

[微电网]

基于独立直流微电网的公交候车亭研究与应用

文/罗晨

江西建辉工程建设监理有限责任公司

微电网技术凭借着其优良的特性及功能，应用范围越来越广，并且微电网应用在现代建筑的研究解决许多遗留难题，成为目前电网的一大研究热点。微电网应用于公交候车亭中，先以公交车亭的电子设备作为负载，然后以此基础连接于微电网，分析整个系统总体的设计结构，根据仿真结果分析微电网应用在公交候车亭的可行性。

近年来，随着智能公交车亭备受关注，公交车亭对高质量电能的需求也越来越多。据统计，欧洲有45%的公交车亭配有用电设备，而其中有20%因为公交车亭突然断电导致无法正常工作。而直流微电网技术是解决此供电的一条可行途径，因为它能够在用电场所提供优质可靠的电能，实现系统的稳定运行，在具体运行过程中能够达到节能减排的发展目标。因此，本文结合微电网从节能储能意义来研究其供电系统特性，旨在设计一种能采用直流微电网为候车亭中的各种负荷提供高质量的电能，更好地实现智能公交候车亭中用电设备自身功能。

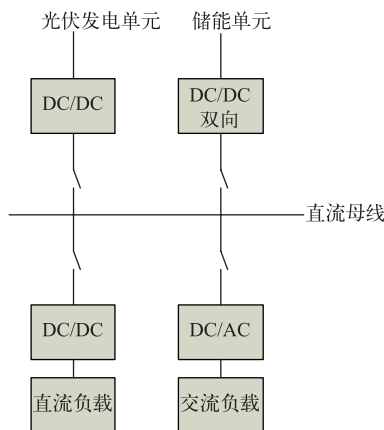


图1 典型的独立直流微电网系统结构

含公交车亭的微电网系统建模

1. 含公交车亭的直流微电网结构及优点

由于储能单元、发电单元不一样，而且各系统可利用不同数量不同种类的可再生能源或者蓄电池等，所以微电网系统结构也会较为不同，它包含直流母线、光伏发电、储能单元、交直流负荷以及多种变换器装置。图1是一种最简单也最常用的总体系统结构。

图2为含公交车亭储能直流微电网系统结构图。设计思路为：光伏电池串上Boost电路然后连接到直流母线，蓄电池通过双向DC/DC变换器控制，交直流负荷以不同形式接入直流母线。

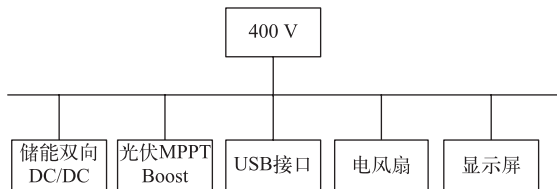


图2 含公交车亭的独立直流微电网拓扑结构

2. 光伏发电系统模型

光伏电池的工作原理当其与外部电路连接组成完整回路并且当太阳光照到光生电流源时，PN结之间会产生电势差，此时便会产生一种光生电流流经回路产生输出功率。在建立模型前需要参考一些资

料比如光伏电池的一些参数，还有需要涉及的封装模块比如光照强度、温度等，见表1。

表1 光伏电池参数

U_{oc}/V	I_m/A	U_m/V	I_m/A	P_m/W
45.2	5.4	37.2	5.1	190

依据光伏电池的参数可以在MATLAB/Simulink仿真软件中封装，然后添加温度、光照强度以及调节模块、阶跃模块等，根据之前数学模型和得到的数学公式，完成搭建简单的光伏电池仿真模型。

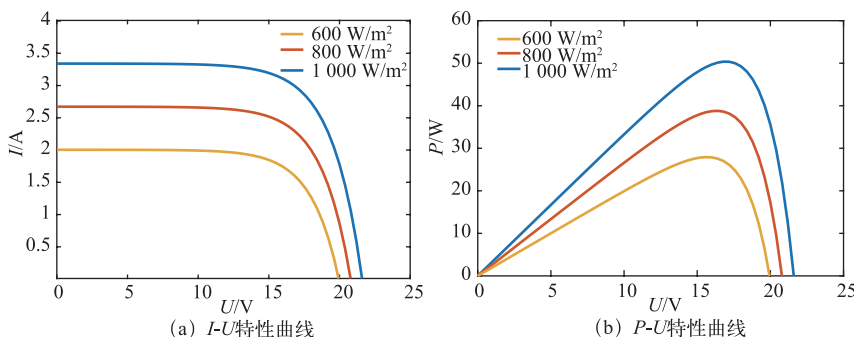


图3 不同光照强度下的 $I-U$ 特性和 $P-U$ 特性曲线

光伏及储能系统控制策略

1. 恒定电压法

基本原理：系统运行中太阳光经光伏阵列得到光伏电池的端口电压，给定一个恒定的参考电压值与之进行比较，然后经过PI控制器模块，让它一直与参考电压值比较得出结果。图4为控制原理图。

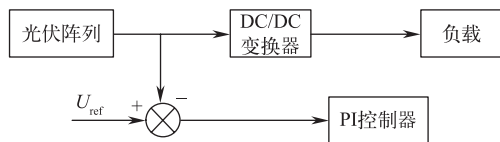


图4 控制原理图

2. 扰动观察法

基本原理是先测量在当前光伏发电系统的输出电压及输出电流，并且计算出此时的光伏电池输出功率，然后在这个光伏端口电压或电流上施加一个小的扰动分量，再次计算光伏电池的输出功率，测量扰动前一时刻与后一时刻输出的功率并进行比较变化，就可以确定下一步的功率变化方向。如果输出功率有所增加，继续按照原来的方向增加；反之如果输出功率有所减小，则按向相反的方向。通过这个方法反复进行，直到判断使系统输出功率近似处于最大。

图3为保持温度 $T=25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 不变，光照强度 S 依次为600 W/m^2 、800 W/m^2 和1 000 W/m^2 时的 $I-U$ 曲线和 $P-U$ 曲线仿真波形。

从图3可以看出：

- 1) 保持温度不变时，光伏电池的开路电压会随着光照强度的增加有一点点的增大即变化值很小。
- 2) 当保持温度不变时，光伏电池的输出功率在一个时间段里随着光照强度的增加而增大，并且到达最大值点之后逐渐下降。

3. 电导增量法

基本原理主要是通过特性曲线的导数点得到的，详细讲是通过光伏发电系统输出 $P-U$ 特性曲线得出输出功率 P 与输出电压 U 存在的关系作为判断依据来实现最大功率点跟踪。

光伏电池处于最大功率点时应满足

$$\frac{di}{du} + \frac{i}{u} = 0 \quad (1)$$

首先将测出的输出电压及电流值根据求导公式计算出 di/du 和 i/u ，接下来通过比较二者的关系或者二者相加是否为0，来判断是否出现功率的最大值以及和电压之间的关系。

直流微电网总体协调控制结构

对于公交车亭的各种影响因素，有环境因素和人为因素。针对用户人群及带电设备的方式不同，系统运行过程中需要通过最快的方式采集发送指令的信号分配到下层各系统单元控制，利用模块实时监测直流母线电压是否达到稳定，对于变换器实现功能需要利用各系统的特性。图5为直流微电网协调控制结构。

当公交车亭突然有人为因素或者环境因素干扰时，整个系统会及时通过检测单元采集相应的信号

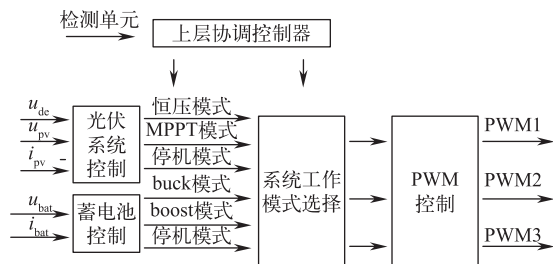


图5 协调控制结构图

通过上层控制，然后以它为主体向下层各系统控制发送之前采集到的信号。光伏控制系统有三个信号变量传输，当信号采集到时，变换器会选择三种工作模式（恒压、MPPT和停机模式），然后自主地由系统选择经PWM模块产生脉冲进行控制。同理当蓄电池的电压电流两个信号采集到时，变换器也有三种模式（Buck、Boost和停机模式），之后系统工作选择经PWM模块产生脉冲进行控制。

直流微电网孤岛运行工作方式

在确定微电网系统的分层结构和下层单元的控制策略后，根据处于不同的环境，光伏发电系统、储能系统就需要根据采集到的不同信号选择相应的模式。在直流微电网孤岛运行时，变换器处于停机状态，也就是说这之间并不存在电能，所以各系统需按既定的协调控制策略相互配合。孤岛运行下系统有两种工作方式。

1) 当公交车亭在太阳天气条件晴朗时。光照强度足够时，根据光伏效应产生光伏端口电压，光伏单元采集到电压信号，此时Boost变换器选择MPPT模式，然后将光伏输出功率送达直流母线，最后分配到相应的交直流负荷。图6为能量流向图。

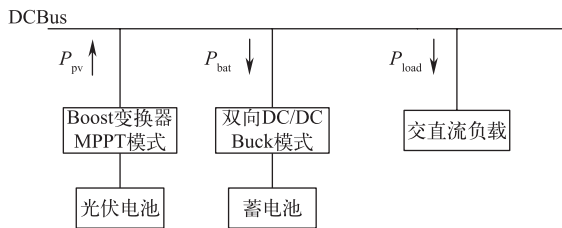


图6 工作方式1能量流向图

2) 当公交车亭处于刮风下雨天气或夜间时期。光伏效应比较低导致采集到的信号比较弱，光伏电池没有功率输出无法单方面提供负载功率。为平衡负载功率，蓄电池需要承担部分负载功率，蓄电池的变换

器选择Boost模式。图7为此方式的能量流向图。

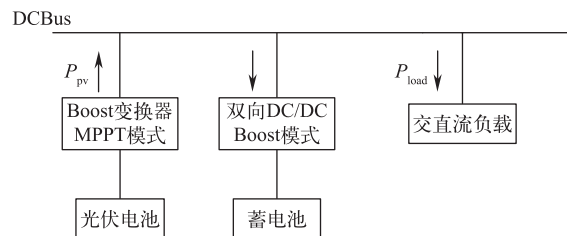


图7 工作方式2能量流向图

含公交车亭的储能直流微电网仿真验证

为验证公交车亭应用在独立直流微电网的有效性与可行性，将各模块模型通过协调控制整合成一个完整的直流微电网模型，在MATLAB/Simulink中搭建仿真模型。

仿真中采用的直流母线电压额定值为400 V，仿真中采用200 V/40 A·H的蓄电池。仿真曲线如图8所示。

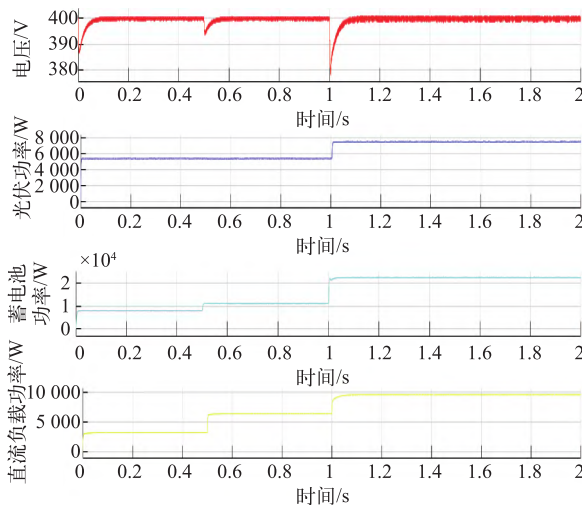


图8 工作模式下直流母线电压、光伏功率、蓄电池功率、直流负载功率

由图8可知直流母线电压维持在400 V作用与设置的参数一致，光伏功率、蓄电池功率和直流负载功率在一段时间保持不变，然后发生突变之后迅速恢复，说明正常模式下系统减小了很多因素影响，达到稳定运行。1.1 s之前蓄电池并没有达到充电上限，光伏发电系统此时是工作在MPPT状态，能量流向是流到储能侧，微电网内的剩余电能为蓄电池充电。从以上分析该协调控制策略准确，微电网应用在以及公交车亭中是可行的。EA

(收稿日期: 2024-06-04)