电流的流通过程示意图,
- [0024] 图8是带反向并联二极管的功率开关管的结构示意图;
- [0025] 图中1是带反向并联二极管的功率开关管一,
- [0026] 2是二极管,
- [0027] 3是半桥子模块,
- [0028] 4是进线端,
- [0029] 5是出线端,
- [0030] 301是带反向并联二极管的功率开关管二,
- [0031] 302是带反向并联二极管的功率开关管三,
- [0032] 303是稳压电容(C1,C2,C3,C4),
- [0033] 304是子模块进线端,
- [0034] 305是子模块出线端。
- [0035] 3011是功率开关管(T1,T2,T3,T4,T5,T6,T7,T8,T9),
- [0036] 3012是二极管一(D1,D2,D3,D4,D5,D6,D7,D8,D9)。

具体实施方式

- [0037] 本发明如图1所示,包括两个半桥子模块3、带反向并联二极管的功率开关管一1和二极管2,半桥子模块1包括带反向并联二极管的功率开关管二301、带反向并联二极管的功

率开关管三302和稳压电容303,带反向并联二极管的功率开关管二301与带反向并联二极管的功率开关管三302串联连接,稳压电容303的正极端与所述带反向并联二极管的功率开关管二301的集电极连接,负极端与带反向并联二极管的功率开关管三302的发射极连接,带反向并联二极管的功率开关管二301的发射极与带反向并联二极管的功率开关管三302的集电极之间为子模块进线端304;稳压电容的负极端为子模块出线端305,其特征在于,所述半桥子模块3其中一个与所述带反向并联二极管的功率开关管一1的发射极连接,另一个与所述带反向并联二极管的功率开关管一1的集电极连接;

[0038] 所述二极管2的负极与和带反向并联二极管的功率开关管一1的发射极连接的半桥子模块3中的带反向并联二极管的功率开关管二301的集电极连接,正极与另一个半桥子模块中的带反向并联二极管的功率开关管三302的发射极连接。

[0039] 本发明有进线端4和出线端5。进线端4与和带反向并联二极管的功率开关管一1的发射极相连的半桥子模块3的子模块进线端304相同,出线端4与和带反向并联二极管的功率开关管一1的集电极相连的半桥子模块3的子模块出线端5相同。

[0040] 本发明采用模块化制作多电平换流器通过将子模块相串联,避免了开关器件直接串联带来的分压不均衡的问题,而且MMC易于通过相应的均压策略来实现各个子模块之间的直流侧电压均衡,另外MMC输出电平数理论上可以增加到指定的数量,使得器件的开关频率大大降低。相较于传统半桥子模块具有直流侧故障阻断能力,可避免MMC直流侧发生短路故障时不能闭锁故障电流的问题,从而提高了系统的稳定性。

[0041] 本发明能够根据实际使用情况增加N个用于增容的半桥子模块3。

[0042] 如图3所示,当 $N=1$ 时,用于增容的半桥子模块3的子模块进线端304与和带反向并联二极管的功率开关管一的集电极连接的半桥子模块3的子模块进线端304相连,用于增容的半桥子模块3中稳压电容的负极端为新的出线端5。

[0043] 如图4所示, $N=2$ 时,在 $N=1$ 的基础上增加了新的用于增容的半桥子模块3。新的半桥子模块3的子模块进线端304与第一个用于增容的半桥子模块3的子模块进线端304连接,新的半桥子模块3的子模块出线端305作为新的出线端3。以此类推,当 N 取3,4,5……的时候,每增加一个新的用于增容的半桥子模块3,新的用于增容的半桥子模块3的子模块进线端304都与前一个子模块进线端304相连接,同时新的半桥子模块3的子模块出线端305作为新的出线端5。

[0044] 为了及时、完全的锁闭短路电流流过半桥子模块,只需要使二极管2的两端电压值小于0即可。本发明中,当MCC发生直流侧短路故障时,带反向并联二极管的功率开关管一1、带反向并联二极管的功率开关管二301和带反向并联二极管的功率开关管三302都处于锁闭状态。在这种状态下无论电流处于正半周或者负半周,根据基尔霍夫定律可知,二极管2两端的电压值均小于0,所以本发明可以实现当直流侧短路故障时完全锁闭短路电流流过半桥子模块,从而起到了保护电路,延长使用寿命的作用。

[0045] 当MMC发生直流侧短路故障时,闭锁所有的开关管,研究此时故障电流在集成子模块中的流通过程是衡量直流故障穿越能力的关键。

[0046] 如图6所示,当流入集成子模块的电流方向为正时,电流的流通过程包括5个二极管一3012(D1、D3、D5、D6、D8)和4个电容(C1、C2、C3、C4)。

[0047] 如图7所示,当流过子模块的电流方向为负时,电流的流通过程包括5个二极管

(D2、D4、D7、D8、D9) 和2个电容 (C1、C2)。

[0048] 以A、C相为例,若直流侧发生故障,故障电流 $i > 0$ 时,故障电流流经10个二极管 (D1、D3、D5、D6、D8),8个电容 (C1、C2、C3、C4) 以及2个电抗器L。根据基尔霍夫电压定律,有

$$[0049] \quad u_{ac} = 10u_D + 8U_c + 2u_L \quad (1)$$

[0050] 式中: u_{ac} 为交流线电压的瞬时值; u_L 为电抗器两端电压瞬时值; u_D 为二极管的电压瞬时值; U_c 为子模块直流侧电压。

[0051] 由式(1)得

$$[0052] \quad u_D = \frac{1}{10}(u_{ac} - 8U_c - 2u_L) \quad (2)$$

[0053] 因此,为了能够阻断故障电流流过子模块,只要 $u_D < 0$ 即可实现。

[0054] 根据MMC的基本理论可知:

$$[0055] \quad U_{dc} = 4U_c \quad u_{ac} < 4U_c \quad (3)$$

[0056] 假设忽略电感电压 u_L 的影响,由式(2)可以得到能够阻断故障电流(即 $u_D < 0$)条件为

$$[0057] \quad u_{ac} < 8U_c \quad (4)$$

[0058] 根据式(3)可以得到, $u_{ac} < 4U_c < 8U_c$,所以可以从理论上证明上述方案的有效性。

[0059] 当集成子模块所含的传统半桥子模块的数量分别为2、3时,同样可以达到抑制直流侧故障电流的目的,因此为了降低成本,可以将2个或者3个半桥子模块做成一个集成子模块与4个半桥子模块构成的集成子模块配合使用。因为当集成子模块所含半桥子模块数为2或者3时,也同样可以达到阻断MMC直流短路故障的要求,但是此时集成子模块必须包含前两个半桥子模块、反方向开关管和反向二极管。另外,当集成子模块所含半桥子模块数大于4时,根据类似于半桥子模块数为4的分析,可以得出此时的集成子模块并不能满足阻断直流侧故障电流的条件。

[0060] 本发明中带反向并联二极管的功率开关管一1、带反向并联二极管的功率开关管二301和带反向并联二极管的功率开关管三302为全控型晶体管器件,优选采用绝缘栅双极型晶体管(IGBT)。绝缘栅双极型晶体管(IGBT)反应时间短,通断速度快,能够实现对故障电流迅速锁闭;驱动功率小,减少了整个电路的功耗,节约能源;热稳定性好,在高温环境下能稳定工作。

[0061] 工作人员就能根据实际使用情况灵活配置半桥子模块的数量,降低本发明在实际使用中的功耗,降低了生产成本。提高了控制效率。

[0062] 如图5所示,是本发明的仿真波形图。MMC系统模型的仿真参数为:直流侧电压为20kV,集成子模块中半桥子模块直流侧电压为1kV,直流侧电容为15mF。负载模型的仿真参数为:电阻为10 Ω ,电感值为65mH。

[0063] 在0.13s时,将MMC直流侧两极进行短路,并将所有带反向并联二极管的功率开关管的门极信号关断;在0.148s时,清除MMC的直流侧两极短路故障,并利用电网对MMC直流侧电容进行充电;在0.15s时,启动MMC并向所有的带反向并联二极管的功率开关管的门极发送触发信号。

[0064] 从仿真波形图上可以看出,在0.13s之前,MMC输出三相对称的电流波形,在0.13s到0.15s之间,由于MMC直流侧发生短路故障,集成子模块利用自身的阻断直流故障电流的

特性,使得在此期间,MMC桥臂电路和输出电流迅速降为0,避免了交流接触器动作的延时导致其未能切断故障电流,达到阻断直流侧故障的目的,且阻断效果好,反应迅速。

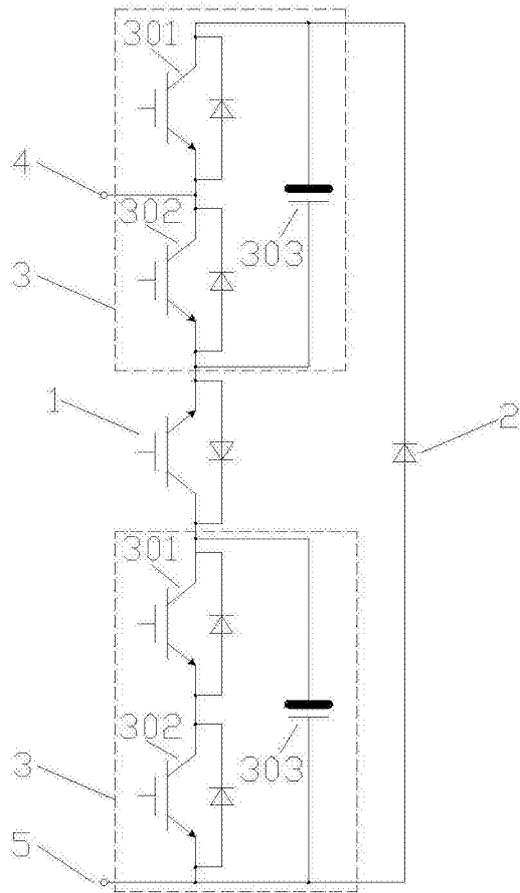


图1

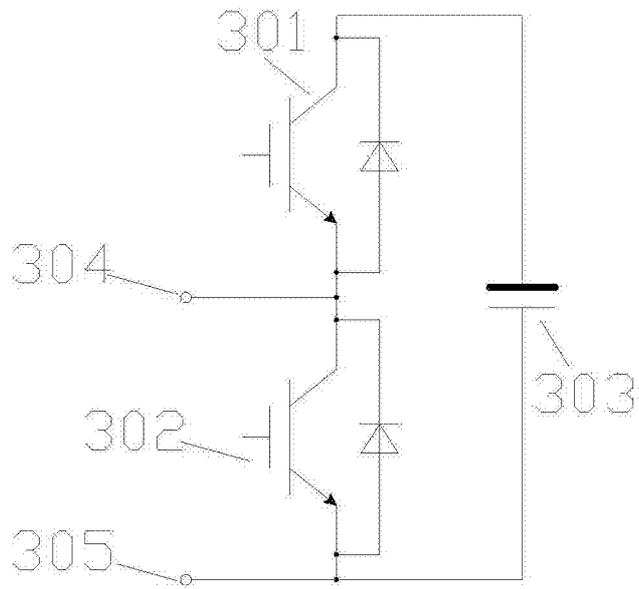


图2

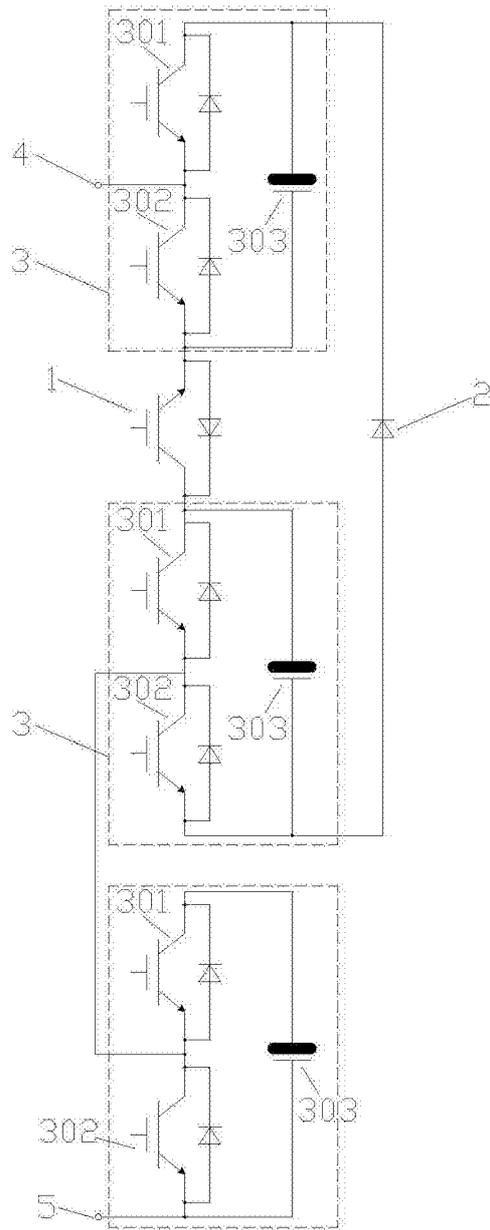


图3

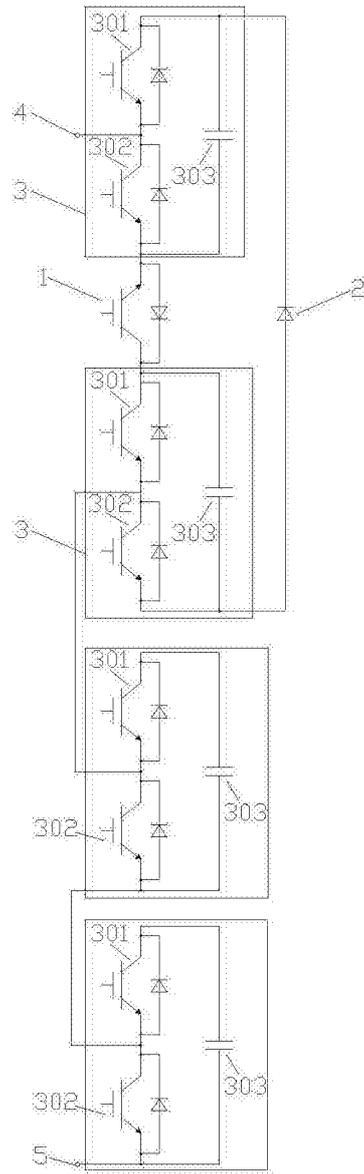


图4

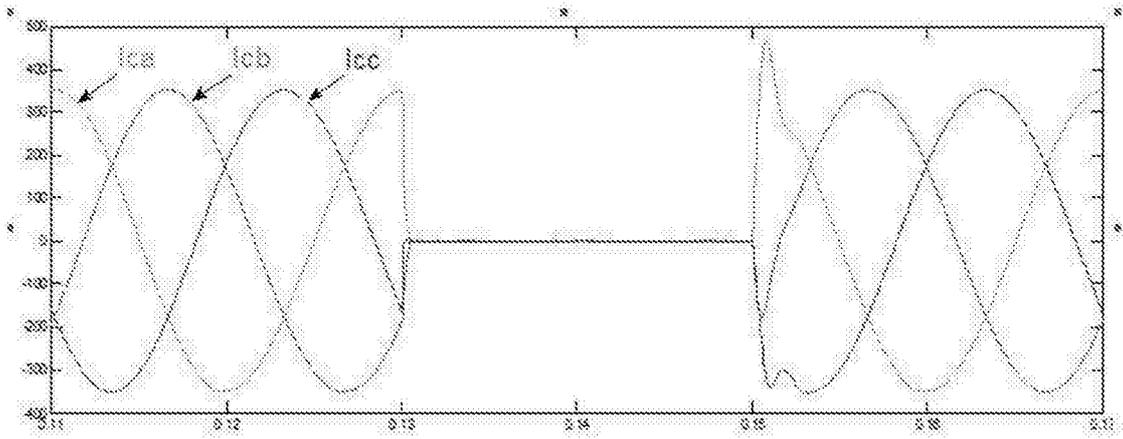


图5

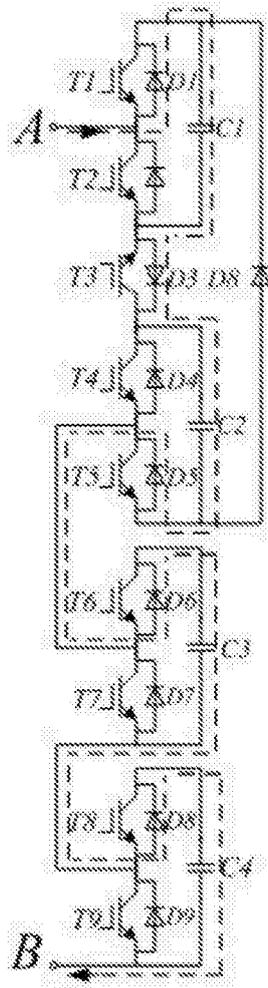


图6

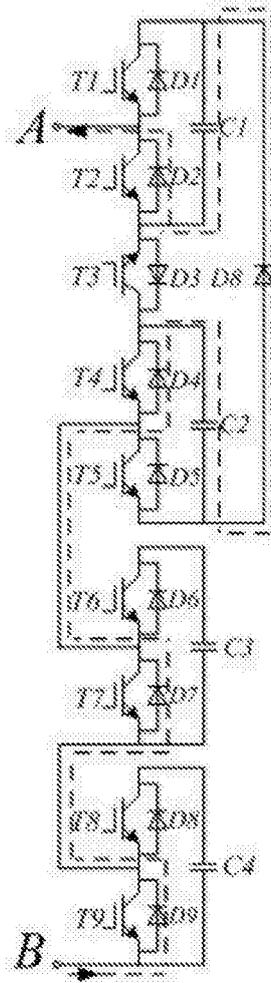


图7

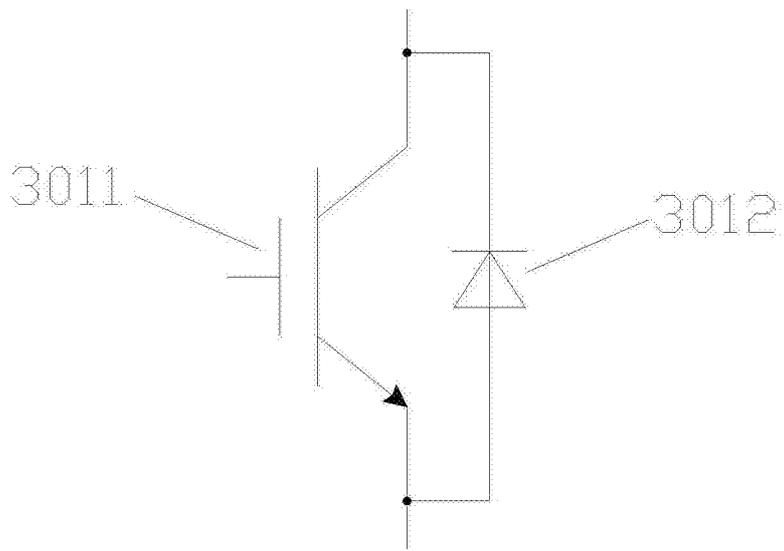


图8