



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111245029 B

(45) 授权公告日 2021. 05. 11

(21) 申请号 202010043729.2

(22) 申请日 2020.01.15

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 111245029 A

(43) 申请公布日 2020.06.05

(73) 专利权人 同济大学

地址 200092 上海市杨浦区四平路1239号

(72) 发明人 牟龙华 张鑫

(74) 专利代理机构 上海科盛知识产权代理有限

公司 31225

代理人 王怀瑜

(51) Int. Cl.

H02J 3/48 (2006.01)

H02J 3/50 (2006.01)

H02J 3/24 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 109921389 A, 2019.06.21

US 2013286696 A1, 2013.10.31

CN 104201706 A, 2014.12.10

韩海娟等. 考虑IIDG低电压穿越时的微电网保护.《中国电机工程学报》.2017,第37卷(第1期),

审查员 邢丹琼

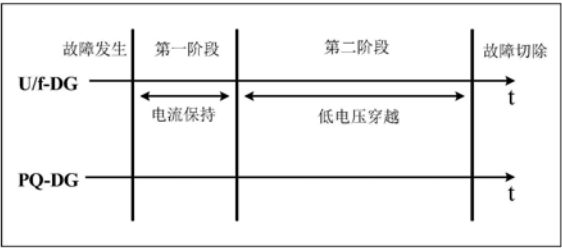
权利要求书2页 说明书5页 附图2页

(54) 发明名称

一种微电源故障控制与微电网保护的协同处理方法

(57) 摘要

本发明涉及一种微电源故障控制与微电网保护的协同处理方法,微电源包括原动机、逆变器和滤波器,滤波器连接微电网,微电源分为主微电源和从微电源,方法通过构建主微电源控制系统和从微电源控制系统,分阶段进行故障控制,主微电源控制系统和从微电源控制系统分别连接对应的逆变器,方法包括:故障控制的第一阶段:将微电源的入网电流保持与故障前的电流一致,通过微电网保护装置完成故障定位;故障控制的第二阶段:采用低电压穿越故障控制策略实现对微电网电压和功率的支撑。与现有技术相比,本发明实现了微电源故障控制与微电网保护的协同处理,可识别不同拓扑、不同运行方式的微电网故障线路,具有稳定可靠等优点。



1. 一种微电源故障控制与微电网保护的协同处理方法,所述微电源包括原动机、逆变器和滤波器,所述滤波器连接所述微电网,所述微电源分为主微电源和从微电源,其特征在于,所述方法通过构建主微电源控制系统和从微电源控制系统,分阶段进行故障控制,所述主微电源控制系统和从微电源控制系统分别连接对应的逆变器,所述方法包括:

故障控制的第一阶段:将所述微电源的入网电流保持与故障前的电流一致,通过微电网保护装置完成故障定位;

故障控制的第二阶段:采用低电压穿越故障控制策略实现对微电网电压和功率的支撑;

所述低电压穿越故障控制策略具体为:

将主微电源控制系统切换到电压控制模式,用于限制所述逆变器的输出电流,支撑并网点电压;

将从微电源控制系统切换到电流控制模式,用于维持所述逆变器输出的有功功率和无功功率恒定;

所述电流控制模式具体为,所述从微电源控制系统通过对并网点电压的正负序分量提取,进行电流参考信号计算,从而进行电流控制,为电网提供功率支撑;

所述电流参考信号的计算表达式为:

$$\begin{cases} i_{\text{ref},d} = \min\{P_{\text{ref}}/u^+, kI_{\text{lim}} + (1-k)\sqrt{I_{\text{lim}}^2 - i_{q,f}^2}\} \\ i_{\text{ref},q} = \min\{Q_{\text{ref}}/u^+, (1-k)I_{\text{lim}} + k\sqrt{I_{\text{lim}}^2 - i_{d,f}^2}\} \\ \theta = \arctan \frac{i_{\text{ref},q}}{i_{\text{ref},d}} = \arctan \frac{Q_{\text{out}}}{P_{\text{out}}} \end{cases}$$

式中, $i_{\text{ref},d}$ 为电流参考信号的d轴分量, $i_{\text{ref},q}$ 为电流参考信号的q轴分量, θ 为从微电源输出的故障电流的相位角, P_{ref} 为从微电源输出的有功功率参考值, Q_{ref} 为从微电源输出的无功功率参考值, u^+ 为并网点电压的正序分量, $k=1$ 为有功功率优先输出, $k=0$ 为无功功率优先输出, P_{out} 为从微电源输出的有功功率平均值, Q_{out} 为从微电源输出的无功功率平均值, I_{lim} 为逆变器最大允许电流值, $i_{q,f}$ 为故障时从微电源输出的无功电流, $i_{d,f}$ 为故障时从微电源输出的有功电流。

2. 根据权利要求1所述的一种微电源故障控制与微电网保护的协同处理方法,其特征在于,所述滤波器连接有电容支路,所述主微电源控制系统包括电流控制器和补偿电容电流计算电路,所述补偿电容电流计算电路连接所述电流控制器,所述电流控制器连接所述逆变器,所述补偿电容电流计算电路用于补偿所述电容支路的分支电流。

3. 根据权利要求1所述的一种微电源故障控制与微电网保护的协同处理方法,其特征在于,所述主微电源控制系统包括依次连接的电压参考信号计算电路和电压控制器,主微电源控制系统的所述电压控制模式具体为,通过所述电压参考信号计算电路产生低电压穿越期间所需的并网点电压基准,从而设置所述电压控制器的参考值,实现电压的控制。

4. 根据权利要求1所述的一种微电源故障控制与微电网保护的协同处理方法,其特征在于,所述主微电源控制系统包括电压控制器、电流控制器、切换控制电路、故障前电流保持电路和电压参考信号计算电路,所述切换控制电路分别连接所述电压控制器和电流控制器。

5.根据权利要求4所述的一种微电源故障控制与微电网保护的协同处理方法,其特征在于,所述主微电源控制系统采用控制器状态跟随的方法,实现故障控制的第一阶段到故障控制的第二阶段的过渡。

6.根据权利要求1所述的一种微电源故障控制与微电网保护的协同处理方法,其特征在于,所述主微电源控制系统和所述从微电源控制系统均通过改变脉宽调制的调制系数,从而进行故障控制。

一种微电源故障控制与微电网保护的协同处理方法

技术领域

[0001] 本发明涉及微电网技术领域,尤其是涉及一种微电源故障控制与微电网保护的协同处理方法。

背景技术

[0002] 微电网作为分布式能源一种有效的利用形式,是电力系统未来的发展趋势,在可持续发展、能源综合利用等方面具有重要地位。微电网技术的发展为分布式发电的应用提供了广阔的前景,它将分布式电源与负荷一起组成了区域性的集发、输、配、送电为一体的小型电力网络,有效解决了大电网远距离输电能量损耗的问题。

[0003] 随着微电网研究的不断深入,相关保护与控制技术已经成为限制微电网发展的主要壁垒。相较于传统大电网,微电网因更加灵活的运行方式,较低的电压等级以及较小的配电网等特点给其保护配置提出了新的要求。受微电网运行模式、拓扑结构及逆变型微电源故障特征等因素的影响,传统配电网的保护方法已无法完全适应,无法实现迅速、有选择性地故障区域从微电网中切除,保证无故障区域恢复正常运行。因此,对微电网保护与控制技术进行研究具有重要的理论价值和现实意义。

发明内容

[0004] 本发明的目的就是为了解决上述现有技术存在的缺陷而提供一种微电源故障控制与微电网保护的协同处理方法。

[0005] 本发明的目的可以通过以下技术方案来实现:

[0006] 一种微电源故障控制与微电网保护的协同处理方法,所述微电源包括原动机、逆变器和滤波器,所述滤波器连接所述微电网,所述微电源分为主微电源和从微电源,所述方法通过构建主微电源控制系统和从微电源控制系统,分阶段进行故障控制,所述主微电源控制系统和从微电源控制系统分别连接对应的逆变器,所述方法包括:

[0007] 故障控制的第一阶段:将所述微电源的入网电流保持与故障前的电流一致,通过微电网保护装置完成故障定位;

[0008] 故障控制的第二阶段:采用低电压穿越故障控制策略实现对微电网电压和功率的支撑;

[0009] 所述入网电流为接入所述微电网的电流。

[0010] 进一步地,所述滤波器连接有电容支路,所述主微电源控制系统包括电流控制器和补偿电容电流计算电路,所述补偿电容电流计算电路连接所述电流控制器,所述电流控制器连接所述逆变器,所述补偿电容电流计算电路用于补偿所述电容支路的分支电流。

[0011] 进一步地,所述低电压穿越故障控制策略具体为:

[0012] 将主微电源控制系统切换到电压控制模式,用于限制所述逆变器的输出电流,支撑并网点电压;

[0013] 将从微电源控制系统切换到电流控制模式,用于维持所述逆变器输出的有功功率

和无功功率恒定。

[0014] 对于有升压站的微电源,并网点为微电源升压站高压侧母线或节点;对于无升压站的微电源,并网点为微电源的输出汇总点。

[0015] 进一步地,所述主微电源控制系统包括依次连接的电压参考信号计算电路和电压控制器,主微电源控制系统的所述电压控制模式具体为,通过所述电压参考信号计算电路产生低电压穿越期间所需的并网点电压基准,从而设置所述电压控制器的参考值,实现电压的控制。

[0016] 进一步地,从微电源控制系统的所述电流控制模式具体为,所述从微电源控制系统通过对并网点电压的正负序分量提取,进行电流参考信号计算,从而进行电流控制,为电网提供功率支撑。

[0017] 进一步地,所述主微电源控制系统包括电压控制器、电流控制器、切换控制电路、故障前电流保持电路和电压参考信号计算电路,所述切换控制电路分别连接所述电压控制器和电流控制器。

[0018] 进一步地,为避免切换瞬间输出电流剧烈变化,造成逆变器输出电压振荡,所述主微电源控制系统采用控制器状态跟随的方法,实现故障控制的第一阶段到故障控制的第二阶段的过渡。

[0019] 进一步地,所述主微电源控制系统和所述从微电源控制系统均通过改变脉宽调制的调制系数,从而进行故障控制。

[0020] 进一步地,所述从微电源输出的故障电流的表达式为:

$$[0021] \quad \begin{cases} i_{\text{ref.d}} = \min \{ P_{\text{ref}} / u^+, k I_{\text{lim}} + (1-k) \sqrt{I_{\text{lim}}^2 - i_{\text{q.f}}^2} \} \\ i_{\text{ref.q}} = \min \{ Q_{\text{ref}} / u^+, (1-k) I_{\text{lim}} + k \sqrt{I_{\text{lim}}^2 - i_{\text{d.f}}^2} \} \\ \theta = \arctan \frac{i_{\text{ref.q}}}{i_{\text{ref.d}}} = \arctan \frac{Q_{\text{out}}}{P_{\text{out}}} \end{cases}$$

[0022] 式中, $i_{\text{ref.d}}$ 为从微电源控制系统输出的参考电流的d轴分量, $i_{\text{ref.q}}$ 为从微电源控制系统输出的参考电流的q轴分量, θ 为从微电源输出的故障电流的相位角, P_{ref} 为从微电源输出的有功功率参考值, Q_{ref} 为从微电源输出的无功功率参考值, u^+ 为并网点电压的正序分量, $k=1$ 为有功功率优先输出, $k=0$ 为无功功率优先输出, P_{out} 为从微电源输出的有功功率平均值, Q_{out} 为从微电源输出的无功功率平均值, I_{lim} 为逆变器最大允许电流值, $i_{\text{q.f}}$ 为故障时从微电源输出的无功电流, $i_{\text{d.f}}$ 为故障时从微电源输出的有功电流。

[0023] 与现有技术相比,本发明具有以下优点:

[0024] (1) 本发明通过调整微电源的故障控制策略,改变了微电源的故障等效模型,简化了微电网故障等效附加网络,无需复杂的故障计算,便可由保护装置识别不同拓扑、不同运行方式的微电网故障线路。

[0025] (2) 本发明微电源采用的分阶段故障控制策略,第一阶段可准确地定位故障线路,第二阶段可灵活地选择低电压穿越策略,兼顾了微电网保护与电压频率支撑,实现了微电源故障控制与微电网保护的协同处理。

[0026] (3) 本发明主微电源控制系统采用控制器状态跟随的方法,能避免切换瞬间输出电流剧烈变化,造成逆变器输出电压振荡,提高本发明方法的可靠性。

[0027] (4) 本发明通过限制故障电流的幅值部超过逆变器的最大允许电流值,保护逆变器功率器件不被损坏,提高本发明方法的可靠性。

附图说明

[0028] 图1为微电源的通用结构示意图;

[0029] 图2为本发明主微电源控制系统的结构示意图;

[0030] 图3为本发明分阶段的故障控制策略的示意图;

[0031] 图4为本发明主微电源控制系统中切换控制电路的结构示意图;

[0032] 图5为本发明从微电源控制系统的结构示意图。

具体实施方式

[0033] 下面结合附图和具体实施例对本发明进行详细说明。本实施例以本发明技术方案为前提进行实施,给出了详细的实施方式和具体的操作过程,但本发明的保护范围不限于下述的实施例。

[0034] 实施例1

[0035] 如图3所示,本实施例提供一种微电源故障控制与微电网保护的协同处理方法,以微电网中的主微电源和从微电源作为控制对象,通过构建主微电源控制系统和从微电源控制系统,分阶段进行故障控制,本实施例协同处理方法包括以下步骤:

[0036] (1) 当微电网发生故障时,微电源采用分阶段的故障控制策略,第一阶段准确地定位故障线路,第二阶段灵活地选择低电压穿越控制策略。

[0037] (2) 故障控制的第一阶段,微电源的入网电流保持与故障前电流一致,控制系统工作在电流控制模式,时间持续2个周期。在该阶段,微电源产生特定的故障特征,微电网保护装置完成故障定位。

[0038] (3) 故障控制的第二阶段,微电源采用低电压穿越的故障控制策略,其中:

[0039] U/f-DG(主微电源)控制系统工作在电压控制模式。在该阶段,U/f-DG的控制目标是逆变器输出电流的限制和并网点电压的支撑;电压参考信号计算模块产生低电压穿越期间所需的并网点电压基准,通过设置电压控制器的参考值,实现并网点电压的稳定控制;

[0040] PQ-DG(从微电源)控制系统工作在电流控制模式。在该阶段,PQ-DG的控制目标在于保证逆变器输出的有功功率和无功功率恒定;通过对并网点电压的正负序分量提取,进行电流参考信号计算,为电网提供功率支撑。

[0041] 下面对各部分进行详细描述。

[0042] 1、微电网

[0043] 本实施例涉及的微电网可工作于孤岛和并网两种运行模式。当微电网孤岛运行时,微电网采用主从控制策略,其中主微电源采用恒压恒频控制策略(U/f控制),此类微电源简称为U/f-DG,主要为微电网提供电压和频率的支撑;从微电源采用恒功率控制策略(PQ控制),此类微电源简称为PQ-DG,作为微电网主要的功率来源。微电网并网运行时,所有微电源均采用PQ控制,与外部电网一起向负荷供电。

[0044] 如图1所示,本实施例方法适用的微电源的通用结构主要包括原动机、逆变器、滤波器等。U/f-DG、PQ-DG微电源通过内部的LCL滤波器连接微电网,通过滤波电容C和网侧电

感 L_o 对逆变器输出电流 i 的高频分量进行分流,衰减逆变器产生的高频开关谐波。为抑制LCL谐振,在滤波器电容支路上串联电阻 r_d 。图1中 i_o 表示微电源入网电流; i 、 u 表示逆变器输出电流和并网点电压; u_c 表示滤波器电容支路的节点电压。微电源的控制系统可根据对上述信号的测量,实现相应的控制策略。

[0045] 2、主微电源控制系统及其故障控制方法

[0046] U/f-DG控制系统如图2所示。微电网正常运行时,电压参考信号 u_{ref} 控制滤波器电容支路的节点电压,采用电感电流内环、电容电压外环的PI双闭环控制,改变脉宽调制(pulse width modulation,PWM)的调制系数 p_m ,实现并网点电压的调节。

[0047] 由于电流控制器将逆变器侧电感电流 i 作为控制量,无法直接控制入网电流 i_o ,本实施例采用电容电流补偿的方法,通过在控制量中补偿电容支路的分支电流,实现入网电流直接跟踪电流参考信号 i_{ref} 。补偿电容电流的计算是通过检测电容支路的节点电压,除以滤波器电容支路的总阻抗:

$$[0048] \quad i_c = \frac{u_c}{r_d + 1/j\omega C} \quad (1)$$

[0049] 式中, ω 为逆变器输出的角频率。

[0050] 当微电网发生故障时,U/f-DG采用分阶段的故障控制策略,如图3所示。故障控制的第一阶段,U/f-DG的入网电流保持与故障前电流 i_{hold} 一致,控制系统工作在电流控制模式,时间持续2个周期。在该阶段,U/f-DG微电源产生特定的故障特征,微电网保护装置完成故障定位。故障控制的第二阶段,U/f-DG采用低电压穿越的故障控制策略,控制系统工作在电压控制模式。在该阶段,U/f-DG的控制目标主要包括逆变器输出电流的限制和并网点电压的支撑。电压参考信号计算模块产生低电压穿越期间所需的并网点电压基准,通过设置电压控制器的参考值,实现并网点电压的稳定控制。

[0051] 由于U/f-DG控制系统在两个阶段的控制模式不同,为避免切换瞬间输出电流剧烈变化,造成逆变器输出电压振荡,故U/f-DG采用控制器状态跟随的方法,实现两个阶段控制模式的平滑过渡。

[0052] 如图4所示,为切换控制器结构框图,U/f-DG正常运行时,开关 K_1 接触点2,开关 K_2 接触点4,控制系统工作在双闭环控制的电压源模式。故障控制的第一阶段,开关 K_1 接触点1,开关 K_2 接触点3,控制系统工作在单电流环的电流源模式,同时电压控制器的输出信号跟踪 i_{ref} ,保证切换瞬间电流控制器的参考信号无跳变现象。故障控制的第二阶段,开关 K_1 接触点2,开关 K_2 接触点4,U/f-DG进行低电压穿越控制。

[0053] 3、从微电源控制系统及其故障控制方法

[0054] 微电网正常运行时,PQ-DG仅输出正序有功功率和无功功率。当微电网中发生故障时,PQ-DG控制系统也采用如图3所示的分阶段故障控制策略,其切换控制系统如图5所示。图5中, u^+ 表示并网点电压的正序分量, u^- 则表示并网点电压的负序分量。在故障控制的第一阶段,开关 K 接触点2,PQ-DG的入网电流保持与故障前电流 i_{hold} 一致;故障控制的第二阶段,PQ-DG控制系统继续工作在电流控制模式,在该阶段,PQ-DG的控制目标在于保证逆变器输出的有功功率和无功功率保持恒定;开关 K 接触点1,通过对并网点电压的正负序分量提取,进行电流参考信号计算,为电网提供功率支撑。

[0055] 根据瞬时功率理论,在同步旋转坐标系下,将d轴定向于并网电压正序分量旋转矢

量。PQ-DG输出的有功、无功功率的平均值 P_{out} 、 Q_{out} 可表示为:

$$[0056] \quad \begin{cases} P_{out} = u^+ i_{ref,d} \\ Q_{out} = u^+ i_{ref,q} \end{cases} \quad (2)$$

[0057] 式中, $i_{ref,d}$ 、 $i_{ref,q}$ 分别表示电流参考信号的d、q轴分量。为改善PQ-DG的输出特性, 其在低电压穿越期间仅输出正序功率, 其输出的故障电流可表示为:

$$[0058] \quad \begin{cases} i_{ref,d} = \min\{P_{ref}/u^+, kI_{lim} + (1-k)\sqrt{I_{lim}^2 - i_{q,f}^2}\} \\ i_{ref,q} = \min\{Q_{ref}/u^+, (1-k)I_{lim} + k\sqrt{I_{lim}^2 - i_{d,f}^2}\} \\ \theta = \arctan \frac{i_{ref,q}}{i_{ref,d}} = \arctan \frac{Q_{out}}{P_{out}} \end{cases} \quad (3)$$

[0059] 式中, P_{ref} 、 Q_{ref} 分别表示PQ-DG输出的有功功率、无功功率参考值; $k=1$ 表示有功功率优先输出, $k=0$ 表示无功功率优先输出; θ 表示输出故障电流的相位角。为保证逆变器功率器件不被损坏, 故障电流的幅值不得超过逆变器最大允许电流值 I_{lim} (一般为2~3倍额定值)。

[0060] 本实施例通过调整U/f-DG、PQ-DG微电源的故障控制策略, 改变了微电源的故障等效模型, 简化了微电网的故障等效附加网络, 无需复杂的故障计算, 便可由保护装置识别不同拓扑、不同运行方式的微电网发生任意故障类型的故障线路。由于微电源采用了分阶段的故障控制策略, 第一阶段可准确地定位故障线路, 第二阶段可灵活地选择低电压穿越策略。本实施例兼顾了微电网保护与电压频率支撑, 可实现微电源故障控制与微电网保护的联动处理。

[0061] 以上详细描述了本发明的较佳具体实施例。应当理解, 本领域的普通技术人员无需创造性劳动就可以根据本发明的构思作出诸多修改和变化。因此, 凡本技术领域技术人员依本发明的构思在现有技术的基础上通过逻辑分析、推理或者有限的实验可以得到的技术方案, 皆应在由权利要求书所确定的保护范围内。

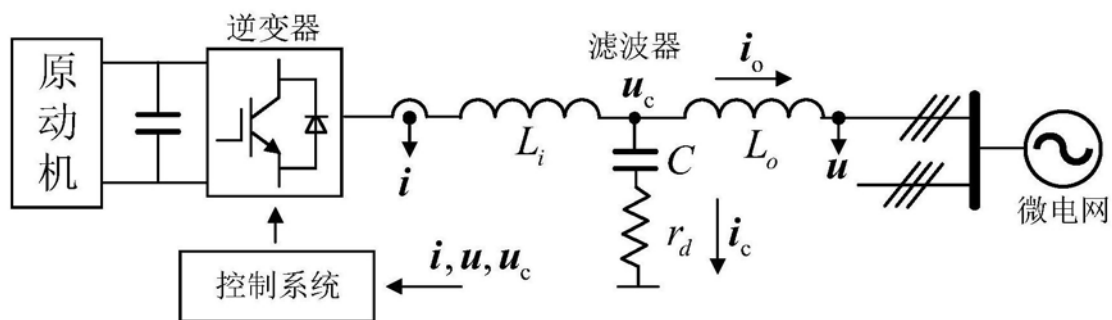


图1

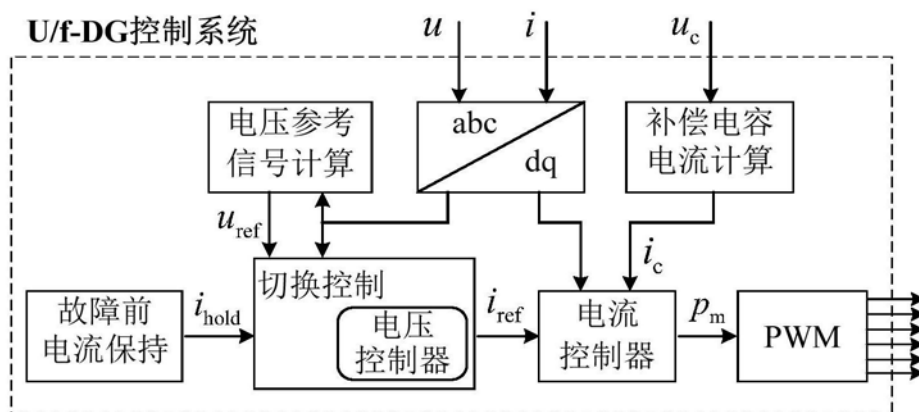


图2

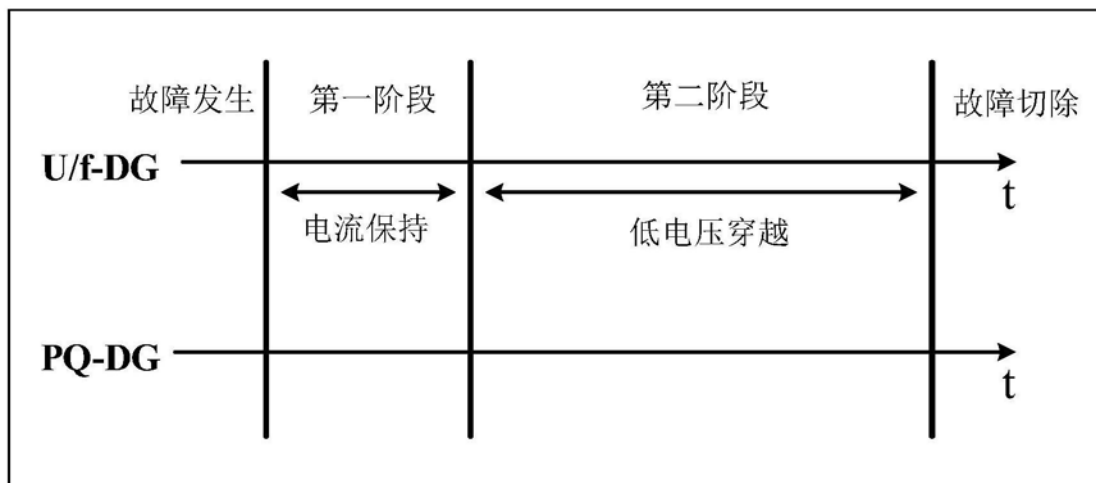


图3

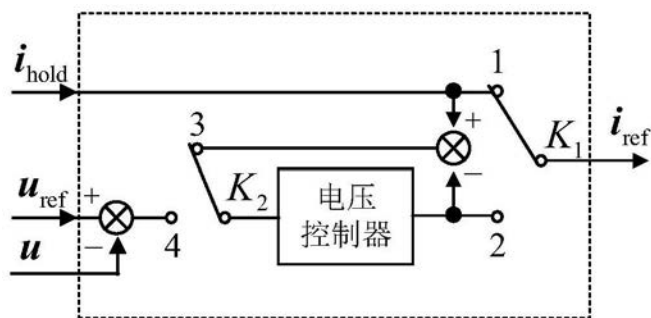


图4

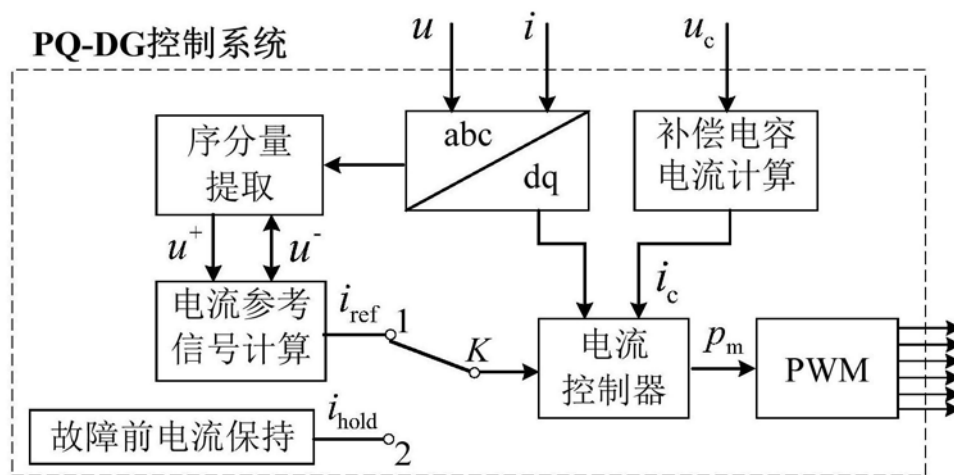


图5