



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104810858 B

(45)授权公告日 2017.03.29

(21)申请号 201510276580.1

(22)申请日 2015.05.27

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 104810858 A

(43)申请公布日 2015.07.29

(73)专利权人 广西大学  
地址 530004 广西壮族自治区南宁市西乡塘区大学路100号

(72)发明人 胡立坤 曹俊 田向渝 卢泉  
黄太昱 肖东裕 曾献金 李卓

(74)专利代理机构 北京高沃律师事务所 11569  
代理人 王加贵

(51)Int.Cl.  
H02J 3/38(2006.01)  
H02J 3/16(2006.01)

(56)对比文件

CN 101969281 A,2011.02.09,  
CN 104377762 A,2015.02.25,  
CN 1862942 A,2006.11.15,  
CN 103606957 A,2014.02.26,  
CN 104269878 A,2015.01.07,

孙瑾.含分布式电源和储能装置的微电网控制技术研究.《中国优秀硕士学位论文全文数据库 工程科技II辑》.2013,(第2期),第5.3节.

审查员 李炜

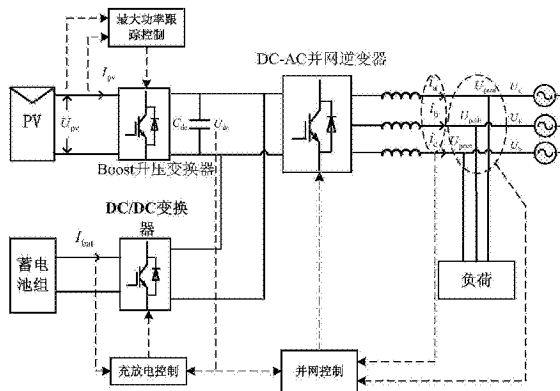
权利要求书2页 说明书6页 附图2页

(54)发明名称

一种光储微电网并网发电系统的控制方法

(57)摘要

本发明公开了一种光储微电网并网发电系统的控制方法,光伏发电电源经升压变换器连接直流母线,储能模块经双向DC-DC变换器连接直流母线;DC-AC并网逆变器的直流侧连接直流母线,交流侧经滤波电感后分别连接电网和负载;根据储能模块充电状态、光伏发电电源的输出功率、并网点电压跌落情况和电网的无功需求设定值,分别通过Boost升压变换器控制策略对光伏发电电源进行最大功率跟踪控制及恒压控制,通过双向DC-DC变换器控制策略控制储能模块充放电,通过DC-AC并网逆变器控制策略稳定并网点电压。本发明方法保证光储微电网的稳定并网,改善电网的电能质量;实现并网逆变器的多功能化,降低成本;增强电网对新能源的吸纳能力,以满足电网的需求。



1. 一种光储微电网并网发电系统的控制方法,所述系统光伏发电电源经Boost升压变换器连接直流母线,储能模块经双向DC-DC变换器连接直流母线;直流母线和地之间并联电容;DC-AC并网逆变器的直流侧与直流母线连接,交流侧经过滤波电感后分别与电网和负载相连;其特征在于,根据储能模块充电状态、光伏发电电源的输出功率、DC-AC并网逆变器并网点电压跌落情况和电网的无功需求设定值,分别通过Boost升压变换器控制策略对光伏发电电源进行最大功率跟踪控制及恒压控制,通过双向DC-DC变换器控制策略对储能模块进行充放电控制,通过DC-AC并网逆变器控制策略稳定并网点电压;

所述DC-AC并网逆变器控制策略为:

通过DC-AC并网逆变器输出的三相电流 $i_a$ 、 $i_b$ 、 $i_c$ 和并网点三相电压 $U_{pcca}$ 、 $U_{pccb}$ 、 $U_{pccc}$ ,分别计算出DC-AC并网逆变器输出的有功功率 $P$ 和无功功率 $Q$ ,以及并网点电压幅值 $U_{pcc}$ ;设并网点额定电压幅值为 $U_{pccN}$ ,由下式计算并网点电压跌落深度:

$$\frac{\Delta U}{U_{pccN}} = \frac{U_{pccN} - U_{pcc}}{U_{pccN}}$$

上式中, $\Delta U = U_{pccN} - U_{pcc}$ ,为并网点电压跌落幅值;

(1) 若并网点电压没有跌落,即 $\Delta U = 0$ ,则DC-AC并网逆变器控制策略采用包括PQ控制策略的综合控制策略;

PQ控制策略包括功率环和电流环控制;有功功率的设定值 $P_{ref}$ 和无功功率的设定值 $Q_{ref}$ 分别与有功功率 $P$ 和无功功率 $Q$ 进行比较,所得的差值分别输入第六PI控制器和第七PI控制器,第六PI控制器和第七PI控制器各自的输出分别为内环电流控制的有功电流给定值和无功电流给定值;功率环输出的有功电流给定值和无功电流给定值分别与三相电流 $i_a$ 、 $i_b$ 、 $i_c$ 在同步旋转坐标系下的有功电流 $i_d$ 和无功电流 $i_q$ 进行比较,所得的差值分别输入第八PI控制器和第九PI控制器,第八PI控制器和第九PI控制器分别输出调制信号控制DC-AC并网逆变器,恒定有功功率和无功功率;

同时,Boost升压变换器采用最大功率跟踪控制,双向DC-DC变换器采用电压外环电流内环双闭环控制;当储能模块充电满时,双向DC-DC变换器控制策略切换到恒压控制,为了不失去对直流母线电压的控制,将PQ控制策略功率环中的有功功率控制切换为直流母线电压控制即UQ控制,具体控制方法为:直流母线电压的给定值 $U_{dcref}$ 与电容电压 $U_{dc}$ 做差,差值输入第六PI控制器,其余与PQ控制策略同;

(2) 若并网点电压跌落是由负荷接入引起的,则DC-AC并网逆变器控制策略采用 $U_{pcc}$ 闭环控制或者采用根据 $\Delta U$ 计算补偿无功功率值的方法;

①采用 $U_{pcc}$ 闭环控制时,有功功率控制方法不变,将无功功率控制切换为对 $U_{pcc}$ 进行闭环控制: $U_{pccN}$ 与 $U_{pcc}$ 进行比较,差值输入第七PI控制器,第七PI控制器的输出为内环电流控制的无功电流给定值,其余与PQ控制策略同;

②根据 $\Delta U$ 计算补偿无功功率值的方法:

$$\Delta Q = \frac{\Delta U \times U_{pccN}}{X}$$

其中, $X$ 为线路电抗, $\Delta Q$ 为无功功率给定值需要增加的量;

(3) 若并网点电压跌落是由电网故障引起的,则DC-AC并网逆变器控制策略采用电流单环限流控制;

通常DC-AC并网逆变器的输出电流不能大于额定电流 $I_N$ 的1.1倍,则有功电流的参考值为:

$$i_{dref} \leq \sqrt{(1.1I_N)^2 - (i_{qref})^2}$$

当 $\frac{\Delta U}{U_{pccN}} \leq 0.1$ 时, $i_{dref}$ 取决于外环功率环的输出,控制策略同并网点电压没有跌落时;当

$\frac{\Delta U}{U_{pccN}} > 0.1$ 时,DC-AC并网逆变器采用单环电流限幅控制,其无功电流参考值为:

$$i_{qref} = 2I_N \frac{U_{pccN} - U_{pcc}}{U_{pccN}}$$

有功电流参考值 $i_{dref}$ 和无功电流参考值 $i_{qref}$ 分别与有功电流 $i_d$ 和无功电流 $i_q$ 进行比较,差值分别输入第八PI控制器和第九PI控制器,第八PI控制器和第九PI控制器分别输出调制信号,控制DC-AC并网逆变器;同时Boost升压变换器控制策略切换到恒压控制,稳定直流母线电压直至电网故障消除。

2.如权利要求1所述的一种光储微电网并网发电系统的控制方法,其特征在于,所述Boost升压变换器控制策略,采用电压外环电流内环的双闭环控制,具体为:

当光伏发电电源工作在最大功率跟踪模式,分别通过光伏输出电压 $U_{pv}$ 和光伏输出电流 $i_{pv}$ 进行最大功率跟踪控制计算,得出光伏发电电源在最大功率点的电压值 $U_{pvref}$ ,作为电压外环的给定值,与光伏输出电压 $U_{pv}$ 进行比较,得到的差值输入第一PI控制器,第一PI控制器的输出 $i_{pvref}$ 作为电流内环的给定值,与光伏输出电流 $i_{pv}$ 进行比较,得到的差值输入第二PI控制器,第二PI控制器输出调制信号控制Boost升压变换器,将Boost升压变换器得到的光伏输出电压 $U_{pv}$ 反馈给第一PI控制器从而实现闭环控制,使光伏发电电源处于最大出力状态;

当光伏发电电源工作在恒压控制模式,将直流母线电压的给定值 $U_{dcref}$ 与电容电压 $U_{dc}$ 进行比较,得到的差值输入第一PI控制器,第一PI控制器的输出 $i_{pvref}$ 作为电流内环的给定值,与光伏输出电流 $i_{pv}$ 进行比较,得到的差值输入第二PI控制器,第二PI控制器输出调制信号控制Boost升压变换器,将Boost升压变换器输出电压 $U_{dc}$ 反馈给第一PI控制器从而实现闭环控制,维持直流母线电压的稳定。

3.如权利要求1所述的一种光储微电网并网发电系统的控制方法,其特征在于,所述双向DC-DC变换器控制策略具体为:

当储能模块处于未充满状态时采用电压外环电流内环的双闭环控制,将直流母线电压的给定值 $U_{dcref}$ 与电容电压 $U_{dc}$ 进行比较,得到的差值输入第三PI控制器,第三PI控制器的输出为电流内环的给定值 $i_{batref}$ ,与充放电电流 $i_{bat}$ 进行比较,得到的差值输入第四PI控制器,第四PI控制器输出调制信号控制双向DC-DC变换器,将双向DC-DC变换器输出电压 $U_{dc}$ 反馈给第三PI控制器从而实现闭环控制,对储能模块进行充放电控制,维持直流母线电压的稳定;

当储能模块处于充满状态时,采用恒电压外环控制,将储能模块的电压 $U_{bat}$ 和设定充电电压 $U_{batref}$ 进行比较,得到的差值输入第五PI控制器得到相应的占空比信号,控制双向DC-DC变换器,将双向DC-DC变换器输出电压 $U_{dc}$ 反馈给第五PI控制器从而实现闭环控制,维持直流母线电压的稳定。

## 一种光储微电网并网发电系统的控制方法

### 技术领域：

[0001] 本发明属于分布式发电技术领域，具体涉及一种光储微电网并网发电系统的控制方法。

### 背景技术

[0002] 目前光伏发电在配电网中的比例不断加大，其单独并网运行必定会对配电网的电能质量产生较大影响，不利于电网的稳定运行。光储微电网并网运行能够平滑光伏发电功率的输出，稳定光储微网的电压、频率和相位，降低光伏发电的弃电现象。

[0003] 在光储微电网中，微网逆变器的电路结构与DSTACOM、DVR、APF等电能质量控制装置相同，但在多数实际运用中，微网逆变器实现的功能过于单一，造成比较大的浪费，控制方式也比较简单，特别是在复杂工况下的切换有很大的不可控性。因逆变技术的发展，微网逆变器已经能够对有功、无功进行解耦控制，但如何设计合理的控制策略使其运用到微网逆变器控制系统中能保证系统稳定运行，提高逆变器的利用率，降低系统设计成本，是必须要解决的问题。

### 发明内容

[0004] 本发明要解决的技术问题是提供一种光储微电网并网发电系统的控制方法，保证光储微电网的稳定并网，改善电网的电能质量；实现并网逆变器的多功能化，降低成本；增强电网对新能源的吸纳能力，以满足电网的需求。

[0005] 本发明采用如下技术方案来实现上述目的：

[0006] 一种光储微电网并网发电系统的控制方法，所述系统光伏发电电源经Boost升压变换器连接直流母线，储能模块经双向DC-DC变换器连接直流母线；直流母线和地之间并联电容；DC-AC并网逆变器的直流侧与直流母线连接，交流侧经过滤波电感后分别与电网和负载相连；根据储能模块充电状态、光伏发电电源的输出功率、DC-AC并网逆变器并网点电压跌落情况和电网的无功需求设定值，分别通过Boost升压变换器控制策略对光伏发电电源进行最大功率跟踪控制及恒压控制，通过双向DC-DC变换器控制策略对储能模块进行充放电控制，通过DC-AC并网逆变器控制策略稳定并网点电压。

[0007] 所述Boost升压变换器控制策略，采用电压外环电流内环的双闭环控制，具体为：

[0008] 当光伏发电电源工作在最大功率跟踪模式，分别通过光伏输出电压 $U_{pv}$ 和光伏输出电流 $i_{pv}$ 进行最大功率跟踪控制计算，得出光伏发电电源在最大功率点的电压值 $U_{pvref}$ ，作为电压外环的给定值，与光伏输出电压 $U_{pv}$ 进行比较，得到的差值输入第一PI控制器，第一PI控制器的输出 $i_{pvref}$ 作为电流内环的给定值，与光伏输出电流 $i_{pv}$ 进行比较，得到的差值输入第二PI控制器，第二PI控制器输出调制信号控制Boost升压变换器，将Boost升压变换器得到的光伏输出电压 $U_{pv}$ 反馈给第一PI控制器从而实现闭环控制，使光伏发电电源处于最大出力状态；

[0009] 当光伏发电电源工作在恒压控制模式，将直流母线电压的给定值 $U_{dcref}$ 与电容电压

$U_{dc}$ 进行比较,得到的差值输入第一PI控制器,第一PI控制器的输出 $i_{pvref}$ 作为电流内环的给定值,与光伏输出电流 $i_{pv}$ 进行比较,得到的差值输入第二PI控制器,第二PI控制器输出调制信号控制Boost升压变换器,将Boost升压变换器输出电压 $U_{dc}$ 反馈给第一PI控制器从而实现闭环控制,维持直流母线电压的稳定。

[0010] 所述双向DC-DC变换器控制策略具体为:

[0011] 当储能模块处于未充满状态时采用电压外环电流内环的双闭环控制,将直流母线电压的给定值 $U_{dcref}$ 与电容电压 $U_{dc}$ 进行比较,得到的差值输入第三PI控制器,第三PI控制器的输出为电流内环的给定值 $i_{batref}$ ,与充放电电流 $i_{bat}$ 进行比较,得到的差值输入第四PI控制器,第四PI控制器输出调制信号控制双向DC-DC变换器,将双向DC-DC变换器输出电压 $U_{dc}$ 反馈给第三PI控制器从而实现闭环控制,对储能模块进行充放电控制,维持直流母线电压的稳定;

[0012] 当储能模块处于充满状态时,采用恒电压外环控制,将储能模块的电压 $U_{bat}$ 和设定充电电压 $U_{batref}$ 进行比较,得到的差值输入第五PI控制器得到相应的占空比信号,控制双向DC-DC变换器,将双向DC-DC变换器输出电压 $U_{dc}$ 反馈给第五PI控制器从而实现闭环控制,维持直流母线电压的稳定。

[0013] 所述DC-AC并网逆变器控制策略为:

[0014] 通过DC-AC并网逆变器输出的三相电流 $i_a$ 、 $i_b$ 、 $i_c$ 和并网点三相电压 $U_{pcca}$ 、 $U_{pccb}$ 、 $U_{pccc}$ ,分别计算出DC-AC并网逆变器输出的有功功率 $P$ 和无功功率 $Q$ ,以及并网点电压幅值 $U_{pcc}$ ;设并网点额定电压幅值为 $U_{pccN}$ ,由下式计算并网点电压跌落深度:

$$[0015] \quad \frac{\Delta U}{U_{pccN}} = \frac{U_{pccN} - U_{pcc}}{U_{pccN}}$$

[0016] 上式中,  $\Delta U = U_{pccN} - U_{pcc}$ ,为并网点电压跌落幅值;

[0017] (1) 若并网点电压没有跌落,即  $\Delta U = 0$ ,则DC-AC并网逆变器控制策略采用包括PQ控制策略的综合控制策略;

[0018] PQ控制策略包括功率环和电流环控制;有功功率的设定值 $P_{ref}$ 和无功功率的设定值 $Q_{ref}$ 分别与有功功率 $P$ 和无功功率 $Q$ 进行比较,所得的差值分别输入第六PI控制器和第七PI控制器,第六PI控制器和第七PI控制器各自的输出分别为内环电流控制的有功电流给定值和无功电流给定值;功率环输出的有功电流给定值和无功电流给定值分别与三相电流 $i_a$ 、 $i_b$ 、 $i_c$ 在同步旋转坐标系下的有功电流 $i_d$ 和无功电流 $i_q$ 进行比较,所得的差值分别输入第八PI控制器和第九PI控制器,第八PI控制器和第九PI控制器分别输出调制信号控制DC-AC并网逆变器,恒定有功功率和无功功率;

[0019] 同时,Boost升压变换器采用最大功率跟踪控制,双向DC-DC变换器采用电压外环电流内环双闭环控制;当储能模块充满时,双向DC-DC变换器控制策略切换到恒压控制,为了不失去对直流母线电压的控制,将PQ控制策略功率环中的有功功率控制切换为直流母线电压控制即UQ控制,具体控制方法为:直流母线电压的给定值 $U_{dcref}$ 与电容电压 $U_{dc}$ 做差,差值输入第六PI控制器,其余与PQ控制策略同;

[0020] (2) 若并网点电压跌落是由负荷接入引起的,则DC-AC并网逆变器控制策略采用 $U_{pcc}$ 闭环控制或者采用根据 $\Delta U$ 计算补偿无功功率值的方法;

[0021] ①采用 $U_{pcc}$ 闭环控制时,有功功率控制方法不变,将无功功率控制切换为对 $U_{pcc}$ 进

行闭环控制： $U_{pccN}$ 与 $U_{pcc}$ 进行比较，差值输入第七PI控制器，第七PI控制器的输出为内环电流控制的无功电流给定值，其余与PQ控制策略同；

[0022] ②根据 $\Delta U$ 计算补偿无功功率值的方法：

$$[0023] \quad \Delta Q = \frac{\Delta U \times U_{pccN}}{X}$$

[0024] 其中， $X$ 为线路电抗， $\Delta Q$ 为无功功率给定值需要增加的量；

[0025] (3)若并网点电压跌落是由电网故障引起的，则DC-AC并网逆变器控制策略采用电流单环限流控制；

[0026] 通常DC-AC并网逆变器的输出电流不能大于额定电流 $I_N$ 的1.1倍，则有功电流的参考值为：

$$[0027] \quad i_{dref} \leq \sqrt{(1.1I_N)^2 - (i_{qref})^2}$$

[0028] 当 $\frac{\Delta U}{U_{pccN}} \leq 0.1$ 时， $i_{dref}$ 取决于外环功率环的输出，控制策略同并网点电压没有跌落时；

[0029] 当 $\frac{\Delta U}{U_{pccN}} > 0.1$ 时，DC-AC并网逆变器采用单环电流限幅控制，其无功电流参考值为

$$[0030] \quad i_{qref} = 2I_N \frac{U_{pccN} - U_{pcc}}{U_{pccN}}$$

[0031] 有功电流参考值 $i_{dref}$ 和无功电流参考值 $i_{qref}$ 分别与有功电流 $i_d$ 和无功电流 $i_q$ 进行比较，差值分别输入第八PI控制器和第九PI控制器，第八PI控制器和第九PI控制器分别输出调制信号，控制DC-AC并网逆变器；同时Boost升压变换器控制策略切换到恒压控制，稳定直流母线电压直至电网故障消除。

[0032] 本发明的优点在于：在光储微网并网发电的同时，实现对电网的无功补偿，并且也可以实现当并网点电压跌落时，根据跌落深度，通过并网逆变器对电网补偿一定的无功电流，以维持并网点电压稳定或加快并网点电压的恢复，降低了电网无功补偿装置的耗电量，改善了电网的电能质量，提高了整个系统的利用率，并且避免光储微网系统的脱网运行，增强电网对新能源的吸纳能力，具有较高的实际应用价值。

## 附图说明

[0033] 图1为本发明光储微电网并网发电系统的结构示意图；

[0034] 图2为本发明控制方法中Boost升压变换器控制策略的原理示意图；

[0035] 图3为本发明控制方法中采用电压外环电流内环双闭环控制的双向DC-DC变换器控制策略的原理示意图；

[0036] 图4为本发明控制方法中采用恒电压外环控制的双向DC-DC变换器控制策略的原理示意图；图5为本发明控制方法中DC-AC并网逆变器控制策略的原理示意图。

## 具体实施方式

[0037] 下面结合附图对本发明实施方式做进一步详细描述,但不构成对本发明保护范围的限制。

[0038] 如图1所示,一种光储微电网并网发电系统的控制方法,所述系统光伏发电电源PV经Boost升压变换器连接直流母线,储能模块为蓄电池组,经双向DC-DC变换器连接直流母线;直流母线和地之间并联电容 $C_{dc}$ ;DC-AC并网逆变器的直流侧与直流母线连接,交流侧经过滤波电感后分别与电网和负载相连;根据蓄电池组充电状态、光伏发电电源的输出功率、DC-AC并网逆变器并网点电压跌落情况和电网的无功需求设定值,分别通过Boost升压变换器控制策略对光伏发电电源进行最大功率跟踪控制及恒压控制,通过双向DC-DC变换器控制策略对蓄电池组进行充放电控制,通过DC-AC并网逆变器控制策略稳定并网点电压。

[0039] 具体的控制方法如下:

[0040] (1) Boost升压变换器控制策略

[0041] 如图2所示,光伏发电电源通过控制器通道选择器1选择最大功率跟踪模式或恒压模式;

[0042] 当光伏发电电源工作在最大功率跟踪模式,将采集得到的光伏电压 $U_{pv}$ 电流 $i_{pv}$ 进行最大功率跟踪控制计算,得出光伏发电单元在最大功率点的电压值 $U_{pvref}$ ,此电压值作为最大功率跟踪控制电压外环的给定值 $U_{pvref}$ ,其与光伏输出电压 $U_{pv}$ 进行比较,得到的差值信号输入第一PI控制器,第一PI控制器的输出 $i_{pvref}$ 为内环电流控制的给定值,与光伏发电单元输出电流 $i_{pv}$ 的实际值进行比较,得到的差值信号输入到第二PI控制器,第二PI控制器的输出作为调制信号,用于产生控制Boost升压变换器的开关信号,将Boost升压变换器得到的光伏输出电压 $U_{pv}$ 反馈给第一PI控制器从而实现闭环控制,通过最大功率跟踪控制器控制Boost升压变换器使光伏阵列处于最大出力状态;

[0043] 当光伏发电电源工作在恒压控制模式,采集光伏阵列的输出电流 $i_{pv}$ 和电容 $C_{dc}$ 电压 $U_{dc}$ ,将直流母线电压的给定值 $U_{dcref}$ 与采样得到的实际值 $U_{dc}$ 进行比较,得到的差值信号输入到第一PI控制器,第一PI控制器的输出为内环电流控制的给定值 $i_{batref}$ ,与光伏发电单元输出电流的实际值 $i_{bat}$ 进行比较,得到的差值信号输入到第二PI控制器,第二PI控制器的输出作为调制信号,用于产生控制Boost升压变换器的开关信号,通过电压外环电流内环的双闭环控制Boost升压变换器维持直流母线电压的稳定,将Boost升压变换器输出电压 $U_{dc}$ 反馈给第一PI控制器从而实现闭环控制,减少光伏单元输出的能量;

[0044] (2) 蓄电池组的双向DC-DC变换器控制策略

[0045] 如图3所示,当蓄电池组处于未充满状态时采用电压外环电流内环双闭环控制,采集蓄电池组的充放电电流 $i_{bat}$ 和直流电容电压 $U_{dc}$ ,将直流母线电压的给定值 $U_{dcref}$ 与采样得到的实际值 $U_{dc}$ 进行比较,得到的差值信号输入第三PI控制器,第三PI控制器的输出为内环电流控制的给定值 $i_{batref}$ ,与蓄电池单元充放电电流的实际值 $i_{bat}$ 进行比较,得到的差值信号输入第四PI控制器,第四PI控制器的输出作为调制信号,用于产生控制双向DC-DC变换器的开关信号,将双向DC-DC变换器输出电压 $U_{dc}$ 反馈给第三PI控制器从而实现闭环控制,通过电压外环电流内环的双闭环控制双向DC-DC变换器维持直流母线电压的稳定;

[0046] 如图4所示,当蓄电池组处于充满状态时,为了避免蓄电池过充,采用恒电压外环控制,将采样得到的蓄电池电压 $U_{bat}$ 和设定充电电压 $U_{batref}$ 进行比较,得到的差值信号输入第五PI控制器得到相应的占空比,控制双向DC-DC变换器开关管的通断。

[0047] (3) DC-AC并网逆变器控制策略

[0048] 如图5所示,所述光储微电网根据并网点电压跌落情况和蓄电池充电状态来改变并网逆变器的控制策略,采集并网逆变器输出三相电流 $i_a$ 、 $i_b$ 、 $i_c$ 和并网点三相电压 $U_{pcca}$ 、 $U_{pccb}$ 、 $U_{pccc}$ ,根据采样值计算出并网逆变器的输出有功功率 $P$ 和无功功率 $Q$ ,以及并网点电压幅值 $U_{pcc}$ ;假设并网点额定电压幅值为 $U_{pccN}$ ,则并网点电压跌落深度可由下式计算:

$$[0049] \quad \frac{\Delta U}{U_{pccN}} = \frac{U_{pccN} - U_{pcc}}{U_{pccN}}$$

[0050] 若并网点电压没有跌落,并网逆变器采用恒定有功功率和无功功率的PQ控制策略,这有利于电网的调度和系统平稳运行;PQ控制策略包括功率环和电流环控制,有功功率的设定值 $P_{ref}$ 和无功功率的设定值 $Q_{ref}$ 与并网逆变器实际测量的有功功率 $P$ 和无功功率 $Q$ 进行比较,所得的信号分别输入第六PI控制器、第七PI控制器,第六PI控制器、第七PI控制器的输出分别为内环电流控制的有功电流给定值和无功电流给定值,其分别与并网电流实际值在同步旋转坐标系下的有功电流 $i_d$ 和无功电流 $i_q$ 进行比较,差值信号分别输入第八PI控制器、第九PI控制器,第八PI控制器、第九PI控制器的输出作为调制信号,用于产生控制并网DC-AC变换器的开关信号,同时,光伏Boost升压变换器采用最大功率跟踪控制,蓄电池双向DC-DC变换器采用电压外环电流内环双闭环控制;当储能电池充满时,蓄电池双向DC-DC变换器的控制策略切换到恒压控制,为了不至于失去对直流母线电压 $U_{dc}$ 的控制,将并网逆变器的外环控制中的有功功率控制切换到直流母线电压即UQ控制,具体控制方法为:直流母线电压的给定值 $U_{dc,ref}$ 与实际测量值 $U_{dc}$ 做差,误差信号输入第六PI控制器,其余同PQ控制策略。

[0051] 当并网点对称电压跌落不管是有负荷引起的还是由电网引起的,此时不管是UQ控制还是PQ控制均切换至PU控制,但由于两种跌落原因的不同其具体的PU控制策略也有不同,具体如下:

[0052] 若并网点对称电压跌落是由负荷接入引起的,根据无功功率理论可知,加大并网逆变器的无功输出可以稳定并网点的电压,因此为了快速补偿系统的无功,可以利用并网逆变器的剩余容量实现就地补偿,本发明采用直接对并网点电压幅值 $U_{pcc}$ 进行闭环控制补偿无功电流的方法或者采用根据并网电压跌落幅值 $\Delta U$ 计算补偿无功功率值的方法:

[0053] ①采用 $U_{pcc}$ 闭环控制时,有功功率控制方法不变,将无功功率控制切换为对 $U_{pcc}$ 进行闭环控制,并网点电压幅值的额定值 $U_{pccN}$ 与测量值 $U_{pcc}$ 进行比较,差值输入第七PI控制器,第七PI控制器的输出为内环电流控制的参考值,其余同PQ控制策略。

[0054] ②根据并网电压跌落幅值 $\Delta U$ 计算补偿无功功率值:

$$[0055] \quad \Delta Q = \frac{\Delta U \times U_{pccN}}{X}$$

[0056] 其中, $\Delta U = U_{pccN} - U_{pcc}$ , $X$ 为线路电抗, $\Delta Q$ 为无功功率给定值需要增加的量;

[0057] 若并网点对称电压跌落是由电网故障引起的,为了使并网逆变器不过流、短时间内不离网,甚至向电网提供无功用以支撑并网点电压。此时需要直接控制并网逆变器的有功电流和无功电流,因此,并网逆变器的控制策略应切换为电流单环限流控制;通常逆变器的输出电流不能大于额定电流 $I_N$ 的1.1倍,则有功电流的参考值为



$$[0058] \quad i_{\text{dref}} \leq \sqrt{(1.1I_{\text{N}})^2 - (i_{\text{qref}})^2}$$

[0059] 检测并网点电压 $U_{\text{pcc}}$ 的跌落情况,当 $\frac{\Delta U}{U_{\text{pccN}}} \leq 0.1$ 时,有功参考电流 $i_{\text{dref}}$ 取决于外环控制器的输出,采用电压正常时的并网控制策略;当 $\frac{\Delta U}{U_{\text{pccN}}} > 0.1$ 时,并网逆变器采用单环电流限幅控制,其无功电流参考值为

$$[0060] \quad i_{\text{qref}} = 2I_{\text{N}} \frac{U_{\text{pccN}} - U_{\text{pcc}}}{U_{\text{pccN}}}$$

[0061] 此时并网逆变器的控制策略为:有功电流参考值 $i_{\text{dref}}$ 和无功电流参考值 $i_{\text{qref}}$ 与并网电流实际测量值在同步旋转坐标系下的有功电流 $i_{\text{d}}$ 和无功电流 $i_{\text{q}}$ 进行比较,差值信号分别输入第八PI控制器、第九PI控制器,第八PI控制器、第九PI控制器的输出作为调制信号,用于产生控制并网DC-AC变换器的开关信号;为了保证母线电压 $U_{\text{dc}}$ 的稳定,平衡光伏发电单元输出功率和并网逆变器的输出功率,减小光伏发电单元的输出功率,Boost升压变换器控制策略切换到恒压控制,直至电网故障消除。

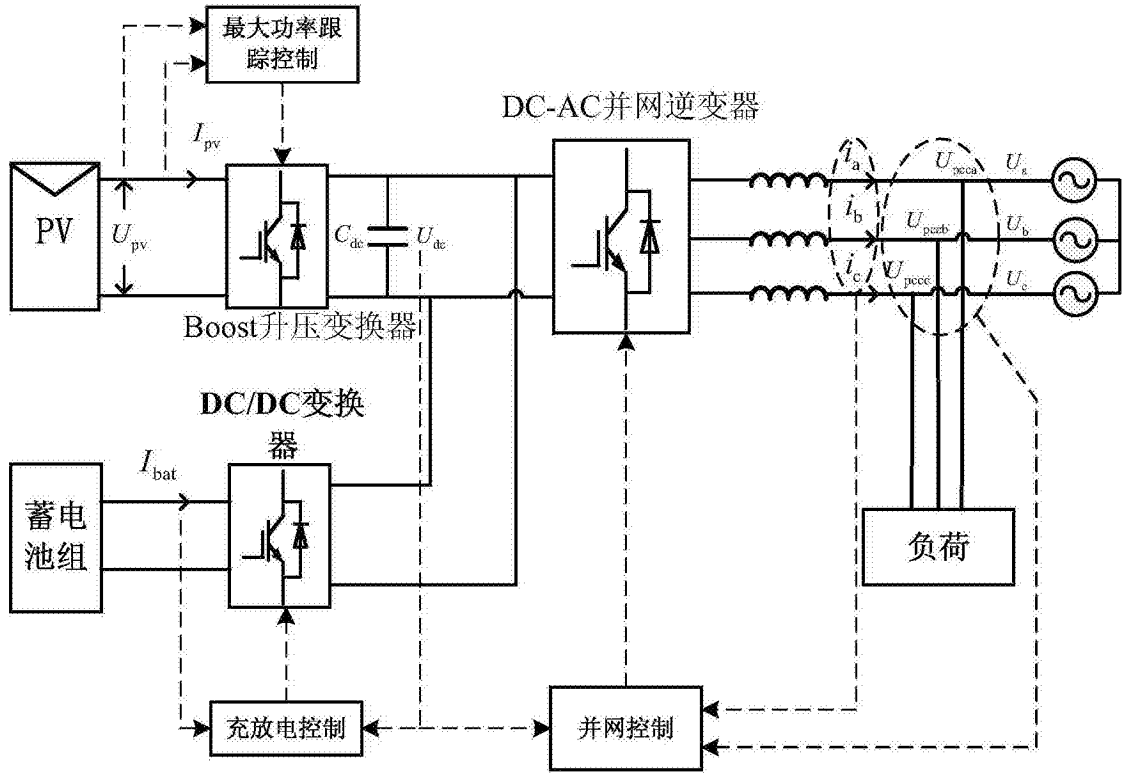


图1

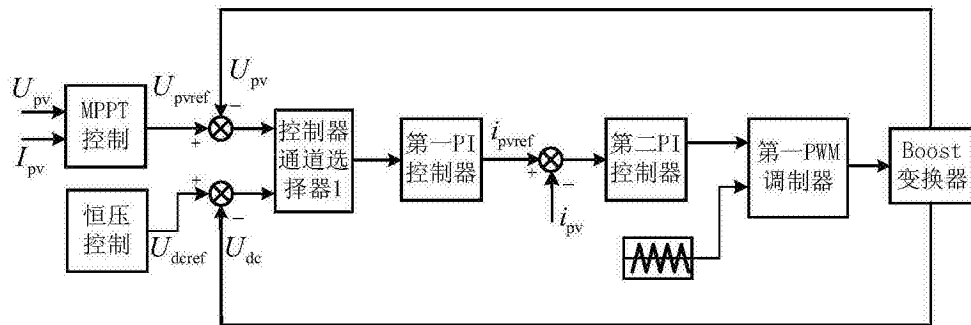


图2

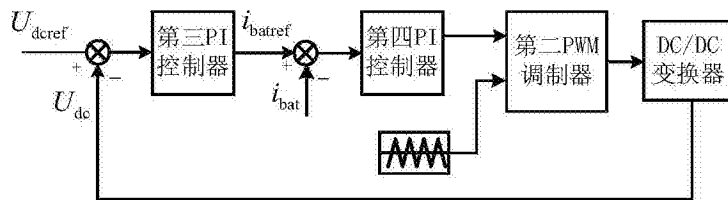


图3

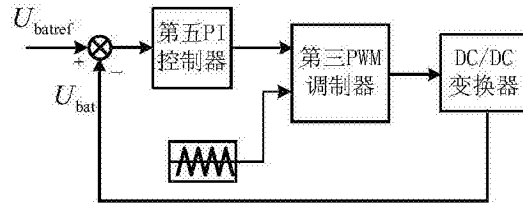


图4

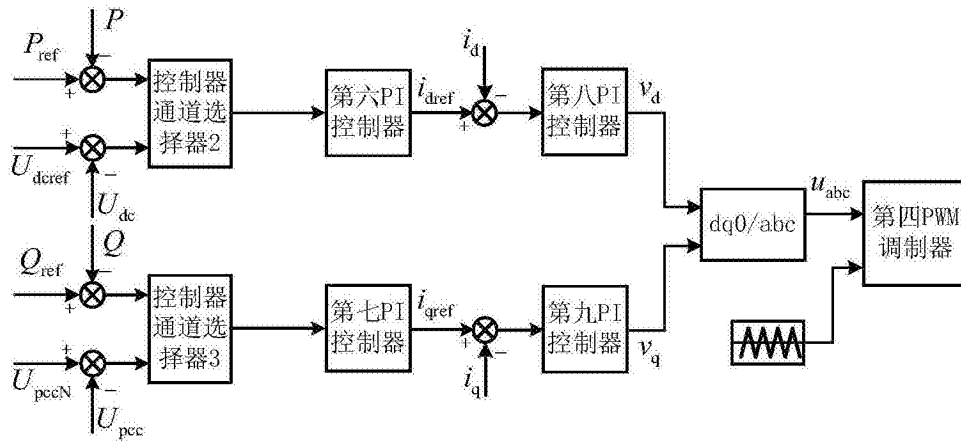


图5