



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106357141 A

(43)申请公布日 2017.01.25

(21)申请号 201610865144.2

(22)申请日 2016.09.29

(71)申请人 国网青海省电力公司经济技术研究院

地址 810000 青海省西宁市新宁路14号国

网青海省电力公司经济技术研究院

申请人 华中科技大学

(72)发明人 徐克成 路茂增 苗淼 张祥成
田旭 白左霞 靳宝宝

(74)专利代理机构 华中科技大学专利中心

42201

代理人 廖盈春

(51)Int.Cl.

H02M 7/483(2007.01)

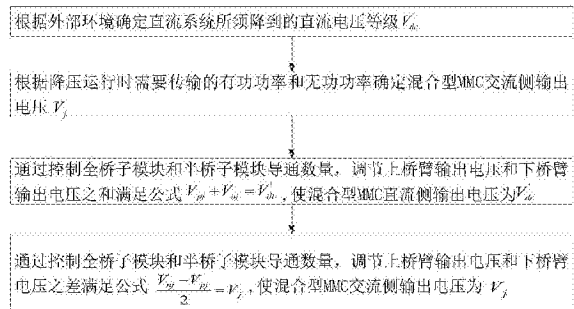
权利要求书1页 说明书6页 附图5页

(54)发明名称

一种基于混合型MMC的HVDC系统的降压运行方法

(57)摘要

本发明公开了一种基于混合型MMC的HVDC系统的降压运行方法,由于混合型MMC中存在全桥子模块,使其桥臂能输出负电压,实现混合型MMC交流侧电压灵活可控,通过调节上下桥臂输出电压之和,实现调节混合型MMC直流侧输出电压,调节上下桥臂输出电压之差,实现调节混合型MMC输出的交流内电势,即调节混合型MMC交流侧输出电压,实现调节混合型MMC传输的有功功率和向交流电网交换的无功功率,保证交直流系统的安全稳定运行,同时,在降压运行期间,通过向混合型MMC桥臂注入低频环流,解决半桥子模块在较低直流电压下输出较大有功功率时无法均压的问题,扩大了低直流电压下混合型MMC的运行范围,使其能够传输更多有功功率。



1. 一种基于混合型MMC的HVDC系统的降压运行方法,所述混合型MMC的上桥臂包含多个全桥子模块和多个半桥子模块,下桥臂包括多个全桥子模块和多个半桥子模块,其特征在于,包括以下步骤:

(1)根据外部环境确定直流系统所需降到的直流电压等级 V'_{dc} ;

(2)根据降压运行时需要传输的有功功率和无功功率确定混合型MMC交流侧输出电压 V_j ;

(3)通过控制全桥子模块和半桥子模块导通数量,调节上桥臂输出电压和下桥臂输出电压之和满足公式 $V_{nj}+V_{pj}=V'_c$,使混合型MMC直流侧输出电压为 V'_{dc} ,

(4)通过控制全桥子模块和半桥子模块导通数量,调节上桥臂输出电压和下桥臂输出电压之差满足公式 $\frac{V_{nj}-V_{pj}}{2}=V_j$,使混合型MMC交流侧输出电压为 V_j ;

式中, V'_{dc} 为降压运行时混合型MMC直流侧输出电压, V_j 为降压运行时混合型MMC交流侧输出电压, V_{pj} 为混合型MMC中连接交流电j相的上桥臂输出电压, V_{nj} 为混合型MMC中连接交流电j相的下桥臂输出电压, $j=a,b,c$,且 a,b,c 代表A,B,C相。

2. 根据权利要求1中所述降压运行方法,其特征在于,在步骤(4)之后还包括如下步骤:

(5)若 $V'_{dc} \leq V_j$,则向混合型MMC的上桥臂和下桥臂中注入低频环流,否则,不向混合型MMC的上桥臂和下桥臂中注入低频环流;

V'_{dc} 为降压运行时混合型MMC直流侧输出电压, V_j 为降压运行时混合型MMC交流侧输出电压。

3. 根据权利要求2中所述降压运行方法,其特征在于,采用共模电压注入法向混合型MMC的上桥臂和下桥臂注入低频环流。

4. 根据权利要求2中所述降压运行方法,其特征在于,所述低频环流的频率为15Hz~25Hz。

5. 根据权利要求2中所述降压运行方法,其特征在于,所述低频环流的大小为

$$I_{lim} + \frac{P}{3V'_{dc}} - \frac{\sqrt{P^2+Q^2}}{3V_{sm}} > I_c > \frac{P}{3V'_{dc}} - \frac{\sqrt{P^2+Q^2}}{3V_{sm}},$$

式中, P 为混合型MMC输出的有功功率, Q 为混合型MMC输出的无功功率, V_{sm} 为交流侧电压幅值, I_c 为低频环流的幅值, V'_{dc} 为降压运行后的混合型MMC直流侧输出电压, I_{lim} 为所有桥臂中开关管的最大通流能力。

一种基于混合型MMC的HVDC系统的降压运行方法

技术领域

[0001] 本发明属于多电平电力电子变换器技术领域,更具体地,涉及一种基于混合型MMC的HVDC系统的降压运行方法。

背景技术

[0002] 在极端天气情况下,如雷暴,暴雨,暴风雪等,直流输电系统需要降低直流侧电压以降低发生线路故障的概率。但是,由于电压调制比的制约,直流侧电压的降低会导致换流器输出交流电压的降低,从而导致换流器从所连接电网吸收大量的无功功率,对交直流系统的安全稳定运行造成影响。同时,直流电压的降低,会导致直流系统传输功率降低,系统线路损耗增大,降低直流系统的运行效率。出于以上原因,目前的柔性直流输电系统,在直流电压降压运行方面能力有限,应对极端天气挑战的能力也比较有限。

[0003] 基于混合型模块化多电平换流器的高压直流输电(Modular Multilevel Converter Based High Voltage Direct Current,MMC-HVDC)系统因其在系统损耗,容量升级,电磁兼容,故障管理等方面的优势,在我国发展迅速,将基于混合型MMC的HVDC系统用于应对挑战极端天气具有十分重大的现实意义。

发明内容

[0004] 针对以上缺陷,本发明提供了一种基于混合型MMC的HVDC系统的降压运行方法,旨在解决由于现有的换流器中直流侧电压与交流侧电压没有解耦导致现有柔性直流输电系统降压运行时换流器输出交流电压也降低,使得柔性直流输电系统从电网吸收大量无功功率从而影响交流电网的安全稳定运行。

[0005] 为实现上述目的,本发明提供了一种基于混合型MMC的HVDC系统的降压运行方法,所述混合型MMC的上桥臂包含多个全桥子模块和多个半桥子模块,下桥臂包括多个全桥子模块和多个半桥子模块,包括以下步骤:

[0006] (1)根据外部环境确定直流系统所需降到的直流电压等级 V'_{dc} ;

[0007] (2)根据降压运行时需要传输的有功功率和无功功率确定混合型MMC交流侧输出电压 V_j ;

[0008] (3)通过控制全桥子模块和半桥子模块导通数量,调节上桥臂输出电压和下桥臂输出电压之和满足公式 $V_{nj}+V_{pj}=V'_{dc}$,使混合型MMC直流侧输出电压为 V'_{dc} ;

[0009] (4)通过控制全桥子模块和半桥子模块导通数量,调节上桥臂输出电压和下桥臂输出电压之差满足公式 $\frac{V_{nj}-V_{pj}}{2}=V_j$,使混合型MMC交流侧输出电压为 V_j ;

[0010] 式中, V'_{dc} 为降压运行时混合型MMC直流侧输出电压, V_j 为降压运行时混合型MMC输出的交流内电势, V_{pj} 为混合型MMC中连接交流电j相的上桥臂输出电压, V_{nj} 为混合型MMC中连接交流电j相的下桥臂输出电压, $j=a,b,c$,且 a,b,c 代表交流电A,B,C相。

[0011] 由于混合型MMC中全桥子模块的存在,可以使混合型MMC桥臂输出负电压,使混合

型MMC直流侧输出电压降低不会影响混合型MMC输出的交流内电势,通过调节全桥子模块和半桥子模块导通的数量改变上桥臂输出电压和下桥臂输出电压之和,实现调节混合型MMC直流侧输出电压,在混合型MMC直流侧建立电压后,通过调节全桥子模块和半桥子模块导通的数量改变上桥臂输出电压和下桥臂输出电压之差,实现调节混合MMC输出的交流内电势,从而改变混合型MMC交流侧输出电压,实现混合型MMC传输有功功率和无功功率灵活可控。

[0012] 进一步地,在步骤(4)之后还包括如下步骤:

[0013] (5)若 $V'_{dc} \leq V_j$,则向混合型MMC的上桥臂和下桥臂中注入低频环流,否则,不向混合型MMC的上桥臂和下桥臂中注入低频环流;

[0014] 式中, V'_{dc} 为降压运行时混合型MMC直流侧输出电压, V_j 为降压运行时混合型MMC交流侧输出电压;

[0015] 通过注入低频环流强行改变桥臂电流的方向,使其有正有负,解决半桥子模块均压问题,提高混合型MMC有功功率的输送能力,扩大了混合型MMC运行范围。

[0016] 进一步地,采用共模电压注入法向混合型MMC的上桥臂和下桥臂注入低频环流,即通过在上下桥臂等效电压源输出电压参考值中叠加相应的共模电压分量,使该电压加在桥臂电抗器上,在桥臂中产生相应的电流,实现桥臂环流注入。

[0017] 进一步地,注入低频环流的频率为15Hz~25Hz,能够使半桥子模块有充足的时间均压,均压效果最好。

[0018] 进一步地,注入低频环流的大小为 $I_{lim} + \frac{P}{3V'_{dc}} - \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{3V_{sm}} > I_c > \frac{P}{3V'_{dc}} - \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{3V_{sm}}$,

保证注入低频环流后桥臂电流有正有负,实现半桥子模块的良好均压,同时桥臂电流又不超过桥臂开关器件的最大通流能力。

[0019] 式中, P 为混合型MMC输出的有功功率, Q 为混合型MMC输出的无功功率, V_{sm} 为交流侧电压的幅值, I_c 为低频环流的幅值, V'_{dc} 为降压运行后的混合型MMC直流侧输出电压, I_{lim} 为所有桥臂中开关管的最大通流能力。

[0020] 通过本发明所构思的以上技术方案,与现有技术相比,有以下技术效果:

[0021] (1)本发明提供基于混合型MMC的HVDC系统的降压运行方法,由于混合型MMC中使用了全桥子模块,使混合型MMC桥臂能够输出负电压,实现了混合型MMC交流侧输出电压与直流侧输出电压的解耦,在直流侧电压降低时,能够保持混合型MMC交流侧输出电压灵活可控,通过调节混合型MMC中全桥子模块和半桥子模块投入的数量,改变混合型MMC交流侧输出电压与直流侧输出电压,使混合型MMC不仅不需要从交流侧吸收无功功率,而且能够向交流电网提供无功功率支持,能够实现直流侧输出电压降低的同时控制无功功率。

[0022] (2)在直流电压降压运行期间,通过向混合型MMC桥臂注入低频环流,解决半桥子模块在较低直流电压下输出较大有功功率时无法均压的问题,扩大了低直流电压下混合型MMC的运行范围,使其能够传输更多有功功率。

附图说明

[0023] 图1为本发明提供的基于混合型MMC的HVDC系统的降压运行方法中混合型MMC的拓扑结构;

[0024] 图2为本发明提供的基于混合型MMC的HVDC系统的降压运行方法中混合型MMC的等

效电路；

[0025] 图3为本发明提供的基于混合型MMC的HVDC系统的降压运行方法的流程图；

[0026] 图4为本发明提供第一仿真实例的基于混合型MMC的HVDC系统的降压运行方法的性能图,其中,(a)为混合型MMC输出的直流侧电压图,(b)为混合型MMC输出的交流侧电压图,(c)为混合型MMC输出的交流侧电流图,(d)为混合型MMC输出的有功功率图,(e)为混合型MMC输出的无功功率图；

[0027] 图5为本发明提供第二仿真实例的基于混合型MMC的HVDC系统的降压运行方法的性能图,其中,(a)为混合型MMC输出的有功功率和无功功率图,(b)为混合型MMC中全桥子模块电容电压图,(c)为混合型MMC中半桥子模块电容电压图,(d)为混合型MMC桥臂电流图；

[0028] 图6为本发明提供第三仿真实例的基于混合型MMC的HVDC系统的降压运行方法的性能图,其中,(a)为混合型MMC输出的有功功率和无功功率图,(b)为混合型MMC中全桥子模块电容电压图,(c)为混合型MMC中半桥子模块电容电压图,(d)为混合型MMC桥臂电流图。

具体实施方式

[0029] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白,以下结合附图及实施例,对本发明进行进一步详细说明。应当理解,此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明,并不用于限定本发明。

[0030] 如图1所示为混合型MMC的拓扑结构,连接交流电j相的上桥臂包括多个全桥子模块和多个半桥子模块,连接交流电j相的下桥臂包括多个全桥子模块和多个半桥子模块,其中 $j=a,b,c$,且 a,b,c 代表交流电A,B,C相,半桥子模块能够输出正电平和零电平,全桥子模块能够输出正电平、负电平和零电平。由于全桥子模块能够输出负电平,使混合型MMC直流侧输出电压与输出的交流内电势解耦,在直流侧电压降低时,能够保持混合型MMC交流侧输出电压灵活可控。

[0031] 如图2所示为混合型MMC的等效电路,连接j相的上桥臂的所有全桥子模块和半桥子模块等效为电压源 V_{pj} ,连接j相的下桥臂的所有全桥子模块和半桥子模块等效为电压源 V_{nj} ,其中, $j=a,b,c$,且 a,b,c 分别表示交流电的A,B,C相,模块化多电平换流器通过交流侧变压器连接交流电网。

[0032] 如图3所示,本发明提供的基于混合型MMC的HVDC系统的降压运行方法包括如下步骤:

[0033] (1)根据外部环境确定直流系统所需降到的直流电压等级 V'_{dc} ；

[0034] (2)根据降压运行时需要传输的有功功率和无功功率确定混合型MMC交流侧输出电压 V_j ；

[0035] (3)通过控制全桥子模块和半桥子模块导通数量,调节上桥臂输出电压和下桥臂输出电压之和满足公式 $V_{nj}+V_{pj}=V'_{dc}$,使混合型MMC直流侧输出电压为 V'_{dc} ,式中, V'_{dc} 为降压运行时混合型MMC直流侧输出电压, V_{pj} 为混合型MMC中连接交流电j相的上桥臂输出电压, V_{nj} 为混合型MMC中连接交流电j相的下桥臂输出电压, $j=a,b,c$,且 a,b,c 代表A,B,C相。

[0036] 通过调节全桥子模块和半桥子模块导通的数量改变上桥臂输出电压和下桥臂输出电压之和,实现调节混合型MMC直流侧输出电压;由于混合型MMC中全桥子模块的存在,使混合型MMC桥臂能输出负直流电压,使混合型MMC直流侧输出电压和输出的交流内电势解

耦,即降低混合型MMC直流侧电压不会改变混合型MMC交流侧输出电压。

[0037] (4)通过控制全桥子模块和半桥子模块导通的数量,调节上桥臂输出电压和下桥臂输出电压之差满足公式 $\frac{V_{nj}-V_{pj}}{2} = V_j$,使混合型MMC交流侧输出电压为 V_j ;

[0038] 式中, V_j 为降压运行时混合型MMC输出的交流内电势,在混合型MMC建立直流电压后,再调节全桥子模块和半桥子模块导通的数量改变上桥臂输出电压和下桥臂输出电压之差,实现调节混合MMC输出的交流内电势,实现调节混合型MMC交流侧输出电压为 V_j ,使得混合型MMC在传输有功功率,同时能够调节向交流电网交换的无功功率,保证交流电网的安全稳定运行。

[0039] 本发明提供的实施例中,在步骤(4)之后,还包括如下步骤:若直流侧输出电压小于或等于交流侧输出电压,则向混合型MMC上桥臂和下桥臂注入低频环流,否则,不向混合型MMC上桥臂和下桥臂注入低频环流。如果降压运行后直流侧输出电压大于交流侧输出电压,此时半桥子模块可以良好均压,不需要再向桥臂中注入低频环流;如果降压运行后直流侧输出电压小于或等于交流侧输出电压,随着传输功率的提高,桥臂电流会变成单一方向,即始终为正或始终为负,导致半桥子模块持续充电或持续放电,无法均压,此时需要在桥臂中注入低频环流,通过注入低频环流强行改变桥臂电流的方向,使其有正有负,解决半桥子模块均压问题,提高混合型MMC的有功功率输送能力。

[0040] 本发明提供的实施例中低频环流的注入方法为共模电压注入法,即通过在上下桥臂等效电压源输出电压参考值中叠加相应的共模电压分量,使该电压通过桥臂电抗器,在桥臂中产生相应的电流,实现桥臂低频环流注入。

[0041] 注入低频环流的频率为15Hz~25Hz,能够使半桥子模块有充足的时间均压,使均压效果最好。

[0042] 在注入低频环流后,上桥臂电流可表示为:

$$[0043] \quad I_{jp} = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{3V_{sm}} \sin(\omega t + \psi_j) - \frac{P}{3V'_{dc}} + I_c \sin(\omega' t + \psi_j)$$

[0044] 下桥臂电流可表示为:

$$[0045] \quad I_{jn} = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{3V_{sm}} \sin(\omega t + \psi_j) - \frac{P}{3V'_{dc}} + I_c \sin(\omega' t + \psi_j)$$

[0046] 式中, I_{jp} 为上桥臂电流, P 为混合型MMC输出的有功功率, Q 为混合型MMC输出的无功功率, V_{sm} 为交流侧电压幅值, ω 为电网频率, ψ_j 为桥臂电流相位, t 为时间, V'_{dc} 为降压运行后的混合型MMC直流侧输出电压, I_c 为注入低频环流幅值, I_{jn} 为下桥臂电流, $j=a,b,c$,且 a,b,c 代表A,B,C相。

[0047] 注入低频环流后必须保证所有桥臂电流有正有负,即需要满足下式:

$$[0048] \quad \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{3V_{sm}} + I_c > \frac{P}{3V'_{dc}}$$

[0049] 注入环流后,要求所有桥臂电流不得超过桥臂开关器件的最大通流能,要求满足下式:

$$[0050] \quad \left\{ \frac{\sqrt{P^2+Q^2}}{3V_{sm}} \sin(\omega t + \psi_j) - \frac{P}{3V'_{dc}} + I_c \sin(\omega' t + \psi_j) \right\}_{\max} \leq I_{lim}$$

[0051] 式中, I_{lim} 为桥臂中开关管的最大通流能力。

[0052] 由上述可得注入低频环流幅值大小需满足:

$$[0053] \quad I_{lim} + \frac{P}{3V'_{dc}} - \frac{\sqrt{P^2+Q^2}}{3V_{sm}} > I_c > \frac{P}{3V'_{dc}} - \frac{\sqrt{P^2+Q^2}}{3V_{sm}}$$

[0054] 本发明提供仿真实施例,即通过软件仿真基于混合型MMC的HVDC系统,在混合型MMC的HVDC系统中,每相上桥臂全桥子模块和半桥子模块的个数比均为1:1,均为10个,电容电压比均为1:1,均为1kV,每相下桥臂中全桥子模块和半桥子模块的个数比均为1:1,均为10个,电容电压比均为1:1,均为1kV。正常运行时的直流侧额定电压 $V_{dc0} = 20\text{kV}$,交流侧线电压为10kV,传输额定有功功率为20MW,额定无功功率4MVAR。

[0055] 仿真实施例一

[0056] 降压运行后,直流电压要求变为15KV,传输的有功功率为15MW,无功功率在降压运行过程中由4Mvar调节成6Mvar。如图3所示,通过改变上桥臂与下桥臂中导通的全桥子模块和半桥子模块的数量,改变上桥臂输出电压与下桥臂输出电压之和,改变混合型MMC输出的直流电压,图4(a)中直流电压由20KV降到15KV,随后通过再次改变上桥臂与下桥臂中导通的全桥子模块和半桥子模块的数量,使得上桥臂输出电压和下桥臂输出电压之差保持不变,使得混合型MMC输出的交流内电势没有变化,即混合型MMC输出的交流电如图4(b)所示没有变化,说明混合型MMC交流侧输出电压可控,如图4(d)所示,传输功率由20MW变成15MW,如图4(c)所示,当传输功率降低后,交流侧电流变小,如图4(e)所示,向电网提供的无功功率也灵活可控,在降压运行一段时间后,无功功率能够自动上调到6Mvar。

[0057] 仿真实施例二

[0058] 降压运行后,直流电压要求变为5KV,传输无功功率保持不变,无功功率为4Mvar,传输的有功功率降为5MW。通过改变上桥臂与下桥臂中导通的全桥子模块和半桥子模块的数量,改变上桥臂输出电压和下桥臂输出电压之和,改变混合型MMC直流侧输出电压,由20KV变为5KV,此时压降较大,通过再次改变上桥臂与下桥臂中导通的全桥子模块和半桥子模块的数量,使得上桥臂输出电压和下桥臂输出电压之差不变,使混合型MMC输出的交流内电势保持不变,如图5(a),有功功率P由20MW变为5MW,无功功率保持不变,如图5(d)所示,由于直流侧电压压降较大,使得桥臂电流始终为负,如图5(b)所示全桥子模块能够保持良好均压,但如图5(c)所示半桥子模块由于持续放电,无法均压,导致半桥子模块电容电压持续减小,使得混合型MMC无法长时间运行,影响系统的稳定性。仿真实施例三

[0059] 降压运行后,直流电压要求变为5KV,传输无功功率保持不变,无功功率为4Mvar,传输的有功功率为5MW。通过改变上桥臂与下桥臂中导通的全桥子模块和半桥子模块的数量,改变上桥臂输出电压和下桥臂输出电压之和,改变混合型MMC直流侧输出电压,由20KV变为5KV,通过再次改变上桥臂与下桥臂中导通的全桥子模块和半桥子模块的数量,使得上桥臂输出电压和下桥臂输出电压之差保持不变,使混合型MMC输出的交流内电势保持不变,如图6(a),有功功率P由20MW变为5MW,无功功率保持不变,通过在桥臂中注入低频环流使桥臂电流改变方向,如图6(d)所示,即使在直流侧电压压降较大,桥臂电流由于低频环流的注

入变得有正有负,如图6(b)所示全桥子模块依然能够保持良好均压,同时如图6(c)所示半桥子模块也能良好均压,混合型MMC能够保持安全运行,保证系统的稳定性。

[0060] 本领域的技术人员容易理解,以上所述仅为本发明的较佳实施例而已,并不用以限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

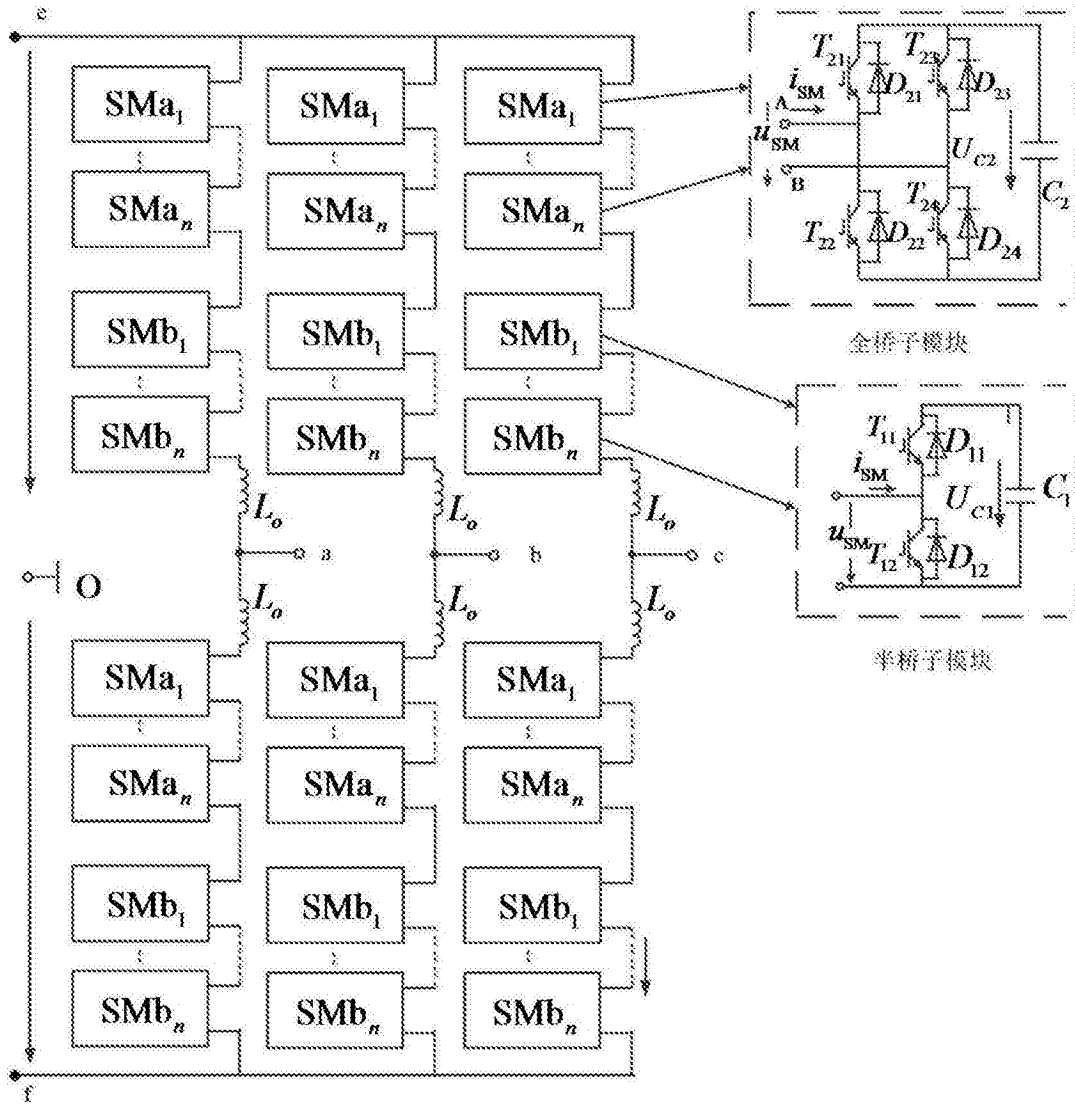


图1

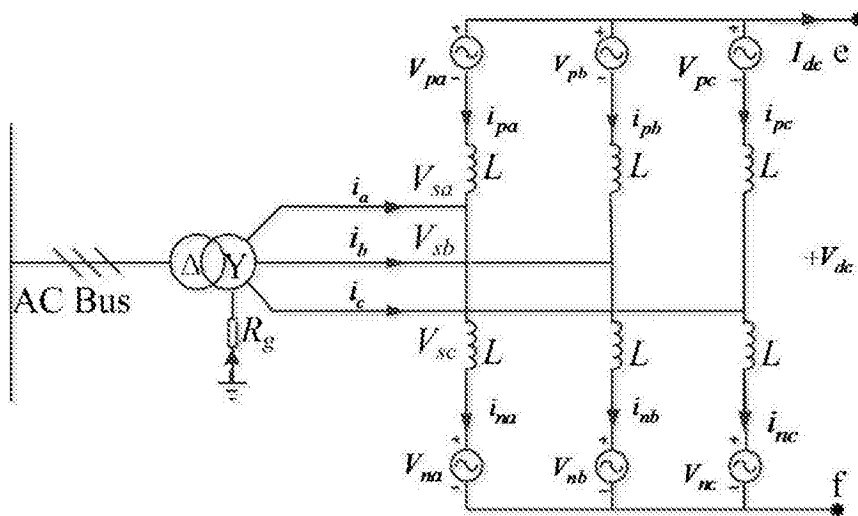


图2

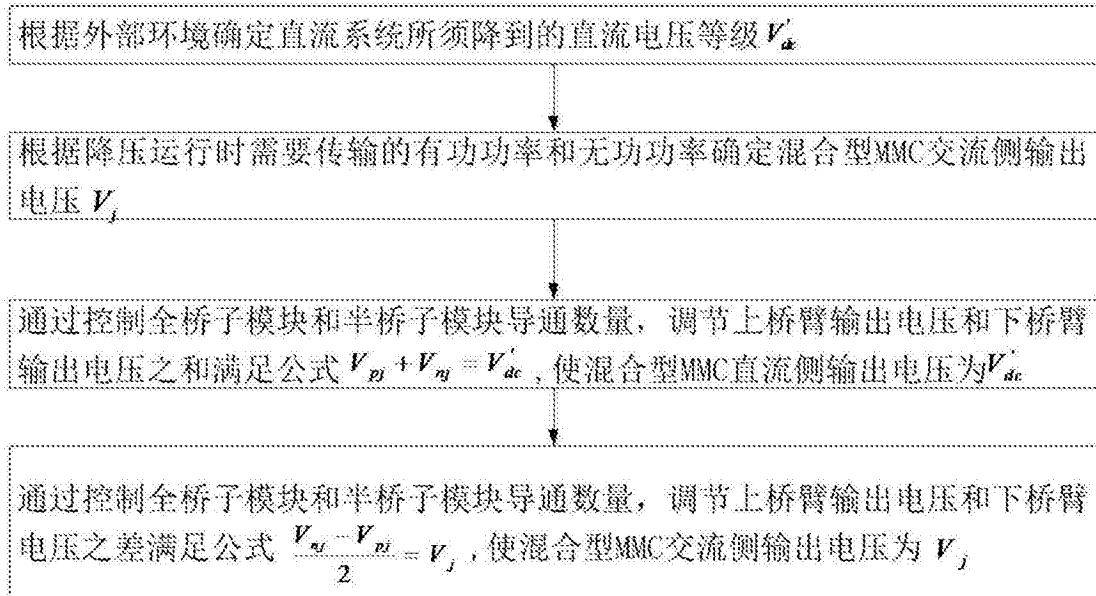


图3

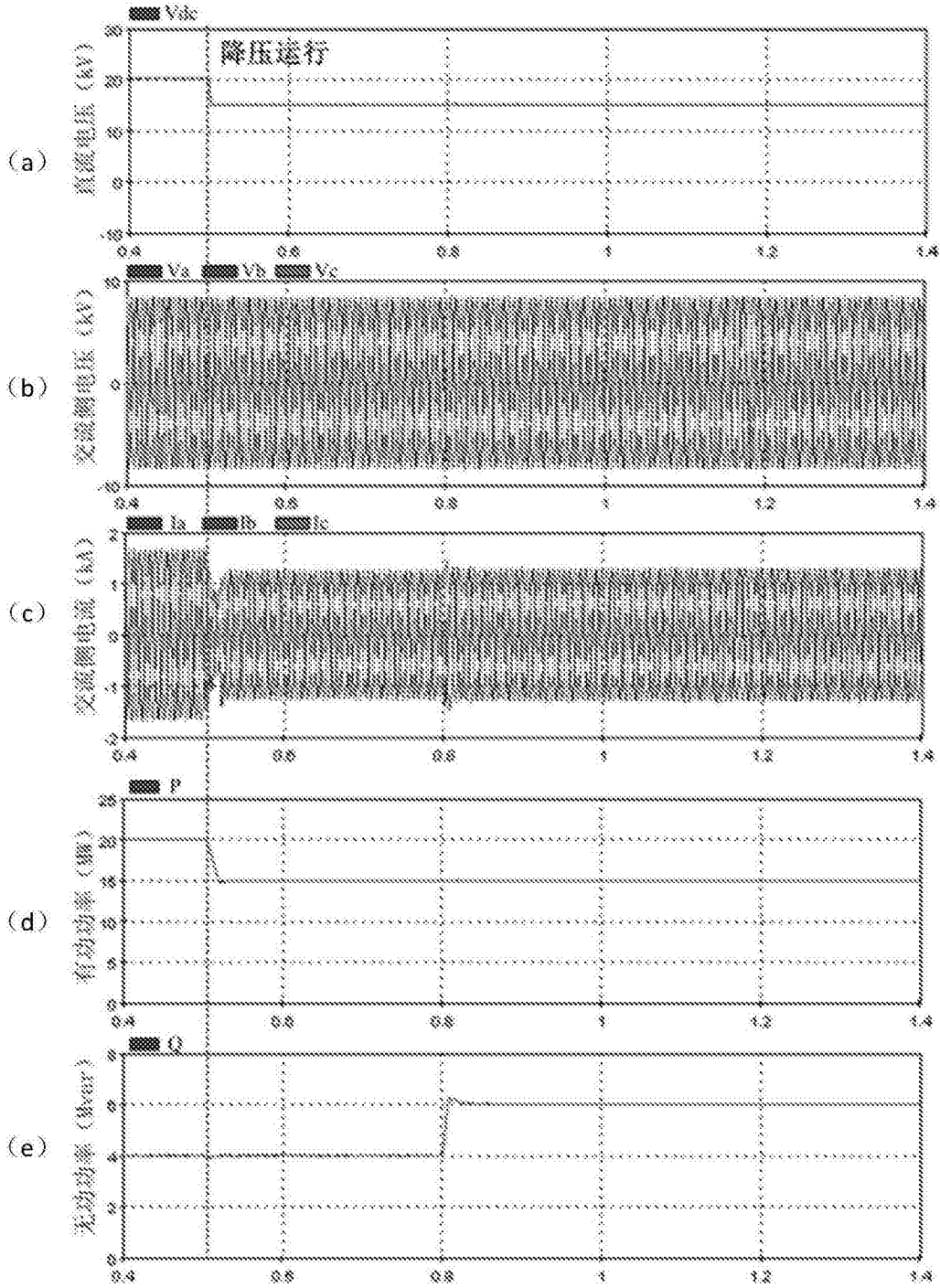


图4

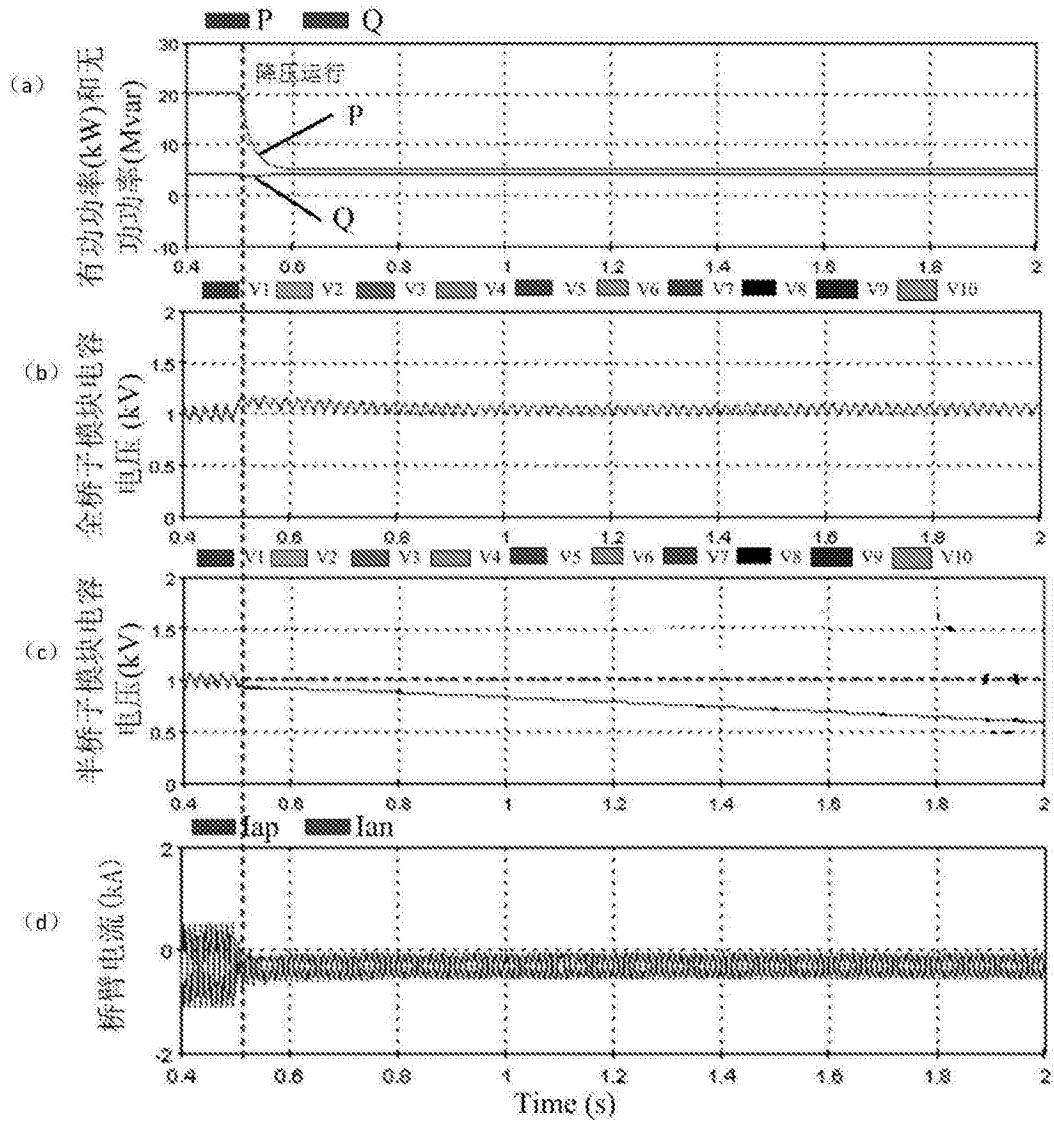


图5

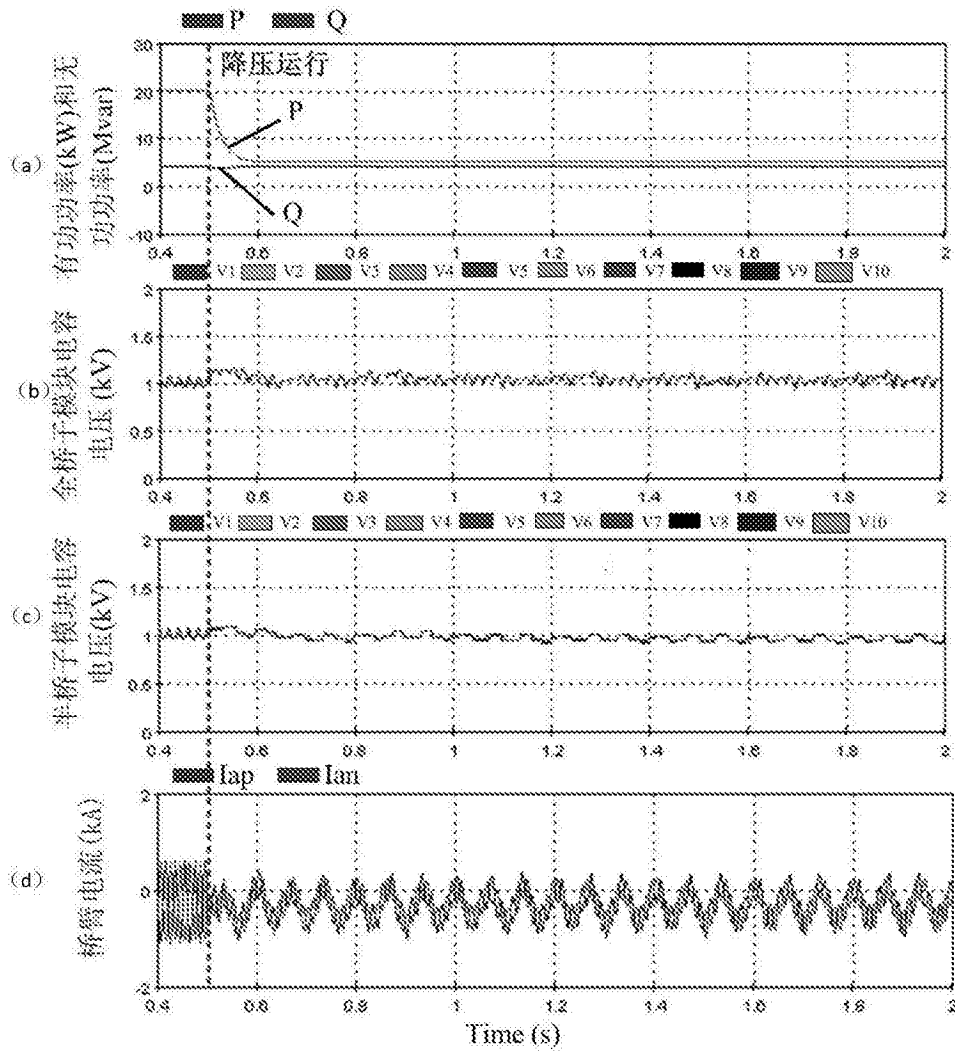


图6