(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 111231728 A
(43)申请公布日 2020.06.05

(21)申请号 202010124261.X

(22)申请日 2020.02.27

(71)申请人 国网山东省电力公司潍坊供电公司
地址 261014 山东省潍坊市潍城区东风西街425号
申请人 国家电网有限公司

(72)发明人 张宏涛 张磊 胡丽 王涛 罗冉冉 李凯

(74)专利代理机构 济南圣达知识产权代理有限公司 37221
代理人 黄海丽

(51)Int.Cl.
B60L 53/62(2019.01)
B60L 53/51(2019.01)
B60L 53/64(2019.01)
B60L 58/12(2019.01)
H02J 7/34(2006.01)
H02J 1/10(2006.01)
H02J 3/32(2006.01)
H02J 3/38(2006.01)

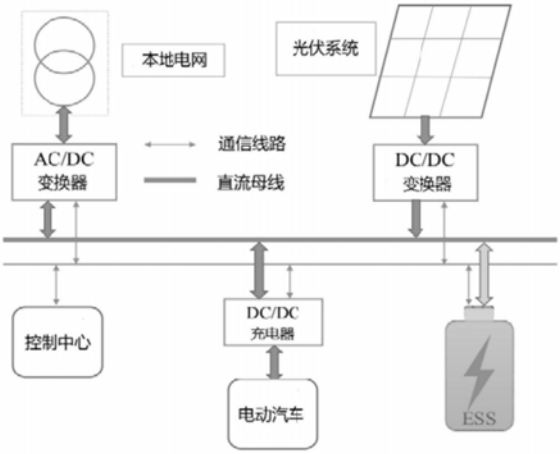
权利要求书2页 说明书10页 附图2页

(54)发明名称

光伏储能充放电一体化能量控制系统及方法

(57)摘要

本发明公开了光伏储能充放电一体化能量控制系统及方法，包括：直流母线，所述直流母线通过AC/DC变换器与本地电网连接，所述直流母线通过DC/DC变换器与光伏发电装置连接，所述直流母线与储能装置连接，所述直流母线还通过DC/DC充电器与充电站连接；其中，所述AC/DC变换器、DC/DC变换器、储能装置和DC/DC充电器均与控制中心连接；所述控制中心通过控制AC/DC变换器和储能装置的工作状态，使能量控制系统的总功率一直在设定范围内。



CN 111231728 A

1.光伏储能充放电一体化能量控制系统，其特征是，包括：

直流母线，所述直流母线通过AC/DC变换器与本地电网连接，所述直流母线通过DC/DC变换器与光伏发电装置连接，所述直流母线与储能装置连接，所述直流母线还通过DC/DC充电器与充电站连接；

其中，所述AC/DC变换器、DC/DC变换器、储能装置和DC/DC充电器均与控制中心连接；所述控制中心通过控制AC/DC变换器和储能装置的工作状态，使能量控制系统的总功率一直在设定范围内。

2.如权利要求1所述的系统，其特征是，

光伏发电装置产生的直流电能通过DC/DC变换器向直流母线传输电能；

本地电网根据控制中心的控制策略，通过AC/DC变换器从直流母线输出或吸收电能；

储能装置根据控制中心的控制策略，从直流母线输出或吸收电能；

电动汽车从直流母线中获取电量进行充电。

3.如权利要求1所述的系统，其特征是，

所述控制中心通过控制AC/DC变换器和储能装置的工作状态，使能量控制系统的总功率一直在设定范围内，包括：

当电价高于设定阈值、$P_{Smin}>P_{ev}$、$SOC(t)=SOC_H$且$t_{redundancy}>t_{min}$时，控制中心控制AC/DC变换器的工作模式为有源逆变模式；控制中心控制储能装置的工作模式为静止模式；光伏发电装置将充电后剩余的电能逆变后，送给本地电网；其中，P_{Smin}表示光伏储能充放电一体化能量控制系统的总功率最小值，P_{ev}表示电动汽车总的充电功率；SOC(t)表示储能装置的荷电状态；SOC_H表示储能装置的荷电状态上限；$t_{redundancy}$储能装置的冗余充电时间；t_{min}表示时间最小值；

当电价高于设定阈值、$P_{Smax}>P_{ev}>P_{Smin}$、$SOC_H>SOC>SOC_L$且$t_{redundancy}>t_{min}$时，控制中心控制AC/DC变换器的工作模式为离网模式，控制中心控制储能装置的工作模式为保持模式；电动汽车的充电电能由光伏发电装置进行，此时本地电网不参与电动汽车充电；其中，P_{Smax}表示光伏储能充放电一体化能量控制系统的总功率最大值，SOC_L表示储能装置的荷电状态下限；

当电价高于设定阈值、$SOC_H\geqslant SOC>SOC_L$且$t_{redundancy}=t_{min}$时，控制中心控制AC/DC变换器的工作模式为有源逆变模式或整流模式，控制中心控制储能装置的工作模式为全功率输出模式；此时，电动汽车所需电能由光伏发电装置和储能装置共同提供，不足电能由本地电网整流提供，若充电后还有剩余电能则逆变送给电网，以获取利润；

当电价高于设定阈值、$P_{Smax}<P_{ev}$、$LH\geqslant SOC\geqslant LL$且$t_{redundancy}>t_{min}$时，控制中心控制AC/DC变换器的工作模式为整流模式，控制中心控制储能装置的工作模式为全功率输出模式；其中，LH表示SOC上限，LL表示SOC下限。

4.如权利要求1所述的系统，其特征是，

所述控制中心通过控制AC/DC变换器和储能装置的工作状态，使能量控制系统的总功率一直在设定范围内，还包括：

当电价低于设定阈值、$P_{Smin}>P_{ev}$、$SOC=LH$且$t_{redundancy}>t_{min}$时，控制中心控制AC/DC变换器的工作模式为有源逆变模式；控制中心控制储能装置的工作模式为静止模式；此时由光伏发电装置提供电动汽车充电，剩余电能逆变送回本地电网；

当电价低于设定阈值、$P_{Smax}>P_{ev}>P_{Smin}$、$SOC_H>SOC>SOC_L$且$t_{redundancy}>t_{min}$时，控制中心控制AC/DC变换器的工作模式为离网模式，控制中心控制储能装置的工作模式为保持模式；此时由光伏发电装置给电动汽车供能，本地电网不参与电能交换；

当电价低于设定阈值、$LH\geqslant SOC>LL$且$t_{redundancy}=t_{min}$时，控制中心控制AC/DC变换器的工作模式为有源逆变模式或整流模式，控制中心控制储能装置的工作模式为全功率输入模式；此时由光伏发电装置优先给电动汽车和储能装置供能，不足电能由本地电网整流提供，剩余电能逆变输送给本地电网；

当电价低于设定阈值、$P_{Smax}<P_{ev}$、$LH\geqslant SOC\geqslant LL$且$t_{redundancy}>t_{min}$时，控制中心控制AC/DC变换器的工作模式为整流模式，控制中心控制储能装置的工作模式为全功率输出模式。

5.如权利要求3或4所述的系统，其特征是，

所述储能装置的工作模式为全功率输出模式，具体是指：储能装置以全功率输出或输入方式工作，此时：

$P_{min}=-V_b\cdot I_{dis}$；

或者，$P_{max}=V_b\cdot I_c$；

其中，P_{min}为储能装置输出功率，V_b为储能装置端电压，I_{dis}为储能装置放电电流，P_{max}为储能装置的输入功率，I_c为储能装置充电电流。

6.如权利要求3或4所述的系统，其特征是，

所述储能装置的工作模式为保持模式，具体是指：储能装置使直流母线在充放电时，电流保持稳定。

7.如权利要求3或4所述的系统，其特征是，

所述储能装置的工作模式为静止模式，具体是指：

当储能装置的SOC达到最大值SOC_H时，储能装置将停止工作，充电站把光伏发电系统所发出的电能给储能装置充电之后所剩余的电能输送到本地电网；

当储能装置的SOC达到最小值SOC_L时，充电站吸收本地电网的电能以保持充电站稳定。

8.如权利要求3所述的系统，其特征是，

所述储能装置的冗余充电时间等于下一个价格区间开始前的剩余时间与储能装置达到目标SOC所需的持续时间之间的差值。

9.如权利要求1所述的系统，其特征是，

所述能量控制系统的总功率，等于V2G电动汽车的功率、光伏充电装置的功率和储能装置的功率之和。

10.光伏储能充放电一体化能量控制方法，其特征是，包括：

光伏发电装置产生的直流电能通过DC/DC变换器向直流母线传输电能；

本地电网根据控制中心的控制策略，通过AC/DC变换器从直流母线输出或吸收电能；

储能装置根据控制中心的控制策略，从直流母线输出或吸收电能；

电动汽车从直流母线中获取电量进行充电；

所述控制中心通过控制AC/DC变换器和储能装置的工作状态，使能量控制系统的总功率一直在设定范围内。

光伏储能充放电一体化能量控制系统及方法

技术领域

[0001] 本公开涉及新能源及储能技术领域，特别是涉及光伏储能充放电一体化能量控制系统及方法。

背景技术

[0002] 本部分的陈述仅仅是提到了与本公开相关的背景技术，并不必然构成现有技术。

[0003] 城市严重的空气污染和与排放有关的健康问题是推动电动汽车发展的主要因素。电动汽车(EV)具有无直接排放的优点，可以缓解城市严重的污染问题。然而，与内燃机(ICE)车辆相比，电动汽车具有相当有限的驱动范围和相对高的采集成本，同时缺乏充电基础设施也是影响消费者满意度的重要因素。在这种情况下，在城市和公路上安装快速充电站可以提供有效的解决方案以减少上述电动汽车发展的不利因素。此外，为了减少电动汽车产生的间接排放，可以将光伏发电装置集成到快速充电站中。当可再生能源与充电站结合时，通常会配置有储能装置，储能装置被认为是平抑能量波动的有益成分。在智能电网建设中，V2G充电系统将发挥重要作用，在致力于提供快速充电服务的同时以可持续的方式减少高峰负荷。

[0004] 通常，从并网的角度来看，V2G充电站可以以两种模式运行。

[0005] 独立模式：V2G充电系统独立于本地电网运行，充电站和本地电网之间没有电力交换。

[0006] 并网模式：当充电站以并网模式运行时，电网向V2G充电系统/从V2G充电系统输送/吸收电能。

[0007] 在实现本公开的过程中，发明人发现现有技术中存在以下技术问题：

[0008] 近年来关于充电系统的管理和控制策略的研究也屡见不鲜，其中包括智能家居、商业楼宇等应用场景的充电管理。关于智能家居的充电策略，有研究提出通过光伏系统输出和电能需求的预测结果来分配电动汽车充电。但预测误差将影响优化结果。也有研究提出了一种包含光伏和电动汽车系统的商业楼宇实时运行策略，该策略基于实时数据采集，无需预测需求和发电信息；上述研究都没有应用能量管理。

[0009] 有研究提出了一种快速充电站的分散能量管理方案，由于管理策略是基于对公共母线电压的控制，无法实现快速充电系统的灵活控制，特别是在一些复杂的情况下更加难以控制，整个系统不能一直工作在最优点，系统无法灵活控制，同样存在不足。

发明内容

[0010] 为了解决现有技术的不足，本公开提供了光伏储能充放电一体化能量控制系统及方法；

[0011] 第一方面，本公开提供了光伏储能充放电一体化能量控制系统；

[0012] 直流母线，所述直流母线通过AC/DC变换器与本地电网连接，所述直流母线通过DC/DC变换器与光伏发电装置连接，所述直流母线与储能装置连接，所述直流母线还通过

DC/DC充电器与充电站连接；

[0013] 其中，所述AC/DC变换器、DC/DC变换器、储能装置和DC/DC充电器均与控制中心连接；所述控制中心通过控制AC/DC变换器和储能装置的工作状态，使能量控制系统的总功率一直在设定范围内。

[0014] 第二方面，本公开还提供了光伏储能充放电一体化能量控制方法；

[0015] 光伏储能充放电一体化能量控制方法，包括：

[0016] 光伏发电装置产生的直流电能通过DC/DC变换器向直流母线传输电能；

[0017] 本地电网根据控制中心的控制策略，通过AC/DC变换器从直流母线输出或吸收电能；

[0018] 储能装置根据控制中心的控制策略，从直流母线输出或吸收电能；

[0019] 电动汽车从直流母线中获取电量进行充电；

[0020] 所述控制中心通过控制AC/DC变换器和储能装置的工作状态，使能量控制系统的总功率一直在设定范围内。

[0021] 与现有技术相比，本公开的有益效果是：

[0022] (1)对于快速充电站而言，充电时间短是其较其他类型充电站的主要优势。然而，由于高功率充电的特点，快速充电站对当地电网的影响很大。因此，本公开通过整合储能装置和可再生能源系统，使其协调运行，提高了快速充电站的独立性。

[0023] (2)本公开提出了一种基于事件触发的能量管理操作机制，在V2G充电系统运行期间，电价、光伏功率和电动汽车充电功率会随时间而变化，为了实现功率平衡和最大的运行利润，功率变换器的控制策略能根据能量管理操作机制而改变，以实现不同场景下的功率平衡，较好地应对了分时电价市场，实现了V2G充电系统的最小成本和协调控制。

[0024] (3)本公开所设计的协调控制方案能够灵活控制变流器向电动汽车或电网提供稳定、高效、高质量的电能。

[0025] (4)本公开推导了光伏发电装置的最大功率，较好地应对了分时电价市场，同时保证了快速的充电效率，提高了消费者的满意度。

附图说明

[0026] 构成本公开的一部分的说明书附图用来提供对本公开的进一步理解，本公开的示意性实施例及其说明用于解释本公开，并不构成对本公开的不当限定。

[0027] 图1为第一个实施例的含有光伏发电装置和储能装置的V2G快速充电系统示意图；

[0028] 图2为第一个实施例的基于事件触发的能量管理操作机制；

[0029] 图3为第一个实施例的三相AC/DC变换器的控制策略；

[0030] 图4为第一个实施例的BOOST变换器的MPPT控制；

[0031] 图5为第一个实施例的储能装置蓄电池和电动汽车蓄电池的工作模式。

具体实施方式

[0032] 应该指出，以下详细说明都是示例性的，旨在对本公开提供进一步的说明。除非另有指明，本文使用的所有技术和科学术语具有与本公开所属技术领域的普通技术人员通常理解的相同含义。

[0033] 需要注意的是，这里所使用的术语仅是为了描述具体实施方式，而非意图限制根据本公开的示例性实施方式。如在这里所使用的，除非上下文另外明确指出，否则单数形式也意图包括复数形式，此外，还应当理解的是，当在本说明书中使用术语“包含”和/或“包括”时，其指明存在特征、步骤、操作、器件、组件和/或它们的组合。

[0034] 实施例一，本实施例提供了光伏储能充放电一体化能量控制系统；

[0035] 光伏储能充放电一体化能量控制系统，包括：

[0036] 直流母线，所述直流母线通过AC/DC变换器与本地电网连接，所述直流母线通过DC/DC变换器与光伏发电装置连接，所述直流母线与储能装置连接，所述直流母线还通过DC/DC充电器与充电站连接；

[0037] 其中，所述AC/DC变换器、DC/DC变换器、储能装置和DC/DC充电器均与控制中心连接；所述控制中心通过控制AC/DC变换器和储能装置的工作状态，使能量控制系统的总功率一直在设定范围内。

[0038] 作为一个或多个实施例，

[0039] 光伏发电装置产生的直流电能通过DC/DC变换器向直流母线传输电能；

[0040] 本地电网根据控制中心的控制策略，通过AC/DC变换器从直流母线输出或吸收电能；

[0041] 储能装置根据控制中心的控制策略，从直流母线输出或吸收电能；

[0042] 电动汽车从直流母线中获取电量进行充电。

[0043] 作为一个或多个实施例，所述控制中心通过控制AC/DC变换器和储能装置的工作状态，使能量控制系统的总功率一直在设定范围内，包括：

[0044] 当电价高于设定阈值、$P_{Smin}>P_{ev}$、$SOC(t)=SOC_H$且$t_{redundancy}>t_{min}$时，控制中心控制AC/DC变换器的工作模式为有源逆变模式；控制中心控制储能装置的工作模式为静止模式；光伏发电装置将充电后剩余的电能逆变后，送给本地电网；其中，P_{Smin}表示光伏储能充放电一体化能量控制系统的总功率最小值，P_{ev}表示电动汽车总的充电功率；SOC(t)表示储能装置的荷电状态；SOC_H表示储能装置的荷电状态上限；$t_{redundancy}$储能装置的冗余充电时间；t_{min}表示时间最小值；

[0045] 当电价高于设定阈值、$P_{Smax}>P_{ev}>P_{Smin}$、$SOC_H>SOC>SOC_L$且$t_{redundancy}>t_{min}$时，控制中心控制AC/DC变换器的工作模式为离网模式，控制中心控制储能装置的工作模式为保持模式；电动汽车的充电电能由光伏发电装置进行，此时本地电网不参与电动汽车充电；其中，P_{Smax}表示光伏储能充放电一体化能量控制系统的总功率最大值，SOC_L表示储能装置的荷电状态下限；

[0046] 当电价高于设定阈值、$SOC_H\geqslant SOC>SOC_L$且$t_{redundancy}=t_{min}$时，控制中心控制AC/DC变换器的工作模式为有源逆变模式或整流模式，控制中心控制储能装置的工作模式为全功率输出模式；此时，电动汽车所需电能由光伏发电装置和储能装置共同提供，不足电能由本地电网整流提供，若充电后还有剩余电能则逆变送给电网，以获取利润；

[0047] 当电价高于设定阈值、$P_{Smax}<P_{ev}$、$LH\geqslant SOC\geqslant LL$且$t_{redundancy}>t_{min}$时，控制中心控制AC/DC变换器的工作模式为整流模式，控制中心控制储能装置的工作模式为全功率输出模式；其中，LH表示SOC上限，LL表示SOC下限。

[0048] 作为一个或多个实施例，所述控制中心通过控制AC/DC变换器和储能装置的工作

状态，使能量控制系统的总功率一直在设定范围内，还包括：

[0049] 当电价低于设定阈值、$P_{Smin}>P_{ev}$、SOC＝LH且$t_{redundancy}>t_{min}$时，控制中心控制AC/DC变换器的工作模式为有源逆变模式；控制中心控制储能装置的工作模式为静止模式；此时由光伏发电装置提供电动汽车充电，剩余电能逆变送回本地电网；

[0050] 当电价低于设定阈值、$P_{Smax}>P_{ev}>P_{Smin}$、$SOC_H>SOC>SOC_L$且$t_{redundancy}>t_{min}$时，控制中心控制AC/DC变换器的工作模式为离网模式，控制中心控制储能装置的工作模式为保持模式；此时由光伏发电装置给电动汽车供能，本地电网不参与电能交换；

[0051] 当电价低于设定阈值、LH≥SOC>LL且$t_{redundancy}=t_{min}$时，控制中心控制AC/DC变换器的工作模式为有源逆变模式或整流模式，控制中心控制储能装置的工作模式为全功率输入模式；此时由光伏发电装置优先给电动汽车和储能装置供能，不足电能由本地电网整流提供，剩余电能逆变输送给本地电网。

[0052] 当电价低于设定阈值、$P_{Smax}<P_{ev}$、LH≥SOC≥LL且$t_{redundancy}>t_{min}$时，控制中心控制AC/DC变换器的工作模式为整流模式，控制中心控制储能装置的工作模式为全功率输出模式。

[0053] 作为一个或多个实施例，所述储能装置的工作模式为全功率输出模式，具体是指：储能装置以全功率输出或输入方式工作，此时：

[0054] $P_{min}=-V_b \cdot I_{dis}$；

[0055] 或者，$P_{max}=V_b \cdot I_c$；

[0056] 其中，P_{min}为储能装置输出功率，V_b为储能装置端电压，I_{dis}为储能装置放电电流，P_{max}为储能装置的输入功率，I_c为储能装置充电电流。

[0057] 作为一个或多个实施例，所述储能装置的工作模式为保持模式，具体是指：储能装置使直流母线在充放电时，电流保持稳定。

[0058] 作为一个或多个实施例，所述储能装置的工作模式为静止模式，具体是指：

[0059] 当储能装置的SOC达到最大值SOC_H时，储能装置将停止工作，充电站把光伏发电系统所发出的电能给储能装置充电之后所剩余的电能输送到本地电网；

[0060] 当储能装置的SOC达到最小值SOC_L时，充电站吸收本地电网的电能以保持充电站稳定。

[0061] 进一步地，所述光伏发电装置，为光伏电池。

[0062] 进一步地，所述储能装置，为储能电池。

[0063] 进一步地，所述储能装置的冗余充电时间等于下一个价格区间开始前的剩余时间与储能装置达到目标SOC所需的持续时间之间的差值。

[0064] 进一步地，所述能量控制系统的总功率，等于V2G电动汽车的功率、光伏充电装置的功率和储能装置的功率之和。

[0065] 采用基于事件触发的能量管理系统，实现含有光伏发电装置的V2G充电站协调控制，使光伏电站一直运行在最大功率点。V2G充电站，包括：光伏电池、储能储电池、整流器、逆变器、直流母线、电动汽车和控制系统等。典型应用场景为拥有光伏发电装置和储能装置的新能源站。

[0066] 工作原理是：电动汽车、光伏系统、本地电网和储能装置连接到直流母线上，直流母线保持1200V，为直流充电器或储能装置提供充足的功率，光伏发电装置通过功率变换器

和直流母线与本地电网、储能装置和电动汽车负载进行能量传输，在控制过程中，根据事件触发机制，当定义的事件被触发时，从控制中心发送能量管理命令，控制功率变换器和储能装置改变工作状态，以实现功率平衡。

[0067] 本公开的控制方法引入了基于事件触发的能量管理系统，基于能量管理的基本原则，定义了四个触发事件，根据预先定义的触发机制，事件监控系统对目前事件类型进行确认，确定触发事件类型后发送信号给事件触发系统，由事件触发系统产生控制命令，控制能量管理系统产生新的控制方案，功率变换器也随之改变工作状态，以实现新功率平衡，获取最大的运行效益。

[0068] 具体方法为：电动汽车、光伏系统、本地电网和储能装置通过功率变换器连接到同一条直流母线上，由于光伏发电存在波动性和间歇性，无法精准的预测光伏出力情况，因此需要配置储能装置，储能装置一方面可以保持直流电压母线稳定；其次，当太阳辐射较弱(辐照不足)时为负载提供电能支持，当太阳辐射较强(辐照充足)时吸收电能。

[0069] 另外，当电价处于高价格区间时，储能装置可以向电网供电；当电价处于低价格区间时，从电网中吸收电能。光伏发电装置采用典型的扰动观察法，光伏发电装置运行在最大功率点处，以产生较多电能，其产生的直流电能通过DC/DC变换器与直流母线相连并向其传输电能，同时本地电网通过AC/DC变换器与直流母线相连，电站中的储能装置和控制系统也通过功率变换器与直流母线相连，电动汽车通过直流充电器与直流母线相连，直流母线保持1200V，为直流充电器或储能装置提供充足的功率。

[0070] 基于事件触发的能量管理系统，根据光伏出力的变化、分时电价的变化以及触发机制，调整功率变换器的控制策略，功率变换器接收控制命令后随即改变工作状态，以实现新的功率平衡。

[0071] 正如背景技术所介绍的，在含有光伏系统和储能装置的V2G充电站中，为提高光伏出力和电能质量，可配置储能装置对光伏发电装置进行补充，确保供能的可靠性，同时，采用基于触发事件的能量管理协调控制策略，可以确保电站在光伏出力变化时快速协调功率变换器变化，以实现新的功率平衡，为电动汽车或电网提供稳定、高效、高质量的电能，获得最大的运行效益。

[0072] 在实际应用中，能量管理系统对于电动汽车充电桩是非常重要的。目前一些研究提出了一种快速充电站的分散能源管理方案，由于管理策略是基于对公共母线电压的控制，因此系统不需要通信线路和中央控制器，然而，没有中央控制器，快速充电系统就无法灵活控制，特别是在一些复杂的情况下更是如此。

[0073] 基于充电率调整的能源管理在处理电动汽车的随机模式方面存在不足，而分散的能源管理在没有中央控制器的情况下，不能一直工作在最优点，同样存在不足。

[0074] 为了解决如上的技术问题，本公开提出了光伏储能充放电一体化能量控制系统，该系统基于事件触发驱动管理方法，实现了不同变流器在分时电价下的协调控制。

[0075] 如图1所示：含有光伏发电装置和储能装置的V2G充电站的典型结构，其连接关系为：光伏发电装置采用典型的扰动观察法，以确保其运行在最大功率点处，光伏发电装置产生的直流电能通过DC/DC变换器与直流母线相连并向其传输电能。本地电网通过AC/DC变换器与直流母线相连，根据控制策略从直流母线输出或吸收电能。电站中的储能装置直接与母线相连，根据控制中心的控制策略进行储能或放能。电动汽车通过直流充电器与直流母

线相连，进行充放电。控制中心通过通信线路同时与AC/DC变换器、DC/DC变换器、DC/DC充电器和储能装置进行连接，控制中心通过通信线路下发控制命令，以上各部件根据下发的控制策略进行相应的调整，以确保整个电站系统的功率平衡。

[0076] 光伏发电装置：

[0077] 光伏发电装置由串联和并联的光伏电池组成，光伏电池的等效电路由理想的电流源、反并联二极管、串联电阻R_s、并联电阻R_p组成，光伏电池的电流电压关系如下：

[0078] $$I = I_{sc} - I_{sat}\left(e^{\frac{q(U+IR_s)}{C_{oc}k\theta}} - 1\right) - \frac{U + IR_s}{R_p} \quad (1)$$

[0079] 由于基于物理等效电路的上述参数不易获得，因此采用了基于光伏电池电压电流特性的数学模型，如公式(2)所示：

[0080] $I' = I'_{sc}\{1 - C'_1[\exp(U'/(C'_2U'_{oc}) - 1)]\}$ (2)

[0081] 电动汽车电池与储能装置：

[0082] 利用Simulink工具箱中的锂离子电池模型作为电动汽车电池和储能装置电池，其荷电状态(SOC)和终端电压V_b是两个主要参数，可如下表示：

[0083] $$SOC = SOC_0 + \frac{\int i_{bat} \cdot dt}{Q} \quad (3)$$

[0084] $$V_b = V_0 + R_b \cdot i_{bat} - K \cdot \frac{Q}{Q + \int i_{bat} dt} + A \cdot e^{B\int i_{bat} dt} \quad (4)$$

[0085] 其中，A为指数电压，B为指数容量，Q为电池容量，K为极化电压。

[0086] 动态事件触发能量管理：

[0087] 在V2G充电系统系统中有多种类型的功率转换器，为了能够向电动汽车或电网提供稳定、高效、高质量的电能，要求变电站的协调控制方案能够协调控制各类型的变换器。为此，本公开提出了一种事件触发驱动的能量管理方法，实现了V2G充电系统的协调控制。

[0088] 如图2所示，是本公开所提出的基于事件触发的能量管理操作机制。在V2G充电系统运行期间，电价、光伏功率和电动汽车充电功率会随时间而变化，为了实现功率平衡和最大的运行利润，功率变换器的控制策略也需要改变。

[0089] 本公开所提出的能量管理的目的是追求最大的利润，并提供优质的充电服务。因此，能量管理的基本原则如下：

[0090] 1)减少对本地电网的依赖。在V2G充电系统中运行的电源有四种，包括优先供电的光伏系统、储能装置、V2G电动汽车和最后考虑供电的本地电网。

[0091] 2)在高电价期间向电网输送电能，在低电价期间从电网吸收电能。具体来说，在高电价期结束前，储能装置向SOC_L(下限SOC)放电；在高电价期开始前，储能装置向SOC_H(上限SOC)充电。

[0092] 1.触发事件

[0093] 本公开所提出的基于事件触发的能量管理机制定义了四个事件来触发能量管理以调整功率转换器的控制方法。事件如下：

[0094] 1)电价的变化；

[0095] 2)储能装置的SOC达到上限或下限；

[0096] 3)功率平衡的变化。当充电站的最大功率不能满足电动汽车的需求或最小功率超过电动汽车的需求时,功率会发生变化。

[0097] 4)储能装置的冗余充电时间达到最小值t_{min}。为了实现最大利润的期望,在一定的价格周期内,储能装置必须在可行的充电时间区域内达到目标SOC。在

[0098] 本公开中,储能装置的冗余充电时间定义为:

[0099] $t_{redunaency}=t_{remain}-t_{ess}$ (5)

[0100] 其中,t_{remain}是下一个价格区间开始前的剩余时间,t_{ess}是储能装置达到目标SOC所需的持续时间。

[0101] 2.储能装置的工作原理

[0102] 本公开中所采用的储能装置具有以下功能:1)保持直流母线电压稳定;2)当太阳辐射太弱时为负载提供电能支持,当太阳辐射太强时吸收电能;3)当电价处于高价格区间时,向电网供电;当电价处于低价格区间时,从电网中吸收电能。根据公式(3),如果i_{bat}是一个常数,那么SOC(t)可以写成如下:

[0103] $$SOC(t)=SOC_0+\frac{I_{bat}\cdot\Delta t}{Q} \quad (6)$$

[0104] 储能装置的充电率C可定义为公式(7):

[0105] $$C=\frac{I_{bat}}{Q} \quad (7)$$

[0106] 对于储能装置来讲,t_{ess}(达到目标SOC的持续时间)可表示为:

[0107] $$t_{ess}=\frac{SOC_{objective}-SOC(t)}{C} \quad (8)$$

[0108] 当$t_{redunaency}$达到最小值t_{min}时,储能装置将开始充电或放电。储能装置的功率如下表示:

[0109] $P_{ESS}=V_b\cdot i_{bat}$,$P_{ESS}\in[P_{ESSmin},P_{ESSmax}]$ (9)

[0110] 本公开中所采用的储能装置可以在如下三种模式下运行:

[0111] (1)全功率模式:储能装置以全功率输出或输入方式工作,此时:

[0112] $P_{min}=-V_b\cdot I_{dis}$ or $P_{max}=V_b\cdot I_c$

[0113] (2)保持模式:储能装置可使直流母线在充放电电流变化时保持稳定。

[0114] (3)静止模式:当储能装置的SOC达到最大值SOC_H时,储能装置将停留在静止模式,充电站把剩余的电能输送到电网。相反,当储能装置的SOC达到最小值SOC_L时,充电站吸收电网的电能以保持稳定。

[0115] 3.电动汽车的工作原理

[0116] 由于电动汽车在充电过程中通常具有随机行为,因此期望电动汽车尽快充满电。在本公开中电动汽车的充电策略被设计为:以最大功率P_{ev}充电以此来最小化等待时间。电动汽车分为两种类型,V2G电动汽车和普通电动汽车。V2G电动汽车可以设定一个目标SOC_{obj},当初始SOC高于目标SOC_{obj}时,电动汽车可以在高电价期间提供剩余功率P_{ex}。

[0117] 总的充电功率P_{ex}和V2G电动汽车的功率P_{exn}可分别由公式(10)表示:

[0118] $$\begin{cases} P_{ev}(t)=\sum_{1}^{n}P_{ev}^{i}(t) \\ P_{exn}(t)=\sum_{1}^{n}P_{ex}^{i}(t) \end{cases} \quad (10)$$

[0119] 4.光伏系统的工作原理

[0120] 本公开中的光伏发电装置被设计为一直工作在最大功率点，光伏系统的功率可由如下表示：

[0121] $P_{PV}=f_{MPPT}(\text{radiation},\text{temperature})$ (11)

[0122] 因此，可以推算出充电站的总功率如下：

[0123] $P_S(t)=P_{PV}(t)+P_{ESS}(t)+P_{exn}(t)$ (12)

[0124] 其中，$P_S\in[P_{Smin},P_{Smax}]$，$P_{ESS}\in[P_{ESSmin},P_{ESSmax}]$。若在电价较低的时段，如$P_{exn}=0$时，则$P_S(t)=P_{PV}(t)+P_{ESS}(t)$。

[0125] 根据工作原理，能量管理可归纳为表1。充电站的运行模式将随着事件的触发而进行调整。

[0126] 表1基于触发事件的运行模式

[0127]

电价水平	基于事件触发的运行模式		
	触发事件	AC/DC 工作模式	储能装置工作模式
高	$P_{Smin}>P_{ev}$， $SOC(t)=SOC_H$， $t_{redundancy}>t_{min}$	有源逆变模式	静止
高	$P_{Smax}>P_{ev}>P_{Smin}$， $SOC_H>SOC>SOC_L$， $t_{redundancy}>t_{min}$	离网模式	保持
高	$SOC_H>=SOC>SOC_L$， $t_{redundancy}=t_{min}$	有源逆变模式或整流模式	全功率输出
高	$P_{Smax}<P_{ev}$， $LH>=SOC>=LL$， $t_{redundancy}>t_{min}$	整流模式	全功率输出
低	$P_{Smin}>P_{ev}$， $SOC=LH$， $t_{redundancy}>t_{min}$	有源逆变模式	静止
低	$P_{Smax}>P_{ev}>P_{Smin}$， $SOC_H>SOC>SOC_L$， $t_{redundancy}>t_{min}$	离网模式	保持
低	$LH>=SOC>LL$， $t_{redundancy}=t_{min}$	有源逆变模式或整流模式	全功率输入
低	$P_{Smax}<P_{ev}$， $LH>=SOC>=LL$， $t_{redundancy}>t_{min}$	整流模式	全功率输出

[0128]

[0129] 功率变换器控制：

[0130] 在V2G充电系统中有几种电源转换器。在能量管理的基础上，变换器的协调控制可以实现不同场景下的功率平衡。

[0131] 1.三相AC/DC变换器的控制

[0132] 本公开采用典型的三相PWM变换器的PQ控制来实现并网控制。附图3是详细的控制方案。在三相电流和电压经过dq变换之后，i_d，i_q，U_d，U_q可以由计算得出，由PI控制器根据P_{grid}与P_{ref}的偏差得到$i_{d,ref}$，在对电流信号进行前馈补偿后，产生调制信号P_{md}和P_{mq}。

[0133] 2.BOOST变换器的MPPT控制

[0134] 在光伏发电装置中，采用典型的扰动观察法，尽可能多地产生电能。扰动观察法的控制方案如附图4所示，该方案是一种包含电流内环和电压外环的双环结构。

[0135] 3.直流充电器和储能装置的双向DC-DC变换器

[0136] 图5显示了本公开所采用的储能装置蓄电池和电动汽车蓄电池的工作模式，其充电过程分为恒流充电和限压充电两个阶段。当储能装置在保持模式下工作时，储能装置将在可变电流下充电或放电，以保持直流母线电压稳定。当储能装置工作在全功率(FP)模式时，储能装置将以最大功率充电或放电。

[0137] 本公开提出了一种含有光伏发电装置和储能装置的V2G充电系统，该充电站基于事件触发驱动管理方法，实现了不同变流器在分时电价下的协调控制。本公开紧贴工程应用，利用所提出的能量管理策略和协调控制方法为具有可再生能源系统和储能装置的V2G充电系统提供了一种在分时电价下以最低成本运行的解决方案。

[0138] 为了能使整个电站系统灵活控制，采用了基于事件触发的能量管理系统，根据光伏出力的变化、分时电价的变化以及触发机制，控制中心下发调控命令用来调整功率变换器的控制策略，功率变换器接收控制命令后随即改变工作状态，以实现新的功率平衡。此控制方法成本低、效果优，工程实现简单。

[0139] 实施例二，本实施例还提供了光伏储能充放电一体化能量控制方法；

[0140] 光伏储能充放电一体化能量控制方法，包括：

[0141] 光伏发电装置产生的直流电能通过DC/DC变换器向直流母线传输电能；

[0142] 本地电网根据控制中心的控制策略，通过AC/DC变换器从直流母线输出或吸收电能；

[0143] 储能装置根据控制中心的控制策略，从直流母线输出或吸收电能；

[0144] 电动汽车从直流母线中获取电量进行充电；

[0145] 所述控制中心通过控制AC/DC变换器和储能装置的工作状态，使能量控制系统的总功率一直在设定范围内。

[0146] 实现了不同变流器在分时电价下的协调控制。本公开紧贴工程应用，利用所提出的能量管理策略和协调控制方法为具有可再生能源和储能装置的V2G充电系统提供了一种在分时电价下以最低成本运行的解决方案。

[0147] 为了能使整个电站系统灵活控制，采用了基于事件触发的能量管理系统，根据光伏出力的变化、分时电价的变化以及触发机制，控制中心下发调控命令用来调整功率变换器的控制策略，功率变换器接收控制命令后随即改变工作状态，以实现新的功率平衡。此控制方法成本低、效果优，工程实现简单。

[0148] 以上所述仅为本公开的优选实施例而已，并不用于限制本公开，对于本领域的技术人员来说，本公开可以有各种更改和变化。凡在本公开的精神和原则之内，所作的任何修改、等同替换、改进等，均应包含在本公开的保护范围之内。

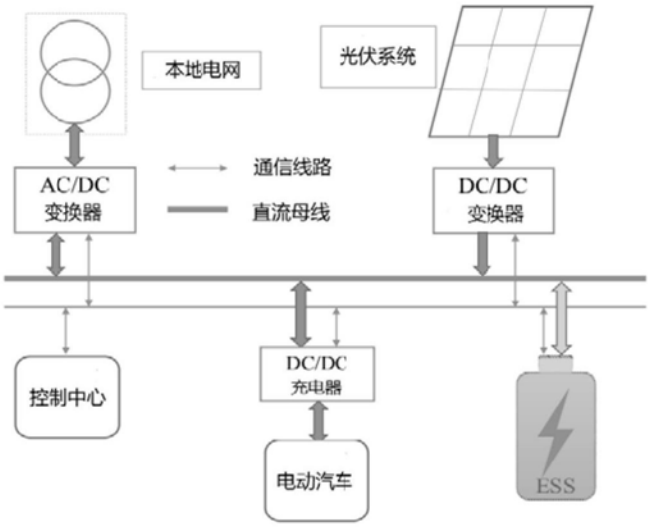

本地电网
光伏系统
AC/DC
变换器
通信线路
直流母线
DC/DC
变换器
控制中心
DC/DC
充电器
电动汽车
ESS

图1

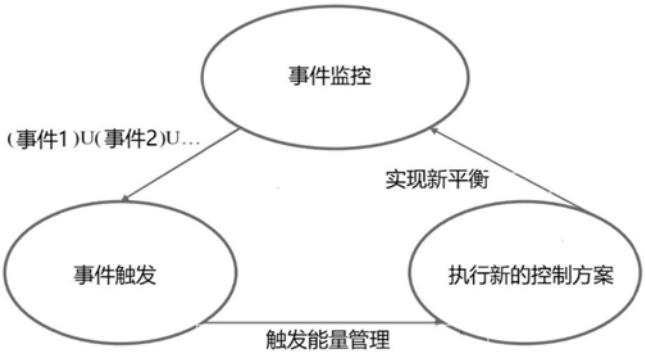

事件监控
(事件1)U(事件2)U…
实现新平衡
事件触发
执行新的控制方案
触发能量管理

图2

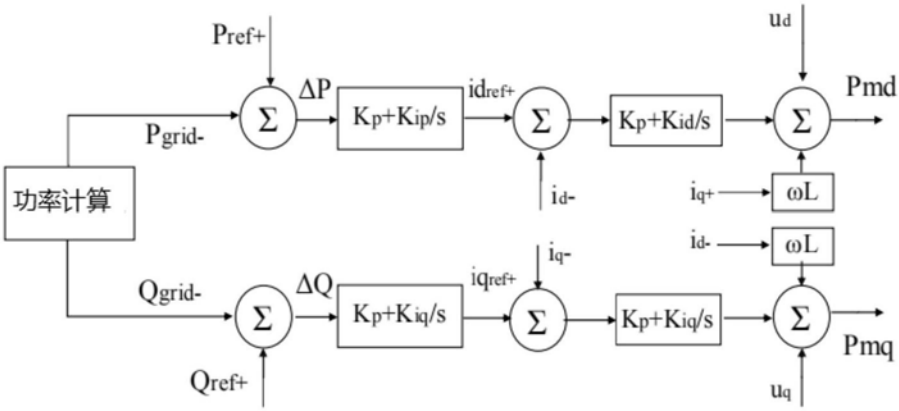

Pref+
ΔP
Kp+Kip/s
idref+
Kp+Kid/s
ud
Pmd
Pgrid-
功率计算
id-
iq+
ωL
id-
ωL
iq-
Qgrid-
ΔQ
Kp+Kiq/s
iqref+
Kp+Kiq/s
Pmq
Qref+
uq

图3

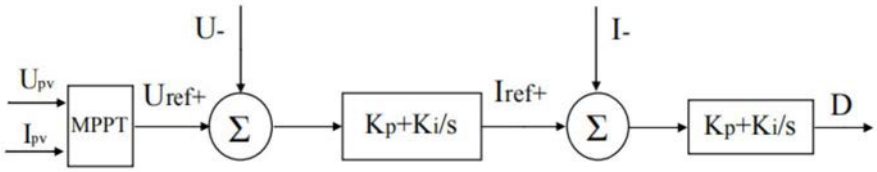

U-
I-
Upv
Ipv
MPPT
Uref+
Σ
Kp+Ki/s
Iref+
Σ
Kp+Ki/s
D

图4

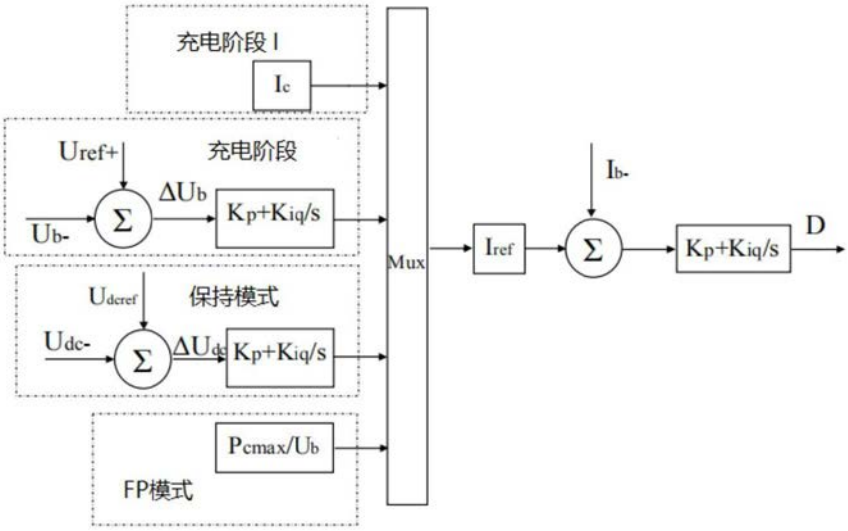

充电阶段 I
Ic
Uref+
充电阶段
ΔUb
Kp+Kiq/s
Ub-
Σ
Udcref
保持模式
Udc-
ΔUdc
Kp+Kiq/s
Pcmax/Ub
FP模式
Mux
Iref
Ib-
Σ
Kp+Kiq/s
D

图5