



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104578165 A

(43) 申请公布日 2015.04.29

(21) 申请号 201510045749.2

(22) 申请日 2015.01.29

(71) 申请人 国家电网公司

地址 100031 北京市西城区西长安街 86 号

申请人 国网福建省电力有限公司

国网福建省电力有限公司电力科学
研究院

(72) 发明人 范元亮 陈彬

(74) 专利代理机构 福州元创专利商标代理有限公司 35100

代理人 蔡学俊

(51) Int. Cl.

H02J 3/38(2006.01)

H02J 3/24(2006.01)

H02H 7/26(2006.01)

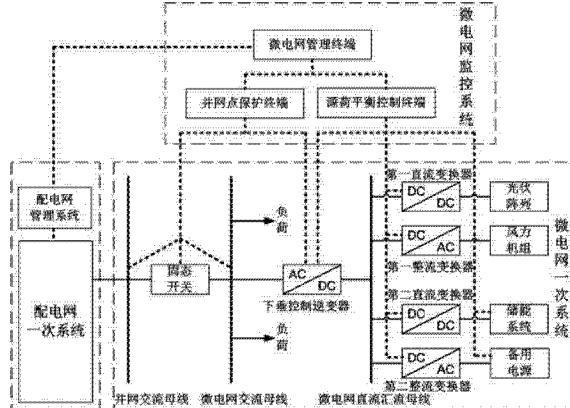
权利要求书3页 说明书7页 附图2页

(54) 发明名称

基于固态开关、下垂控制、源荷平衡和直流汇流的微电网结构及控制方法

(57) 摘要

本发明涉及一种基于固态开关、下垂控制、源荷平衡和直流汇流的微电网结构及控制方法，通过固态开关快速隔离配电网故障、采用下垂控制策略实现不断电进行并离网运行模式的切换、采用源荷平衡实现微电网在并离网运行源荷功率的平衡等，在失去配电网供电的情形下，微电网可不断电平滑切换至离网运行，有效保障针对微电网内负荷的供电可靠性。



1. 一种基于固态开关、下垂控制、源荷平衡和直流汇流的微电网结构，包括微电网管理终端、配电网管理系统以及与其相连的配电网一次系统，所述的配电网一次系统连接至并网交流母线，其特征在于：还包括一光伏阵列、一风力机组、一储能系统以及一备用电源，所述的光伏阵列、风力机组、储能系统以及备用电源分别经第一直流变换器、第一整流变换器、第二直流变换器以及第二整流变换器连接至微电网直流汇流母线，所述的微电网直流汇流母线经一下垂控制逆变器连接至微电网交流母线，所述的微电网交流母线经一固态开关连接至所述的并网交流母线；所述的微电网交流母线还连接有微电网负荷；所述的微电网管理终端连接有一并网点保护终端、一源荷平衡控制终端以及所述的配电网管理系统，所述的并网点保护终端与所述的固态开关、所述的下垂控制逆变器、所述的并网交流母线以及所述的微电网交流母线相连，所述的源荷平衡控制终端与所述的下垂控制逆变器、所述的第一直流变换器、第一整流变换器、第二直流变换器、第二整流变换器、所述的储能系统以及所述的备用电源相连接。

2. 根据权利要求 1 所述的一种基于固态开关、下垂控制、源荷平衡和直流汇流的微电网结构，其特征在于：所述的并网点保护终端包括一 DSP 以及与其相连的 MCU、并离网控制单元、电压异常保护单元、电流异常保护单元、频率异常保护单元、电压幅值计算单元、频率与相位计算单元、电气量检测单元、开关状态检测单元以及开关动作控制单元；所述的并离网控制单元、电压幅值计算单元以及所述的频率与相位计算单元均连接至所述的下垂控制逆变器，所述的 MCU 与所述的微电网管理终端相连，所述的电气量测量单元分别连接至所述的并网交流母线以及微电网交流母线，所述的开关状态检测单元以及开关动作控制单元均与所述的固态开关相连。

3. 根据权利要求 1 所述的一种基于固态开关、下垂控制、源荷平衡和直流汇流的微电网结构，其特征在于：所述的源荷平衡控制终端包括 DSP 以及与其相连的 MCU、发电出力预测单元、微电网负荷预测单元、并离网状态检测单元、运行模式控制单元、启停及功率给定单元、荷电状态检测单元以及电气量检测单元；所述的 MCU 连接至所述的微电网管理终端，所述的并离网状态检测单元与所述的下垂控制逆变器相连，所述的启停及功率给定单元连接至所述的备用电源，所述的荷电状态检测单元连接至所述的储能系统，所述的电气量检测单元分别与所述的下垂控制逆变器、第一直流变换器、第一整流变换器、第二直流变换器以及第二整流变换器相连，所述的运行模式控制单元分别与所述的第一直流变换器、第一整流变换器以及第二直流变换器相连。

4. 一种如权利要求 1 所述的基于固态开关、下垂控制、源荷平衡和直流汇流的微电网结构的控制方法，其特征在于包括以下三种情况：

当非计划性并网切换至离网时，具体步骤如下：

步骤 S11：所述并网点保护终端检测所述并网交流母线的电压、电流和频率并判断是否有异常现象，如果异常，所述并网点保护终端发出指令断开所述的固态开关，所述固态开关返回分位信息，所述并网点保护终端控制所述下垂控制逆变器将运行模式切换至离网运行模式；

步骤 S12：所述的下垂控制逆变器切换至离网运行模式，所述的下垂控制逆变器通知所述的源荷平衡控制终端进入离网运行模式，所述的源荷平衡控制终端将所述的第一直流变换器、第一整流变换器、第二直流变换器以及第二整流变换器调整至离网运行模式；

当计划性并网切换至离网时,具体步骤如下:

步骤 S21:当所述的微电网管理终端接收到计划性并网切换至离网的指令,所述的微电网管理终端将所述计划性并网切换至离网的指令发送至所述的并网点保护终端;

步骤 S22:所述的并网点保护终端控制所述的固态开关断开,所述固态开关返回分位信息,所述并网点保护终端控制所述的下垂控制逆变器切换至离网运行模式;

步骤 S23:所述的下垂控制逆变器切换至离网运行模式,所述的下垂控制逆变器通知所述的源荷平衡控制终端进入离网运行模式,所述的源荷平衡控制终端将所述的第一直流变换器、第一整流变换器、第二直流变换器以及第二整流变换器调整至离网运行模式;

当离网切换至并网时,具体步骤如下:

步骤 S31:当所述的微电网管理终端接收到离网切换至并网的指令,所述的微电网管理终端将所述离网切换至并网的指令发送至所述的并网点保护终端;

步骤 S32:所述的并网点保护终端转发所述配电网一次系统的电压、频率和相角信号至所述的下垂控制逆变器,并控制所述的下垂控制逆变器跟踪配电网的电压、频率和相角信号;

步骤 S33:当所述的下垂控制逆变器与所述配电网一次系统的电压幅值差值在 $\pm 5V$ 以内并且相角差值在 $\pm 3^\circ$ 以内时,所述的并网点保护终端控制所述的固态开关闭合,所述的固态开关返回合位信息,所述的并网点保护终端控制所述的下垂控制逆变器切换至并网运行模式;

步骤 S34:所述的下垂控制逆变器切换至并网运行模式,所述的下垂控制逆变器通知所述的源荷平衡控制终端进入并网运行模式,所述的源荷平衡控制终端将所述的第一直流变换器、第一整流变换器、第二直流变换器以及第二整流变换器调整至并网运行模式。

5. 根据权利要求 4 所述的一种基于固态开关、下垂控制、源荷平衡和直流汇流的微电网结构的控制方法,其特征在于:所述的源荷平衡控制终端进入并网运行模式的具体包括以下步骤:

步骤 S41:在微电网并网运行时,所述源荷平衡控制终端将第一直流变换器与第一整流变换器的运行模式设置为最大功率点跟踪模式;

步骤 S42:若在微电网并网运行且下一时段所述储能系统为非充电状态时,所述源荷平衡控制终端根据下一时段所述光伏阵列的出力预测值、所述风力机组的出力预测值和所述备用电源的出力设置值,设置下一时段所述下垂控制逆变器的频率参考值,使所述下垂控制逆变器在下一时段的出力等于下一时段的所述光伏阵列的出力预测值、所述风力机组的出力预测值和所述备用电源的出力设置值的总和;

步骤 S43:若在微电网并网运行且下一时段所述储能系统充电时,所述源荷控制终端根据下一时段所述光伏阵列的出力预测值、所述风力机组的出力预测值、所述备用电源的出力和储能系统的充电功率的设置值,设置下一时段所述下垂控制逆变器的频率参考值,使所述下垂控制逆变器在下一时段的出力等于下一时段的所述光伏阵列的出力预测值、所述风力机组的出力预测值、所述备用电源的出力和所述储能系统的功率的设置值的总和;

步骤 S44:所述的源荷平衡控制终端控制所述的第二直流变换器维持所述微电网直流汇流母线电压在设定值,所述的储能系统平衡光伏阵列和风力机组的出力预测值与实际出力之间的差值部分,用以实现并网源荷平衡。

6. 根据权利要求 4 所述的一种基于固态开关、下垂控制、源荷平衡和直流汇流的微电网结构的控制方法, 其特征在于 : 所述的源荷平衡控制终端进入离网运行模式的具体包括以下步骤 :

步骤 S51: 在微电网离网运行时, 所述的源荷平衡控制终端将所述第一直流变换器与所述第一整流变换器的运行模式设置为最大功率点跟踪模式或降功率运行模式 ;

步骤 S52 : 在当前时段, 所述源荷平衡控制终端预测下一时段所述光伏阵列和所述风力机组的出力以及微电网负荷的有功功率 ;

步骤 S53 : 若下一时段所述光伏阵列和所述风力机组的出力预测值之和大于所述微电网负荷的有功功率的预测值并且所述的储能系统有足够的存储电能空间, 则所述的光伏阵列和风力机组在下一时段运行于降功率运行模式, 用以维持光伏阵列和风力机组在下一时段出力预测值与负荷功率基本平衡 ;

步骤 S54 : 若下一时段所述光伏阵列和所述风力机组的出力预测值之和不大于所述微电网负荷的有功功率的预测值, 或者所述光伏阵列和风力机组的出力预测值之和大于所述微电网负荷的有功功率的预测值且所述储能系统在下一时段有足够的存储电能空间, 则所述光伏阵列和风力机组在下一时段运行于最大功率点跟踪模式 ;

步骤 S55 : 所述的源荷平衡控制终端控制所述的第二直流变换器维持直流汇流母线电压在设定值, 所述储能系统平衡所述光伏阵列和风力机组的实际出力与负荷的实际有功功率之间的差值部分, 用以实现离网源荷平衡控制。

7. 根据权利要求 4 所述的一种基于固态开关、下垂控制、源荷平衡和直流汇流的微电网结构的控制方法, 其特征在于 : 所述的下垂控制逆变器电压幅值和频率参数选取包括两种情况 :

在微电网并网运行时, 所述下垂控制逆变器的输出电压幅值取 $v=v_{PLL}-v_{REF}$, 其中 v_{PLL} 为锁相环测取的下垂控制逆变器并网点的正序电压幅值, v_{REF} 为下垂系数除于当前时段下垂控制逆变器的无功功率设置值所得的电压幅值 ; 所述下垂控制逆变器的输出频率取 $f=f_{PLL}-f_{REF}$, 其中 f_{PLL} 为锁相环测取的下垂控制逆变器并网点的电压频率, f_{REF} 为下垂系数除于下垂控制逆变器的有功功率设置值所得的频率值 ; 所述下垂控制逆变器的有功功率设置值等于当前时段所述光伏阵列的出力预测值、风力机组的出力预测值、所述备用电源有功功率和所述储能系统的有功功率的总和 ;

在微电网离网运行时, 所述下垂控制逆变器的输出电压幅值取 $v=v_{SET}$, 其中 v_{SET} 为离网电压幅值的设置值 ; 所述下垂控制逆变器的输出电压频率取 $f=f_{SET}$, 其中 f_{SET} 为离网频率的设置值。

8. 根据权利要求 4 所述的一种基于固态开关、下垂控制、源荷平衡和直流汇流的微电网结构的控制方法, 其特征在于 : 在微电网并网运行时, 所述的第二整流变换器处于热备用状态 ; 在微电网离网运行并且所述的储能系统的荷电状态低于阈值时, 所述的源荷控制终端发出指令启动所述的备用电源, 所述的第二整流变换器工作于功率给定模式。

基于固态开关、下垂控制、源荷平衡和直流汇流的微电网结构及控制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及分布式发电领域,特别是一种基于固态开关、下垂控制、源荷平衡和直流汇流的提高供电可靠性微电网结构及控制方法。

背景技术

[0002] 典型的微电网由多种分布式发电单元、储能系统以及负荷组成,微电网是一种新型供配电技术,是一个能够实现自我控制、保护和管理的自治系统,既可以与外部电网并网运行,也可以孤立运行。在 2001 年,美国 R. H. Lasseter 等学者提出了微电网的概念,目前微电网技术正朝着实用化阶段发展。微电网可综合管理出力具有波动性、间歇性的分布式发电单元,诸如风电、太阳能光伏发电等类型的分布式发电,提供一种友好接入方式,抑制分布式发电对电网的冲击和负面影响,充分发挥分布式发电的效益和价值。

发明内容

[0003] 有鉴于此,本发明的目的是提出一种基于固态开关、下垂控制、源荷平衡和直流汇流的微电网结构及控制方法,可快速隔离微电网外部的异常事件、实现微电网并离网运行时源荷的功率平衡以及微电网并离网运行模式的不断电平滑切换。

[0004] 本发明的结构采用以下方案实现:一种基于固态开关、下垂控制、源荷平衡和直流汇流的微电网结构,包括微电网管理终端、配电网管理系统以及与其相连的配电网一次系统,所述的配电网一次系统连接至并网交流母线,还包括一光伏阵列、一风力机组、一储能系统以及一备用电源,所述的光伏阵列、风力机组、储能系统以及备用电源分别经第一直流变换器、第一整流变换器、第二直流变换器以及第二整流变换器连接至微电网直流汇流母线,所述的微电网直流汇流母线经一下垂控制逆变器连接至微电网交流母线,所述的微电网交流母线经一固态开关连接至所述的并网交流母线;所述的微电网交流母线还连接有微电网负荷;所述的微电网管理终端连接有一并网点保护终端、一源荷平衡控制终端以及所述的配电网管理系统,所述的并网点保护终端与所述的固态开关、所述的下垂控制逆变器、所述的并网交流母线以及所述的微电网交流母线相连,所述的源荷平衡控制终端与所述的下垂控制逆变器、所述的第一直流变换器、第一整流变换器、第二直流变换器、第二整流变换器、所述的储能系统以及所述的备用电源相连接。

[0005] 进一步地,所述的并网点保护终端包括一 DSP 以及与其相连的 MCU、并离网控制单元、电压异常保护单元、电流异常保护单元、频率异常保护单元、电压幅值计算单元、频率与相位计算单元、电气量检测单元、开关状态检测单元以及开关动作控制单元;所述的并离网控制单元、电压幅值计算单元以及所述的频率与相位计算单元均连接至所述的下垂控制逆变器,所述的 MCU 与所述的微电网管理终端相连,所述的电气量测量单元分别连接至所述的并网交流母线以及微电网交流母线,所述的开关状态检测单元以及开关动作控制单元均与所述的固态开关相连。

[0006] 进一步地,所述的源荷平衡控制终端包括 DSP 以及与其相连的 MCU、发电出力预测单元、微电网负荷预测单元、并离网状态检测单元、运行模式控制单元、启停及功率给定单元、荷电状态检测单元以及电气量检测单元;所述的 MCU 连接至所述的微电网管理终端,所述的并离网状态检测单元与所述的下垂控制逆变器相连,所述的启停及功率给定单元连接至所述的备用电源,所述的荷电状态检测单元连接至所述的储能系统,所述的电气量检测单元分别与所述的下垂控制逆变器、第一直流变换器、第一整流变换器、第二直流变换器以及第二整流变换器相连,所述的运行模式控制单元分别与所述的第一直流变换器、第一整流变换器以及第二直流变换器相连。

[0007] 较佳地,本发明采用三层控制结构,下垂控制逆变器、光伏阵列的直流变换器、风力机组的整流变换器、储能系统的直流变换器以及备用电源的整流变换器构成就地控制层,并网点保护终端和源荷平衡控制终端构成中间控制层,微电网管理终端为站控层。微电网管理终端具备运行监控、相关电气量的实时和历史信息展示以及存储等功能。

[0008] 本发明的控制方法采用以下方案实现:一种如上文所述的基于固态开关、下垂控制、源荷平衡和直流汇流的微电网结构的控制方法,包括以下三种情况:

(a) 当非计划性并网切换至离网时,具体步骤如下:

步骤 S11:所述并网点保护终端检测所述并网交流母线的电压、电流和频率并判断是否有异常现象,如果异常,所述并网点保护终端发出指令断开所述的固态开关,所述固态开关返回分位信息,所述并网点保护终端控制所述下垂控制逆变器将运行模式切换至离网运行模式,并进入步骤 S2;

步骤 S12:所述的下垂控制逆变器切换至离网运行模式,所述的下垂控制逆变器通知所述的源荷平衡控制终端进入离网运行模式,所述的源荷平衡控制终端将所述的第一直流变换器、第一整流变换器、第二直流变换器以及第二整流变换器调整至离网运行模式;

(b) 当计划性并网切换至离网时,具体步骤如下:

步骤 S21:当所述的微电网管理终端接收到计划性并网切换至离网的指令,所述的微电网管理终端将所述计划性并网切换至离网的指令发送至所述的并网点保护终端;

步骤 S22:所述的并网点保护终端控制所述的固态开关断开,所述固态开关返回分位信息,所述并网点保护终端控制所述的下垂控制逆变器切换至离网运行模式;

步骤 S23:所述的下垂控制逆变器切换至离网运行模式,所述的下垂控制逆变器通知所述的源荷平衡控制终端进入离网运行模式,所述的源荷平衡控制终端将所述的第一直流变换器、第一整流变换器、第二直流变换器以及第二整流变换器调整至离网运行模式;

(c) 当离网切换至并网时,具体步骤如下:

步骤 S31:当所述的微电网管理终端接收到离网切换至并网的指令,所述的微电网管理终端将所述离网切换至并网的指令发送至所述的并网点保护终端;

步骤 S32:所述的并网点保护终端转发所述配电网一次系统的电压、频率和相角信号至所述的下垂控制逆变器,并控制所述的下垂控制逆变器跟踪配电网的电压、频率和相角信号;

步骤 S33:当所述的下垂控制逆变器与所述配电网一次系统的电压幅值差值在 $\pm 5V$ 以内并且相角差值在 $\pm 3^\circ$ 以内时,所述的并网点保护终端控制所述的固态开关合,所述的固态开关返回合位信息,所述的并网点保护终端控制所述的下垂控制逆变器切换至并网运

行模式；

步骤 S34：所述的下垂控制逆变器切换至并网运行模式，所述的下垂控制逆变器通知所述的源荷平衡控制终端进入并网运行模式，所述的源荷平衡控制终端将所述的第一直流变换器、第一整流变换器、第二直流变换器以及第二整流变换器调整至并网运行模式。

[0009] 进一步地，所述的源荷平衡控制终端进入并网运行模式的具体包括以下步骤：

步骤 S41：在微电网并网运行时，所述源荷平衡控制终端将第一直流变换器与第一整流变换器的运行模式设置为最大功率点跟踪模式；

步骤 S42：若在微电网并网运行且下一时段所述储能系统为非充电状态时，所述源荷平衡控制终端根据下一时段所述光伏阵列的出力预测值、所述风力机组的出力预测值和所述备用电源的出力设置值，设置下一时段所述下垂控制逆变器的频率参考值，使所述下垂控制逆变器在下一时段的出力等于下一时段的所述光伏阵列的出力预测值、所述风力机组的出力预测值和所述备用电源的出力设置值的总和；

步骤 S43：若在微电网并网运行且下一时段所述储能系统充电时，所述源荷控制终端根据下一时段所述光伏阵列的出力预测值、所述风力机组的出力预测值、所述备用电源的出力和储能系统的充电功率的设置值（相对于光伏阵列和风力机组的出力，储能系统的充电功率的设置值是负值），据此设置下一时段所述下垂控制逆变器的频率参考值，使所述下垂控制逆变器在下一时段的出力等于下一时段的所述光伏阵列的出力预测值、所述风力机组的出力预测值、所述备用电源的出力和所述储能系统的功率的设置值的总和；

步骤 S44：所述的源荷平衡控制终端控制所述的第二直流变换器维持所述微电网直流汇流母线电压在设定值，所述的储能系统平衡光伏阵列和风力机组的出力预测值与实际出力之间的差值部分，用以实现并网源荷平衡。

[0010] 进一步地，所述的源荷平衡控制终端进入离网运行模式的具体包括以下步骤：

步骤 S51：在微电网离网运行时，所述的源荷平衡控制终端将所述第一直流变换器与所述第一整流变换器的运行模式设置为最大功率点跟踪模式或降功率运行模式；

步骤 S52：在当前时段，所述源荷平衡控制终端预测下一时段所述光伏阵列和所述风力机组的出力以及微电网负荷的有功功率；

步骤 S53：若下一时段所述光伏阵列和所述风力机组的出力预测值之和大于所述微电网负荷的有功功率的预测值并且所述的储能系统无足够的存储电能空间，则所述的光伏阵列和风力机组在下一时段运行于降功率运行模式，用以维持光伏阵列和风力机组在下一时段出力预测值与负荷功率基本平衡；

步骤 S54：若下一时段所述光伏阵列和所述风力机组的出力预测值之和不大于所述微电网负荷的有功功率的预测值，或者所述光伏阵列和风力机组的出力预测值之和大于所述微电网负荷的有功功率的预测值且所述储能系统在下一时段有足够的存储电能空间，则所述光伏阵列和风力机组在下一时段运行于最大功率点跟踪模式；

步骤 S55：所述的源荷平衡控制终端控制所述的第二直流变换器维持直流汇流母线电压在设定值，所述储能系统平衡所述光伏阵列和风力机组的实际出力与负荷的实际有功功率之间的差值部分，用以实现离网源荷平衡控制。

[0011] 进一步地，所述的下垂控制逆变器电压幅值和频率参数选取包括两种情况：

(a) 在微电网并网运行时，所述下垂控制逆变器的输出电压幅值取 $v=v_{PLL}-v_{REF}$ ，其中

v_{PLL} 为锁相环测取的下垂控制逆变器并网点的正序电压幅值, v_{REF} 为下垂系数除于当前时段下垂控制逆变器的无功功率设置值所得的电压幅值;所述下垂控制逆变器的输出频率取 $f=f_{PLL}-f_{REF}$, 其中 f_{PLL} 为锁相环测取的下垂控制逆变器并网点的电压频率, f_{REF} 为下垂系数除于下垂控制逆变器的有功功率设置值所得的频率值;所述下垂控制逆变器的有功功率设置值等于当前时段所述光伏阵列的出力预测值、风力机组的出力预测值、所述备用电源有功功率和所述储能系统的有功功率的总和;

(b)在微电网离网运行时,所述下垂控制逆变器的输出电压幅值取 $v=v_{SET}$, 其中 v_{SET} 为离网电压幅值的设置值;所述下垂控制逆变器的输出电压频率取 $f=f_{SET}$, 其中 f_{SET} 为离网频率的设置值。

[0012] 进一步地,在微电网并网运行时,所述的第二整流变换器处于热备用状态;在微电网离网运行并且所述的储能系统的荷电状态低于阈值时,所述的源荷控制终端发出指令启动所述的备用电源,所述的第二整流变换器工作于功率给定模式。

[0013] 特别的,本发明采用固态开关并网的目的是实现半个周波分断或闭合微电网与配电网的电气连接,可快速隔离配电网故障;采用下垂控制策略的目的是微电网实现不断电进行并离网运行模式的切换;采用源荷平衡的目的是实现微电网在并离网运行时分布式发电单元的出力、储能系统功率、备用电源的出力与负荷的有功功率的总体平衡,其中源指的是储能系统、分布式发电单元以及备用电源,荷指的是负荷,分布式发电单元为光伏阵列和风力机组;采用直流汇流的目的是节省分布式发电单元的逆变环节,汇流后统一经过下垂控制逆变器并网。

[0014] 综上所述,通过固态开关快速隔离配电网故障、采用下垂控制策略实现不断电进行并离网运行模式的切换、采用源荷平衡实现微电网在并离网运行源荷功率的平衡等,在失去配电网供电的情形下,微电网可不断电平滑切换至离网运行,有效保障针对微电网内负荷的供电可靠性。

[0015] 与现有技术相比,本发明可快速隔离微电网外部的异常事件、实现微电网并离网运行时源荷的功率平衡以及微电网并离网运行模式的不断电平滑切换。

附图说明

[0016] 图 1 为本发明的微电网结构示意图。

[0017] 图 2 为本发明的并网点保护终端功能结构示意图。

[0018] 图 3 为本发明的源荷平衡控制终端功能结构示意图。

具体实施方式

[0019] 下面结合附图及实施例对本发明做进一步说明。

[0020] 实施例一。

[0021] 如图 1、图 2 以及图 3 所示,本实施例提供了一种基于固态开关、下垂控制、源荷平衡和直流汇流的微电网结构,包括微电网管理终端、配电网管理系统以及与其相连的配电网一次系统,所述的配电网一次系统连接至并网交流母线,还包括一光伏阵列、一风力机组、一储能系统以及一备用电源,所述的光伏阵列、风力机组、储能系统以及备用电源分别经第一直流变换器、第一整流变换器、第二直流变换器以及第二整流变换器连接至微电网

直流汇流母线，所述的微电网直流汇流母线经一下垂控制逆变器连接至微电网交流母线，所述的微电网交流母线经一固态开关连接至所述的并网交流母线；所述的微电网交流母线还连接有微电网负荷；所述的微电网管理终端连接有一并网点保护终端、一源荷平衡控制终端以及所述的配电网管理系统，所述的并网点保护终端与所述的固态开关、所述的下垂控制逆变器、所述的并网交流母线以及所述的微电网交流母线相连，所述的源荷平衡控制终端与所述的下垂控制逆变器、所述的第一直流变换器、第一整流变换器、第二直流变换器、第二整流变换器、所述的储能系统以及所述的备用电源相连接。

[0022] 在本实施例中，所述的并网点保护终端包括一 DSP 以及与其相连的 MCU、并离网控制单元、电压异常保护单元、电流异常保护单元、频率异常保护单元、电压幅值计算单元、频率与相位计算单元、电气量检测单元、开关状态检测单元以及开关动作控制单元；所述的并离网控制单元、电压幅值计算单元以及所述的频率与相位计算单元均连接至所述的下垂控制逆变器，所述的 MCU 与所述的微电网管理终端相连，所述的电气量测量单元分别连接至所述的并网交流母线以及微电网交流母线，所述的开关状态检测单元以及开关动作控制单元均与所述的固态开关相连。

[0023] 在本实施例中，所述的源荷平衡控制终端包括 DSP 以及与其相连的 MCU、发电出力预测单元、微电网负荷预测单元、并离网状态检测单元、运行模式控制单元、启停及功率给定单元、荷电状态检测单元以及电气量检测单元；所述的 MCU 连接至所述的微电网管理终端，所述的并离网状态检测单元与所述的下垂控制逆变器相连，所述的启停及功率给定单元连接至所述的备用电源，所述的荷电状态检测单元连接至所述的储能系统，所述的电气量检测单元分别与所述的下垂控制逆变器、第一直流变换器、第一整流变换器、第二直流变换器以及第二整流变换器相连，所述的运行模式控制单元分别与所述的第一直流变换器、第一整流变换器以及第二直流变换器相连。

[0024] 在本实施例中，本发明采用三层控制结构，下垂控制逆变器、光伏阵列的直流变换器、风力机组的整流变换器、储能系统的直流变换器以及备用电源的整流变换器构成就地控制层，并网点保护终端和源荷平衡控制终端构成中间控制层，微电网管理终端为站控层。微电网管理终端具备运行监控、相关电气量的实时和历史信息展示以及存储等功能。

[0025] 实施例二。

[0026] 如图 1、图 2 以及图 3 所示，本实施例提供了一种如上文所述的基于固态开关、下垂控制、源荷平衡和直流汇流的微电网结构的控制方法，包括以下三种情况：

(a) 当非计划性并网切换至离网时，具体步骤如下：

步骤 S11：所述并网点保护终端检测所述并网交流母线的电压、电流和频率并判断是否有异常现象，如果异常，所述并网点保护终端发出指令断开所述的固态开关，所述固态开关返回分位信息，所述并网点保护终端控制所述下垂控制逆变器将运行模式切换至离网运行模式，并进入步骤 S2；

步骤 S12：所述的下垂控制逆变器切换至离网运行模式，所述的下垂控制逆变器通知所述的源荷平衡控制终端进入离网运行模式，所述的源荷平衡控制终端将所述的第一直流变换器、第一整流变换器、第二直流变换器以及第二整流变换器调整至离网运行模式；

(b) 当计划性并网切换至离网时，具体步骤如下：

步骤 S21：当所述的微电网管理终端接收到计划性并网切换至离网的指令，所述的微

电网管理终端将所述计划性并网切换至离网的指令发送至所述的并网点保护终端；

步骤 S22：所述的并网点保护终端控制所述的固态开关断开，所述固态开关返回分位信息，所述并网点保护终端控制所述的下垂控制逆变器切换至离网运行模式；

步骤 S23：所述的下垂控制逆变器切换至离网运行模式，所述的下垂控制逆变器通知所述的源荷平衡控制终端进入离网运行模式，所述的源荷平衡控制终端将所述的第一直流变换器、第一整流变换器、第二直流变换器以及第二整流变换器调整至离网运行模式；

(c) 当离网切换至并网时，具体步骤如下：

步骤 S31：当所述的微电网管理终端接收到离网切换至并网的指令，所述的微电网管理终端将所述离网切换至并网的指令发送至所述的并网点保护终端；

步骤 S32：所述的并网点保护终端转发所述配电网一次系统的电压、频率和相角信号至所述的下垂控制逆变器，并控制所述的下垂控制逆变器跟踪配电网的电压、频率和相角信号；

步骤 S33：当所述的下垂控制逆变器与所述配电网一次系统的电压幅值差值在 $\pm 5V$ 以内并且相角差值在 $\pm 3^\circ$ 以内时，所述的并网点保护终端控制所述的固态开关闭合，所述的固态开关返回合位信息，所述的并网点保护终端控制所述的下垂控制逆变器切换至并网运行模式；

步骤 S34：所述的下垂控制逆变器切换至并网运行模式，所述的下垂控制逆变器通知所述的源荷平衡控制终端进入并网运行模式，所述的源荷平衡控制终端将所述的第一直流变换器、第一整流变换器、第二直流变换器以及第二整流变换器调整至并网运行模式。

[0027] 较佳的，本实施例中微电网管理终端接收到离网切换至并网的指令可以是配电网管理系统发送的，也可以是微电网操作人员的通过微电网管理终端的人机界面输入的。

[0028] 在本实施例中，所述的源荷平衡控制终端进入并网运行模式的具体包括以下步骤：

步骤 S41：在微电网并网运行时，所述源荷平衡控制终端将第一直流变换器与第一整流变换器的运行模式设置为最大功率点跟踪模式；

步骤 S42：若在微电网并网运行且下一时段所述储能系统为非充电状态时，所述源荷平衡控制终端根据下一时段所述光伏阵列的出力预测值、所述风力机组的出力预测值和所述备用电源的出力设置值，设置下一时段所述下垂控制逆变器的频率参考值，使所述下垂控制逆变器在下一时段的出力等于下一时段的所述光伏阵列的出力预测值、所述风力机组的出力预测值和所述备用电源的出力设置值的总和；

步骤 S43：若在微电网并网运行且下一时段所述储能系统充电时，所述源荷控制终端根据下一时段所述光伏阵列的出力预测值、所述风力机组的出力预测值、所述备用电源的出力和储能系统的充电功率的设置值（相对于光伏阵列和风力机组的出力，储能系统的充电功率的设置值是负值），据此设置下一时段所述下垂控制逆变器的频率参考值，使所述下垂控制逆变器在下一时段的出力等于下一时段的所述光伏阵列的出力预测值、所述风力机组的出力预测值、所述备用电源的出力和所述储能系统的功率的设置值的总和；

步骤 S44：所述的源荷平衡控制终端控制所述的第二直流变换器维持所述微电网直流汇流母线电压在设定值，所述的储能系统平衡光伏阵列和风力机组的出力预测值与实际出力之间的差值部分，用以实现并网源荷平衡。

[0029] 在本实施例中，所述的源荷平衡控制终端进入离网运行模式的具体包括以下步骤：

步骤 S51：在微电网离网运行时，所述的源荷平衡控制终端将所述第一直流变换器与所述第一整流变换器的运行模式设置为最大功率点跟踪模式或降功率运行模式；

步骤 S52：在当前时段，所述源荷平衡控制终端预测下一时段所述光伏阵列和所述风力机组的出力以及微电网负荷的有功功率；

步骤 S53：若下一时段所述光伏阵列和所述风力机组的出力预测值之和大于所述微电网负荷的有功功率的预测值并且所述的储能系统无足够的存储电能空间，则所述的光伏阵列和风力机组在下一时段运行于降功率运行模式，用以维持光伏阵列和风力机组在下一时段出力预测值与负荷功率基本平衡；

步骤 S54：若下一时段所述光伏阵列和所述风力机组的出力预测值之和不大于所述微电网负荷的有功功率的预测值，或者所述光伏阵列和风力机组的出力预测值之和大于所述微电网负荷的有功功率的预测值且所述储能系统在下一时段有足够的存储电能空间，则所述光伏阵列和风力机组在下一时段运行于最大功率点跟踪模式；

步骤 S55：所述的源荷平衡控制终端控制所述的第二直流变换器维持直流汇流母线电压在设定值，所述储能系统平衡所述光伏阵列和风力机组的实际出力与负荷的实际有功功率之间的差值部分，用以实现离网源荷平衡控制。

[0030] 在本实施例中，所述的下垂控制逆变器电压幅值和频率参数选取包括两种情况：

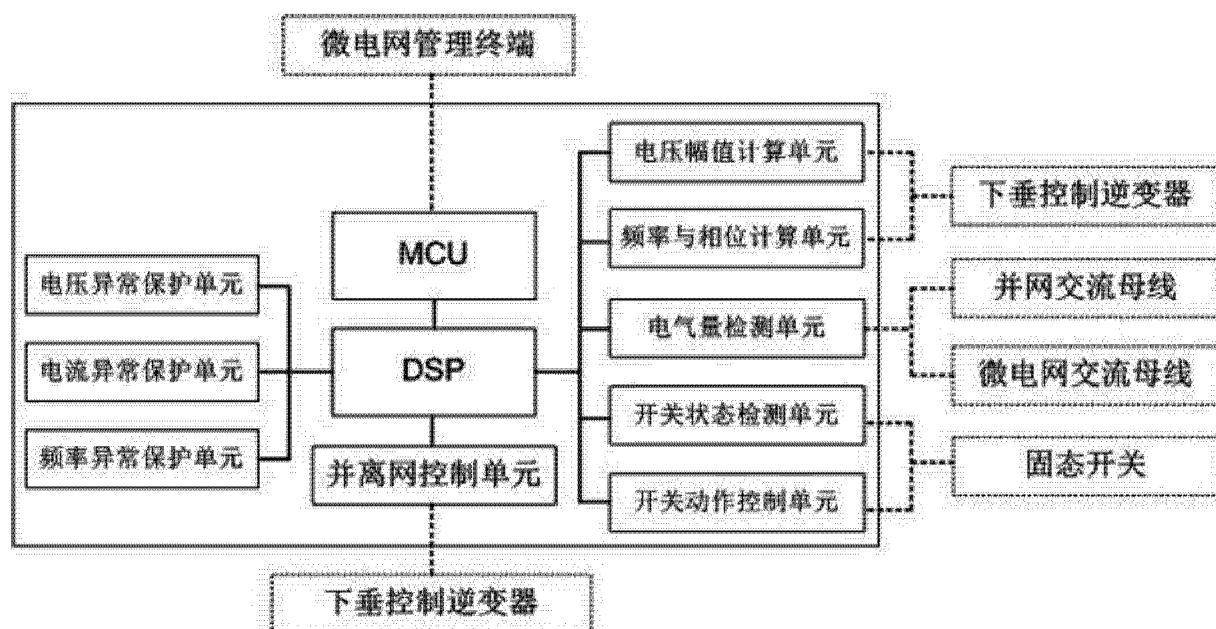
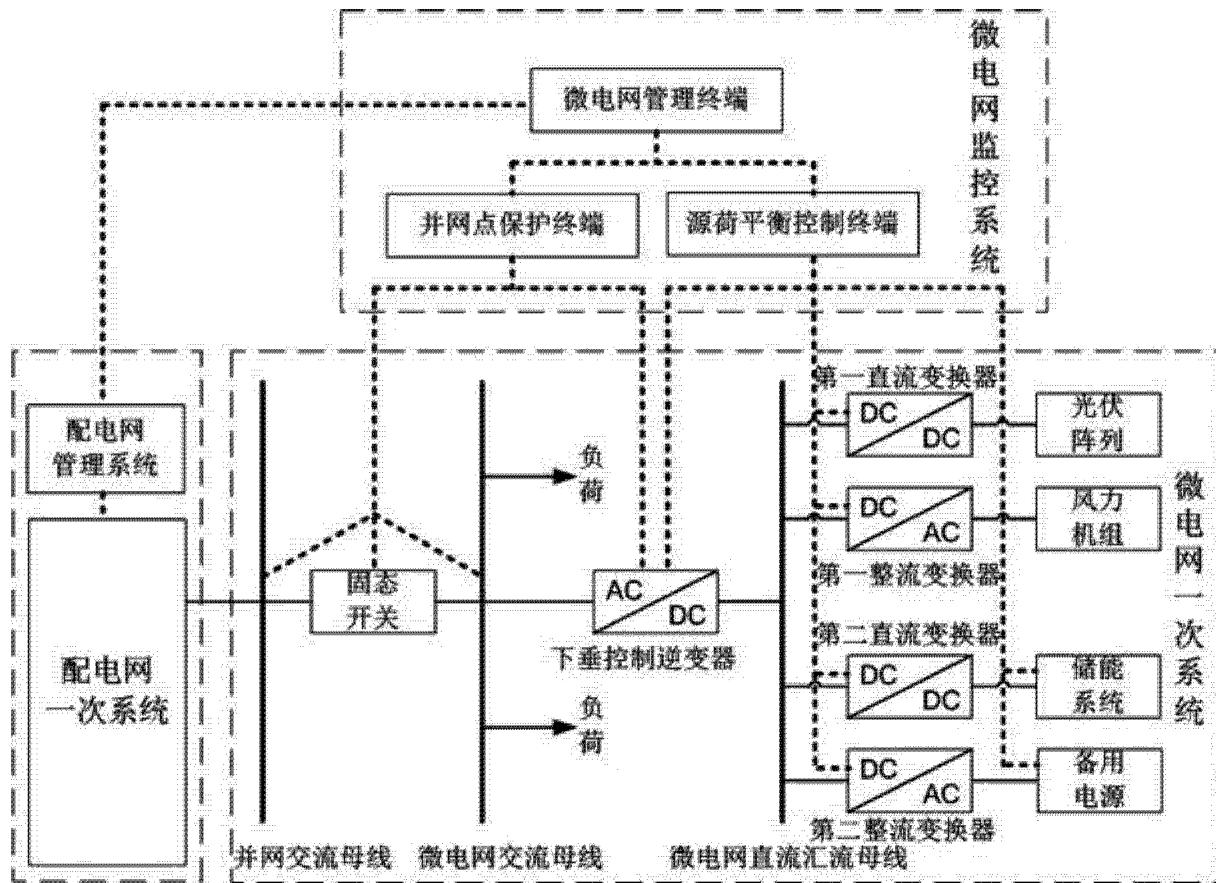
(a) 在微电网并网运行时，所述下垂控制逆变器的输出电压幅值取 $v=v_{PLL}-v_{REF}$ ，其中 v_{PLL} 为锁相环测取的下垂控制逆变器并网点的正序电压幅值， v_{REF} 为下垂系数除于当前时段下垂控制逆变器的无功功率设置值所得的电压幅值；所述下垂控制逆变器的输出频率取 $f=f_{PLL}-f_{REF}$ ，其中 f_{PLL} 为锁相环测取的下垂控制逆变器并网点的电压频率， f_{REF} 为下垂系数除于下垂控制逆变器的有功功率设置值所得的频率值；所述下垂控制逆变器的有功功率设置值等于当前时段所述光伏阵列的出力预测值、风力机组的出力预测值、所述备用电源有功功率和所述储能系统的有功功率的总和；

(b) 在微电网离网运行时，所述下垂控制逆变器的输出电压幅值取 $v=v_{SET}$ ，其中 v_{SET} 为离网电压幅值的设置值；所述下垂控制逆变器的输出电压频率取 $f=f_{SET}$ ，其中 f_{SET} 为离网频率的设置值。

[0031] 在本实施例中，在微电网并网运行时，所述的第二整流变换器处于热备用状态；在微电网离网运行并且所述的储能系统的荷电状态低于阈值时，所述的源荷控制终端发出指令启动所述的备用电源，所述的第二整流变换器工作于功率给定模式。

[0032] 综上所述，本发明可快速隔离微电网外部的异常事件、实现微电网并离网运行时源荷的功率平衡以及微电网并离网运行模式的不断电平滑切换。

[0033] 以上所述仅为本发明的较佳实施例，凡依本发明申请专利范围所做的均等变化与修饰，皆应属本发明的涵盖范围。



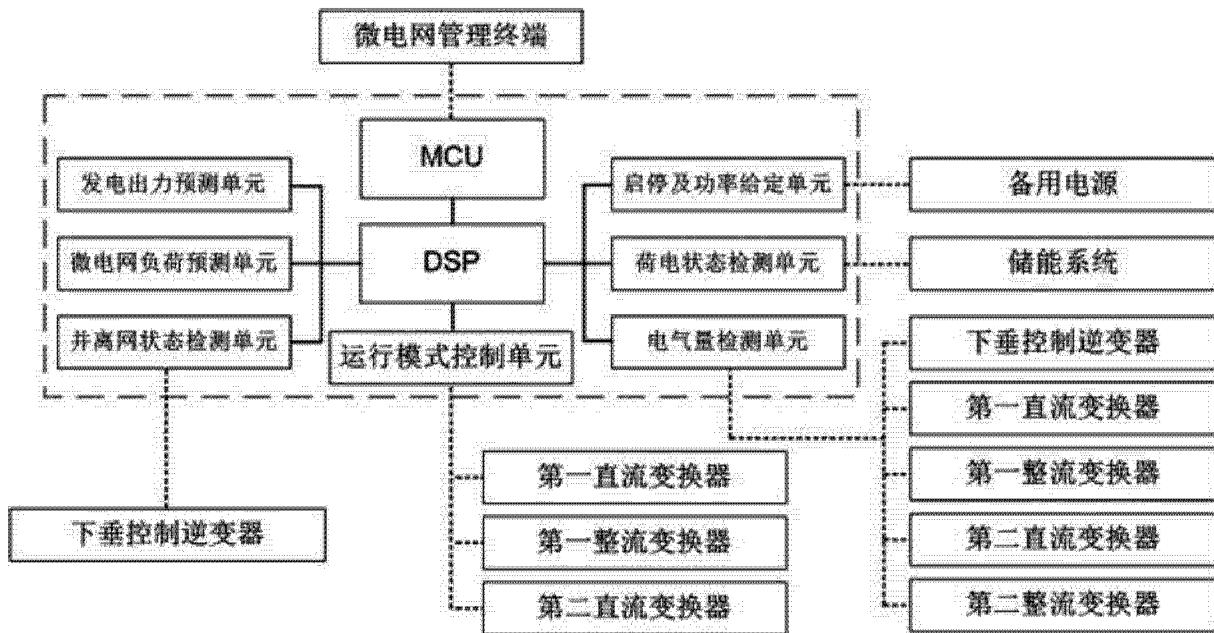


图 3