



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107154741 B

(45)授权公告日 2019.06.07

(21)申请号 201710352810.7

H02J 3/32(2006.01)

(22)申请日 2017.05.18

(56)对比文件

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 107154741 A

CN 103545877 A,2014.01.29,
CN 103684014 A,2014.03.26,
CN 103560687 A,2014.02.05,
CN 102148579 A,2011.08.10,

(43)申请公布日 2017.09.12

戴珂等.改进型MMC-STATCOM的建模及分层控制.《电工技术学报》.2013,

(73)专利权人 北京交通大学
地址 100044 北京市海淀区上园村3号

戴珂等.改进型MMC-STATCOM的建模及分层控制.《电工技术学报》.2013,

(72)发明人 荆龙 王帅 吴学智 童亦斌
姜久春 张维戈

审查员 陈艺文

(74)专利代理机构 北京鸿元知识产权代理有限公司 11327

代理人 李琳 金英花

(51)Int.Cl.

H02M 7/00(2006.01)

H02M 7/483(2007.01)

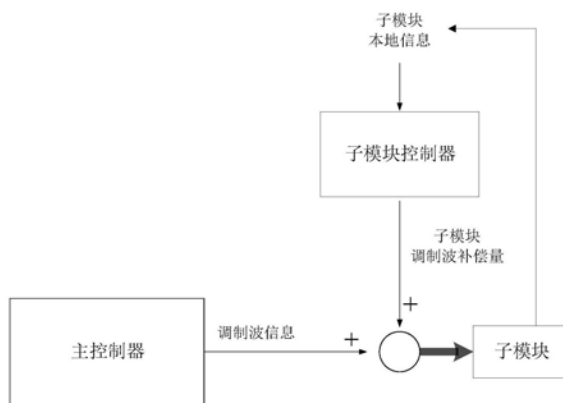
权利要求书1页 说明书6页 附图5页

(54)发明名称

一种基于MMC拓扑结构的控制系统及方法

(57)摘要

本发明公开了一种基于MMC拓扑结构的控制系统,包括主控制器和子模块控制器,其中,主控制器向子模块传输调制波信息,由子模块控制器根据子模块的本地信息得到子模块调制波补偿量,将子模块调制波补偿量与调制波信息叠加,实现对子模块的均衡控制。本发明简化了MMC系统内部的信息交换,降低了子模块均衡造成的通信压力以及主控制器的计算负担,节约成本。本发明还公开了一种基于MMC拓扑结构的控制方法,通过子模块控制器实现子模块均衡控制。



1. 一种基于MMC拓扑结构的控制系统,其特征在于,包括:

主控制器,用于向所述MMC拓扑结构中的子模块发送调制波信息;以及

子模块控制器,用于实时采集所述子模块的子模块均衡信息量和所述子模块所在桥臂的电流信息,结合所述子模块所在桥臂的电流信息对所述子模块均衡信息量进行调制得到子模块调制波补偿量,将所述子模块调制波补偿量与所述调制波信息进行叠加,从而对所述子模块进行均衡控制;

其中,所述子模块控制器对所述子模块均衡信息量进行调制包括相内下垂调制,所述相内下垂调制包括:根据预设的相内下垂比例系数、子模块均衡信息量以及所述子模块所在桥臂的电流信息,得到所述子模块的基频交流补偿量,作为相内下垂调制的子模块调制波补偿量,实现相内均衡。

2. 根据权利要求1所述的基于MMC拓扑结构的控制系统,其特征在于,所述子模块控制器分布于每个所述子模块中,所述子模块控制器是微型处理器。

3. 根据权利要求1所述的基于MMC拓扑结构的控制系统,其特征在于,所述MMC拓扑结构的子模块接入电容,所述子模块的子模块均衡信息量为所述子模块的电容电压信息。

4. 根据权利要求1所述的基于MMC拓扑结构的控制系统,其特征在于,所述MMC拓扑结构的子模块接入储能电池,所述子模块的子模块均衡信息量为所述储能电池的荷电状态信息。

5. 根据权利要求1所述的基于MMC拓扑结构的控制系统,其特征在于,所述子模块控制器对所述子模块均衡信息量进行调制还包括相间下垂调制,所述相间下垂调制包括:根据预设的相间下垂比例系数以及所述子模块均衡信息量,得到所述子模块的直流调制补偿电压,作为相间下垂调制的子模块调制波补偿量,实现相间均衡。

6. 根据权利要求1所述的基于MMC拓扑结构的控制系统,其特征在于,所述子模块控制器通过脉冲宽度调制来控制所述子模块中开关器件的闭合。

7. 一种基于MMC拓扑结构的控制方法,其特征在于,包括:

通过主控制器发送调制波信息至所述MMC拓扑结构的子模块;

通过子模块控制器实时采集所述子模块的子模块均衡信息量和所述子模块所在桥臂的电流信息,结合所述子模块所在桥臂的电流信息对所述子模块均衡信息量进行调制得到子模块调制波补偿量,将所述子模块调制波补偿量与所述调制波信息进行叠加,从而对所述子模块进行均衡控制;

其中,对所述子模块均衡信息量进行调制的方法包括相内下垂调制,所述相内下垂调制包括:根据预设的相内下垂比例系数、所述子模块均衡信息量以及所述子模块所在桥臂的电流信息,得到所述子模块的基频交流补偿量,作为相内下垂调制的子模块调制波补偿量,实现相内均衡。

8. 根据权利要求7所述的MMC拓扑结构的控制方法,其特征在于,

对所述子模块均衡信息量进行调制的方法还包括相间下垂调制,所述相间下垂调制包括:

根据预设的相间下垂比例系数以及所述子模块均衡信息量,得到所述子模块的直流调制补偿电压,作为相间下垂调制的子模块调制波补偿量,实现相间均衡。

一种基于MMC拓扑结构的控制系统及方法

技术领域

[0001] 本发明涉及电力系统运行和控制技术领域,具体地,涉及一种基于模块化多电平换流器(MMC,Modular Multilevel Converter)拓扑结构的控制系统及方法。

背景技术

[0002] 随着能源危机和环境污染问题的日益加剧,MMC凭借其更好的电能质量,更灵活的配置方案,更强大的冗余能力受到广泛关注和应用。这种变流器拓扑具备高度的模块化结构,具备很强的拓展能力,而被广泛应用于电机驱动、静止无功补偿器、电力牵引、电力电子变压器以及柔性直流输电系统中。除常规使用MMC用作高压直流输电的变换器拓扑(如图1所示),也可将MMC拓展为储能系统,用以提供功率补偿。

[0003] 图1是三相MMC系统拓扑结构示意图,如图1所示,每相包括上下两个桥臂,每个桥臂分别由一个桥臂电感 L 和 n 个子模块(上桥臂子模块 SM_{p1} 、 SM_{p2} …… SM_{pn} ,下桥臂子模块 SM_{n1} 、 SM_{n2} …… SM_{nn})级联形成,上下桥臂通过各自的桥臂电感 L 连接形成交流输出端。图2a是图1所示的MMC系统中子模块半桥结构示意图,如图2a所示,每个子模块SM包括串联的开关器件 T_1 和 T_2 ,且 T_1 和 T_2 分别反并联一个二极管 D_1 和 D_2 ,在 T_1 和 T_2 串联支路的两端并联一个电容器 C 。

[0004] 对于三相MMC储能系统拓扑结构,其与图1所示MMC系统的区别在于子模块直流侧是否接入了储能装置。图2b是MMC储能系统中子模块半桥结构示意图,其中, Bat 表示储能电池,代替电容器 C 并联于开关器件 T_1 和 T_2 串联支路的两端。

[0005] 传统的基于MMC拓扑结构的控制系统仅有主控制器,为保证MMC的正常运行,主控制器通常采用开环或闭环控制。对于MMC来说,集中式主控制器需要实现三个控制目标:环流控制、子模块均衡控制和功率电压控制。一般为了实现子模块的均衡控制(包括普通子模块电容电压均衡或储能子模块电池SOC均衡控制)需要采集子模块实时信息,具体地,控制子模块电容电压均衡需要采集子模块电容电压信息,控制储能子模块电池SOC均衡需要采集储能子模块电池SOC信息。图3是传统集中式主控制器数据传输示意图,如图3所示,将采集到的信息通过高速的信号传输线传送到总控制器,总控制器经过一系列计算、比较、控制器调节等环节,得到每个子模块调制波,再将调制信息快速传输到每个子模块。以上控制虽然可以有效的保证子模块均衡控制,但对于MMC少则几十个、多则几百个子模块的拓扑结构来说,对于信息传输的数量、速率以及总控制器的运算能力要求极高,大大增加了由于MMC控制子模块均衡造成的通信压力以及主控制器的计算负担。

发明内容

[0006] 鉴于以上问题,本发明的目的是提供一种基于MMC拓扑结构的控制系统及方法,简化了子模块与总控制器之间的信息交换,以解决现有MMC拓扑结构的控制系统由于子模块均衡控制造成的通信压力大以及主控制器的计算负担大的技术问题。

[0007] 为了实现上述目的,本发明的一个方面是提供一种基于MMC拓扑结构的控制系统,包括:

- [0008] 主控制器,用于向所述MMC拓扑结构中的子模块发送调制波信息;以及
- [0009] 子模块控制器,用于实时采集所述子模块的子模块均衡信息量和所述子模块所在桥臂的电流信息,结合所述子模块所在桥臂的电流信息对子模块均衡信息量进行调制得到子模块调制波补偿量,将子模块调制波补偿量与调制波信息进行叠加,从而对子模块进行均衡控制。
- [0010] 优选的,子模块控制器分布于每个子模块中,所述子模块控制器是微型处理器。
- [0011] 优选的,所述MMC拓扑结构的子模块接入电容,所述子模块的子模块均衡信息量为所述子模块的电容电压信息。
- [0012] 优选的,所述MMC拓扑结构的子模块接入储能电池,所述子模块的子模块均衡信息量为所述储能电池的荷电状态(SOC,State Of Charge)信息。
- [0013] 优选的,所述子模块控制器对所述子模块均衡信息量进行调制包括相内下垂调制,所述相内下垂调制包括:根据预设的相内下垂比例系数、子模块均衡信息量以及所述子模块所在桥臂的电流信息,得到所述子模块的基频交流补偿量,作为相内下垂调制的子模块调制波补偿量,实现相内均衡。
- [0014] 进一步地,优选的,所述子模块控制器对所述子模块均衡信息量进行调制还包括相间下垂调制,所述相间下垂调制包括:根据预设的相间下垂比例系数以及所述子模块均衡信息量,得到所述子模块的直流调制补偿电压,作为相间下垂调制的子模块调制波补偿量,实现相间均衡。
- [0015] 优选的,所述子模块控制器通过脉冲宽度调制(PWM调制,Pulse Width Modulation)来控制所述子模块中开关器件的闭合。
- [0016] 为了实现上述目的,本发明的另一方面提供一种基于MMC拓扑结构的控制方法,包括:
- [0017] 通过主控制器发送调制波信息至所述MMC拓扑结构的子模块;
- [0018] 通过子模块控制器实时采集所述子模块的子模块均衡信息量和所述子模块所在桥臂的电流信息,结合所述子模块所在桥臂的电流信息对所述子模块均衡信息量进行调制得到子模块调制波补偿量,将所述子模块调制波补偿量与所述调制波信息进行叠加,从而对所述子模块进行均衡控制。
- [0019] 优选的,对所述子模块均衡信息量进行调制的方法包括相内下垂调制,所述相内下垂调制包括:
- [0020] 根据预设的相内下垂比例系数、所述子模块均衡信息量以及所述子模块所在桥臂的电流信息,得到所述子模块的基频交流补偿量,作为相内下垂调制的子模块调制波补偿量,实现相内均衡。
- [0021] 进一步地,对所述子模块均衡信息量进行调制的方法还包括相间下垂调制,所述相间下垂调制包括:
- [0022] 根据预设的相间下垂比例系数以及所述子模块均衡信息量,得到所述子模块的直流调制补偿电压,作为相间下垂调制的子模块调制波补偿量,实现相间均衡。
- [0023] 与现有技术相比,本发明具有以下优点和有益效果:
- [0024] 本发明利用子模块控制器和主控制器代替传统的集中式主控制器,由子模块控制器利用子模块的本地信息实现子模块的均衡控制,减少了子模块与总控制器之间的通信数

量,避免了子模块均衡造成的通信压力以及总控制器的计算负担,降低MMC拓扑结构系统对通信线路以及总控制器计算能力的要求,降低成本,简化控制,节省设备投资。

[0025] 本发明可以在传统的MMC系统中实现子模块电容电压均衡控制,也可以在MMC储能系统中实现子模块电池SOC均衡控制。

附图说明

- [0026] 图1是三相MMC系统拓扑结构示意图;
- [0027] 图2a是图1所示的MMC系统中子模块半桥结构示意图;
- [0028] 图2b是MMC储能系统拓扑结构中子模块半桥结构示意图;
- [0029] 图3是传统集中式主控制器数据传输示意图;
- [0030] 图4是本发明基于MMC拓扑结构的控制系统示意图;
- [0031] 图5是本发明基于MMC拓扑结构的控制系统数据传输示意图;
- [0032] 图6是本发明所述子模块控制器控制框图;
- [0033] 图7是本发明子模块相内下垂曲线示意图;
- [0034] 图8是本发明子模块相间下垂曲线示意图。

具体实施方式

[0035] 下面将参考附图来描述本发明所述的实施例。本领域的普通技术人员可以认识到,在不偏离本发明的精神和范围的情况下,可以用各种不同的方式或其组合对所描述的实施例进行修正。因此,附图和描述在本质上是说明性的,而不是用于限制权利要求的保护范围。此外,在本说明书中,附图未按比例画出,并且相同的附图标记表示相同的部分。

[0036] 以三相MMC系统拓扑结构为例,结合图4至图8详细说明本发明实施例。

[0037] 图4是本发明基于MMC拓扑结构的控制系统示意图,如图4所示,本发明所述基于MMC拓扑结构的控制系统包括主控制器和子模块控制器。

[0038] 其中,主控制器用于实现所述MMC拓扑结构的环流控制和功率电压控制,子模块控制器用于实现所述MMC拓扑结构的均衡控制。本发明仅针对均衡控制进行描述。其中,主控制器用于向所述MMC拓扑结构中的子模块发送调制波信息;子模块控制器,优选为微型处理器,用于实时采集所述MMC拓扑结构中子模块的子模块均衡信息量和子模块所在桥臂的电流信息,并结合子模块所在桥臂电流信息对子模块均衡信息量进行调制得到子模块调制波补偿量,将子模块调制波补偿量与调制波信息进行叠加,从而对子模块进行均衡控制。其中,子模块均衡信息量和子模块所在桥臂的电流信息为子模块本地的信息,而不需要主控制器的参与。

[0039] 优选地,子模块控制器分布于每个子模块中,使得子模块无需与外界进行信息传输,只需采集子模块的本地信息,仅在子模块中即可实现子模块的均衡控制。

[0040] 其中,MMC拓扑结构可以是如图1所示的三相MMC系统拓扑结构示意图,子模块接入普通电容,此时,子模块的本地信息包括子模块的电容电压信息和子模块所在桥臂的电流信息(其中,子模块所在桥臂的电流信息包括桥臂电流方向、幅值和相位信息),将子模块控制器采集到的子模块电容电压信息作为子模块均衡信息量,以保证子模块电压均衡。MMC拓扑结构也可以是如图1所示的三相MMC储能系统拓扑结构示意图,子模块接入储能电池,此

时,子模块的本地信息包括子模块的储能电池SOC信息和子模块所在桥臂的电流信息(其中,子模块所在桥臂的电流信息包括桥臂电流方向、幅值和相位信息),将子模块控制器采集到的子模块储能电池SOC信息作为子模块均衡信息量,以保证子模块的SOC均衡。

[0041] 需要说明的是,MMC拓扑结构可以是只有一个上桥臂和一个下桥臂的单相MMC系统,也可以是多相多桥臂的MMC系统。MMC拓扑结构的子模块可以是半桥、全桥或混合型子模块。

[0042] 图5是本发明基于MMC拓扑结构的控制系统数据传输示意图,如图5所示,在本发明控制系统中的传输信息,只有主控制器发送至子模块的调制波信息,由子模块控制器根据子模块的本地信息和调制波信息进行子模块均衡控制,极大地减少了MMC系统内部的信息交换,避免了由于子模块均衡控制造成的通信压力以及主控制器的计算负担,节约成本,简化控制,节省投资。

[0043] 图6是本发明所述子模块控制器控制框图,如图6所示,以基于多相多桥臂的MMC系统拓扑结构的控制系统为例进行说明,子模块控制器对子模块均衡信息量的调制可以分为相内下垂调制和相间下垂调制,图6中 u_j 表示调制波信息, i_{pj} 、 i_{nj} 分别表示j相上、下桥臂电流信息(包括电流幅值和相位信息),简化为 $i_{p(n)j}$ 。

[0044] 子模块控制器通过相内下垂调制对子模块均衡信息量进行调制,实现相内均衡。具体地,相内下垂调制包括:预先设置相内下垂比例系数 k_1 ,根据子模块控制器采集子模块的本地信息(其中,子模块的本地信息包括子模块所在桥臂的电流信息,以及电容电压信息或储能电池SOC信息),并将子模块本地信息中的电容电压信息或储能电池SOC信息作为子模块均衡信息量 sm_{jk} ,将子模块均衡信息量 sm_{jk} 与子模块信息的给定值 sm^* 相比较,得到两者的差值,并结合子模块所在桥臂的电流信息,根据相内下垂控制方程式(1),得到子模块的基频交流补偿量,作为相内下垂调制的子模块调制波补偿量,实现相内均衡。

[0045] 图7是本发明子模块相内下垂曲线示意图,如图7所示,以基于MMC储能系统拓扑结构的子模块均衡控制为例,横坐标 ΔSOC 表示根据子模块本地信息得到的子模块均衡信息量 sm_{jk} 与 sm^* 的差值,根据相内下垂控制方程式(1),将预先设置的相内下垂比例系数 k_1 与横坐标 ΔSOC 相乘得到纵坐标 K (K 仅作为相内下垂比例系数 k_1 与横坐标 ΔSOC 相乘得到的数值,并无具体含义),再乘以子模块所在桥臂的电流信息,得到子模块的基频交流补偿量,作为相内下垂调制的子模块调制波补偿量,实现相内均衡。

$$[0046] \quad \begin{cases} \Delta u_{1p_jk} = k_1 i_{pj} (sm_{jk} - sm^*) \\ \Delta u_{1n_jk} = k_1 i_{nj} (sm_{jk} - sm^*) \end{cases} \quad (1)$$

[0047] 式中: Δu_{1p_jk} 、 Δu_{1n_jk} 分别表示相内下垂调制的j相上、下桥臂子模块的调制波补偿量; k_1 表示相内下垂比例系数,即图7中相内下垂曲线的斜率; i_{pj} 、 i_{nj} 表示j相上、下桥臂的桥臂电流; sm_{jk} 表示j相第k个子模块的均衡信息量, $k=1,2,\dots,n,\dots,2n-1,2n$; sm^* 表示子模块信息的给定值。

[0048] 将子模块的基频交流补偿量与调制波信息进行叠加,从而对子模块进行均衡控制。

[0049] 进一步地,子模块控制器对子模块均衡信息量进行调制还包括相间下垂调制。具体地,相间下垂调制包括:预先设置相间下垂比例系数 k_2 ,根据子模块控制器采集的子模块

本地信息,将子模块本地信息中的电容电压信息或储能电池SOC信息作为子模块均衡信息量 sm_{jk} ,将子模块均衡信息量 sm_{jk} 与子模块信息的给定值 sm^* 相比较,得到两者的差值,根据相间下垂控制方程式(2)得到子模块的直流调制补偿电压,作为相间下垂调制的子模块调制波补偿量,实现相间均衡。

[0050] 图8是本发明子模块相间下垂曲线示意图,以基于MMC储能系统拓扑结构的子模块均衡控制为例,横坐标 ΔSOC 表示根据子模块本地信息得到的子模块均衡信息量 sm_{jk} 与 sm^* 的差值,根据相间下垂控制方程式(2),将预先设置的相间下垂比例系数 k_2 与横坐标 ΔSOC 相乘得到纵坐标 U_d , U_d 即表示每个子模块调制波叠加的直流调制补偿电压,作为子模块的调制波补偿量,实现相间均衡。

$$[0051] \quad \Delta u_{2_jk} = k_2 (sm_{jk} - sm^*) \quad (2)$$

[0052] 式中: Δu_{2_jk} 表示相间下垂控制的子模块的调制波补偿量; k_2 表示相间下垂比例系数,即图8中相间下垂曲线的斜率; sm_{jk} 表示j相第k个子模块的均衡信息量, $k=1,2,\dots,n,\dots,2n-1,2n$; sm^* 表示子模块信息的给定值。

[0053] 将子模块的直流调制补偿电压与上述基频交流补偿量均作为子模块调制波补偿量,同时与主控制器发送至子模块的调制波信息进行叠加,从而实现对于子模块的均衡控制。优选地,子模块控制器通过载波移相脉宽调制控制子模块中开关管器件的闭合。

[0054] 需要说明的是,在本发明中,并未对相内下垂比例系数 k_1 和相间下垂比例系数 k_2 做出具体限定,相内下垂比例系数 k_1 和相间下垂比例系数 k_2 的数值的范围均根据具体MMC拓扑结构而设置。

[0055] 由于子模块参数信息基本一致,所以,所有子模块的相内下垂比例系数 k_1 基本相同,所有子模块的相间下垂比例系数 k_2 基本相同,而 k_1 和 k_2 并不相同。

[0056] 上述以多相多桥臂的MMC系统拓扑结构为例说明本发明的控制系统,而本发明并不限于此,同样适用于基于只有一个上桥臂和一个下桥臂的单相MMC系统拓扑结构的控制,而对于单相MMC系统,只需通过相内下垂调制子模块均衡信息量,即可实现子模块的均衡控制。

[0057] 本发明的另一个方面是提供一种基于MMC拓扑结构的控制方法,包括:

[0058] 通过主控制器发送调制波信息至所述MMC拓扑结构的子模块;

[0059] 通过子模块控制器实时采集子模块的子模块均衡信息量和子模块所在桥臂的电流信息,结合子模块所在桥臂的电流信息对子模块均衡信息量进行调制得到子模块的调制波补偿量,将调制波补偿量与调制波信息叠加,从而对子模块进行均衡控制。

[0060] 优选地,对子模块均衡信息量进行调制的方法包括相内下垂调制,具体地,根据预设的相内下垂比例系数、子模块均衡信息量以及子模块所在桥臂的电流信息,得到子模块的基频交流补偿量,作为相内下垂调制的子模块调制波补偿量,实现相内均衡。

[0061] 进一步地,对于基于多相多桥臂MMC拓扑结构的控制系统,对子模块均衡信息量进行调制的方法还包括相间下垂调制,具体地,根据预设的相间下垂比例系数以及子模块均衡信息量,得到子模块的直流调制补偿电压,作为相间下垂调制的子模块调制波补偿量,实现相间均衡。

[0062] 将上述基频交流补偿量与直流调制补偿电压同时与主控制器发送的调制波信息叠加,实现子模块的均衡控制。

[0063] 综上所述,本发明利用主控制器与子模块控制器代替集中式主控制器,主控制器只需实现MMC拓扑结构的环流控制和功率电压控制,由子模块控制器实现MMC拓扑结构的子模块均衡控制,大大简化了子模块与主控制器的信息交换。由主控制器发送调制波信息至子模块,由子模块控制器根据采集的子模块本地信息得到子模块均衡信息量,并对子模块均衡信息量进行调制得到子模块的调制波补偿量,并将调制波补偿量与调制波信息叠加,从而实现对子模块的均衡控制。在子模块控制器控制部分,引入下垂调制,可分为相内下垂调制和相间下垂调制,结合相内下垂控制方程和相间下垂控制方程分别得到调制波补偿量,并将两者的补偿量同时与子模块的调制波信息叠加,实现子模块的均衡控制。

[0064] 子模块只需采集本地信息即可,大大减少子模块与主控制器之间的信息传输,降低主控制器计算压力和信息传输压力,简化控制。

[0065] 以上所述仅为本发明的优选实施例,并不用于限制本发明,对于本领域的技术人员来说,本发明可以有各种更改和变化。凡在本发明的精神和原则之内,所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

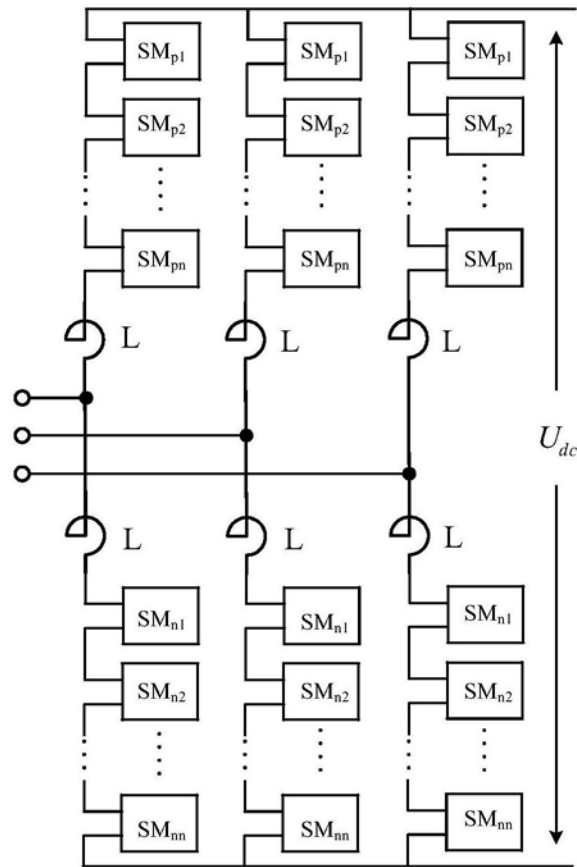


图1

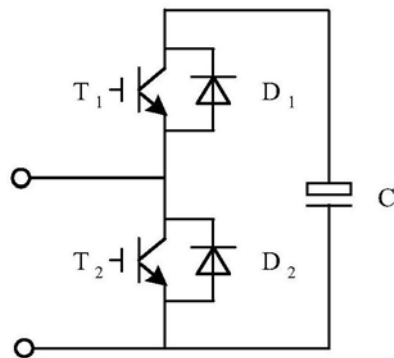


图2a

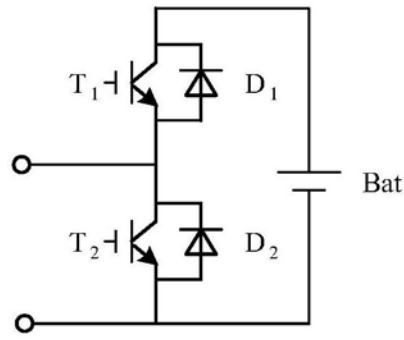


图2b

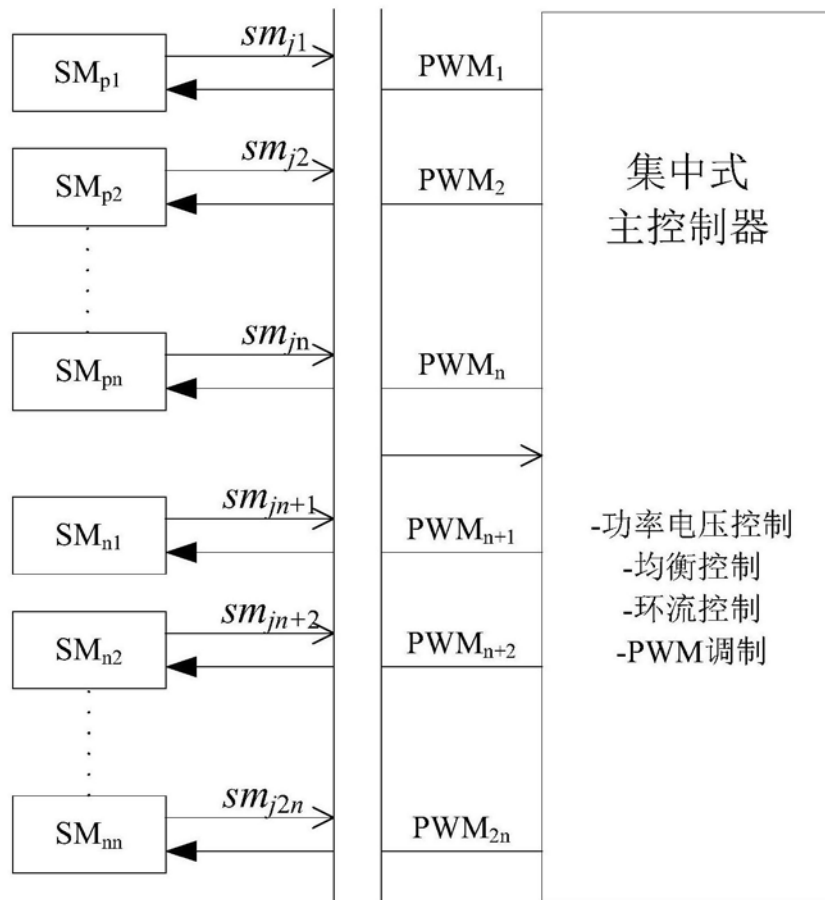


图3

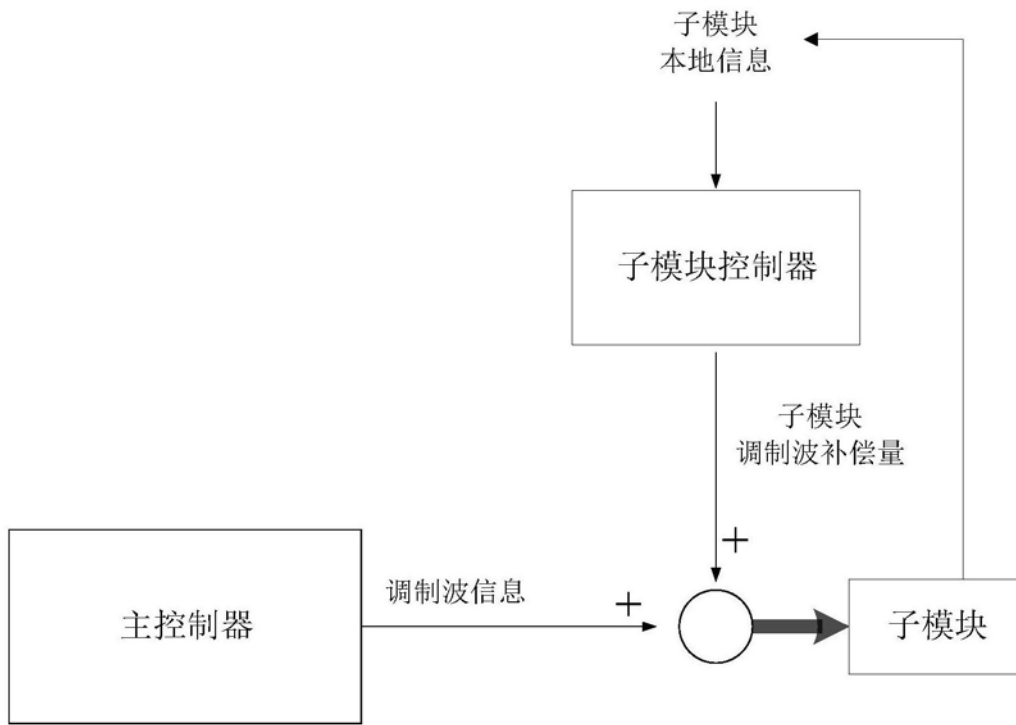


图4

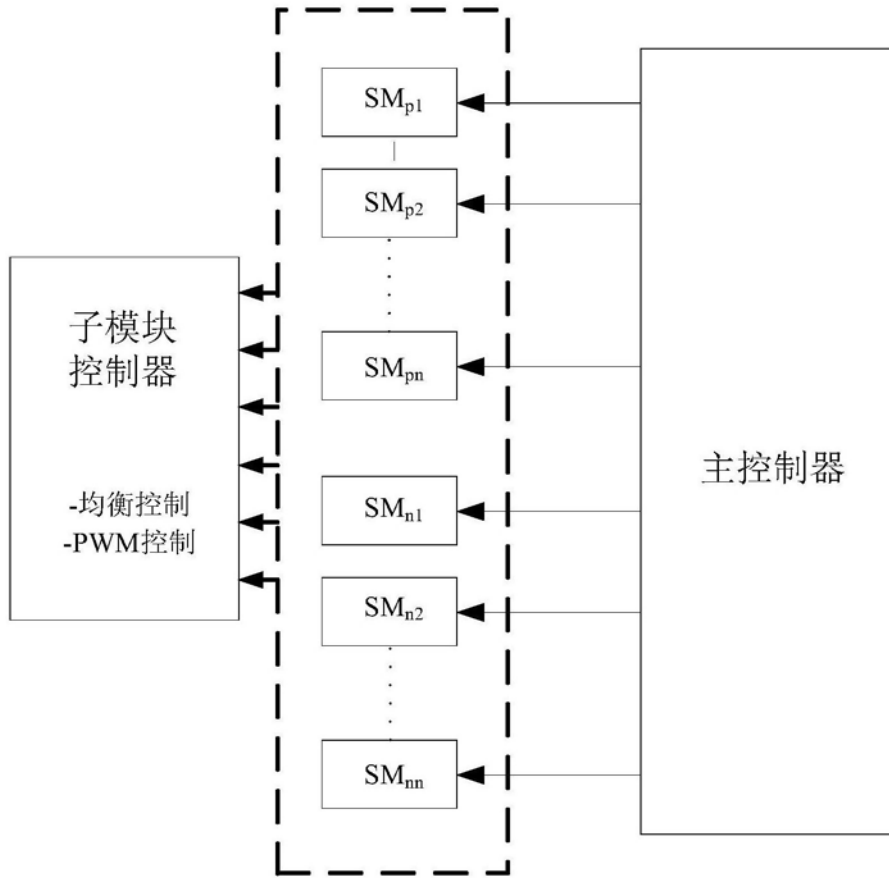


图5

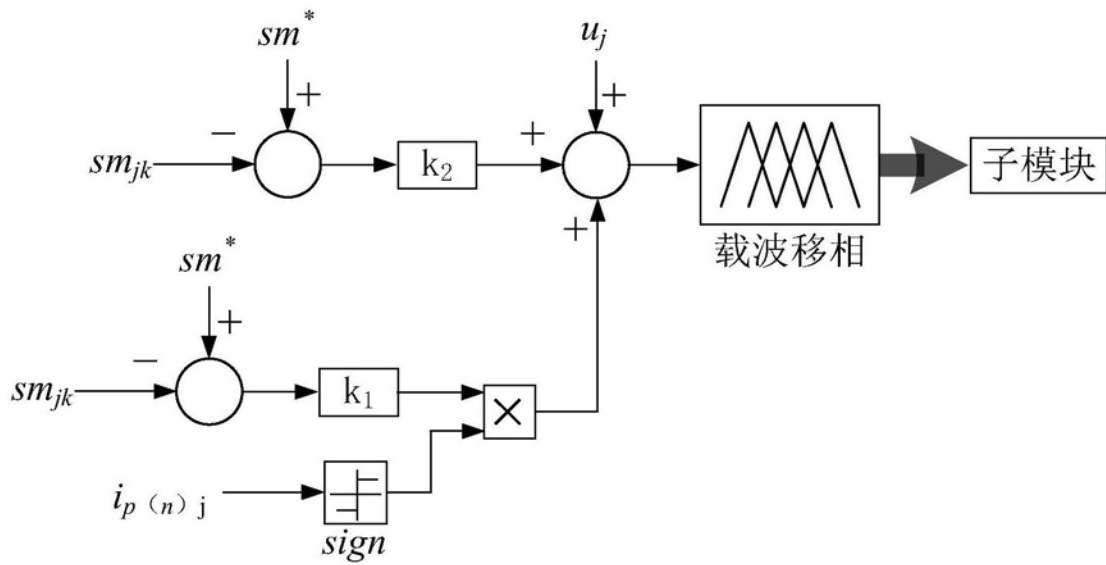


图6

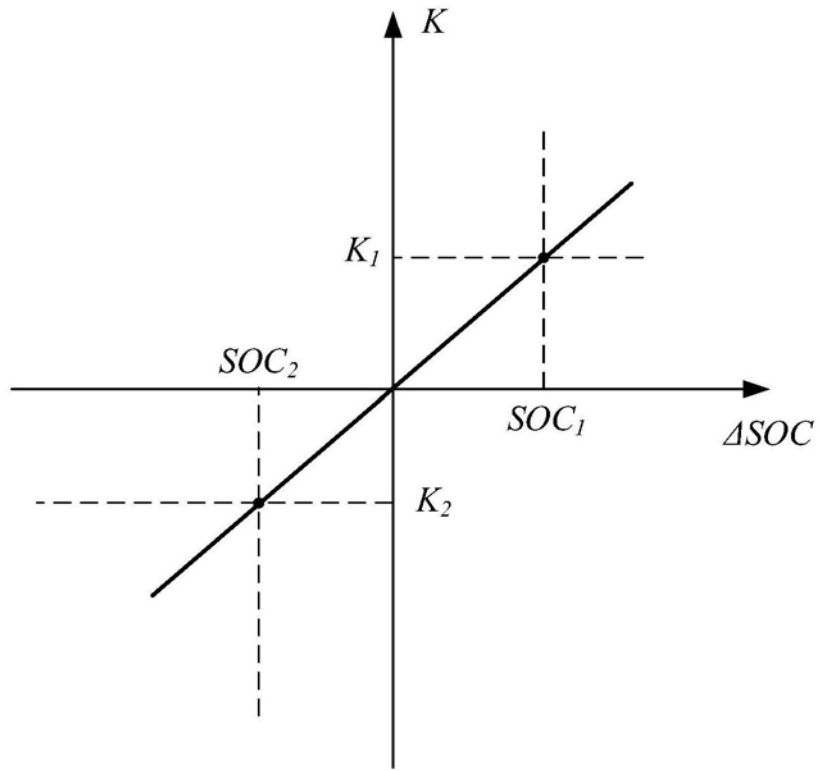


图7

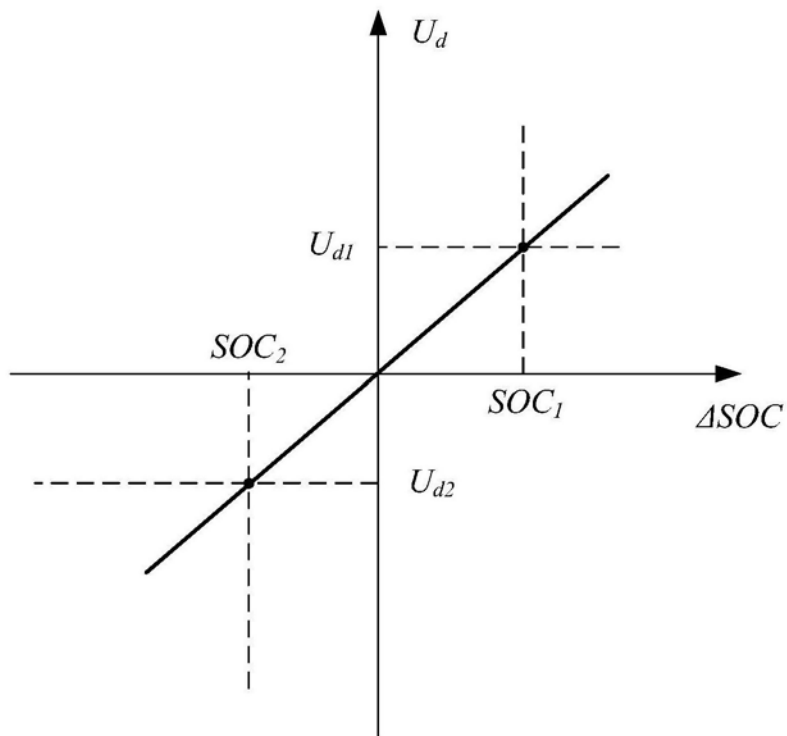


图8