

[充电站]

光储充一体化充电站的控制策略研究

文/王迎州 艾青 何建民 余加民
湖北民族大学

通过对光储充一体化充电站配置要求的分析，提出一种以光伏系统、储能系统、VIENNA整流器和直流充电设施构成的光储充一体化充电站系统。在功率流向关系的基础上，根据工作充电桩数量提出了一种光储充一体化充电站的协调控制策略。通过MATLAB/Simulink平台仿真验证了其可行性和有效性。

近年来，我国新能源产业与其重要组成部分的新能源汽车飞速发展，与新能源汽车配套的充电桩产业更是迎来了更大的发展机遇。光储充一体化充电站结合光伏发电技术、储能技术与充电桩技术，高效利用可再生能源，同时还能利用储能系统实现削峰填谷，有效提高光伏利用率和充电站经济性。光储充一体化充电站作为充电站的新思路，亟需对其系统构成和控制策略进行分析研究。

目前，电动汽车的充电方式主要分为传导式与无线式充电，其中传导式充电依据输出电流类型又分为直流充电和交流充电；充电站根据系统内部的母线传输电能的形式及主要子系统交换电能的形式，可以分为直流母线配电和交流母线配电。以直流母线配电形式的含光伏充电站，为了维持较高工作效率，应尽量保持DC/DC直流变换器工作在较高能量转换率。在直流微网中，直流母线电压是系统内功率平衡和能量控制平衡的重要指标。根据直流母线电压变化量和蓄电池状态，协调控制各个变换器，是一种适用典型结构的直流微电网控制策略。通常在微网系统中加入储能，可以解决可靠性不足、能量波动和电压波动等问题。引入更多形式储能后，需要改进储能控制策略，协调不同储能，再根据直流母线电压变化量，协调控制直流微电网。

电动汽车的充电需求由于在时间和空间上都具有灵活性，从充电站的角度，充电站需要采用一定的方法，削峰填谷，均衡充电需求。随着电动汽车数量的增加，电动汽车充电不可避免地对电力系统的电能质量、可靠性和经济运行造成负面影响。充电站为了引导有序充电，可以引入分时电价，分散各个充电站接入位置，提高可再生能源利用率。

本文首先根据直流母线配电的光储充一体化充电站系统的系统构成，提出一种充电站结构。之后，以该结构为研究对象，根据工作中充电桩数量和子系统功率流向，提出针对光伏Boost变换器、储能电池双向DC/DC变换器、超级电容双向DC/DC变换器和VIENNA整流器的协调控制策略。最后通过MATLAB/Simulink平台仿真验证了协调控制策略的可行性和有效性。

光储充一体化充电站系统结构

直流母线配电的光储充一体化充电站系统主要包括供电系统、直流充电设施、储能系统和光伏发电系统等。其中，光伏、储能和直流充电设施通过直流母线进行能量交换，这三个子系统均使用DC/DC变换器，充电站在并网处使用AC/DC整流器。本文提出的直流配电的光储充一体化充电站结

构如图1所示。

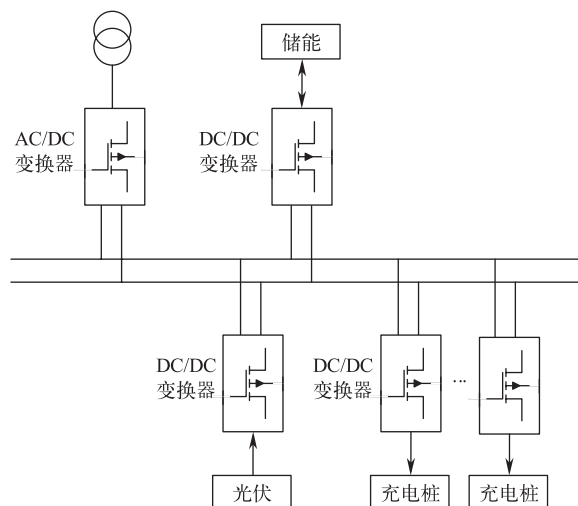


图1 直流母线配电的光储充一体化充电站系统结构

图1中，并网处AC/DC整流器采用VIENNA整流器。由于VIENNA整流器直流侧采用两个等值电容，开关管的电压应力仅有直流输出电压的一半；同时，其结构设计决定了不存在上下桥臂直通的问题，不需要考虑死区问题，非常适用于并网处AC/DC整流器。储能系统处直流变换器采用双向DC/DC电路，保证能量双向流动的同时还要参与维持直流母线电压的稳定。直流母线配电的充电站系统使得充电桩无需常规直流充电桩的整流单元，只需DC/DC变换器即可为汽车充电。

1. 光伏发电系统DC/DC变换器控制策略

直流母线配电的光储充一体化充电站的光伏发电系统主要由光伏阵列和单向DC/DC变换器（BOOST电路）构成。

由于光伏发电功率随机波动，在直流母线电压允许范围内，BOOST电路采用电导增量法实现最大功率点跟踪（MPPT）。当光伏发电功率过剩，直流母线电压不断升高时，BOOST电路工作模式从MPPT模式切换至恒压控制模式（CVC），如图2所示。

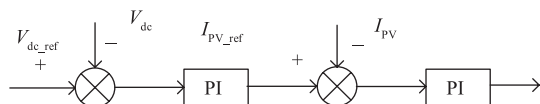


图2 光伏发电系统DC/DC变换器CVC控制策略

2. VIENNA整流器控制策略

理想的VIENNA整流器直流侧电容大小相同，

并且上下电容、电压相等，即 $u_{c1}=u_{c2}=\frac{u_{dc}}{2}$ 。如图3所示。

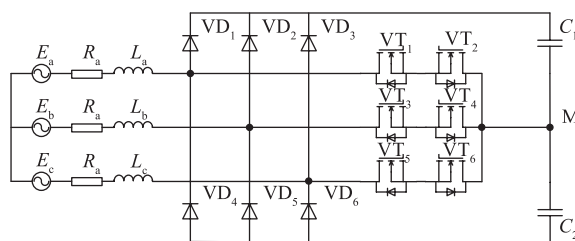


图3 VIENNA整流器结构

VIENNA整流电路在 dq 坐标系下的模型为

$$\begin{cases} e_d = (Ls + R)i_d - \omega Li_q + v_d \\ e_q = (Ls + R)i_q - \omega Li_d + v_q \end{cases} \quad (1)$$

式中， e_d 、 e_q 为交流侧电网电动势 d 、 q 分量； v_d 、 v_q 为VIENNA整流器交流侧电压 d 、 q 量； R 为电感寄生电阻。

基于以上模型，采用前馈解耦控制策略，解耦后控制方程为

$$\begin{cases} v_d = \left(K_{ip} + \frac{K_{il}}{s} \right) (i_{dref} - i_d) + \omega Li_q \\ v_q = \left(K_{ip} + \frac{K_{il}}{s} \right) (i_{qref} - i_q) + \omega Li_d \end{cases} \quad (2)$$

式中， K_{ip} 、 K_{il} 为电流控制器PI参数； i_{dref} 、 i_{qref} 为电流指令值。

VIENNA整流器控制框图如图4所示。

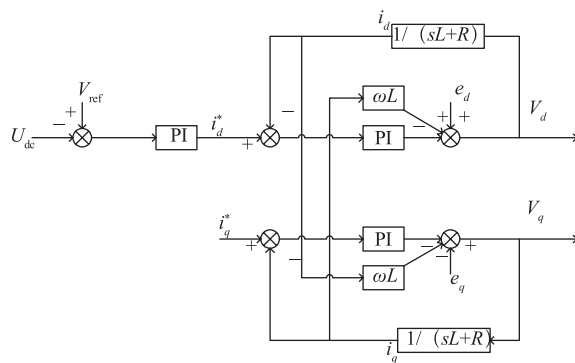


图4 VIENNA整流器控制框图

3. 储能系统双向DC/DC变换器控制策略

储能系统在光储充一体化充电站中有平滑能量波动，维持母线电压等作用。直流母线配电的充电站通常采用非隔离型双向DC/DC变换器。非隔离型双向DC/DC变换器成本较低，易于控制，其电路结构如图5所示。

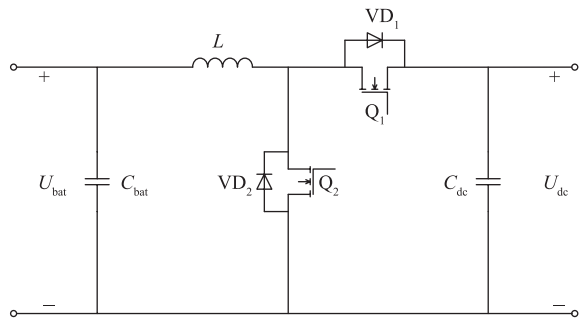


图5 双向DC/DC变换器结构

在光伏充电站运行过程中，光伏出力存在大大小小的波动，其中一些波动会影响储能系统双向DC/DC变换器的工作模式（Buck/Boost），频繁的波动会使储能电池在充放电之间反复切换，对储能电池造成损伤。因此，储能系统可以加入超级电容平滑功率波动。功率波动中的高频部分通过低通滤波器过滤，而电池储能承担低功率率波动。

对于双向DC/DC变换器，一般采用电压外环电流内环的双闭环控制结构，控制框图如图6所示。

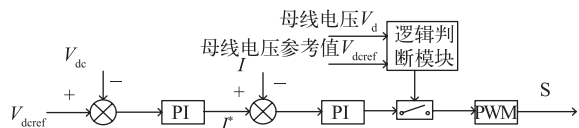


图6 双向DC/DC变换器控制框图

4. 光伏并网逆变器控制策略

由于光伏并网逆变器不参与光储充一体化充电站的充电工作，可以根据需要选择在逆变器中加入隔离变压器，以提高充电站发出电能质量。单级逆变拓扑在效率、动态响应速度、稳定性和可靠性等指标上均高于两级拓扑。因此，光伏系统可以使用单级拓扑，经并网点直接将光伏系统所发出的闲置能量输送至电网。光伏并网逆变器可以使用的一些控制策略比较见表1。

表1 光伏并网逆变器控制策略比较

控制策略	优点	缺点
比例积分（PI）控制	可靠性高、参数整定方便、对直流信号能够无静差跟踪	不能无差跟踪交流信号，复杂度高
比例谐振控制	可以对交流信号无静差跟踪，算法简单	对频率波动敏感
滞环电流控制	实时控制电流，动态性能优秀	准确度受环宽控制，稳态误差不可消除，设计难度大
重复控制	稳态跟踪性能高，谐波失真低（THD）	采样频率与电网频率要求比值为整数，频率大幅影响系统性能

光储充一体化充电站协调控制

图7所示为直流配电的光储充一体化充电站的控制系统。

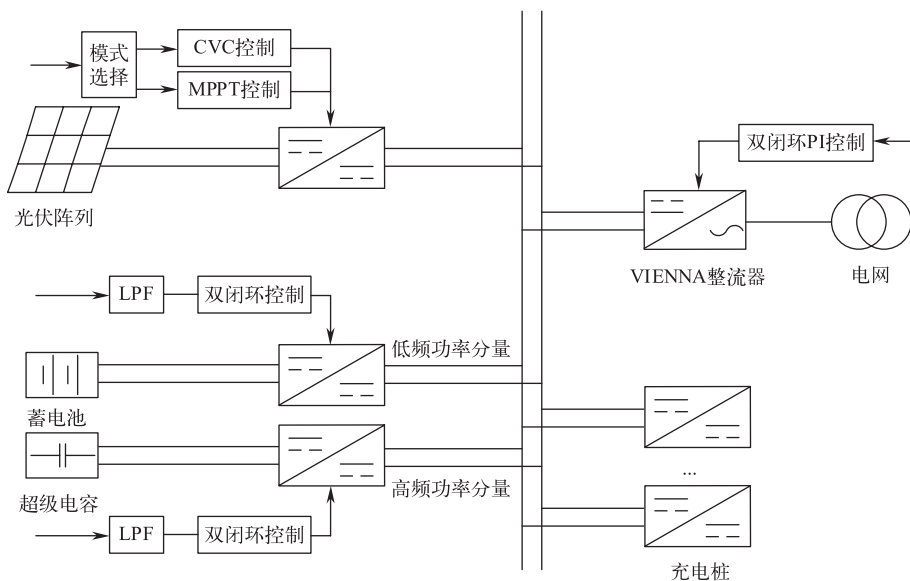


图7 光储充一体化充电站控制系统

基于以上分析，本文提出一种充电站协调控制策略。该协调控制策略主要依据工作中充电桩数量、光伏出力和储能状态，将充电站分为以下六种

典型工作模式。

工作中充电桩数量低时，此时仅光伏系统和储能系统出力可能满足充电需求，充电站无需电网提

供能量，即模式一~模式三。

模式一：光伏系统发电功率足够汽车充电功率，多余能量储存至储能。此时系统功率表达式为

$$P_{PV} \geq P_{BAT} + P_{EV} \tag{3}$$

式中， P_{PV} 为光伏系统发出功率； P_{BAT} 为储能系统吸收功率； P_{EV} 为电动汽车所需功率。

模式二：光伏系统发电功率多于汽车充电功率，储能能够向汽车充电。此时功率表达式为

$$P_{BAT} = P_{EV} \tag{4}$$

模式三：光伏系统发电功率不足，储能系统可以补充不足功率。此时功率表达式为

$$P_{PV} + P_{BAT} \geq P_{EV} \tag{5}$$

当光伏系统与储能系统不能满足充电需求时，充电桩需要电网提供能量，即模式四与模式五。

模式四：光伏系统发电功率不足，储能系统不能补充不足功率。此时功率平衡方程为

$$P_{PV} + P_{BAT} + P_{GRID} = P_{EV} \tag{6}$$

式中， P_{GRID} 为电网提供功率。

模式五：光伏系统处于空闲状态，不提供能量，充电站由电网提供能量向电动汽车充电。此时功率平衡方程为

$$P_{GRID} = P_{EV} \tag{7}$$

模式六：充电桩处于空闲状态，光伏系统发出功率由逆变器并网向电网输送。

充电站运行时一般在以上六种模式切换。为了避免储能电池损坏，SOC低于20%时，储能SOC控制进入放电警戒；SOC高于80%时，储能SOC控制进入充电警戒。充电站工作模式划分见表2。

表2 充电站工作模式划分

工作充电桩数量 N	光伏出力	储能SOC状态	光伏是否工作	工作模式
低	高	低	是	模式一
低		高	是	模式二
低	低	高	是	模式三
任意	低	低	是	模式四
任意			否	模式五

光储充一体化充电站的仿真建模及协调控制仿真分析

根据本文所提出光储充一体化充电站的系统构成及其控制策略，在MATLAB\Simulink中搭建光储充一体化充电站的仿真建模，如图8所示。

充电站仿真建模参数：直流母线电压设定为700 V；储能系统采用电压为200 V，容量为200 A·h的铅酸电池。其中充电桩侧DC/DC变换器采用电路如图9所示，该变化器设定输出电压为350 V。

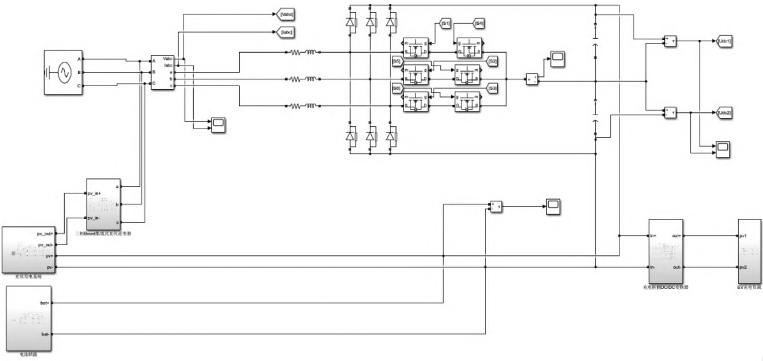


图8 光储充一体化充电站的仿真模型

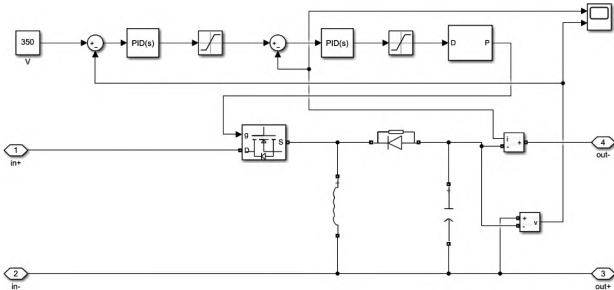


图9 充电桩侧DC/DC变换器仿真模型

对充电站的主要工作模式进行仿真，仿真结果如图10~12所示。

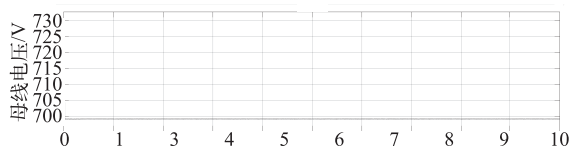


图10 母线电压

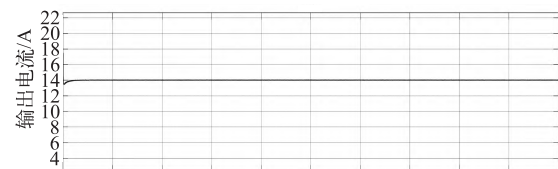
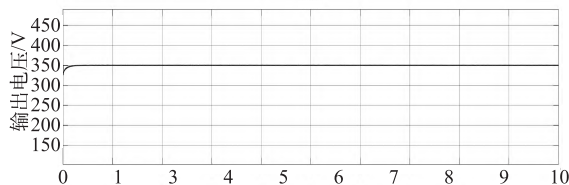


图11 输出电压、电流

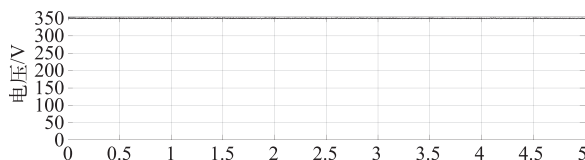


图12 VIENNA整流器上下电容、电压

结束语

本文根据直流母线配电的充电站系统的系统构成，设计了以光伏系统、储能系统、VIENNA整流器和直流充电设施构成的光储充一体化充电站，并提出了针对该充电站的协调控制策略。该协调控制依据子系统间功率流动关系和工作中充电桩数量将充电站划分为六种工作模式，通过对不同工作模式下各子系统的控制，维持充电站整体功率平衡。最后通过MATLAB\Simulink对该充电站进行仿真建

模，并对充电站的主要工作模式进行仿真，证明了提出的协调控制策略的可行性。EA

(收稿日期：2024-2-25)

参考文献

- [1] 钱程. 储能式电动汽车充电桩的设计[D]. 安徽理工大学, 2018.
- [2] 陈红坤, 夏方舟, 袁栋, 等. 直流配电网中含光伏的电动汽车快速充电站优化配置方案[J]. 电力系统自动化, 2020, 44(16): 53-60.
- [3] 朱晓荣, 张慧慧. 光伏直流微网协调直流电压控制策略的研究[J]. 现代电力, 2014, 31(05): 21-26.
- [4] 张野, 郭力, 贾宏杰, 等. 基于电池荷电状态和可变滤波时间常数的储能控制方法[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(6): 34-38+62.
- [5] 孟润泉, 刘家赢, 文波, 等. 直流微网混合储能控制及系统分层协调控制策略[J]. 高电压技术, 2015, 41(7): 2186-2193.
- [6] 崔岩, 胡泽春, 段小宇. 考虑充电需求空间灵活性的电动汽车运行优化研究综述[J]. 电网技术, 2022, 46(3): 981-994.
- [7] 郭建龙, 文福拴. 电动汽车充电对电力系统的影响及其对策[J]. 电力自动化设备, 2015, 35(6): 1-9+30.
- [8] 陈奎, 马子龙, 周思宇, 等. 电动汽车两阶段多目标有序充电策略研究[J]. 电力系统保护与控制, 2020, 48(1): 65-72.
- [9] 程杉, 许林峰, 孙伟斌, 等. 基于电压稳定性的电动汽车充电站最优规划[J]. 电力科学与技术学报, 2020, 35(4): 3-12.
- [10] 段俊东, 李高尚, 李一石, 等. 考虑风电消纳的电动汽车充电站有序充电控制[J]. 储能科学与技术, 2021, 10(2): 630-637.

