



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103647296 B

(45) 授权公告日 2015. 11. 25

(21) 申请号 201310443856. 1

(22) 申请日 2013. 09. 26

(73) 专利权人 北京北变微电网技术有限公司
地址 100093 北京市海淀区东北旺西路 8 号
中关村软件园 8 号楼华夏科技大厦 231 室

(72) 发明人 孔启翔 赵庆苓 刘贵程 袁增贵

(74) 专利代理机构 北京市卓华知识产权代理有限公司 11299

代理人 周瑞艳

(51) Int. Cl.

H02J 3/32(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 102244391 A, 2011. 11. 16,

CN 103647296 A, 2012. 07. 04,

EP 2003759 A1, 2008. 12. 17,

林少伯等. 多组乏锂电池并联运行在储能系统中的应用. 《中国电力》. 2013, 第 46 卷 (第 8 期),

赵国鹏等. 基于补偿特性的并联型有源电力滤波器直流侧电压取值分析. 《电力系统自动化》. 2013, (第 14 期),

审查员 邢丹琼

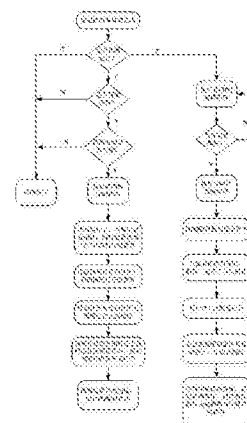
权利要求书2页 说明书6页 附图4页

(54) 发明名称

微电网功率平衡控制方法

(57) 摘要

本发明涉及一种微电网功率平衡控制方法, 储能设备通过双向逆变器接入微电网, 微电网孤岛运行时, 采用 V-f 控制方式, 以储能设备为微电网中的微电源提供电压源支持, 并根据微电源出力和负载变化提供功率支持, 具体工作方式为: (1) 当微电源输出功率等于负载所需功率时, 储能设备的输出近似为零, 负载所需功率完全由微电源供给; (2) 当微电源输出功率大于负载所需功率时, 控制储能设备充电, 吸收微电源满足负载后的多余功率; (3) 当微电源的输出功率小于负载所需功率时, 控制储能设备放电, 补充微电源输出功率的不足部分。本发明可实现孤网、并网间平滑切换, 解决了并网状态转孤网时的供电间断问题, 为微电网在各种稳态和暂态运行提供保证。



1. 一种微电网功率平衡控制方法, 储能设备通过双向逆变器接入微电网, 其特征在于在微电网孤网运行时, 采用 V-f 控制方式, 以所述储能设备为微电网中的微电源提供电压源支持, 并根据微电源出力和负载变化提供功率支持, 具体工作方式为: (1) 当所述微电源输出功率等于负载所需功率时, 所述储能设备的输出近似为零, 负载所需功率完全由所述微电源供给; (2) 当所述微电源输出功率大于负载所需功率时, 控制所述储能设备充电, 吸收所述微电源满足负载后的多余功率; (3) 当所述微电源的输出功率小于负载所需功率时, 控制所述储能设备放电, 补充所述微电源输出功率的不足部分, 工作方式(1)下, 所述双向逆变器的调制比 m_a 维持不变; 工作方式(2)下, 所述双向逆变器的调制比 m_a 随着持续充电过程直流电压升高而减小; 工作方式(3)下, 所述双向逆变器调制比 m_a 随着持续放电直流电压下降而增大, 所述微电源以所述双向逆变器的电压和频率输出作为参考, 对工频正弦波进行离散化, 获得一个工频周期内若干离散时间点的正弦波数据, 形成由该若干正弦波数据组成的正弦表数组 $\sin[n]$, 依据所述正弦表数组形成对应的矩形脉冲序列代替 V-f 控制所需工频正弦波作为调制波, 通过开关频率和工频频率的关系得到一个工频周期正弦表对应的开关点数 n_r , 以正弦表数组元素总数 n 和 n_r 的倍数为实现工频正弦波时正弦表指针移动的步长选取用于调制的矩形脉冲。

2. 如权利要求 1 所述的微电网功率平衡控制方法, 其特征在于在微电网并网运行时, 采用 PQ 解耦控制方式, 快速地跟踪功率变化, 同时单独控制有功功率或者无功功率的变化。

3. 如权利要求 2 所述的微电网功率平衡控制方法, 其特征在于先将无功功率调到零, 再单独控制有功功率, 平抑微电源功率波动, 使微电网与公共电网间交换功率可控, 具体工作方式为: (1) 当微电源输出功率与负载消耗功率的差值正向波动时, 控制所述储能设备充电, 吸收多余的功率; (2) 当微电源输出功率与负载消耗功率的差值负向波动时, 控制所述储能设备放电, 满足负载功率缺额。

4. 如权利要求 3 所述的微电网功率平衡控制方法, 其特征在于对工频正弦波进行离散化, 获得一个工频周期内若干离散时间点的正弦波数据, 形成由该若干正弦波数据组成的正弦表数组 $\sin[m]$, 依据该正弦表数组形成对应的矩形脉冲序列代替 PQ 解耦控制中电压前馈部分所需工频正弦波作为调制波, 通过开关频率和工频频率的关系得到一个工频周期正弦表对应的开关点数 m_r , 以正弦表数组元素总数 m 和 m_r 的倍数为实现工频正弦波时正弦表指针移动的步长选取用于调制的矩形脉冲。

5. 如权利要求 1、2、3 或 4 所述的微电网功率平衡控制方法, 其特征在于在进行孤网 / 并网双模式相互切换时, 先在当前运行模式下对另一种运行模式的电压、频率、相位、功率中的一种或多种进行跟踪矫正, 达到要求后再切换到另一种运行模式。

6. 如权利要求 5 所述的微电网功率平衡控制方法, 其特征在于在微电网由孤网模式向并网模式切换时, 孤网时采用 V-f 控制方式对并网模式下的电压、相位进行跟踪, 并网后, 将控制方式转为 PQ 解耦控制方式;

在微电网由并网模式向孤网模式切换时, 分为计划性和非计划性两种: (1) 计划性并网: 并网前通过投切负载或者限制微电源出力, 将微电网和公共电网的交换功率调整为零, 并网后, 将控制方式转到 V-f 控制方式; (2) 非计划性并网: 控制方式直接转为 V-f 控制方式, 切换过程中如果所述交换功率在储能设备的容量允许范围内, 控制所述储能设备输出

或者吸收功率,如果所述交换功率超出储能设备的容量允许范围,快速切除负载或者限制微电源出力。

7. 如权利要求 1、2、3 或 4 所述的微电网功率平衡控制方法,其特征在于若所述储能设备的 SOC 达不到最小设定的阈值要求,先采用恒定大电流对所述储能设备强制充电,当 SOC 达到设定阈值之后,再改用恒压小电流对所述储能设备充电。

8. 如权利要求 5 所述的微电网功率平衡控制方法,其特征在于若所述储能设备的 SOC 达不到最小设定的阈值要求,先采用恒定大电流对所述储能设备强制充电,当 SOC 达到设定阈值之后,再改用恒压小电流对所述储能设备充电。

9. 如权利要求 6 所述的微电网功率平衡控制方法,其特征在于若所述储能设备的 SOC 达不到最小设定的阈值要求,先采用恒定大电流对所述储能设备强制充电,当 SOC 达到设定阈值之后,再改用恒压小电流对所述储能设备充电。

微电网功率平衡控制方法

技术领域

[0001] 本发明属于微电网稳定控制技术领域,具体涉及一种微电网内以调节储能设备为核心的功率平衡控制方法。

背景技术

[0002] 微电网能够稳定运行是微电网安全、可靠运行并发挥效益的前提。微电网要做到并网并得上,孤网稳得住,隔离足够快,无缝切换,真正实现微电网的即插即用,才能充分发挥其效益。由于微电网分布式发电电源普遍存在过载能力低、惯性小或无惯性的特点,以及微电网内负载存在突变等问题,容易造成微电网系统振荡甚至崩溃,严重制约着微电网的发展和应用。为了改善这种情况,目前的微电网结构中通常用储能设备来维持系统暂态的稳定,在必要时为微电网提供电压和频率支撑,但目前还没有仅以储能设备为控制对象的、能够满足微电网在各种运行模式下稳定运行要求的成熟控制方法。

发明内容

[0003] 为了克服现有技术的上述缺陷,本发明的目的在于提供一种微电网功率平衡控制方法,该方法以储能设备为控制对象,可满足微电网孤网、并网稳定运行,孤网转并网以及并网转孤网的平滑切换要求。

[0004] 本发明的技术方案是:

[0005] 一种微电网功率平衡控制方法,储能设备通过双向逆变器接入微电网,在微电网孤网运行时,采用 V-f 控制方式,以所述储能设备为微电网中的微电源提供电压源支持,并根据微电源出力和负载变化提供功率支持,具体工作方式为:(1)当所述微电源输出功率等于负载所需功率时,所述储能设备的输出近似为零,负载所需功率完全由所述微电源供给;(2)当所述微电源输出功率大于负载所需功率时,控制所述储能设备充电,吸收所述微电源满足负载后的多余功率;(3)当所述微电源的输出功率小于负载所需功率时,控制所述储能设备放电,补充所述微电源输出功率的不足部分。

[0006] 工作方式(1)下,所述双向逆变器的调制比 m_a 维持不变;工作方式(2)下,所述双向逆变器的调制比 m_a 随着持续充电过程直流电压升高而减小;工作方式(3)下,所述双向逆变器调制比 m_a 随着持续放电直流电压下降而增大。

[0007] 所述微电源以所述双向逆变器的电压和频率输出作为参考。

[0008] 优选对工频正弦波进行离散化,获得一个工频周期内若干离散时间点的正弦波数据,形成由该若干正弦波数据组成的正弦表数组 $\sin[n]$,依据所述正弦表数组形成对应的矩形脉冲序列代替 V-f 控制所需工频正弦波作为调制波,通过开关频率和工频频率的关系得到一个工频周期正弦表对应的开关点数 n_f ,以正弦表数组元素总数 n 和 n_f 的倍数为实现工频正弦波时正弦表指针移动的步长选取用于调制的矩形脉冲。

[0009] 在微电网并网运行时,优选采用 PQ 解耦控制方式,快速地跟踪功率变化,同时单独控制有功功率或者无功功率的变化。

[0010] 具体可以是：先将无功功率调到零，再单独控制有功功率，平抑微电源功率波动，使微电网与公共电网间交换功率可控，具体工作方式为：(1) 当微电源输出功率与负载消耗功率的差值正向波动时，控制所述储能设备充电，吸收多余的功率；(2) 当微电源输出功率与负载消耗功率的差值负向波动时，控制所述储能设备放电，满足负载功率缺额。

[0011] 优选对工频正弦波进行离散化，获得一个工频周期内若干离散时间点的正弦波数据，形成由该若干正弦波数据组成的正弦表数组 $\sin[m]$ ，依据该正弦表数组形成对应的矩形脉冲序列代替 PQ 解耦控制中电压前馈部分所需工频正弦波作为调制波，通过开关频率和工频频率的关系得到一个工频周期正弦表对应的开关点数 m_f ，以正弦表数组元素总数 m 和 m_f 的倍数为实现工频正弦波时正弦表指针移动的步长选取用于调制的矩形脉冲。

[0012] 在进行孤网 / 并网双模式相互切换时，先在当前运行模式下对另一种运行模式的电压、频率、相位、功率中的一种或多种进行跟踪矫正，达到要求后再切换到另一种运行模式。

[0013] 孤网 / 并网双模式切换具体可以采用如下步骤：在微电网由孤网模式向并网模式切换时，孤网时采用 V-f 控制方式对并网模式下的电压、相位进行跟踪，并网后，将控制方式转为 PQ 解耦控制方式；

[0014] 在微电网由并网模式向孤网模式切换时，分为计划性和非计划性两种：(1) 计划性并网：并网前通过投切负载或者限制微电源出力，将微电网和公共电网的交换功率调整为零，并网后，将控制方式转到 V-f 控制方式；(2) 非计划性并网：控制方式直接转为 V-f 控制方式，切换过程中如果所述交换功率在储能设备的容量允许范围内，控制所述储能设备输出或者吸收功率，如果所述交换功率超出储能设备的容量允许范围，快速切除负载或者限制微电源出力。

[0015] 对于前述任一控制方法，若所述储能设备的 SOC 达不到最小设定的阈值要求，先采用恒定大电流对所述储能设备强制充电，当 SOC 达到设定阈值之后，再改用恒压小电流对所述储能设备充电。

[0016] 本发明的有益效果为：在孤网和并网运行模式下进行脉宽调制过程中，采用正弦表数组作为参考调整波，为孤网、并网间相互切换建立了切换纽带，使得储能设备在任意一种模式下运行时对另一种运行模式的电压和频率等相关量进行跟踪矫正成为可能，为无缝平滑切换创造了条件。

[0017] 由于找到了并网和孤网间切换的纽带，还很好地解决了微电网从并网状态转换成孤网状态时带来的供电间断问题，使用户可以在微电网其他电源故障（含电网停电）的情况下为负载提供无缝的、稳定的电源。

附图说明

[0018] 图 1 是本发明的储能设备充电工作状态示意图；

[0019] 图 2 是本发明的储能设备放电工作状态示意图；

[0020] 图 3 是本发明的孤网模式下 V-f 控制原理框图；

[0021] 图 4 是本发明的并网模式下基于正弦表参考的 PQ 解耦控制原理框图；

[0022] 图 5 是本发明的控制流程框图。

具体实施方式

[0023] 本发明提供了一种微电网功率平衡控制方法,可用于微电网孤网、并网运行模式下以及孤网转并网、并网转孤网过程中的储能设备的控制。储能设备通过双向逆变器接入微电网,微电网与公共电网的连接通过 PCC(微电网与公共电网间的公共连接点)开关实现。以下是该控制方法的具体内容,该控制方法的流程图可参见图 5。

[0024] 1、孤网模式下的 V-f 控制:

[0025] 在电网故障情况下或者不具备并网条件下,通过调节双向逆变器使储能设备为微电网内光伏电源等微电源提供电压源支撑,同时根据微电源出力和负荷变化提供功率支持。

[0026] 在孤网运行模式下有三种工作情况:1)当光伏电源出力和负载需求功率相等时,负载功率完全由光伏电源供给,所述储能设备的输出功率近似为零(即等于零或非常接近零);2)当光伏电源出力大于负载需求功率时,光伏电源出力在满足负载之后,将多余功率提供给所述储能设备,此时双向逆变器工作在整流状态,所述储能设备工作在充电状态(如图 1 所示);3)当光伏电源出力小于负载需求功率时,此时双向逆变器工作在逆变状态,所述储能设备工作在放电状态(如图 2 所示)如果放电也不够满足负载要求时,通过中央控制器的控制,断开部分负载)。在孤网运行模式下,光伏电源要以双向逆变器输出的电压和频率作为参考,以维持其正常运行。

[0027] 如果储能设备充、放电也不能满足负载的功率要求时,则由上级控制器协调改变微电网内微电源的出力或改变负载大小来实现微电网的稳定运行,这部分内容不在本发明范围内。

[0028] 在第一种工作情况下,逆变器调制比 m_a 维持不变,在第二种工作情况下,逆变器调制比 m_a 随着持续充电过程直流电压升高而减小,在第三种工作情况下,逆变器调制比 m_a 随着持续放电直流电压下降而增大。

[0029] 在孤网运行模式下,V-f 控制需要有工频正弦波作为调制波,本发明中该调制波的形成方法为:对工频正弦波(优选采用幅值为 1 的工频正弦波)进行离散化,获得一个工频周期内若干(n 个)离散时间点的正弦波数据,形成由该若干正弦波数据组成的正弦表数组 $\sin[n]$,作为参考,依据所述正弦表数组形成各离散时间点下的对应于该离散时间点下工频正弦波数据的矩形脉冲序列代替 V-f 控制所需工频正弦波作为调制波,通过开关频率和工频频率的关系得到一个工频周期正弦表对应的开关点数 n_f (即以 一个工频周期为单位的开关频率数值),以正弦表数组元素总数 n 和 n_f 的倍数为实现工频正弦波时正弦表指针移动的步长选取用于调制的矩形脉冲,由此从上述矩阵脉冲序列中选取了与开关信号时点对应的若干矩阵脉冲(矩阵脉冲子序列),以此作为调制波与开关信号比较和调制输出使其符合工频正弦波形(包括位相相同)。

[0030] 以 A 相为例分析,三角载波周期对应为周期计数值 Coun_{pr} ,A 相导通脉冲时间对应为脉冲计数 Coun_{cmpA} ,A 相在正弦表数组中对应的点数为 n_A ,有 $\text{Coun}_{cmpA}=0.5 \times \text{Coun}_{pr} (1+m_a \sin[n_A])$,B 相和 C 相调制波也可从正弦表数组中进行相应的移点操作得到。V-f 控制原理框图如图 3 所示。

[0031] 当微电网孤网运行时,双向逆变电器运行于 V-f 控制方式,正弦表数组中的当前数组指针 $\sin_pointer$ 按照一定的步长变化,实现工频调制波,用 $\sin_pointer$ 对应的角度

去更新锁相角 θ 。

[0032] 2、并网模式下的 PQ 解耦控制：

[0033] 并网运行时的控制方法主要是平抑由于受天气因素影响具有随机波动性的光伏电源等接入电网而引起的电网功率波动，最终实现微电网与公共电网间交换功率的可控和稳定，或者说实现微电网的功率跟随。

[0034] 由于光伏电源发出的主要是有功功率，所以在并网运行时引起的交换功率波动以有功功率为主。在补偿有功功率波动时，可能需要将无功功率调整为零，所以在微电网并网运行时，采用有功无功解耦控制策略，快速地跟踪功率变化，同时可以单独控制双向逆变器输出有功或者无功的变化。

[0035] PQ 解耦控制需要通过坐标变换将三相对称静止坐标系下的变量变换成以电网基波电压为基准的同步旋转坐标系下的变量(即通过 park 变换,变换到 d-q 坐标下),变换之后,基波交流正弦量变为同步旋转坐标系下的直流变量。其中 q 轴电流与无功功率相关, d 轴电流与有功分量相关,该变换实现了有功功率和无功功率的解耦。

[0036] 具体控制方式是:当微电源输出功率与负载消耗功率的差值正向波动(即朝着所述差值大于零的方向波动)时,控制所述储能设备充电,吸收多余的功率;(1)当微电源输出功率与负载消耗功率的差值负向波动(即朝着所述差值小于零的方向波动)时,控制所述储能设备放电,满足负载功率缺额。通过该控制方式可以保持微电网与公共电网间交换功率的稳定、可控。

[0037] 与孤网模式类似,并网模式下,PQ 解耦控制中电压前馈部分也需要工频正弦波作为调制波,本发明中该调制波的形成方法与 V-f 控制中调制波的形成方法相同,为:对工频正弦波(为便于运算,优选设定为幅值为 1 的工频正弦波)进行离散化,获得一个工频周期内若干离散时间点的正弦波数据,形成由该若干(m 个)正弦波数据组成的正弦表数组 $\sin[m]$,依据该正弦表数组形成对应的矩形脉冲序列代替 PQ 解耦控制中电压前馈部分所需工频正弦波作为调制波,通过开关频率和工频频率的关系得到一个工频周期正弦表对应的开关点数 m_f ,以正弦表数组元素总数 m 和 m_f (即以一个工频周期为单位的开关频率数值)的倍数为实现工频正弦波时正弦表指针移动的步长选取用于调制的矩形脉冲。m 和 n 均为大于 1 的整数,二者可以相同也可以不同。PQ 解耦控制原理框图如图 4 所示,其中 P_{ref} 为给定的有功功率, Q_{ref} 为给定的无功功率, i_{idref} 为有功电流, i_{iqref} 为无功电流, e_a 、 e_b 、 e_c 为电网电压, i_{ia} 、 i_{ib} 、 i_{ic} 为逆变器输出电流, u_{dc} 为逆变器直流侧电压, u_{dcref} 为逆变器直流电压参考,k 为变压器的变比, w_0 为同步旋转角频率, m_a 为调制比, u_{ma} 、 u_{mb} 、 u_{mc} 是 PQ 解耦控制的调制波, u_{iabc} 为双向逆变器的滤波电容的三相电压, $u_{iabcref}$ 为双向逆变器的滤波电容三相电压参考。

[0038] 当双向逆变器工作于并网模式时,锁相角 θ 随着电网电压相位变化,用锁相角度对应于正弦表数组中的指针 $\sin_pointer_{pq}$ 当前的数组指针 $\sin_pointer$ 及对应的角度,实现参考调制波,将 PQ 解耦电流环得到的调制波叠加到正弦表生成的参考调制波上,可得到 PQ 解耦控制的输出调制波,实现并网模式的功率跟踪。

[0039] 上述两种模式下,用生成的正弦表数组作为参考调制波,使得储能系统在任意一种模式下运行时都能对另一种运行模式的电压、频率、相位、功率等相关量进行跟踪矫正,正弦表数组充当了模式切换的纽带,为实现两模式间的无缝、平滑切换创造了条件,解决了

常规方法下进行模式切换时难以给定电压和频率等参考的问题。

[0040] 3、孤网转并网控制方法：

[0041] 先采用 V-f 控制方式将双向逆变器控制为电压源，对并网模式下的电压、相位进行跟踪，并网后，将控制方式转为 PQ 解耦控制方式。

[0042] 4、并网转孤网控制方法：

[0043] (1) 计划性并网转孤网：

[0044] 需要中央主控系统下发指令，通过切换负荷或者限制光伏源出力等措施，调整 PCC 点交换功率为零，控制 PCC 点快速开关断开(这个过程由中央控制器控制)，控制策略转为 V-f 控制方式，切换至孤网运行。

[0045] (2) 非计划性并网转孤网：

[0046] 非计划性并网，即 PCC 点突然掉电或者电网故障等原因造成 PCC 点失去电网电源，此时控制策略直接转为 V-f 控制方式，切换过程中的 PCC 点交换功率在储能设备容量允许范围内，由储能设备供给或者吸收，如果超出其容量范围，必须快速采取切负荷或者限制光伏电源出力等措施，使双向逆变器稳定运行。

[0047] 为了更为直观地展现上述控制方法，下面从正弦表数组层面对孤网、并网、孤网转并网、并网转孤网时的控制过程进行说明：

[0048] 当微电网孤网运行时，双向逆变器运行于 V-f 控制方式，正弦表数组中的当前数组指针 $\sin_pointer$ 按照一定的步长变化，实现工频调制波，用 $\sin_pointer$ 对应的角度去更新锁相角 θ ；

[0049] 当微电网并网运行时，双向逆变器运行于 PQ 解耦控制方式，锁相角 θ 随着电网电压相位变化，用锁相角度对应于正弦表数组中的指针 $\sin_pointer_{pq}$ 当前的数组指针 $\sin_pointer$ 及对应的角度，实现参考调制波，将 PQ 解耦电流环得到的调制波叠加到正弦表生成的参考调制波上，可得到 PQ 解耦控制的输出调制波，实现并网模式的功率跟踪；

[0050] 当需要孤网切换到并网时，锁相角 θ 随着电网电压相位变化，计算 θ 对应于正弦表数组的指针 $\sin_pointer_{pq}$ ，用当前数组指针 $\sin_pointer$ 追踪 $\sin_pointer_{pq}$ ，过程中双向逆变器以 V-f 电压源方式运行，调制波生成依赖于 $\sin_pointer$ 的变化，当两个指针相等时，控制 PCC 点快速开关闭合，切换至并网运行模式，参考调制波依赖于 $\sin_pointer_{pq}$ ($\sin_pointer$ 和 $\sin_pointer_{pq}$ 保持相等) 的变化，在稳定运行之后，根据功率指令将 PQ 解耦电流环生成的调制波叠加在参考调制波上，实现功率跟踪控制；

[0051] 当需要由并网切换到孤网运行时，锁相角 θ 对应切换时刻的 $\sin_pointer$ (此时 $\sin_pointer$ 和 $\sin_pointer_{pq}$ 仍相等) 保持一个开关周期， $\sin_pointer$ 不再追踪 $\sin_pointer_{pq}$ ，参考调制波不依赖于 $\sin_pointer_{pq}$ 的变化，此时可控制 PCC 点快速开关断开，微电网处于孤网状态。 $\sin_pointer$ 根据切换时刻的指针值，按照一定的步长变化，实现新的参考调制波，变为 V-f 控制的孤网运行模式。

[0052] 无论孤网、并网还是孤网与并网间的切换过程中都可能涉及对储能设备的充放电调节，出于对储能设备的保护，都需要对储能设备的剩余容量(SOC)进行判断，若所述储能设备的 SOC 达不到最小设定的阈值要求，先采用恒定大电流对所述储能设备强制充电，当 SOC 达到设定阈值之后，再改用恒压小电流对所述储能设备充电。

[0053] 需要说明的是，本发明所称的“A 等于 B”、“A 和 B 相等”不仅包含了 A 与 B 在数学

意义上相等,还包含了 A 落入一个包含了 B 且具有上下限的区间的情况。

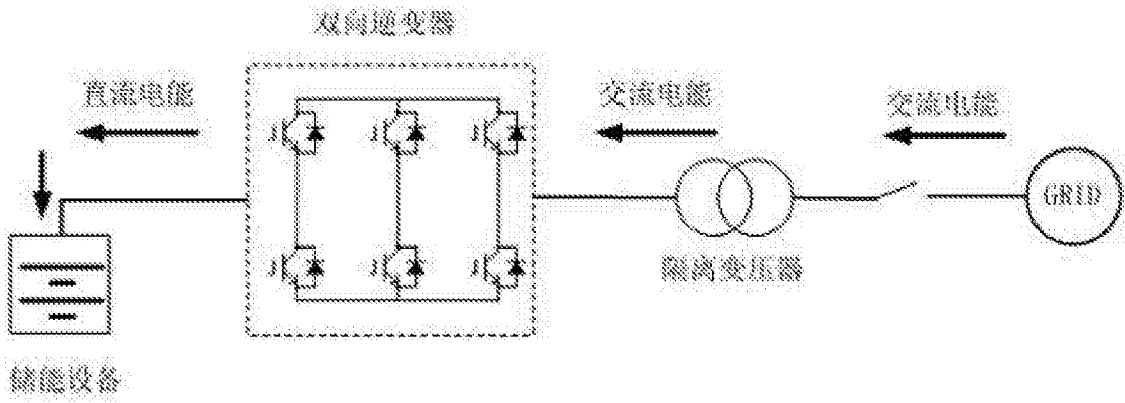


图 1

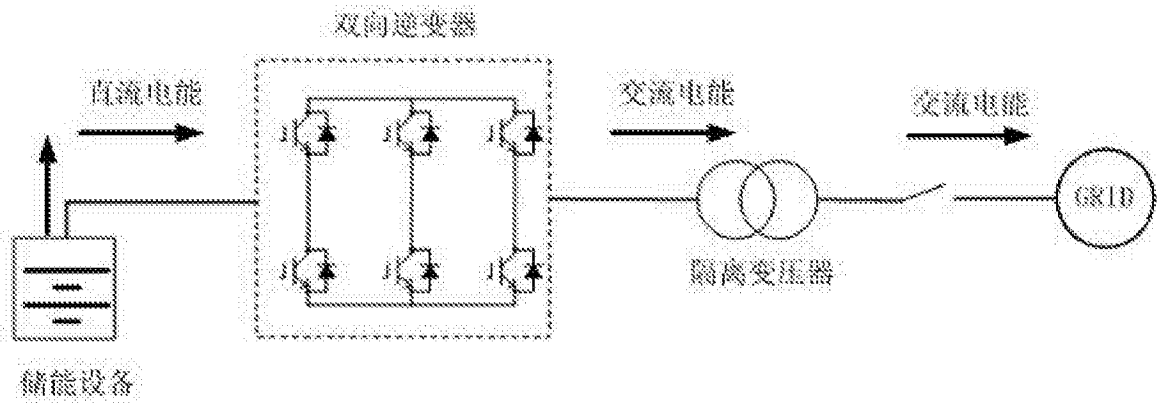


图 2

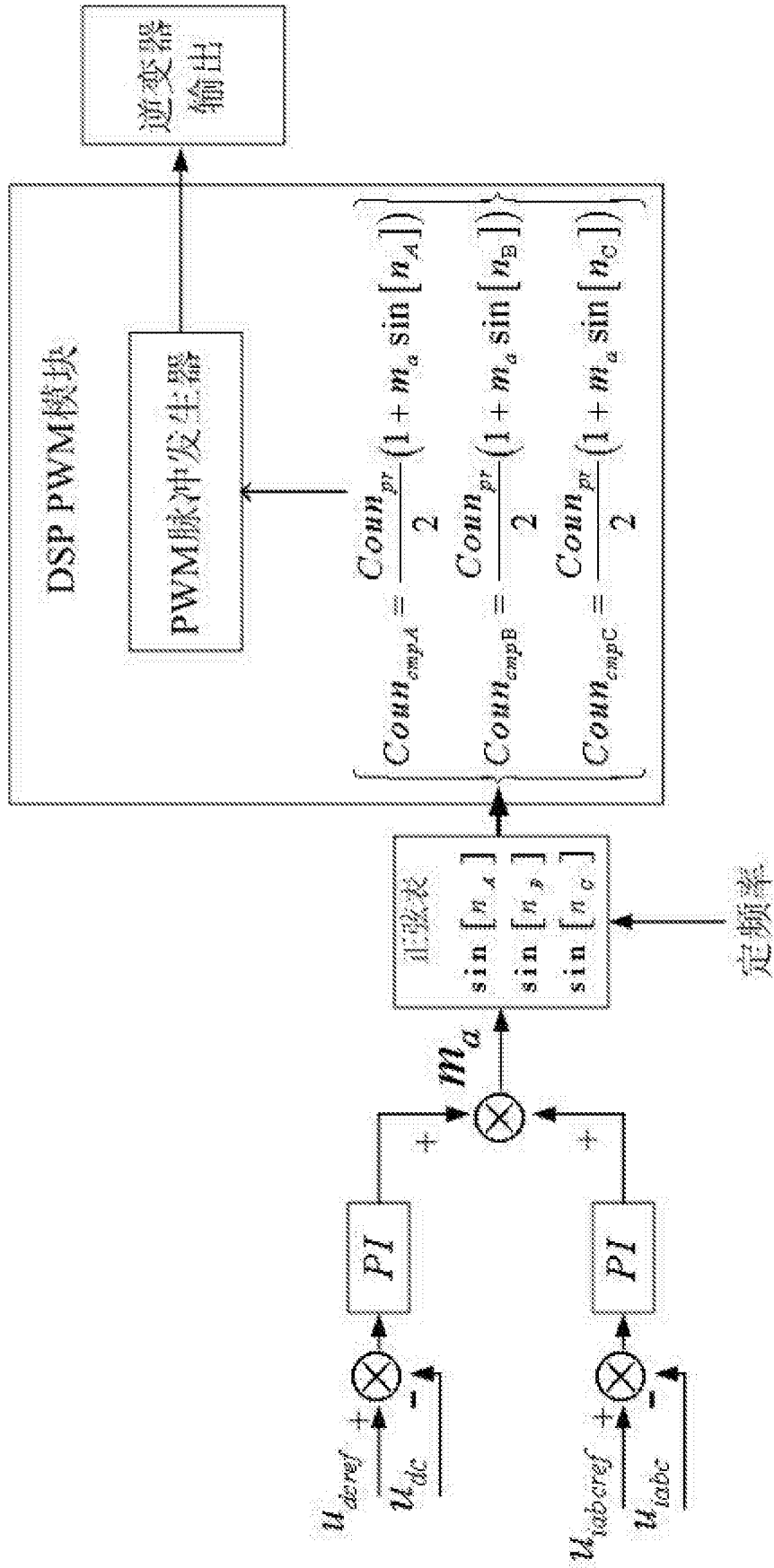


图 3

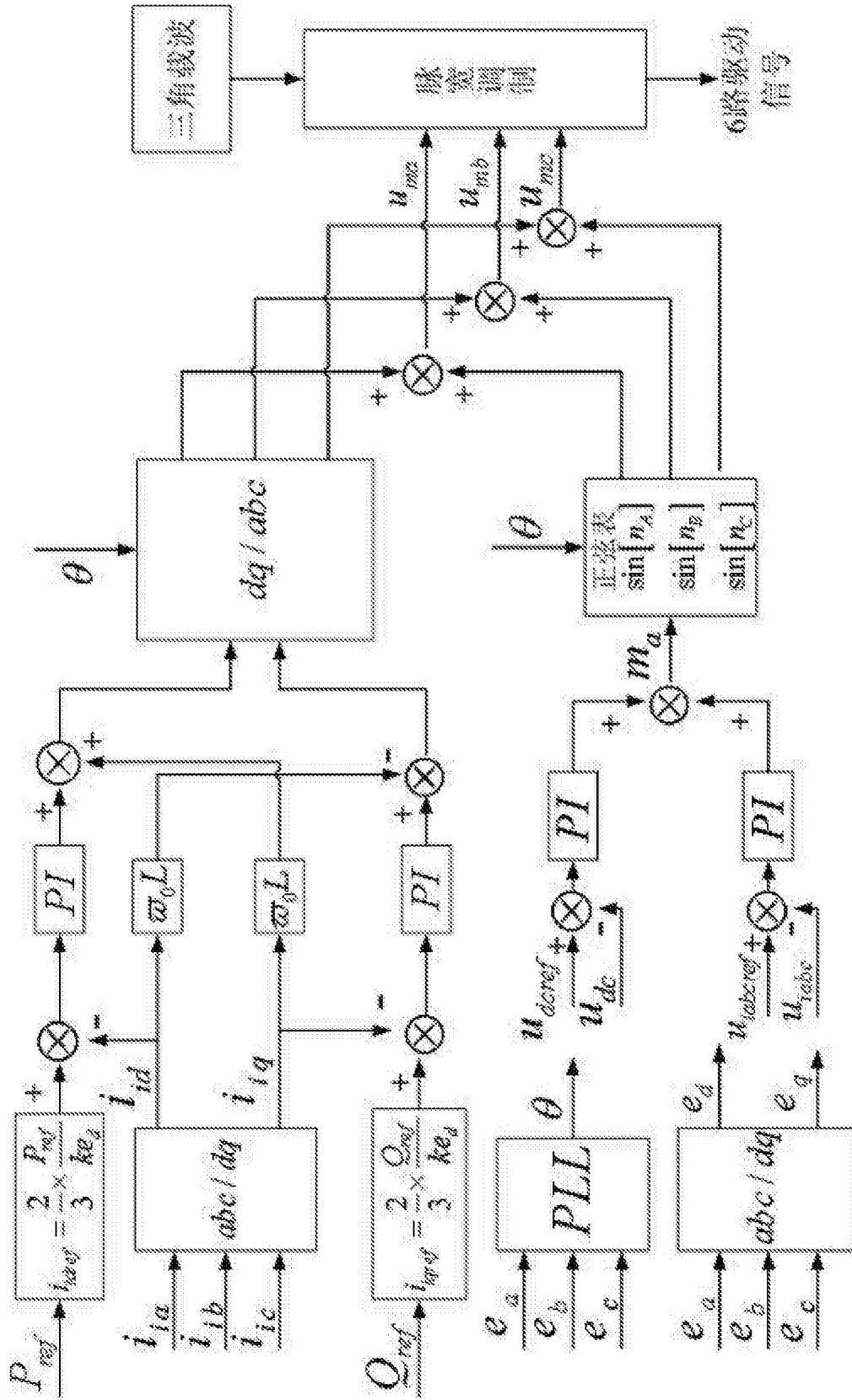


图 4

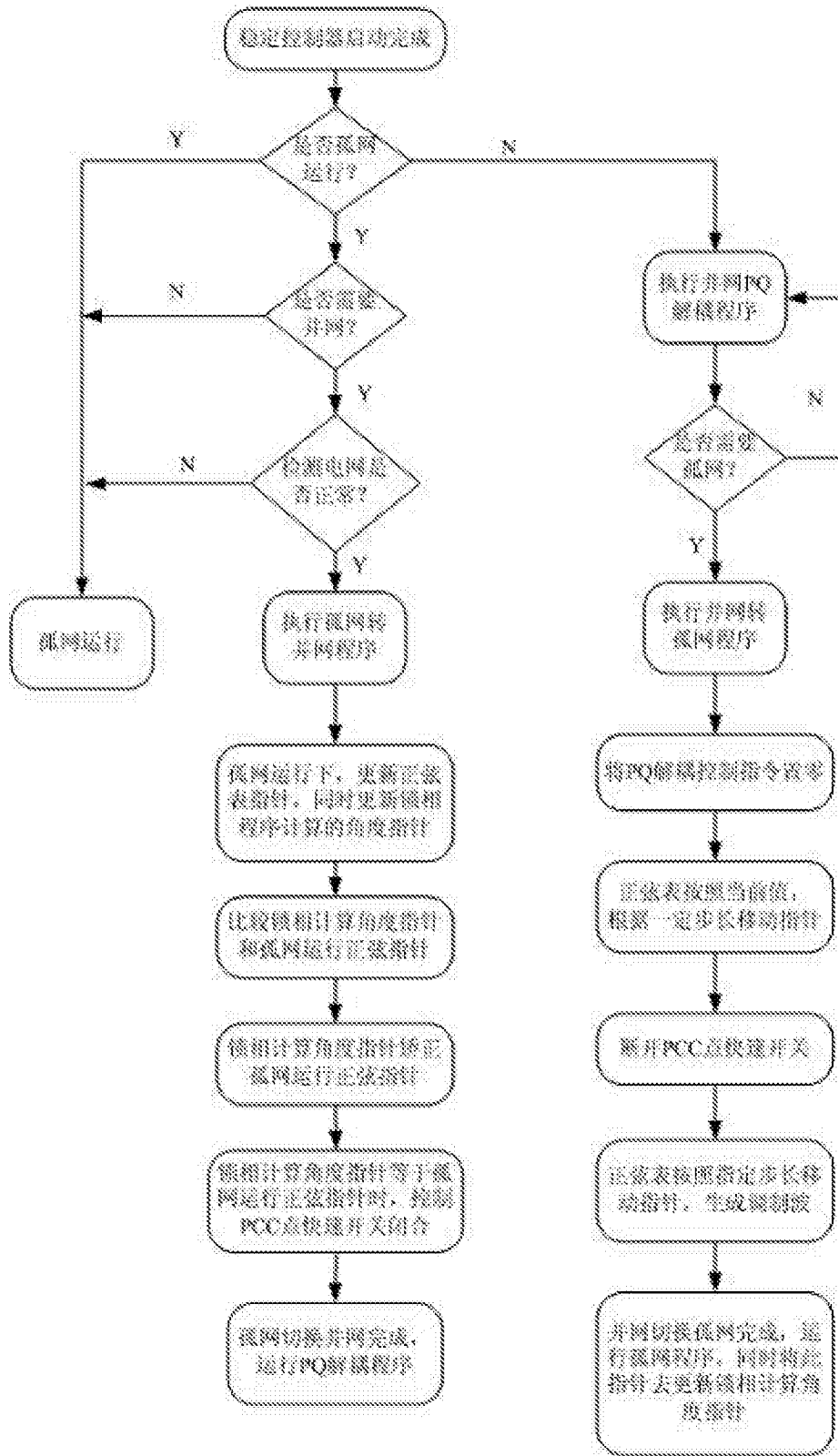


图 5