(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 102969742 A
(43)申请公布日 2013.03.13

(21)申请号 201210552332.1

(22)申请日 2012.12.18

(71)申请人 天津工业大学
地址 300387 天津市河东区成林道63号

(72)发明人 肖朝霞

(51)Int.Cl.
H02J 3/46(2006.01)

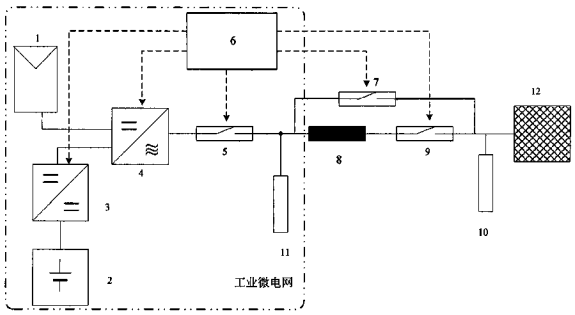
权利要求书 1 页 说明书 3 页 附图 1 页

(54)发明名称

多功能光伏发电实验系统及其控制方法

(57)摘要

本发明属于分布式发电和智能电网领域，涉及一种工业用光伏发电系统及其控制方法。具体提供一个由光伏发电，蓄电池组，DC-DC变换器，DC-AC逆变器，投切开关，DSpace控制器，旁路开关，连接电感，快速断路器等组成的实验系统及其控制方法。具体控制策略为，光伏正常运行时工作在最大功率跟踪模式，采用DSpace控制器，通过对投切开关，旁路开关、快速断路器和DC-AC逆变器及DC-DC变换器的控制，实现系统的充放电控制、独立运行和联网运行等。连接电感、快速断路器和旁路开关负责子网与主网的连接与隔离，使网内节点电压免受主网影响，保证网间自适应连接。当电网电压降低，控制光逆变器使其输出无功，提供电压支持，在电网频率波动时，控制蓄电池，为系统提供频率支持。



CN 102969742 A

1. 一种多功能光伏发电实验系统，所述的多功能光伏实验系统包括功率为光伏发电单元，储能用蓄电池组，DC-DC 变换器，DC-AC 逆变器，投切开关、关键负载和 DSpace 控制器组成的工业用微电网，微电网通过旁路开关，连接电感和快速断路器与网外的一般负和主电网相连，其中，光伏单元、蓄电池储能单元、负载单元和主电网之间能量流动控制靠 DSpace 控制器完成。

2. 根据权利要求 1 所述的 DSpace 控制器，其特征在于，通过对投切开关，旁路开关，快速断路器，DC-AC 逆变器及 DC-DC 变换器的控制，实现实验系统内蓄电池的充放电控制、微电网的独立运行和联网运行等运行模式，当电网电压降低，通过控制光伏所连接的 DC-AC 逆变器使其输出无功，提供电压支持，当电网频率波动时，通过控制蓄电池，让它提供有功或吸收有功，从而为系统提供频率支持。

3. 根据权利要求 1 所述的光伏单元正常运行时工作在最大功率跟踪模式。

4. 根据权利要求 1 所述的连接电感，快速断路器和旁路开关负责微电网与主电网的隔离与连接，使微电网子网内负荷点电压免受主网电压波动的影响，实现子网与主网的自适应连接。

多功能光伏发电实验系统及其控制方法

技术领域

[0001] 本发明属于分布式发电和智能电网控制领域，具体涉及一种工业用光伏发电系统及其控制方法。

背景技术

[0002] 国家在“十二五发展规划”中明确将太阳能发电作为重要的能源可持续发展路线之一，具有重要的指导意义。这将对我国家含分布式发电电源的智能电网建设与实用化起到积极的推进作用。光伏发电等分布式发电作为智能电网的组成部分之一为电力供能提供了一种新方式。通过逆变器接口的光伏发电由于其发电特点具有间歇性，因此可以充分利用逆变器提供其他功能。蓄电池接入直流侧使光伏蓄电池组合系统具有更大灵活性。

[0003] 目前，光伏发电的主要利用方式有独立供直流负荷用，也有通过 DC-AC 逆变器给交流负载供电或与电网并联运行。但现有的光伏发电实际或实验系统功能比较单一化，其控制方式也比较简单，甚至在多种状态下的切换存在不可控等问题。对于大功率光伏发电系统，需要按其最大功率配备逆变器，然而光伏发电的间歇性使逆变器的利用不充分。随着光伏发电的发展和用户对电能质量要求的提高，设计合理结构的大功率光伏发电系统并利用该系统为用户和电网提供多种功能，降低系统成本成为急需解决的问题。

发明内容

[0004] 本发明正是应光伏发电发展的需求，针对以上问题，提出一种工业用大功率光伏发电实验系统，提供一种通过系统内的开关、DC-DC 变换器和 DC-AC 逆变器来实现对系统内能量流动的控制方法，达到对光伏单元、蓄电池储能单元、负载单元和主电网之间的功率流动进行控制。实现网内各种电源对负载的优化分配，及其与电网的自适应连接。为此，本发明采用如下的技术方案：

[0005] 所述的多功能光伏实验系统包括光伏发电单元 1，储能用蓄电池组 2，DC-DC 变换器 3，DC-AC 逆变器 4，投切开关 5，DSpace 控制器 6，旁路开关 7，连接电感 8，快速断路器 9，一般负载 10，关键负载 11，主电网 12。

[0006] 所提出的多功能光伏实验系统，采用 DSpace 控制器 6，通过对投切开关 5，旁路开关 7 和快速断路器 9 和 DC-AC 逆变器及 DC-DC 变换器的控制，实现实验系统内蓄电池的充放电控制、系统的独立运行和联网运行等多种运行模式。

[0007] 所述的光伏单元正常运行时工作在最大功率跟踪模式。

[0008] 所述的光伏发电子系统通过连接电感、快速断路器和旁路开关与主电网连接和隔离，从而可使子网内负荷点电压免受主网电压波动的影响，并实现子网与主电网的自适应连接。

[0009] 所述的光伏系统，当电网电压降低，可以控制光伏所连接的 DC-AC 逆变器 4 使其输出无功，提供电压支持；也可以在电网频率波动时，利用控制蓄电池 2，让它提供有功或吸收有功，从而为系统提供频率支持。

[0010] 具体而言，具有如下的技术有益效果：

[0011] 1) 向电网提供更多的电能，逆变器的容量可满足光伏和蓄电池同时输出电能；

[0012] 2) 提高子网内电能质量，子网内负荷点电压可免受主网电压波动的影响；

[0013] 3) 具有 UPS（不间断供电）功能，当主网出现故障，该系统可独立持续供电指定时间；

[0014] 4) 当子网内工业负荷用电处于用电尖峰时，该系统起消峰功能，可有效降低电网成本；

[0015] 5) 可利用对逆变器的控制为子网内工业负荷提供无功功率，实现与主电网联接点恒定功率因数；

[0016] 6) 当电网出现故障，电压低时，可向电网提供无功功率实现跨故障能力；

[0017] 7) 当电网频率变化时，可吸收和提供有功功率，为电网提供频率支持；

[0018] 8) 通过对光伏侧逆变器的控制，可有效抑制谐波；

[0019] 9) 可实现系统在充放电控制、独立运行和联网运行等模式之间的自由切换；

[0020] 10) 利用 DSpace 控制器，可以简化从仿真到实际系统的流程，减少控制器设计错误概率。

附图说明

[0021] 图 1 是多功能光伏系统结构控制图。

[0022] 图 2 为操作模式控制图。

具体实施方式

[0023] 下面结合附图和实施例对本发明进行说明。

[0024] 图 1 为多功能光伏发电实验系统结构控制控制图，其中功率为 100kW 的太阳能光伏发电单元 1，由 192 个电池串联而成端口电压为 384V 总容量为 800Ah 的储能蓄电池 2，DC-DC 变换器 3，DC-AC 逆变器 4，投切开关 5，DSpace 控制器 6，关键负载 11 共同组成独立的工业微电网。旁路开关 7，连接电感 8 和快速断路器 9 负责微电网与配电网的连接。配电网负责在微网自身供电不足的时候，向一般负载和关键负载供电。图 2 为 DSpace 控制器根据图 1 中，投切开关 5，旁路开关 7，和快速断路器 9 三个开关状态进行直接控制的系统在三个模式之间转换的操作运行图。

[0025] 如图 1 所示，本发明的多功能光伏发电实验系统首先采用 DC-DC 变换器负责光伏发电单元 1 与的蓄电池 2 的连接，直流母线电压为 500V。当直流母线电压低于设置的最小值 450V 时，蓄电池开始放电，此时控制的目的是当光伏输出功率大于 10kW 时，使光伏单元维持在最大功率跟踪工作模式；当光伏输出功率小于 10kW 时则维持直流母线电压恒定并保护蓄电池不会过度放电。该控制器考虑了蓄电池的放电状态，当蓄电池端口电压小于 192V 时，蓄电池停止放电。当蓄电池放电时，DC-DC 变换器均为升压型 DC-DC 变换器，控制器设置为带限制的 PI 控制器。

[0026] 根据蓄电池充电特性，当蓄电池端口电压较低时对 DC-DC 变换器采用恒电流控制，随着蓄电池电能增多，充电状态 (SOC) 发生变化，蓄电池端口电压升高，当达到 95％的蓄电池电大电压时，由恒电流充电转换为恒电压充电。当蓄电池充电时，DC-DC 变换器均为

降压型 DC-DC 变换器，控制器设计为不带限制的 PI 控制器。

[0027] DC-AC 逆变器 4 则负责将网内直流变换为交流，交流侧电压为 220V，然后通过投切开关给网内交流关键负载供电或者与网外的负载和电网相接。当连接电感 8 起作用时，也就是快速断路器 9 合上，而旁路开关 7 打开的时候，对逆变器采取恒电压控制，控制的目的是维持负荷点电压恒定且尽可能将直流侧电能输送到电网，直流母线的参考电压由光伏最大功率跟踪算法确定。当连接电感 8 不起作用，也就是快速断路器 9 断开，而旁路开关 7 闭合时，逆变器控制的目标为从逆变器看进去的系统为恒流源。另外，当负荷或电网需要大量无功而光伏逆变器没有满载，可以通过控制逆变器工作在恒功率控制方式，向负荷提供无功。

[0028] 图 2 则给出了系统基于开关状态在充放电、独立运行和并网三种模式下的切换条件转换关系图。图中 Swt1、Swt2、Swt3 分别表示投切开关 5，快速断路器 9 和旁路开关 7。0 表示开关断开，1 表示开关闭合。具体的开关状态，开关状态与逆变器状态、蓄电池运行模式、PV 运行模式、逆变器控制方式等之间的对应关系如表 1 所示。表 1 中 MPPT 指最大功率跟踪模式，Ppv 为光伏发电单元输出功率。

[0029] 表 1 系统的主要运行模式

[0030]

开关状态	逆变器状态	PV 运行模式	逆变器控制方式	蓄电池运行模式
Swt1 和 Swt2（或 Swt3）闭合(联网运行)	逆变	MPPT(P_{PV}>10kW)	电压或电流控制	充电 or 0(满)
	整流	MPPT(P_{PV}>10kW)	电压或电流控制	充电
	逆变	MTTP(P_{PV}>10kW)	恒功率（或恒功率因数）控制	充电
	逆变	MPPT(P_{PV}>10kW); 恒电压(P_{PV}<10kW)	电压或电流控制	放电（尖峰共享）
	逆变	由蓄电池充电控制决定	电压或电流控制	充电（尖峰共享）
Swt2 和 Swt3 打开，Swt1 闭合(独立运行)	逆变	由蓄电池充电控制决定	电压控制	充电 or 0(满)
	逆变	MPPT(P_{PV}>10kW); 恒电压(P_{PV}<10kW)	电压控制	放电
Swt1 打开	0	由蓄电池充电控制决定	Off	充电
	0	0	Off	0(满)

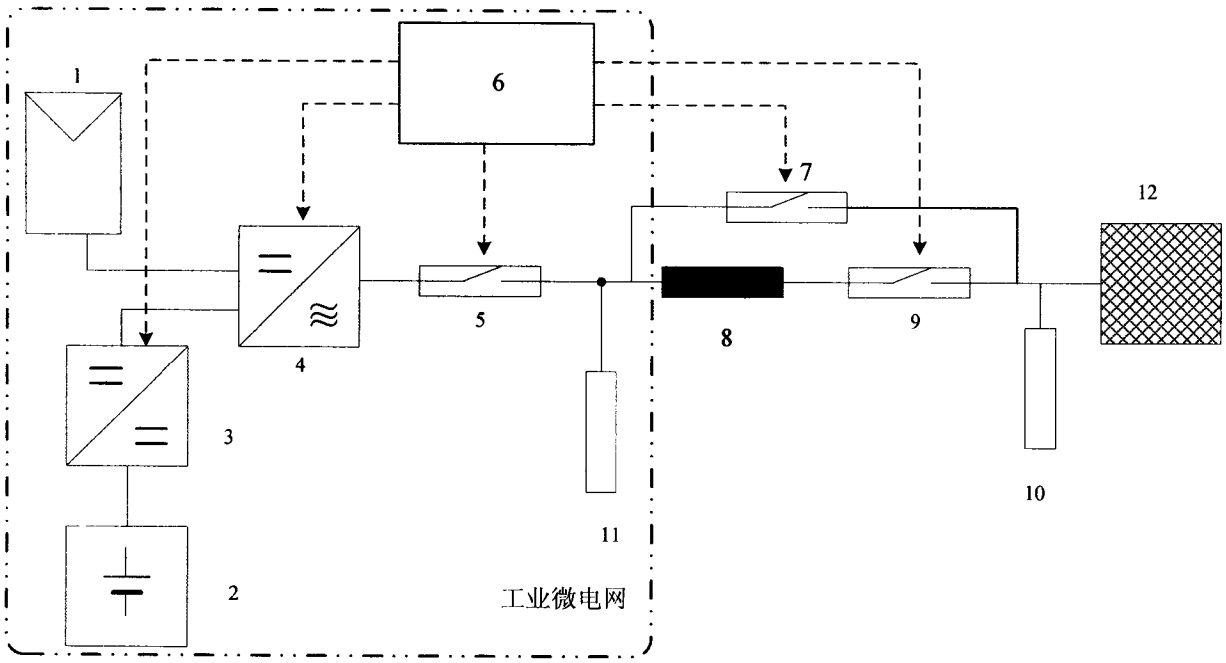

1
6
7
12
5
8
9
4
3
10
11
2
工业微电网

图 1

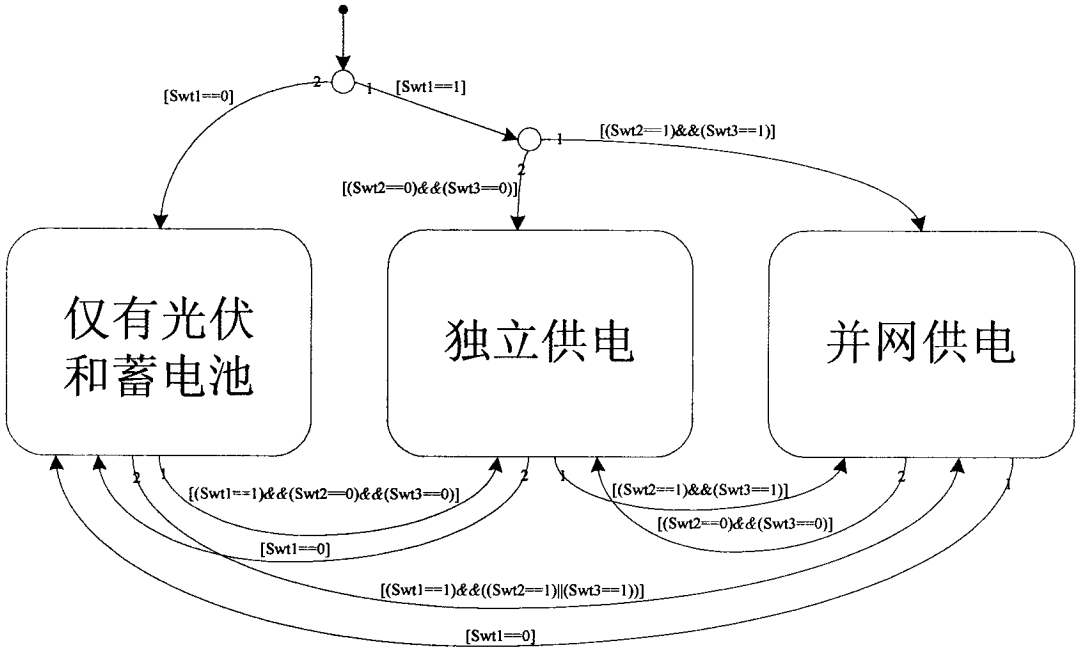

[Swt1==0]
[Swt1==1]
[(Swt2==1)&&(Swt3==1)]
[(Swt2==0)&&(Swt3==0)]
仅有光伏
和蓄电池
独立供电
并网供电
[(Swt1==1)&&(Swt2==0)&&(Swt3==0)]
[(Swt2==1)&&(Swt3==1)]
[(Swt2==0)&&(Swt3==0)]
[Swt1==0]
[(Swt1==1)&&((Swt2==1)||(Swt3==1))]
[Swt1==0]

图 2