



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114977258 A

(43) 申请公布日 2022. 08. 30

(21) 申请号 202210571878.5

H02J 3/38 (2006.01)

(22) 申请日 2022.05.24

H02M 3/335 (2006.01)

(71) 申请人 东南大学

地址 210096 江苏省南京市玄武区新街口
街道四牌楼2号

(72) 发明人 王建华 李硕

(74) 专利代理机构 北京同辉知识产权代理事务
所(普通合伙) 11357

专利代理师 陈天林

(51) Int. Cl.

H02J 3/36 (2006.01)

H02H 7/26 (2006.01)

H02H 7/22 (2006.01)

H02H 3/06 (2006.01)

H02S 40/38 (2014.01)

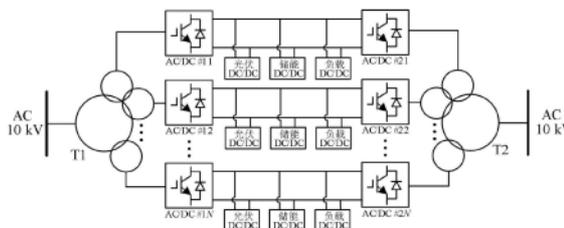
权利要求书2页 说明书5页 附图4页

(54) 发明名称

一种多直流母线低压柔性直流组网装置及其控制方法

(57) 摘要

本发明公开了一种多直流母线低压柔性直流组网装置及其控制方法,涉及低压直流配电技术领域,多直流母线低压柔性直流组网装置包括2个多绕组变压器、多个AC/DC变换器及DC/DC变换器,2个多绕组变压器高压侧分别连接两侧交流馈线,低压侧多绕组根据直流母线需求设置不同电压等级,并连接各AC/DC变换器,AC/DC变换器直流输出侧一一对应串联构成多条直流母线,光伏、储能、直流负载通过DC/DC变换器接入各直流母线,储能依据电压信息迟滞比较信号以及SOC状态确定下垂控制系数以进行直流电压下垂控制,系统直流侧发生短路故障时,控制系统根据不同故障位置可选择对应故障恢复策略。



1. 一种多直流母线型低压柔性直流组网装置,其特征在于,包括2个三相多绕组变压器T1、T2、AC/DC变换器AC/DC#11-AC/DC#1N、AC/DC#21-AC/DC#2N、双向DC/DC变换器、单向DC/DC变换器、储能模块、光伏电池和直流负载;2个三相多绕组变压器实现中压交流至低压交流变换,变压器中压侧为10kV,变压器低压侧根据直流母线需求设置不同电压等级,10kV侧单个绕组分别接入不同交流配电馈线,低压侧多个绕组分别连接AC/DC变换器交流侧。

2. 根据权利要求1所述的一种多直流母线型低压柔性直流组网装置,其特征在于,所述AC/DC#11-AC/DC#1N和AC/DC#21-AC/DC#2N中的N为为单边AC/DC变换器个数。

3. 根据权利要求1所述的一种多直流母线型低压柔性直流组网装置,其特征在于,所述变压器低压侧绕组经中性点接地,AC/DC变换器在交流侧配置交流断路器,在直流输出侧配置直流断路器,AC/DC#1k与AC/DC#2k对应串联构成N条伪双极接线型低压直流母线;各储能模块通过双向DC/DC变换器与直流母线连接,光伏电池和直流负载通过单向DC/DC变换器与直流母线连接。

4. 根据权利要求3所述的一种多直流母线型低压柔性直流组网装置,其特征在于,所述AC/DC#1k与AC/DC#2k中的k为AC/DC变换器编号。

5. 一种多直流母线型低压柔性直流组网装置的控制方法,其特征在于,包括额定工作模式、功率转供模式、短路故障模式;

所述额定工作模式包括各AC/DC变换器工作于下垂工作模式,光伏DC/DC变换器工作于MPPT控制模式,负载DC/DC变换器工作于电压电流双环控制模式,储能DC/DC变换器工作于下垂控制模式;

所述功率转供模式下,功率支援侧AC/DC变换器工作于功率控制模式,其他AC/DC变换器工作于下垂及无功功率控制模式,各变换器有功功率参考值按照其额定功率比例分配;光伏DC/DC变换器工作于MPPT控制模式,负载DC/DC变换器工作于电压电流双环控制模式,储能DC/DC变换器工作于下垂控制模式;

所述短路故障模式下,短路故障的直流母线系统中变换器闭锁,经故障线路差动保护判断故障电流小于负荷开关开断能力后,跳开线路负荷开关,将故障位置及隔离成功信息发送至控制系统;如故障发生于直流母线上,则待短路故障清除后,系统再恢复至额定工作状态;如故障发生于连接DC/DC变换器馈线上,则系统故障隔离后,其余变换器恢复至额定工作状态;如故障发生于AC/DC变换器流侧出口处,则其对应交流断路器断开,其余恢复至额定工作状态,实现故障恢复。

6. 根据权利要求5所述的一种多直流母线型低压柔性直流组网装置的控制方法,其特征在于,所述下垂控制模式在第k条直流母线系统中,由直流电压参考值 v_{kdc_ref} 与直流电压 v_{kdc} 做差后与储能控制下垂系数 K_{kdrk} 相乘得到电流参考值 i_{kc_ref} , i_{kc_ref} 与储能实际输出电流 i_{kc} 做差后通过电流PI控制器 $G_{ic(s)}$ 输出变换器移相比 d_{kc} 。

7. 根据权利要求6所述的一种多直流母线型低压柔性直流组网装置的控制方法,其特征在于,当 $v_{kdc_ref} > v_{kdc}$ 时,储能下垂控制系数 $K_{kdrk} = K_{kdrk1}$, $v_{kdc_ref} > v_{kdc}$ 时,储能下垂控制系数 $K_{kdrk} = K_{kdrk2}$, K_{kdrk1} 与 K_{kdrk2} 满足如下关系:

$$\frac{K_{kdrk1}}{P_{kc}(SOC_k - SOC_{kmin})} = \frac{K_{kdrk}}{P_{AC/DC1k}}$$

$$\frac{K_{k\text{drc}2}}{P_{kc}(1-SOC_k)} = \frac{K_{drc}}{P_{AC/DC1k}}$$

其中, SOC_k 为第 k 条直流母线中储能电池剩余荷电状态值, P_{kc} 为储能电池最高输出功率, $SOC_{k\text{min}}$ 则表示储能需保留的最小 SOC 值, 用于在系统故障情况下的不间断供电; K_{drc} 为母线连接 AC/DC 变换器的下垂控制系数, $P_{AC/DCk}$ 表示 AC/DC 变换器的额定输出功率。

8. 根据权利要求 7 所述的一种多直流母线型低压柔性直流组网装置的控制方法, 其特征在于, 通过迟滞比较器对 $v_{kdc_ref} > v_{kdc}$ 进行判断, 以避免直流电压纹波导致储能下垂控制系数 $K_{k\text{drc}}$ 在 $K_{k\text{drc}1}$ 与 $K_{k\text{drc}2}$ 中频繁切换。

一种多直流母线低压柔性直流组网装置及其控制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及低压直流配电技术领域,具体的是一种多直流母线低压柔性直流组网装置及其控制方法。

背景技术

[0002]

[0003] 一方面,目前配电网普遍采用合环设计、开环运行的方式,调控手段有限,运行方式不够灵活,上述新型源荷的波动性与随机性不可避免地造成配电网电压和潮流的随机波动,导致各配电线路负荷不均、新能源无法及时就地消纳;另一方面,上述新型源荷呈现出直流特征,接入交流电网需经一级DC/AC变换,在系统中产生谐波,影响系统效率,相比于目前的交流配电网,直流配电系统可减少其中的DC/AC转换环节,减小设备损耗,提升系统运行效率,便于新型源荷接入;同时,直流配电系统无需考虑相角和频率问题,通过电力电子变流器可实现异步系统互联,进而实现系统运行控制的灵活调控,促进可再生能源就地消纳以及各配电馈线处负荷平衡。

[0004] 而对对应现有的中压直流配电系统来说,中压直流配用电系统对设备的绝缘性能、开关器件要求相对较高,成本也较高,并且需要多电力电子电能变换装置实现电压等级变换;为此,现在提出一种多直流母线低压柔性直流组网装置及其控制方法。

发明内容

[0005] 为解决上述背景技术中提到的不足,本发明的目的在于提供一种多直流母线低压柔性直流组网装置及其控制方法。

[0006] 本发明的目的可以通过以下技术方案实现:一种多直流母线型低压柔性直流组网装置,包括2个三相多绕组变压器T1、T2、AC/DC变换器 AC/DC#11-AC/DC#1N、AC/DC#21-AC/DC#2N、双向DC/DC变换器、单向DC/DC 变换器、储能模块、光伏电池和直流负载;2个三相多绕组变压器实现中压交流至低压交流变换,变压器中压侧为10kV,变压器低压侧根据直流母线需求设置不同电压等级,10kV侧单个绕组分别接入不同交流配电馈线,低压侧多个绕组分别连接AC/DC变换器交流侧。

[0007] 进一步地,所述AC/DC#11-AC/DC#1N和AC/DC#21-AC/DC#2N中的N为为单边AC/DC变换器个数。

[0008] 进一步地,所述变压器低压侧绕组经中性点接地,AC/DC变换器在交流侧配置交流断路器,在直流输出侧配置直流断路器,AC/DC#1k与AC/DC#2k对应串联构成N条伪双极接线型低压直流母线;各储能模块通过双向DC/DC变换器与直流母线连接,光伏电池和直流负载通过单向DC/DC变换器与直流母线连接。

[0009] 进一步地,所述AC/DC#1k与AC/DC#2k中的k为AC/DC变换器编号。

[0010] 进一步地,一种多直流母线型低压柔性直流组网装置的控制方法,包括额定工作模式、功率转供模式、短路故障模式;

[0011] 所述额定工作模式包括各AC/DC变换器工作于下垂工作模式,光伏DC/DC变换器工作于MPPT控制模式,负载DC/DC变换器工作于电压电流双环控制模式,储能DC/DC变换器工作于下垂控制模式;

[0012] 所述功率转供模式下,功率支援侧AC/DC变换器工作于功率控制模式,其他AC/DC变换器工作于下垂及无功功率控制模式,各变换器有功功率参考值按照其额定功率比例分配;光伏DC/DC变换器工作于MPPT控制模式,负载DC/DC变换器工作于电压电流双环控制模式,储能DC/DC变换器工作于下垂控制模式;

[0013] 所述短路故障模式下,短路故障的直流母线系统中变换器闭锁,经故障线路差动保护判断故障电流小于负荷开关开断能力后,跳开线路负荷开关,将故障位置及隔离成功信息发送至控制系统;如故障发生于直流母线上,则待短路故障清除后,系统再恢复至额定工作状态;如故障发生于连接DC/DC变换器馈线上,则系统故障隔离后,其余变换器恢复至额定工作状态;如故障发生于AC/DC变换器流侧出口处,则其对应交流断路器断开,其余恢复至额定工作状态,实现故障恢复。

[0014] 进一步地,所述下垂控制模式在第k条直流母线系统中,由直流电压参考值 v_{kdc_ref} 与直流电压 v_{kdc} 做差后与储能控制下垂系数 K_{kdcrc} 相乘得到电流参考值 i_{kdc_ref} , i_{kdc_ref} 与储能实际输出电流 i_{kc} 做差后通过电流PI控制器 $G_{ic(s)}$ 输出变换器移相比 d_{kc} 。

[0015] 进一步地,当 $v_{kdc_ref} > v_{kdc}$ 时,储能下垂控制系数 $K_{kdcrc} = K_{kdcrc1}$, $v_{kdc_ref} > v_{kdc}$ 时,储能下垂控制系数 $K_{kdcrc} = K_{kdcrc2}$, K_{kdcrc1} 与 K_{kdcrc2} 满足如下关系:

$$[0016] \quad \frac{K_{kdcrc1}}{P_{kc}(SOC_k - SOC_{kmin})} = \frac{K_{drk}}{P_{AC/DC1k}}$$

$$[0017] \quad \frac{K_{kdcrc2}}{P_{kc}(1 - SOC_k)} = \frac{K_{drk}}{P_{AC/DC1k}}$$

[0018] 其中, SOC_k 为第k条直流母线中储能电池剩余荷电状态值, P_{kc} 为储能电池最高输出功率, SOC_{kmin} 则表示储能需保留的最小SOC值,用于在系统故障情况下的不间断供电; K_{drk} 为母线连接AC/DC变换器的下垂控制系数, $P_{AC/DCk}$ 表示AC/DC变换器的额定输出功率。

[0019] 进一步地,通过迟滞比较器对 $v_{kdc_ref} > v_{kdc}$ 进行判断,以避免直流电压纹波导致储能下垂控制系数 K_{kdcrc} 在 K_{kdcrc1} 与 K_{kdcrc2} 中频繁切换。

[0020] 本发明的有益效果:

[0021] 本发明在使用时,多直流母线低压柔性直流组网装置包括2个多绕组变压器、多个AC/DC变换器及DC/DC变换器,2个多绕组变压器高压侧分别连接两侧交流馈线,低压侧多绕组根据直流母线需求设置不同电压等级,并连接各AC/DC变换器,AC/DC变换器直流输出侧一一对应串联构成多条直流母线,光伏、储能、直流负载通过DC/DC变换器接入各直流母线,储能依据电压信息迟滞比较信号以及SOC状态确定下垂控制系数以进行直流电压下垂控制,系统直流侧发生短路故障时,控制系统根据不同故障位置可选择对应故障恢复策略,多个直流母线结构可根据直流负荷以及功率器件要求确定不同电压等级,实现源荷的便捷接入;根据电压信息以及SOC状态的变下垂系数储能控制方法可实现光伏对于储能的优先充电,促进新能源就地消纳;提出的故障保护策略可实现非母线短路故障情况下,低压直流配电系统的快速故障恢复运行,提高系统可靠性。

附图说明

[0022] 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简单地介绍,显而易见地,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;

[0023] 图1是本发明提供的组网装置拓扑图;

[0024] 图2是本发明提供的AC/DC变换器拓扑图;

[0025] 图3是本发明提供的双向DC/DC变换器拓扑图;

[0026] 图4是本发明提供的单向DC/DC变换器拓扑图;

[0027] 图5是本发明提供的AC/DC变换器下垂控制框图;

[0028] 图6是本发明提供的光伏DC/DC变换器MPPT控制框图;

[0029] 图7是本发明提供的储能DC/DC变换器下垂控制框图;

[0030] 图8是本发明提供的储能DC/DC变换器下垂控制系数切换流程图;

[0031] 图9是本发明提供的AC/DC变换器功率控制框图;

[0032] 图10是本发明提供的短路故障控制系统流程图。

具体实施方式

[0033] 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作出创造性劳动前提下所获得的所有其它实施例,都属于本发明保护的范围。

[0034] 如图1所示,一种多直流母线低压柔性直流组网装置,包括2个三相多绕组变压器T1、T2、AC/DC变换器AC/DC#11-AC/DC#1N、AC/DC#21-AC/DC#2N、双向DC/DC变换器、单向DC/DC变换器、储能模块、光伏电池和直流负载;2个三相多绕组变压器实现中压交流至低压交流变换,变压器中压侧为10kV,变压器低压侧根据直流母线需求设置不同电压等级,10kV侧单个绕组分别接入不同交流配电馈线,低压侧多个绕组分别连接AC/DC变换器交流侧。

[0035] 所述变压器低压侧绕组经中性点接地,AC/DC变换器在交流侧配置交流断路器,在直流输出侧配置直流断路器,AC/DC#1k与AC/DC#2k对应串联构成N条伪双极接线型低压直流母线;各储能模块通过双向DC/DC变换器与直流母线连接,光伏电池和直流负载通过单向DC/DC变换器与直流母线连接。

[0036] 需要进一步进行说明的是,在具体实施过程中,N+1绕组变压器T1、T2(N为单侧变换器数),电压变换等级为10kV/380V/660V;T1的10kV侧单个绕组与交流配电系统馈线1连接,380V、660V侧各三相交流绕组分别与AC/DC#11-AC/DC#1N连接;T2的10kV侧单个绕组与交流配电系统馈线2连接,380V、660V侧各三相交流绕组分别与AC/DC#21-AC/DC#2N连接;各变压器低压侧绕组中性点经小电阻分别接地。

[0037] 低压交流侧连接AC/DC变换器拓扑为电压源型变换器,出口侧配置直流断路器,如图2所示,AC/DC1k直流侧与AC/DC2k直流侧(k为AC/DC变换器编号)分别串联,构成伪双极直流母线,380V连接AC/DC变换器直流侧构成直流母线电压等级为750V,660V连接AC/DC变换器直流侧构成直流母线电压等级为1500V。

[0038] 储能电池由双向DC/DC变换器接入直流母线,可采用双有源桥拓扑结构,如图3所

示。

[0039] 光伏电池以及负载变换器由单向DC/DC变换器接入直流母线,可采用移相全桥型DC/DC拓扑,如图4所示。

[0040] 需要进一步进行说明的是,在具体实施过程中,一种多直流母线型低压柔性直流组网装置的控制方法,包括额定工作模式、功率转供模式、短路故障模式;

[0041] 各AC/DC变换器工作于下垂工作模式,如图5所示。第k个直流母线电压参考值 v_{kdc_ref} 与直流电压 v_{kdc} 做差后,与下垂系数 K_{drk} 相乘作为母线连接AC/DC变换器的d轴电流参考值 i_{kdc_ref} 。无功功率参考值 Q_{kref} 取负后与 $1.5U_s$ (U_s 为AC/DC变换器交流侧电压有效值)相除后,作为q轴电流参考值。之后经dq电流解耦控制后生成PWM调制波。

[0042] 光伏DC/DC变换器采用MPPT控制方式,如图6所示,根据光伏电池电流、电压计算其输出功率变化趋势,得到光伏电池最大功率点参考电压值 v_{kref} ,经与实际值做差后输出给电压PI控制器 $G_v(s)$,控制器输出变换器等效占空比信号d,设光伏DC/DC变换器输出功率为 P_{kpV} 。

[0043] 负载DC/DC变换器采用输出电压电流双闭环控制方式,控制负载侧电压稳定,设负载DC/DC变换器消耗功率为 P_{kL_DC} 。

[0044] 储能DC/DC变换器采用下垂控制方式,如附图7所示,由直流电压参考值 v_{kdc_ref} 与直流电压 v_{kdc} 做差后与储能控制下垂系数 K_{kdrc} 相乘得到电流参考值 i_{kc_ref} , i_{kc_ref} 与储能实际输出电流 i_{kc} 做差后通过电流PI控制器 $G_{ic}(s)$ 输出变换器移相比 d_c 。

[0045] 当 $P_{kpV} < P_{kL_DC}$ 时,光伏提供功率少于直流负荷所需功率, $v_{kdc_ref} - v_{kdc} > 0$,需由储能提供部分功率支撑,此时储能下垂控制系数为 K_{kdrc1} ,根据储能荷电状态SOC(State of charge, SOC)决定其输出电流大小, SOC越大,则输出电流越大,因此 K_{kdrc1} 满足如下关系:

$$[0046] \quad \frac{K_{kdrc1}}{P_{kc}(SOC_k - SOC_{kmin})} = \frac{K_{drk}}{P_{AC/DC1k}}$$

[0047] 上式中, SOC_k 为第k条直流母线中储能电池剩余荷电状态值, P_{kc} 为储能电池最高输出功率, SOC_{kmin} 则表示储能需保留的最小SOC值,用于在系统故障情况下的不间断供电; K_{drk} 为母线连接AC/DC变换器的下垂控制系数, $P_{AC/DC1k}$ 表示AC/DC变换器的额定输出功率。

[0048] 当 $P_{kpV} > P_{kL_DC}$ 时,由光伏向直流系统供电, $v_{kdc_ref} - v_{kdc} < 0$,储能进入充电状态,此时下垂系数为 K_{kdrc2} ,根据储能SOC决定其储能充电电流大小, SOC越小,则充电电流越大,因此 K_{kdrc2} 满足如下关系:

$$[0049] \quad \frac{K_{kdrc2}}{P_{kc}(1 - SOC_k)} = \frac{K_{drk}}{P_{AC/DC1k}}$$

[0050] 为了避免直流电压纹波导致储能下垂控制系数 K_{kdrc} 在 K_{kdrc1} 与 K_{kdrc2} 中频繁切换,因此加入迟滞比较器,以实现下垂控制系数的切换,具体方式如图8所示,如电压低于门限值,则说明 $P_{kpV} < P_{kL_DC}$,储能下垂控制系数切换为 K_{kdrc1} ,如电压高于门限值,则说明 $P_{kpV} > P_{kL_DC}$,储能下垂控制系数切换为 K_{kdrc2} 。

[0051] 功率转供模式下,各变换器工作模式如下:

[0052] 若变压器T1连接交流馈线负载率较高,需外界功率支援,则AC/DC#11- AC/DC#1N工作于有功功率控制模式,如图9所示,各变换器有功功率参考值按照其额定功率比例分

配,满足如下关系:

$$[0053] \quad \frac{P_{1\text{ref}}}{P_1} = \frac{P_{k\text{ref}}}{P_k} = \frac{P_{N\text{ref}}}{P_N}$$

[0054] 式中, $P_{k\text{ref}}$ 为AC/DC#1k的有功功率指令值, P_k 为AC/DC#1k的额定功率值。

[0055] AC/DC#21-AC/DC#2N工作于下垂工作模式,如图5所示;光伏DC/DC变换器采用MPPT控制方式,如图6所示;负载DC/DC变换器采用输出电压电流双闭环控制方式;储能DC/DC变换器采用下垂控制方式,如图7、8所示,此时第k条直流母线所需有功功率 $P_{k\text{Load}} = P_{k\text{ref}} + P_{kL_DC}$ 。

[0056] 当 $P_{kpV} < P_{k\text{Load}}$ 时,光伏提供功率少于系统负荷所需功率,需由储能提供部分功率支撑,此时储能下垂控制系数为 $K_{k\text{drc1}}$,满足如下关系:

$$[0057] \quad \frac{K_{k\text{drc1}}}{P_{kc}(SOC_k - SOC_{k\text{min}})} = \frac{K_{drk}}{P_{AC/DC1k}}$$

[0058] 当 $P_{kpV} > P_{k\text{Load}}$ 时,光伏提供功率多于系统负荷所需功率, $v_{kdc_ref} - v_{kdc} < 0$,储能进入充电状态,此时储能下垂控制系数为 $K_{k\text{drc2}}$,满足如下关系:

$$[0059] \quad \frac{K_{k\text{drc2}}}{P_{kc}(1 - SOC_k)} = \frac{K_{drk}}{P_{AC/DC1k}}$$

[0060] 短路故障模式下,系统控制系统工作流程图如图10所示,各变换器工作模式如下:

[0061] 第k条直流母线系统中发生单极/双极短路故障时,AC/DC#1k与AC/DC#2k闭锁,出口侧断路器断开以切除故障,各DC/DC变换器闭锁,实现故障切除。

[0062] 故障线路差动保护判断故障电流小于负荷开关开断能力后,跳开线路负荷开关,实现故障隔离,并将故障位置及隔离成功信息发送至控制系统。

[0063] 如故障发生于直流母线上,则待短路故障清除后,系统再恢复至额定工作状态;如故障发生于连接DC/DC变换器馈线上,则系统故障隔离后,除短路点连接恢复至额定工作状态;如故障发生于AC/DC变换器#1k直流侧出口处,则其对应交流断路器断开,另一侧AC/DC变换器#2k以及各DC/DC变换器恢复至额定工作状态,实现故障恢复。

[0064] 以上显示和描述了本发明的基本原理、主要特征和本发明的优点。本行业的技术人员应该了解,本发明不受上述实施例的限制,上述实施例和说明书中描述的只是说明本发明的原理,在不脱离本发明精神和范围的前提下,本发明还会有各种变化和改进,这些变化和进步都落入要求保护的本发明范围内。

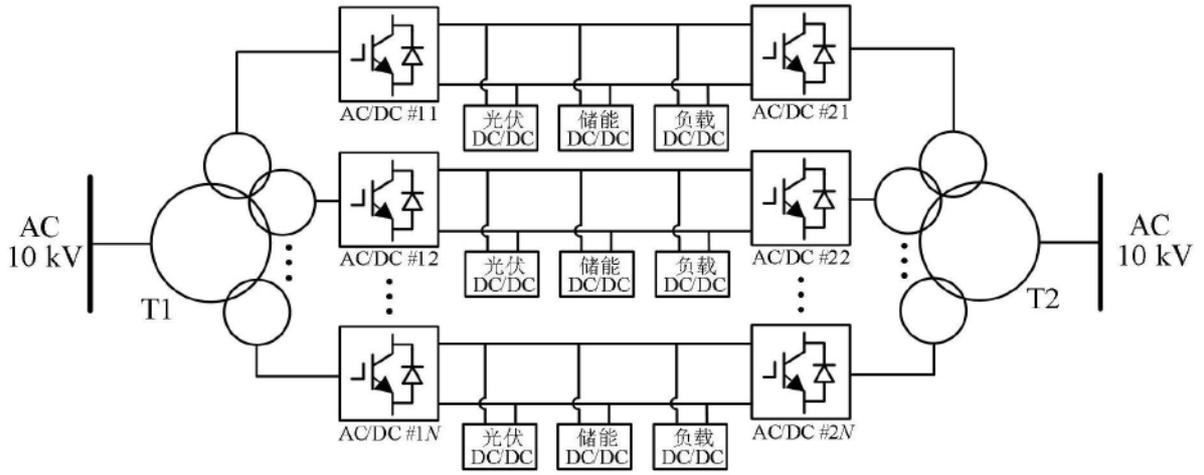


图1

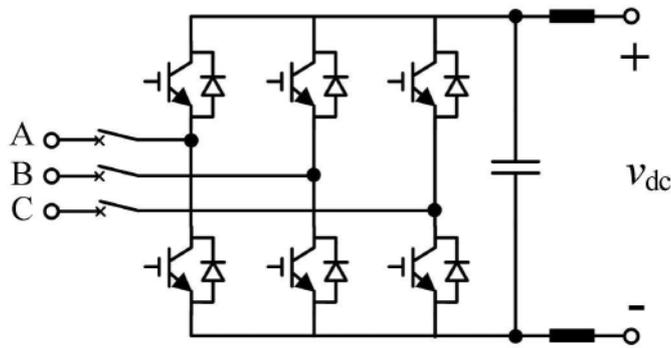


图2

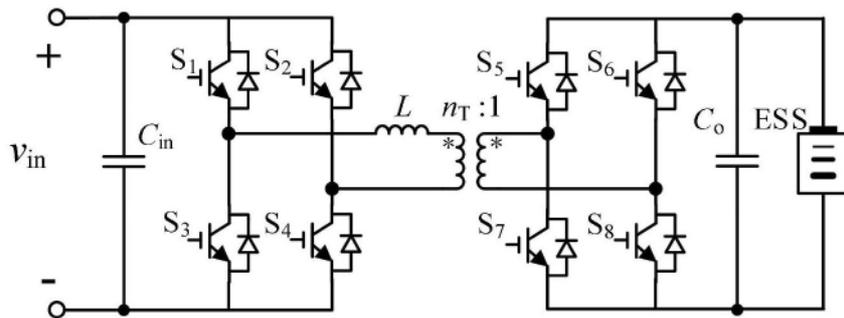


图3

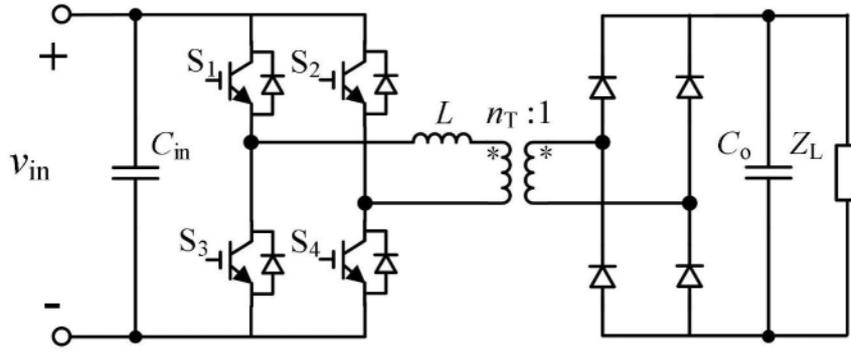


图4

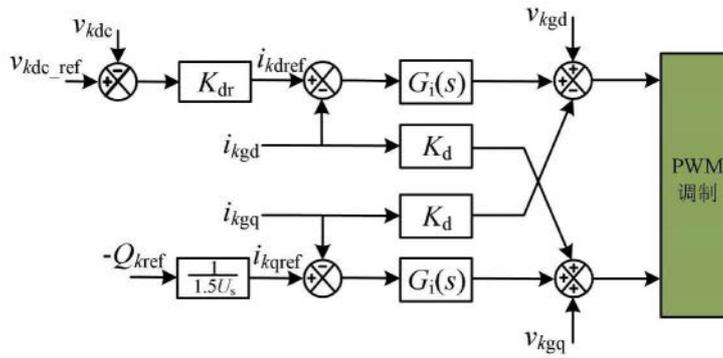


图5

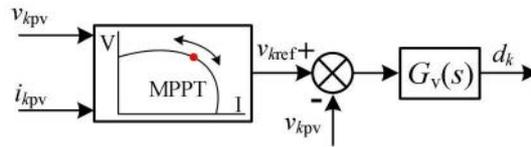


图6

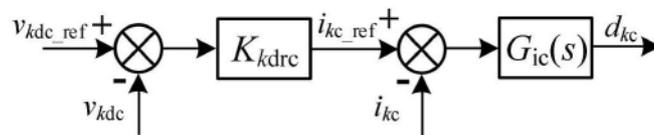


图7

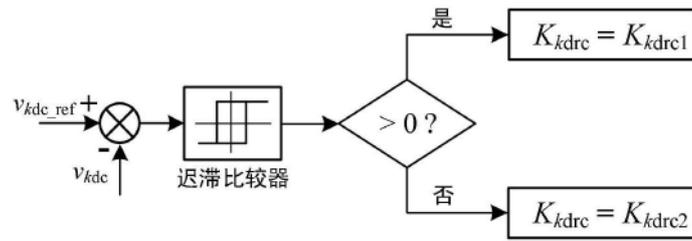


图8

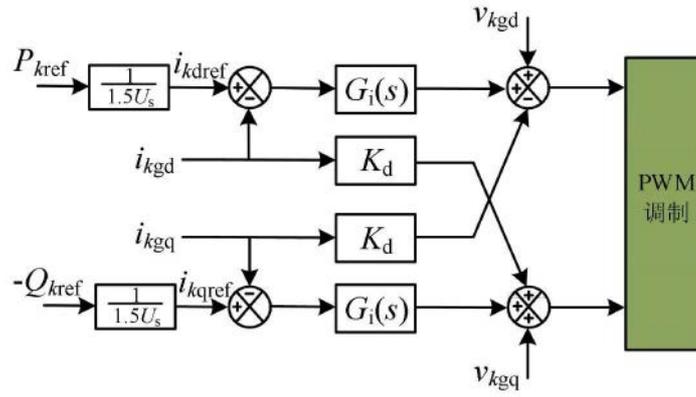


图9

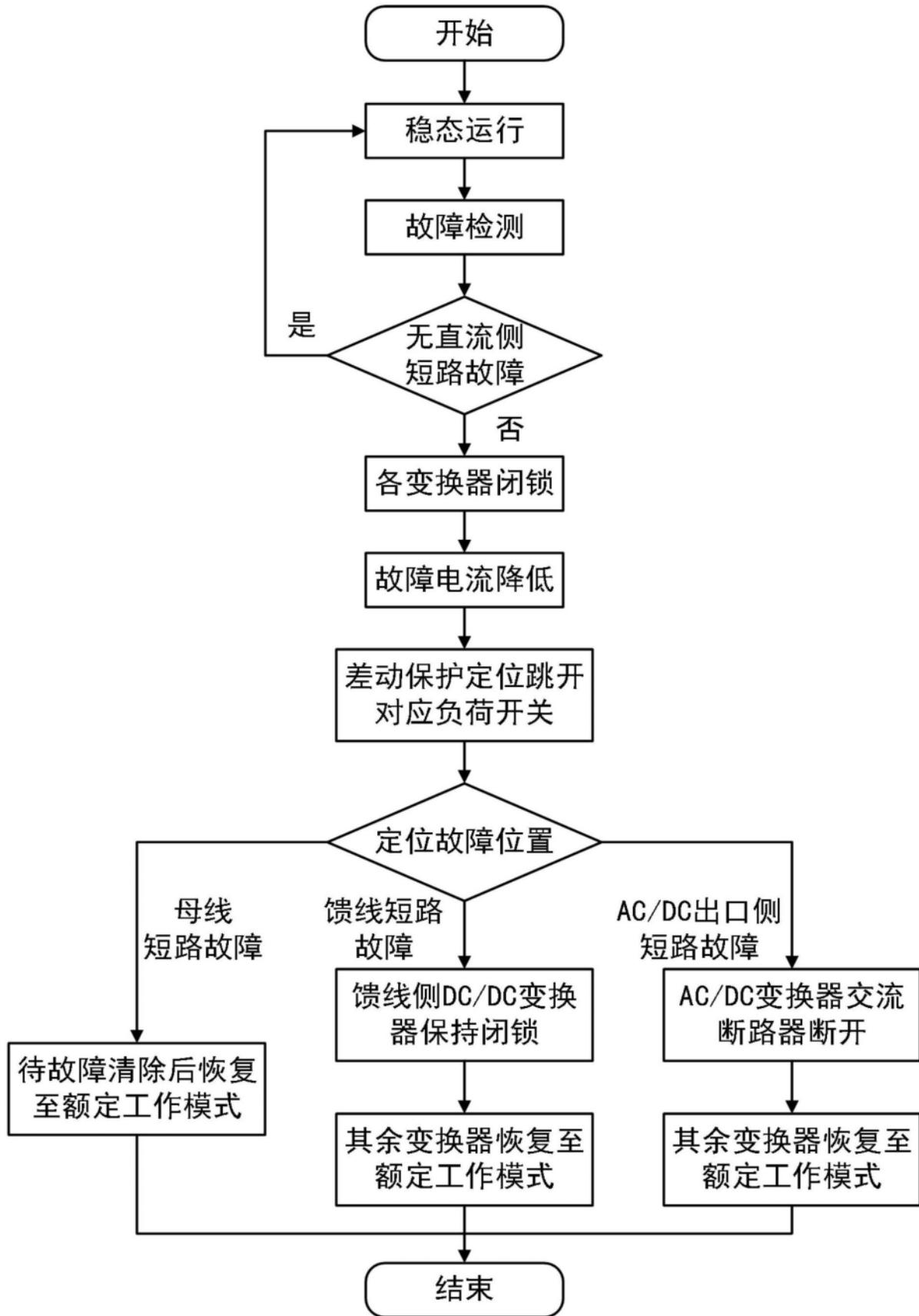


图10