



# (12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105811455 B

(45)授权公告日 2020.08.28

(21)申请号 201610147036.1

H02J 3/32(2006.01)

(22)申请日 2016.03.15

(56)对比文件

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 105811455 A

CN 105186554 A,2015.12.23

CN 105186554 A,2015.12.23

CN 104953686 A,2015.09.30

CN 102593864 A,2012.07.18

CN 105305491 A,2016.02.03

WO 2004038892 A3,2005.05.26

EP 2963759 A1,2016.01.06

CN 103972928 A,2014.08.06

(43)申请公布日 2016.07.27

(73)专利权人 中国电力科学研究院

地址 100192 北京市海淀区清河小营东路  
15号

专利权人 国家电网公司

国网上海市电力公司

四川科陆新能电气有限公司.30kW光储一体机.《百度文库》.2014,

陈毛欣.基于虚拟同步发电机的储能型光伏  
逆变技术.《电气应用》.2015,第34卷(第16期),

Salvatore D'Arco等.A Virtual

Synchronous Machine implementation for  
distributed control of power converters

in SmartGrids.《ScienceDirect》.2015,第22卷

(72)发明人 胡金杭 李官军 陶以彬 桑丙玉

杨波 张宇 余豪杰 刘欢

冯鑫振 周晨 李跃龙 朱红保

鄢盛驰 侯书毅 曹远志 崔红芬

庄俊 卢俊峰 孙博

审查员 陈雪

(74)专利代理机构 北京安博达知识产权代理有  
限公司 11271

代理人 徐国文

(51)Int.Cl.

H02J 3/38(2006.01)

权利要求书2页 说明书7页 附图3页

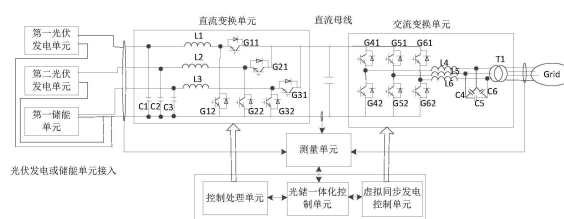
(54)发明名称

一种基于虚拟同步发电特性的光储一体化  
控制系统

(57)摘要

本发明涉及一种基于虚拟同步发电特性的  
光储一体化控制系统,系统包括:发电单元依次  
与直流变换单元和交流变换单元连接,测量单元  
分别与发电单元和直流变换单元之间的连接线、  
直流变换单元和交流变换单元之间的连接线、交  
流变换单元与输电线路之间的连接线以及光储  
一体化控制单元连接,光储一体化控制单元分别  
与控制处理单元和虚拟同步发电控制单元连接,  
控制处理单元与直流变换单元连接,虚拟同步发  
电控制单元与交流变换单元连接;本发明提供的  
系统能够将光伏与储能发电单元以在直流侧汇  
集的方式,提高了系统的运行可靠性,且采用虚

拟同步发电特性的控制方式并入电网,在电网断  
开时快速的支撑系统电压与频率,提高光储一体  
化系统的供电可靠性。



1. 一种基于虚拟同步发电特性的光储一体化控制系统,其特征在于,所述系统包括:

至少两个发电单元、直流变换单元、交流变换单元、测量单元、光储一体化控制单元、控制处理单元和虚拟同步发电控制单元,其中,所述发电单元为光伏发电单元或储能单元,所述至少两个发电单元至少包括一个光伏发电单元和一个储能单元;

所述发电单元依次与所述直流变换单元和交流变换单元连接,所述测量单元分别与所述发电单元和所述直流变换单元之间的连接线、所述直流变换单元和所述交流变换单元之间的连接线、所述交流变换单元与输电线路之间的连接线以及所述光储一体化控制单元连接,所述光储一体化控制单元分别与所述控制处理单元和所述虚拟同步发电控制单元连接,所述控制处理单元与所述直流变换单元连接,所述虚拟同步发电控制单元与所述交流变换单元连接;

所述光储一体化控制单元,用于控制所述控制处理单元采用恒电压控制方式对所述直流变换单元中接入的储能单元输入的部分进行处理,然后采用MPPT控制方式对所述直流变换单元中接入的光伏发电单元输入部分进行处理,最后控制所述虚拟同步发电控制单元对所述交流变换单元进行处理;

所述直流变换单元为双向BOOST/BUCK电路,包括:第一直流母线输出端、第二直流母线输出端及所述发电单元对应的电抗滤波回路L、电容滤波回路C、开关器件G1和G2;

所述发电单元的第一输出端口依次与所述直流变换单元中的所述发电单元对应的电抗滤波回路L、所述发电单元对应的开关器件G1和第一直流母线输出端连接,所述发电单元的第二输出端口通过直流母线传输线连接第二直流母线输出端,所述发电单元对应的电抗滤波回路L与所述发电单元对应的开关器件G1之间的连接点与所述直流母线传输线之间连接电容滤波回路C,所述发电单元的第一输出端口与所述直流变换单元中的所述发电单元对应的电抗滤波回路L之间的连接点与所述直流母线传输线之间连接所述发电单元对应的开关器件G2;

所述光储一体化控制单元,用于控制处理单元采用恒电压控制方式对所述直流变换单元中接入的储能单元输入的部分进行处理,包括:

将直流母线电压给定值 $V_{ref}$ 与所述直流变换单元和所述交流变换单元之间的直流母线电压 $V_{dc}$ 经第一加法器输出第一信号,所述第一信息为 $V_{ref}$ 减 $V_{dc}$ 的信号,并通过直流电压控制器输出内环电流给定值 $I_{ref}$ ,所述内环电流给定值 $I_{ref}$ 分别通过第二加法器和第三加法器输出第二信号和第三信号,所述第二信号为所述内环电流给定值 $I_{ref}$ 减所述储能单元输入侧直流电流 $I_{dc}$ 的信号,所述第三信息为所述储能单元输入侧直流电流 $I_{dc}$ 减所述内环电流给定值 $I_{ref}$ 的信号,将所述第二信息依次经直流电压控制器和占空比调节器输出放电脉冲信号,将所述第三信息依次经直流电压控制器和占空比调节器输出充电脉冲信号,使能端将直流母线电压给定值 $V_{ref}$ 与所述直流变换单元和所述交流变换单元之间的直流母线电压 $V_{dc}$ 经比较器进行比较,当 $V_{ref}$ 与 $V_{dc}$ 比较值大于0时,放电脉冲使能,即所述直流变换单元中发电单元对应的开关器件G2输出使能,当 $V_{ref}$ 与 $V_{dc}$ 比较值小于0时,充电脉冲使能,即所述直流变换单元中发电单元对应的开关器件G1输出使能。

2. 如权利要求1所述的系统,其特征在于,所述测量单元,用于测量所述直流变换单元和所述交流变换单元之间的直流母线电压 $V_{dc}$ 、储能单元输入侧直流电压 $U_{dc}$ 和电流 $I_{dc}$ 、光伏发电单元输入侧直流电压 $U_{dc\_1}$ 和电流 $I_{dc\_1}$ 以及所述交流变换单元输出侧电压 $U$ 、频率

f、有功功率实测值P和无功功率实测值Q。

3.如权利要求1所述的系统,其特征在于,所述交流变换单元包括:隔离变压器T1、三相LC滤波器和三相全桥变流器;

所述三相全桥变流器的直流侧分别连接所述直流变换单元的第一直流母线输出端和第二直流母线输出端,所述三相全桥变流器的交流侧依次通过所述三相LC滤波器和隔离变压器T1接入电网。

4.如权利要求1所述的系统,其特征在于,所述光储一体化控制单元,用于控制所述控制处理单元采用MPPT控制方式对所述直流变换单元中接入的光伏发电单元输入部分进行处理,包括:

所述控制处理单元采用MPPT控制方式获取所述直流变换单元中接入的光伏发电单元的最大发电功率 $P_{\max}$ ,对所述最大发电功率 $P_{\max}$ 对应的所述光伏发电单元输入侧直流电压进行恒压控制,向所述直流变换单元输出PWM脉冲。

5.如权利要求1所述的系统,其特征在于,所述光储一体化控制单元,用于控制所述虚拟同步发电控制单元对所述交流变换单元进行处理,包括:

人工设定频率给定值 $f_{\text{ref}}$ 、电压给定值 $U_{\text{ref}}$ 、有功功率给定值 $P_{\text{ref}}$ 和无功功率给定值 $Q_{\text{ref}}$ ;

将所述频率给定值 $f_{\text{ref}}$ 与所述交流变换单元输出侧频率 $f$ 经第四加法器输出第四信号 $\Delta f$ ,其中, $\Delta f = f_{\text{ref}} - f$ ,再将所述第四信号 $\Delta f$ 经频率系数 $k_f$ 放大输出转矩变化信号 $\Delta T$ ;

将所述交流变换单元输出侧有功功率实测值P经下垂控制输出有功功率下垂信号,将所述有功功率下垂信号与所述有功功率给定值 $P_{\text{ref}}$ 经第五加法器输出第五信号,其中,所述第五信号 $= P_{\text{ref}} - \text{有功功率下垂信号}$ ,再将所述第五信号经除法器输出有功起始转矩信号 $T_0$ ,其中,所述除法器的除法系数为角频率 $\omega$ ;

将所述转矩变化信号 $\Delta T$ 与所述有功起始转矩信号 $T_0$ 经第六加法器输出虚拟机械转矩值 $T_m$ ,其中, $T_m = \Delta T - T_0$ ;

将所述电压给定值 $U_{\text{ref}}$ 与所述交流变换单元输出侧电压 $U$ 经第七加法器输出第七信号,其中,所述第七信号 $= U_{\text{ref}} - U$ ,再将所述第七信号经电压系数 $k_u$ 放大输出励磁电压变化量 $\Delta E_u$ ;

将所述交流变换单元输出侧无功功率实测值Q经下垂控制输出无功功率下垂信号,将所述无功功率下垂信号与所述无功功率给定值 $Q_{\text{ref}}$ 经第八加法器输出第八信号,其中,所述第八信号为无功电势变化量 $\Delta E_q$ , $\Delta E_q = Q_{\text{ref}} - \text{无功功率下垂信号}$ ;

将所述励磁电压变化量 $\Delta E_u$ 与所述无功电势变化量 $\Delta E_q$ 经第九加法器输出电励磁电压值 $E$ ,其中, $E = \Delta E_u - \Delta E_q$ ;

分别将所述虚拟机械转矩值 $T_m$ 和电励磁电压值 $E$ 通过机械转矩调节器与电励磁调节器输入至PWM控制器。

## 一种基于虚拟同步发电特性的光储一体化控制系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及IP地址定位领域,具体涉及一种基于虚拟同步发电特性的光储一体化控制系统。

### 背景技术

[0002] 随着可再生能源并网发电系统在电力系统的渗透率不断提升,新能源发电对电网运行影响越来越大。分布式光伏发电分散多点布置、出力不稳定,同时接入配电网电压低、容量小,因此高渗透率分布式光伏接入给配电网的电压稳定、电能质量及运行控制带来一些问题。利用储能系统可以有效解决分布式光伏发电带来的一系列问题:通过快速调节储能系统的有功无功出力,补偿光伏发电的功率波动,避免出现接入点电压波动问题;通过储能的能量存储功能,调节光伏出力和负荷匹配,避免出现接入点电压越限和潮流越限问题;同时储能和光伏可组成独立供电系统,提高供电可靠性和光伏利用率。

[0003] 目前国内外光储一体化系统以交流侧并联的方式为主,光伏发电及储能系统分别工作在MPPT方式及PQ控制,该控制方式仅能控制有功无功的稳定输出,无法对电网的电压频率变动进行有效支撑,且在电网断开时切换到独立供电模式下速度较慢,常常会造成光伏发电系统的脱网,影响供电可靠性。目前国内出现了一些光伏与储能在直流侧汇集的研究,但都以光伏最大功率发电为主要目标,缺少对电网电压及频率变化时的支撑研究,高渗透率下的大面积接入将会影响电网的供电质量。

### 发明内容

[0004] 本发明提供一种基于虚拟同步发电特性的光储一体化控制系统,其目的是将光伏与储能发电单元以在直流侧汇集的方式,控制光伏波动在直流侧,降低其间歇性、波动性等特性对电网的冲击,直流侧光伏可保持最大功率发电,提高光伏发电利用率,储能系统可稳定直流母线电压,提高了系统的运行可靠性,且采用虚拟同步发电特性的控制方式并入电网,在电网断开时快速的支撑系统电压与频率,提高光储一体化系统的供电可靠性。

[0005] 本发明的目的是采用下述技术方案实现的:

[0006] 一种基于虚拟同步发电特性的光储一体化控制系统,其改进之处在于,包括:

[0007] 至少两个发电单元、直流变换单元、交流变换单元、测量单元、光储一体化控制单元、控制处理单元和虚拟同步发电控制单元,其中,所述发电单元为光伏发电单元或储能单元,所述至少两个发电单元至少包括一个光伏发电单元和一个储能单元;

[0008] 所述发电单元依次与所述直流变换单元和交流变换单元连接,所述测量单元分别与所述发电单元和所述直流变换单元之间的连接线、所述直流变换单元和所述交流变换单元之间的连接线、所述交流变换单元与输电线路之间的连接线以及所述光储一体化控制单元连接,所述光储一体化控制单元分别与所述控制处理单元和所述虚拟同步发电控制单元连接,所述控制处理单元与所述直流变换单元连接,所述虚拟同步发电控制单元与所述交流变换单元连接。

[0009] 优选的,所述直流变换单元为双向BOOST/BUCK电路,包括:第一直流母线输出端、第二直流母线输出端及所述发电单元对应的电抗滤波回路L、电容滤波回路C、开关器件G1和G2;

[0010] 所述发电单元的第一输出端口依次与所述直流变换单元中的所述发电单元对应的电抗滤波回路L、所述发电单元对应的开关器件G1和第一直流母线输出端连接,所述发电单元的第二输出端口通过直流母线传输线连接第二直流母线输出端,所述发电单元对应的电抗滤波回路L与所述发电单元对应的开关器件G1之间的连接点与所述直流母线传输线之间连接电容滤波回路C,所述发电单元的第一输出端口与所述直流变换单元中的所述发电单元对应的电抗滤波回路L之间的连接点与所述直流母线传输线之间连接所述发电单元对应的开关器件G2。

[0011] 优选的,所述测量单元,用于测量所述直流变换单元和所述交流变换单元之间的直流母线电压Vdc、储能单元输入侧直流电压Udc和电流Idc、光伏发电单元输入侧直流电压Udc\_1和电流Idc\_1以及所述交流变换单元输出侧电压U、频率f、有功功率实测值P和无功功率实测值Q。

[0012] 优选的,所述交流变换单元包括:隔离变压器T1、三相LC滤波器和三相全桥变流器;

[0013] 所述三相全桥变流器的直流侧分别连接所述直流变换单元的第一直流母线输出端和第二直流母线输出端,所述三相全桥变流器的交流侧依次通过所述三相LC滤波器和隔离变压器T1接入电网。

[0014] 优选的,所述光储一体化控制单元,用于控制所述控制处理单元采用恒电压控制方式对所述直流变换单元中接入的储能单元输入的部分进行处理,然后采用MPPT控制方式对所述直流变换单元中接入的光伏发电单元输入部分进行处理,最后控制所述虚拟同步发电控制单元对所述交流变换单元进行处理。

[0015] 进一步的,所述光储一体化控制单元,用于控制处理单元采用恒电压控制方式对所述直流变换单元中接入的储能单元输入的部分进行处理包括:

[0016] 将直流母线电压给定值Vref与所述直流变换单元和所述交流变换单元之间的直流母线电压Vdc经第一加法器输出第一信号,所述第一信息为Vref减Vdc的信号,并通过直流电压控制器输出内环电流给定值Iref,所述内环电流给定值Iref分别通过第二加法器和第三加法器输出第二信号和第三信号,所述第二信号为所述内环电流给定值Iref减所述储能单元输入侧直流电流Idc的信号,所述第三信息为所述储能单元输入侧直流电流Idc减所述内环电流给定值Iref的信号,将所述第二信息依次经直流电压控制器和占空比调节器输出放电脉冲信号,将所述第三信息依次经直流电压控制器和占空比调节器输出充电脉冲信号,使能端将直流母线电压给定值Vref与所述直流变换单元和所述交流变换单元之间的直流母线电压Vdc经比较器进行比较,当Vref与Vdc比较值大于0时,放电脉冲使能,即所述直流变换单元中发电单元对应的开关器件G2输出使能,当Vref与Vdc比较值小于0时,充电脉冲使能,即所述直流变换单元中发电单元对应的开关器件G1输出使能。

[0017] 进一步的,所述光储一体化控制单元,用于控制所述控制处理单元采用MPPT控制方式对所述直流变换单元中接入的光伏发电单元输入部分进行处理包括:

[0018] 所述控制处理单元采用MPPT控制方式获取所述直流变换单元中接入的光伏发电

单元的最大发电功率 $P_{\max}$ ,对所述最大发电功率 $P_{\max}$ 对应的所述光伏发电单元输入侧直流电压进行恒压控制,向所述直流变换单元输出PWM脉冲。

[0019] 进一步的,所述光储一体化控制单元,用于控制所述控制处理单元控制所述虚拟同步发电控制单元对所述交流变换单元进行处理包括:

[0020] 人工设定频率给定值 $f_{\text{ref}}$ 、电压给定值 $U_{\text{ref}}$ 、有功功率给定值 $P_{\text{ref}}$ 和无功功率给定值 $Q_{\text{ref}}$ ;

[0021] 将所述频率给定值 $f_{\text{ref}}$ 与所述交流变换单元输出侧频率 $f$ 经第四加法器输出第四信号 $\Delta f$ ,其中, $\Delta f = f_{\text{ref}} - f$ ,再将所述第四信号 $\Delta f$ 经频率系数 $k_f$ 放大输出转矩变化信号 $\Delta T$ ;

[0022] 将所述交流变换单元输出侧有功功率实测值 $P$ 经下垂控制输出有功功率下垂信号,将所述有功功率下垂信号与所述有功功率给定值 $P_{\text{ref}}$ 经第五加法器输出第五信号,其中,所述第五信号 $= P_{\text{ref}} - \text{有功功率下垂信号}$ ,再将所述第五信号经除法器输出有功起始转矩信号 $T_0$ ,其中,所述除法器的除法系数为角频率 $\omega$ ;

[0023] 将所述转矩变化信号 $\Delta T$ 与所述有功起始转矩信号 $T_0$ 经第六加法器输出虚拟机械转矩值 $T_m$ ,其中, $T_m = \Delta T - T_0$ ;

[0024] 将所述电压给定值 $U_{\text{ref}}$ 与所述交流变换单元输出侧电压 $U$ 经第七加法器输出第七信号,其中,所述第七信号 $= U_{\text{ref}} - U$ ,再将所述第七信号经电压系数 $k_u$ 放大输出励磁电压变化量 $\Delta E_u$ ;

[0025] 将所述交流变换单元输出侧无功功率实测值 $Q$ 经下垂控制输出无功功率下垂信号,将所述无功功率下垂信号与所述无功功率给定值 $Q_{\text{ref}}$ 经第八加法器输出第八信号,其中,所述第八信号为无功电势变化量 $\Delta E_q$ , $\Delta E_q = Q_{\text{ref}} - \text{无功功率下垂信号}$ ;

[0026] 将所述励磁电压变化量 $\Delta E_u$ 与所述无功电势变化量 $\Delta E_q$ 经第九加法器输出电励磁电压值 $E$ ,其中, $E = \Delta E_u - \Delta E_q$ ;

[0027] 分别将所述虚拟机械转矩值 $T_m$ 和电励磁电压值 $E$ 通过机械转矩调节器与电励磁调节器输入至PWM控制器。

[0028] 本发明的有益效果:

[0029] 本发明提供一种基于虚拟同步发电特性的光储一体化控制系统,采用将光伏与储能在直流侧汇集的方式,将光伏波动控制在直流侧,降低其间歇性、波动性等特性对电网的冲击,在控制上储能单元采用恒压控制方式稳定直流母线电压,光伏发电单元采用最大功率跟踪方式,在确保光伏发电效率的同时将光伏发电的功率波动有效抑制在直流侧,降低对交流侧电网的影响;交流并网侧采用虚拟同步发电特性的控制方式,增强光储一体化系统的惯性,具有较强的抗扰动能力,离网模式下稳定交流侧电压与频率,降低冲击性负荷的影响,提高系统的供电可靠性。

## 附图说明

[0030] 图1是本发明一种基于虚拟同步发电特性的光储一体化控制系统的结构图;

[0031] 图2是本发明提供的实施例中一种基于虚拟同步发电特性的光储一体化控制系统的结构图;

[0032] 图3是本发明提供的实施例中储能发电单元的恒压控制框图;

- [0033] 图4是本发明提供的实施例中光伏MPPT控制框图；
- [0034] 图5是本发明提供的实施例中虚拟同步发电特性控制框图；
- [0035] 图6为本发明提供的实施例中直流侧的母线电压及光伏发电单元的输出功率波形；
- [0036] 图7为本发明提供的实施例中光储一体化系统并网时的输出电流波形。

## 具体实施方式

[0037] 下面结合附图对本发明的具体实施方式作详细说明。

[0038] 为使本发明实施例的目的、技术方案和优点更加清楚，下面将结合本发明实施例中的附图，对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例是本发明一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例，本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其它实施例，都属于本发明保护的范围。

[0039] 本发明提供一种基于虚拟同步发电特性的光储一体化控制系统，如图1所示，包括：

[0040] 至少两个发电单元、直流变换单元、交流变换单元、测量单元、光储一体化控制单元、控制处理单元和虚拟同步发电控制单元，其中，所述发电单元为光伏发电单元或储能单元，所述至少两个发电单元至少包括一个光伏发电单元和一个储能单元；

[0041] 所述发电单元依次与所述直流变换单元和交流变换单元连接，所述测量单元分别与所述发电单元和所述直流变换单元之间的连接线、所述直流变换单元和所述交流变换单元之间的连接线、所述交流变换单元与输电线路之间的连接线以及所述光储一体化控制单元连接，所述光储一体化控制单元分别与所述控制处理单元和所述虚拟同步发电控制单元连接，所述控制处理单元与所述直流变换单元连接，所述虚拟同步发电控制单元与所述交流变换单元连接。

[0042] 例如，在如图2所示的应用场景中，包括：多路输入的第一光伏发电单元、第二光伏发电单元和第一储能单元，以及光储一体化控制系统的直流变换单元、交流变换单元、测量单元、光储一体化控制单元、控制处理单元和虚拟同步发电控制单元，其中，光储一体化控制系统的直流变换单元包括：电容滤波回路C1、C2、C3，电抗滤波回路L1、L2、L3，以及开关器件G11、G12、G21、G22、G31、G32，光储一体化控制系统的交流变换单元包括：隔离变压器T1，电容滤波回路C4、C5、C6，电抗滤波回路L4、L5、L6，以及开关器件G41、G42、G51、G52、G61、G62。

[0043] 具体的，所述直流变换单元为双向BOOST/BUCK电路，包括：第一直流母线输出端、第二直流母线输出端及所述发电单元对应的电抗滤波回路L、电容滤波回路C、开关器件G1和G2；

[0044] 所述发电单元的第一输出端口依次与所述直流变换单元中的所述发电单元对应的电抗滤波回路L、所述发电单元对应的开关器件G1和第一直流母线输出端连接，所述发电单元的第二输出端口通过直流母线传输线连接第二直流母线输出端，所述发电单元对应的电抗滤波回路L与所述发电单元对应的开关器件G1之间的连接点与所述直流母线传输线之间连接电容滤波回路C，所述发电单元的第一输出端口与所述直流变换单元中的所述发电单元对应的电抗滤波回路L之间的连接点与所述直流母线传输线之间连接所述发电单元对

应的开关器件G2。

[0045] 例如,在如图2所示的应用场景中,储一体化控制系统的直流变换单元包括:第一光伏发电单元对应的电抗滤波回路L1、电容滤波回路C1、开关器件G11和G12,第二光伏发电单元对应的电抗滤波回路L2、电容滤波回路C2、开关器件G21和G22,第一储能单元对应的电抗滤波回路L3、电容滤波回路C3、开关器件G31和G32,以及第一直流母线输出端和第二直流母线输出端;

[0046] 第一光伏发电单元的第一输出端口依次与所述直流变换单元中第一光伏发电单元对应的电抗滤波回路L1、第一光伏发电单元对应的开关器件G11和第一直流母线输出端连接,第二光伏发电单元的第一输出端口依次与所述直流变换单元中第二光伏发电单元对应的电抗滤波回路L2、第二光伏发电单元对应的开关器件G21和第一直流母线输出端连接,第一储能单元的第一输出端口依次与所述直流变换单元中第一储能单元对应的电抗滤波回路L3、第一储能单元对应的开关器件G31和第一直流母线输出端连接,第一光伏发电单元、第二光伏发电单元和第一储能单元的第二输出端口均通过直流母线传输线连接第二直流母线输出端,第一光伏发电单元对应的电抗滤波回路L1与第一光伏发电单元对应的开关器件G11之间的连接点与所述直流母线传输线之间连接电容滤波回路C1,第一光伏发电单元的第一输出端口与所述直流变换单元中的第一光伏发电单元对应的电抗滤波回路L1之间的连接点与所述直流母线传输线之间连接所述第一光伏发电单元对应的开关器件G12;第二光伏发电单元对应的电抗滤波回路L2与第二光伏发电单元对应的开关器件G21之间的连接点与所述直流母线传输线之间连接电容滤波回路C2,第二光伏发电单元的第一输出端口与所述直流变换单元中的第二光伏发电单元对应的电抗滤波回路L2之间的连接点与所述直流母线传输线之间连接所述第二光伏发电单元对应的开关器件G22;第一储能单元对应的电抗滤波回路L3与第一储能单元对应的开关器件G31之间的连接点与所述直流母线传输线之间连接电容滤波回路C3,第一储能单元的第一输出端口与所述直流变换单元中的第一储能单元对应的电抗滤波回路L3之间的连接点与所述直流母线传输线之间连接所述第一储能单元对应的开关器件G32。

[0047] 所述测量单元,用于测量所述直流变换单元和所述交流变换单元之间的直流母线电压Vdc、储能单元输入侧直流电压Udc和电流Idc、光伏发电单元输入侧直流电压Udc\_1和电流Idc\_1以及所述交流变换单元输出侧电压U、频率f、有功功率实测值P和无功功率实测值Q。

[0048] 所述交流变换单元包括:隔离变压器T1、三相LC滤波器和三相全桥变流器;

[0049] 所述三相全桥变流器的直流侧分别连接所述直流变换单元的第一直流母线输出端和第二直流母线输出端,所述三相全桥变流器的交流侧依次通过所述三相LC滤波器和隔离变压器T1接入电网。

[0050] 例如,在如图2所示的应用场景中,光储一体化控制系统的交流变换单元包括:隔离变压器T1,电容滤波回路C4、C5、C6,电抗滤波回路L4、L5、L6,以及开关器件G41、G42、G51、G52、G61、G62。

[0051] 所述光储一体化控制单元,用于控制所述控制处理单元采用恒电压控制方式对所述直流变换单元中接入的储能单元输入的部分进行处理,然后采用MPPT控制方式对所述直流变换单元中接入的光伏发电单元输入部分进行处理,最后控制所述虚拟同步发电控制单



元对所述交流变换单元进行处理。

[0052] 进一步的,所述光储一体化控制单元,用于控制处理单元采用恒电压控制方式对所述直流变换单元中接入的储能单元输入的部分进行处理,可稳定直流母线电压,平抑光伏功率波动,如图3所示,包括:

[0053] 将直流母线电压给定值 $V_{ref}$ 与所述直流变换单元和所述交流变换单元之间的直流母线电压 $V_{dc}$ 经第一加法器输出第一信号,所述第一信息为 $V_{ref}$ 减 $V_{dc}$ 的信号,并通过直流电压控制器输出内环电流给定值 $I_{ref}$ ,所述内环电流给定值 $I_{ref}$ 分别通过第二加法器和第三加法器输出第二信号和第三信号,所述第二信号为所述内环电流给定值 $I_{ref}$ 减所述储能单元输入侧直流电流 $I_{dc}$ 的信号,所述第三信息为所述储能单元输入侧直流电流 $I_{dc}$ 减所述内环电流给定值 $I_{ref}$ 的信号,将所述第二信息依次经直流电压控制器和占空比调节器输出放电脉冲信号,将所述第三信息依次经直流电压控制器和占空比调节器输出充电脉冲信号,使能端将直流母线电压给定值 $V_{ref}$ 与所述直流变换单元和所述交流变换单元之间的直流母线电压 $V_{dc}$ 经比较器进行比较,当 $V_{ref}$ 与 $V_{dc}$ 比较值大于0时,放电脉冲使能,即所述直流变换单元中发电单元对应的开关器件G2输出使能,当 $V_{ref}$ 与 $V_{dc}$ 比较值小于0时,充电脉冲使能,即所述直流变换单元中发电单元对应的开关器件G1输出使能;

[0054] 其中,所述直流电压控制器为PI控制器。

[0055] 所述光储一体化控制单元,用于控制所述控制处理单元采用MPPT控制方式对所述直流变换单元中接入的光伏发电单元输入部分进行处理,包括:

[0056] 所述控制处理单元采用MPPT控制方式获取所述直流变换单元中接入的光伏发电单元的最大发电功率 $P_{max}$ ,对所述最大发电功率 $P_{max}$ 对应的所述光伏发电单元输入侧直流电压进行恒压控制,向所述直流变换单元输出PWM脉冲。

[0057] 例如,如图4所示,采用MPPT最大功率跟踪控制方式接入光伏发电的部分,将光伏发电功率汇入直流母线中,其中,光伏组件电压值 $U_{dc\_1}$ 与输入电流 $I_{dc\_1}$ 经由功率计算得到实时光伏发电功率,最大功率跟踪方法是首先改变输出电压控制值,产生电压扰动,此时光伏电池的输出电流亦将随之变化,通过测量扰动前后光伏电池输出功率和电压的变化,以决定下一周期的扰动方向,当扰动方向正确时太阳能光能板输出功率增加,下周期继续朝同一方向扰动,反之,朝反方向扰动,如此,反复进行着扰动与观察来与记忆功率比较找到最大功率点下的直流输入电压给定值 $V$ ,随后由恒压控制策略输出PWM脉冲。

[0058] 所述光储一体化控制单元,用于控制所述控制处理单元控制所述虚拟同步发电控制单元对所述交流变换单元进行处理,如图5所示,包括:

[0059] 人工设定频率给定值 $f_{ref}$ 、电压给定值 $U_{ref}$ 、有功功率给定值 $P_{ref}$ 和无功功率给定值 $Q_{ref}$ ;

[0060] 将所述频率给定值 $f_{ref}$ 与所述交流变换单元输出侧频率 $f$ 经第四加法器输出第四信号 $\Delta f$ ,其中, $\Delta f = f_{ref} - f$ ,再将所述第四信号 $\Delta f$ 经频率系数 $k_f$ 放大输出转矩变化信号 $\Delta T$ ;

[0061] 将所述交流变换单元输出侧有功功率实测值 $P$ 经下垂控制输出有功功率下垂信号,将所述有功功率下垂信号与所述有功功率给定值 $P_{ref}$ 经第五加法器输出第五信号,其中,所述第五信号 $= P_{ref} - \text{有功功率下垂信号}$ ,再将所述第五信号经除法器输出有功起始转矩信号 $T_0$ ,其中,所述除法器的除法系数为角频率 $\omega$ ;

[0062] 将所述转矩变化信号 $\Delta T$ 与所述有功起始转矩信号 $T_0$ 经第六加法器输出虚拟机械转矩值 $T_m$ ,其中, $T_m = \Delta T - T_0$ ;

[0063] 将所述电压给定值 $U_{ref}$ 与所述交流变换单元输出侧电压 $U$ 经第七加法器输出第七信号,其中,所述第七信号 $= U_{ref} - U$ ,再将所述第七信号经电压系数 $k_u$ 放大输出励磁电压变化量 $\Delta E_u$ ;

[0064] 将所述交流变换单元输出侧无功功率实测值 $Q$ 经下垂控制输出无功功率下垂信号,将所述无功功率下垂信号与所述无功功率给定值 $Q_{ref}$ 经第八加法器输出第八信号,其中,所述第八信号为无功电势变化量 $\Delta E_q$ , $\Delta E_q = Q_{ref} - \text{无功功率下垂信号}$ ;

[0065] 将所述励磁电压变化量 $\Delta E_u$ 与所述无功电势变化量 $\Delta E_q$ 经第九加法器输出电励磁电压值 $E$ ,其中, $E = \Delta E_u - \Delta E_q$ ;

[0066] 分别将所述虚拟机械转矩值 $T_m$ 和电励磁电压值 $E$ 通过机械转矩调节器与电励磁调节器输入至PWM控制器。

[0067] 本发明提供的一种基于虚拟同步发电特性的光储一体化控制系统的控制波形如图6和图7所示,其中图6为直流侧的母线电压及光伏系统的输出功率波形,图7为光储一体化系统并网时的输出电流波形,输出的电流波形符合电能质量要求。

[0068] 最后应当说明的是:以上实施例仅用以说明本发明的技术方案而非对其限制,尽管参照上述实施例对本发明进行了详细的说明,所属领域的普通技术人员应当理解:依然可以对本发明的具体实施方式进行修改或者等同替换,而未脱离本发明精神和范围的任何修改或者等同替换,其均应涵盖在本发明的权利要求保护范围之内。

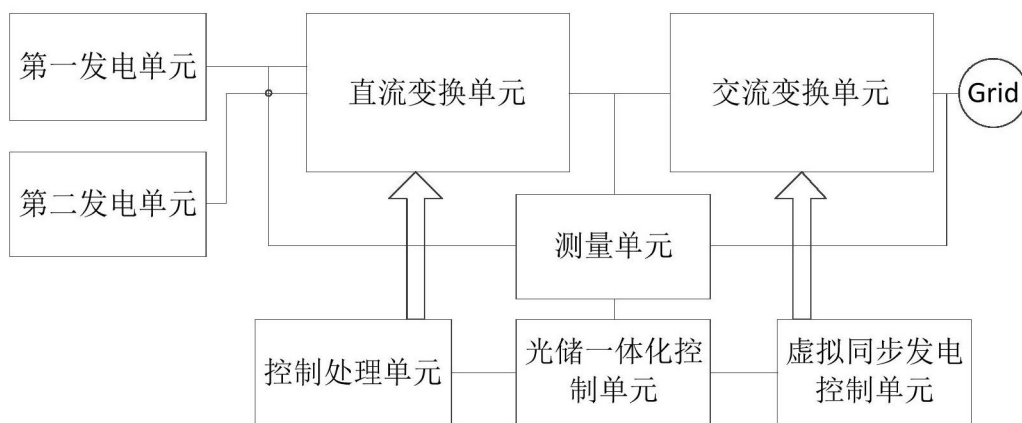


图1

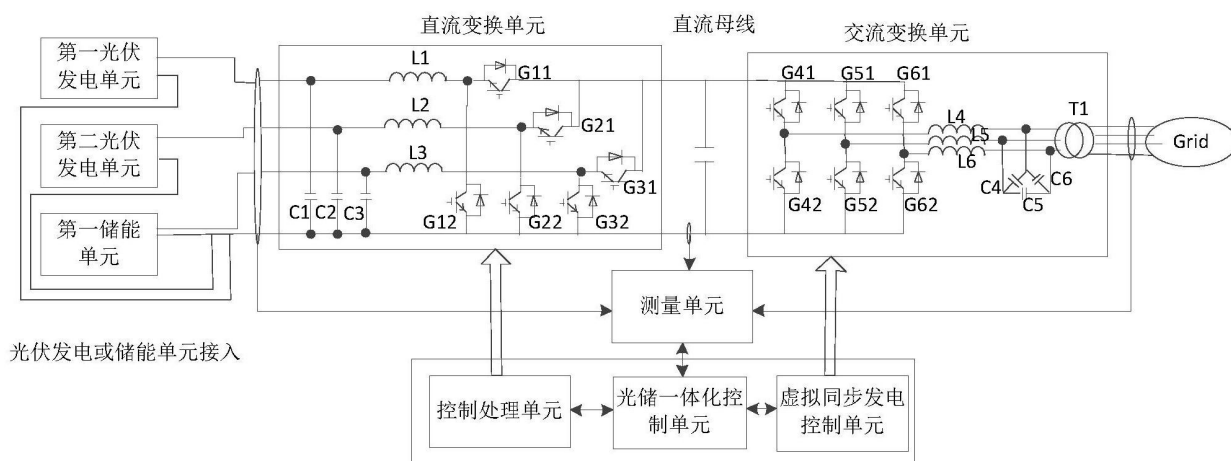


图2

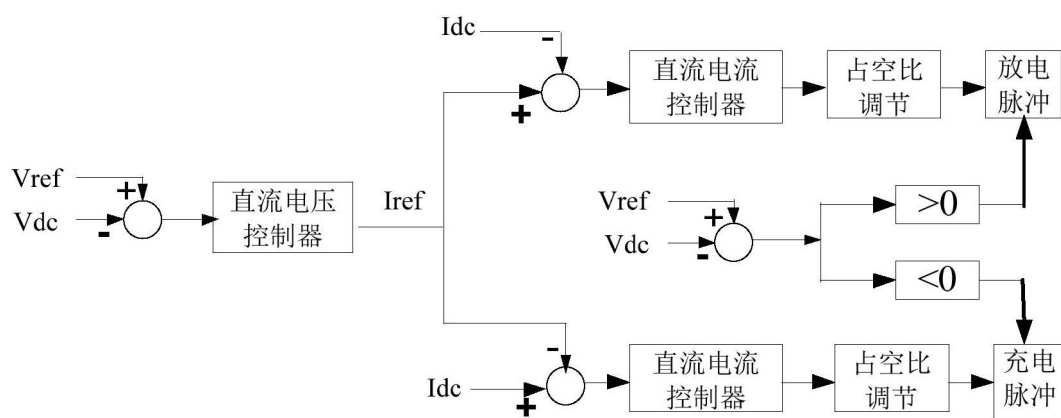


图3

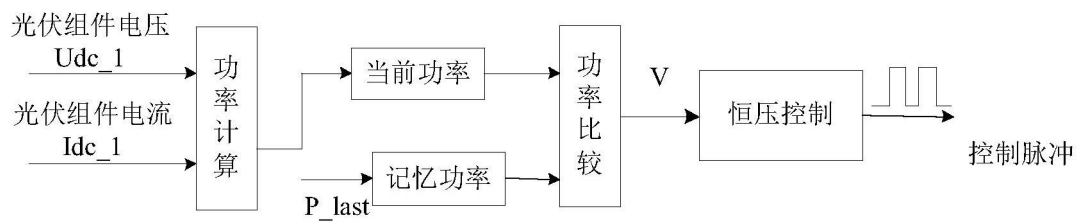


图4

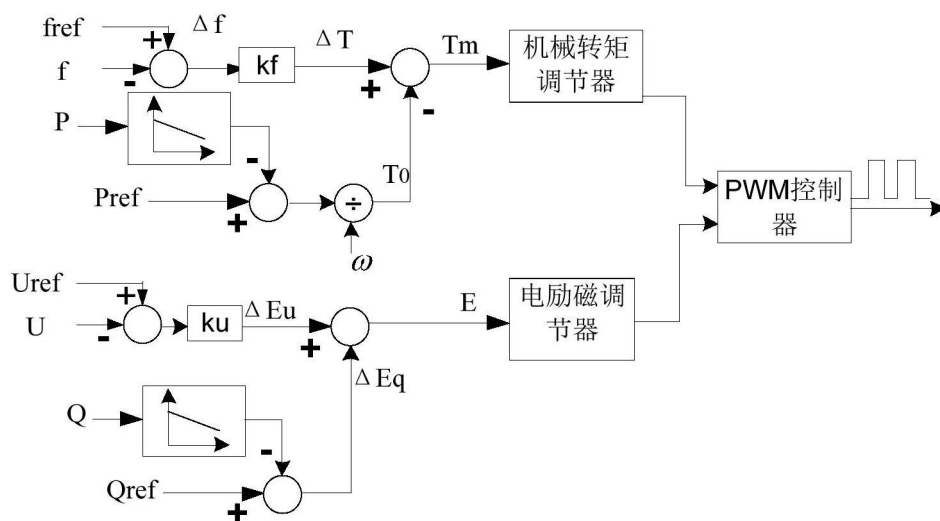


图5

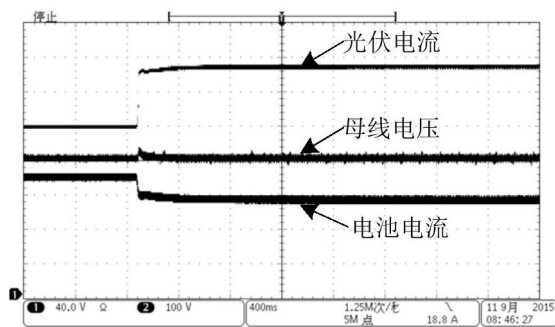


图6

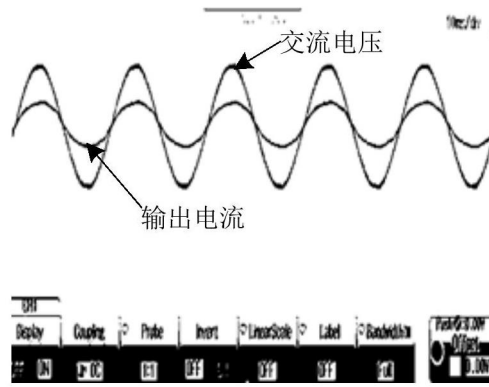


图7