

# 基于混合储能的直流微电网控制策略研究

杜彪<sup>1</sup> 杨贇<sup>2</sup> 范忠瑶<sup>1</sup> 张风燕<sup>2</sup>

(1.中广核太阳能开发有限公司,北京 100000 2.厦门大学能源学院,福建 厦门 361100)

**摘要:**针对直流微电网中新能源不稳定输出导致的微网功率不平衡和直流母线电压波动大等问题,研究了一种由光伏发电系统、混合储能系统和交流市电构成的直流微电网结构,提出了一种新型的直流微电网能量控制策略,根据母线电压值将系统分为4种工作模式、7个运行区间,系统的运行方式可以自动判断和自由切换。该微电网中的混合能源管理系统含有2个互补型储能元件——蓄电池和超级电容器,其以特殊的供应逻辑提高了系统的可靠性和灵活性。通过Matlab/Simulink仿真平台验证了这种策略的可行性。

**关键词:**直流微电网;光伏;储能;直流母线

## 0 引言

在能源危机的日趋紧张、低碳能源的发展需求、传统的集中式发电远距离传输带来的供电可靠性隐患等背景下,分布式可再生能源得到了极大的重视和发展,尤其是风能和太阳能。但理论和实践证明,这些分布式能源具有一些固有的问题,如其间歇性对大电网的安全稳定、可靠性以及电能质量造成了影响。微电网又分为交流微电网和直流微电网,和交流微电网相比,直流微电网不需要对电压的相位和频率进行跟踪,有更强的可控性和可靠性,加上直流性质的微源如光伏、燃料电池、超级电容,以及直流负荷如电动汽车、LED、电子负荷等的增加,为直流微电网提供了发展机遇,目前对于直流微电网已有较多研究。

## 1 系统结构

含混合储能的直流微电网的结构:光伏阵列通过带有MPPT功能的直流/直流(direct current/direct current,DC/DC)变换器、蓄电池与超级电容器通过各自的双向DC/DC变换器接入直流母线,交流市电通过双向交流/直流(alternating current/direct current,AC/DC)变换器接入直流母线,直流母线上同时带有直流负荷。光伏阵列通过串联形成一个模块,以提供一个标准的直流电压,模块又被连接成列,以产生足够的电流和电压,来满足电网连接的应用需求。光伏阵列产生的功率取决于辐射和温度,在对应辐照度和稳定的条件下,光伏阵列的功率—电压曲线有一个最大功率点(MPP),工作时,光伏阵列需要工作在最大功率点,光伏阵列通过直流/直流变换器连接到直流母线。然而,传统的MPPT算法具有不稳定、对外界环境的适应性差等缺点,当天气变化较快时,它们可能无法跟踪最大功率点。

为解决动态和稳态精度的问题,本文采用一种新的变步长电导增量法以实现光伏阵列的最大功率跟踪。这种方法根据光伏阵列的固有特性自动调整步长大小,如果工作点远离最大功率点,它就会增加步长以快速跟踪,如果工作点靠近最大功率点,步长就会变得很小,此时震荡会降低而效率会提高。

蓄电池具有较高的能量密度,但其充放电速度相对较慢,而超级电容器具有高功率密度和快速响应能力。超级电容器作为一个短期的能量存储装置,用于补偿输出功率的快速变化,其模型是一个电容器串联一个恒定的电阻。而蓄电池则作为一个长期的能量存储装置被应用于满足能量的需求,其模型是一个受控电压源串联一个恒定的电阻。蓄电池/超级电容

器的双向DC/DC变换器是用来连接蓄电池/超级电容器与直流母线的,这两个变换器并联连接。此变换器在储能单元放电模式下作为升压转换器,在充电模式下作为降压转换器。控制方法是传统的电压、电流双闭环,包括电流内环和电压外环。

大电网通过三相双向全桥交流/直流变换器连接到直流母线上,当大电网正常工作时,通过双向变换器将直流母线连接到交流市电,大电网与微电网的功率就可以相互传送,否则将与大电网断开,以避免发生故障。

## 2 控制策略

直流微电网中的能量管理策略最主要的目标是在光伏组件、储能系统、交流电网和负载之间保持功率平衡,而在直流微电网中功率的波动首先体现在母线电压不稳定上,光伏发电的随机性、负荷的变化、交流市电的波动等情况都会影响到系统功率平衡以及电压的稳定。

本文提出了一种新型的直流微电网能量管理策略,该策略能减少蓄电池的充放电次数以延长其寿命,并提高直流微电网的长期经济性,利用超级电容器快速响应以弥补光伏和负荷之间的小范围功率失配,同时增强交流市电与直流微电网的功率交换。此处提出的直流微电网的运行包括4种主要模式,如图1所示,这4种模式每种都包含有主控制电源以及建立在7种参考电压( $U_{high3}$ 、 $U_{high2}$ 、 $U_{high1}$ 、 $U_{dcr}$ 、 $U_{low1}$ 、 $U_{low2}$ 、 $U_{low3}$ )下的工作区间。电压临界参考值大小关系为:

$$U_{high3} > U_{high2} > U_{high1} > U_{dcr} > U_{low1} > U_{low2} > U_{low3}$$

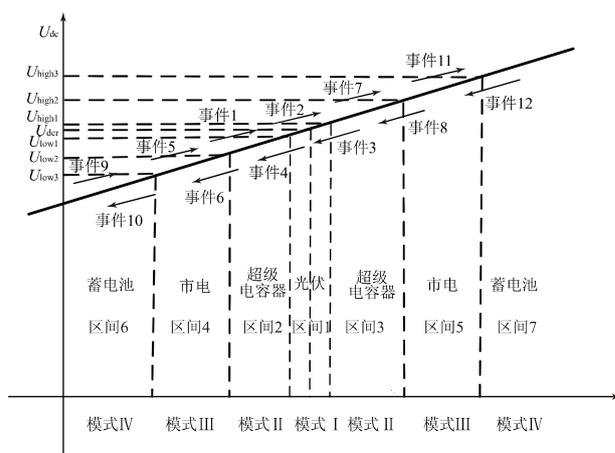


图1 直流微电网模式切换图

在不同模式之间的切换和变换器控制方法的变化,可以

通过总线电压的变化来实现,而不需要通信连接。系统的4种工作模式具体如下:

(1)模式  $U_{low1} < U_{dc} < U_{high1}$ 。在这种模式下,光伏DC/DC变换器工作在MPPT模式,光伏发出的功率 $P_{pv}$ 与负载功率 $P_{load}$ 达到平衡,随着环境的影响,光伏发出的功率在小范围内波动,母线电压 $U_{dc}$ 也会在允许的范围内波动。同时,系统中其他变换器处于待机状态。

(2)模式  $U_{low2} < U_{dc} < U_{low1}$ 或 $U_{high1} < U_{dc} < U_{high2}$ 。当辐照度 $E$ 和环境温度 $T$ 的变化较大或负载波动较大时,所产生的光伏发电功率 $P_{pv}$ 和负载功率 $P_{load}$ 将不匹配。当这种情况发生时,超级电容器DC/DC变换器启动并保持直流母线电压稳定。当需求超过光伏组件发电时,直流母线电压 $U_{dc}$ 从其标准参考值380 V下降至377 V,超级电容器将放电提供功率的差额。同样,当系统负载功率 $P_{load}$ 小于光伏发电功率 $P_{pv}$ 时,直流母线电压 $U_{dc}$ 从其参考值380 V上升至383 V,超级电容器将充电以吸收系统中多余的电能直至饱和。

(3)模式  $U_{low3} < U_{dc} < U_{low2}$ 或 $U_{high2} < U_{dc} < U_{high3}$ 。模式和模式在直流母线电压从 $U_{low2}$ 到 $U_{high2}$ 之间的范围内工作。当电压达到 $U_{high2}$ 时,超级电容器处于饱和,光伏发出功率 $P_{pv}$ 大于负荷需求 $P_{load}$ ,将多余的电量通过双向AC/DC变换器逆变到大电网。当电压下降到 $U_{low2}$ 以下,意味着超级电容器放电达到极限,光伏发出功率小于负载功率,此时启动双向AC/DC变换器整流模式,以弥补系统功率的不足。

(4)模式  $U_{dc} < U_{low3}$ 或 $U_{high3} < U_{dc}$ 。当交流电网故障或网侧变换器故障时,直流微电网将切换到孤岛模式运行。后备电源蓄电池作为主要的电压源控制母线电压稳定,光伏工作在最大功率。

### 3 实验结果

为了验证本文所提策略的可行性与有效性,采用Matlab/Simulink仿真软件进行仿真研究。根据7种操作模式,直流参考电压( $U_{high3}$ 、 $U_{high2}$ 、 $U_{high1}$ 、 $U_{dcr}$ 、 $U_{low1}$ 、 $U_{low2}$ 、 $U_{low3}$ )被设置为395 V、390 V、383 V、380 V、377 V、370 V、365 V。所用的光伏容量为2 kW,MPPT电压为180 V(温度25 °C,辐照度1 kW/m<sup>2</sup>),交流市电额定值为110 V,网侧双向AC/DC变换器容量为3 kW。蓄电池的标称电压为90 V,额定容量为90 Ah,超级电容器的电容值是12.5 F,并联0.01 Ω电阻。负载为可调负载,具体由不同场景设置,模拟的采样时间已设置为2e-6 s。由于篇幅所限,本文仅仅展示部分场景。

图2给出了系统在并网模式下,在模式和模式相互转换的实验图,这种情况发生在超级电容器变换器故障、超级电容器能量充满或不足的情况下。如图2所示,包括状态切换时并网变换器的电流波形图。仿真结果证明,这两种模式以及两种模式之间的转换是成功的。

图3给出了系统在孤岛模式下,在模式、模式和模式之间切换的实验图,发生在上级电网故障或网侧双向变换器故障的情况下。图3显示了系统在孤岛模式下的运行状态,结果显示了模式、模式与模式切换的可行性。

### 4 结语

本文研究了一种基于混合储能的光伏直流微电网系统,

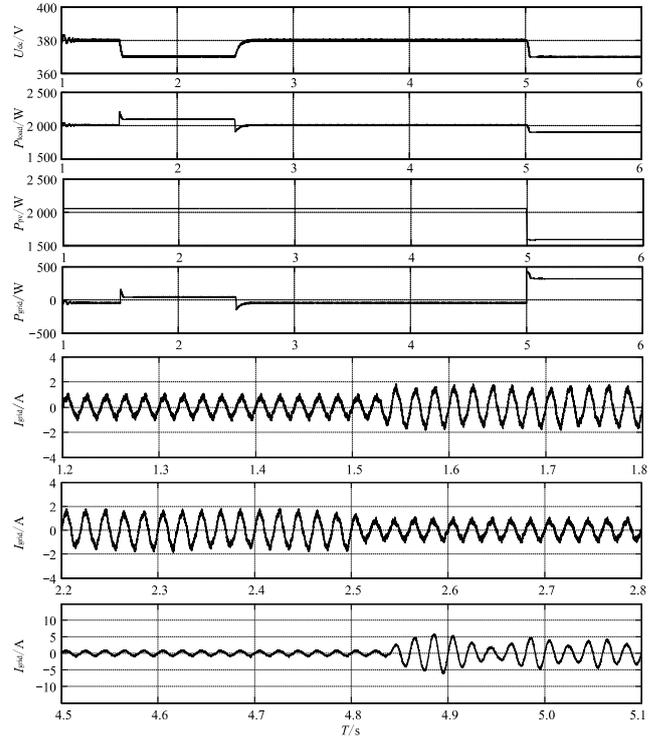


图2 场景2实验图

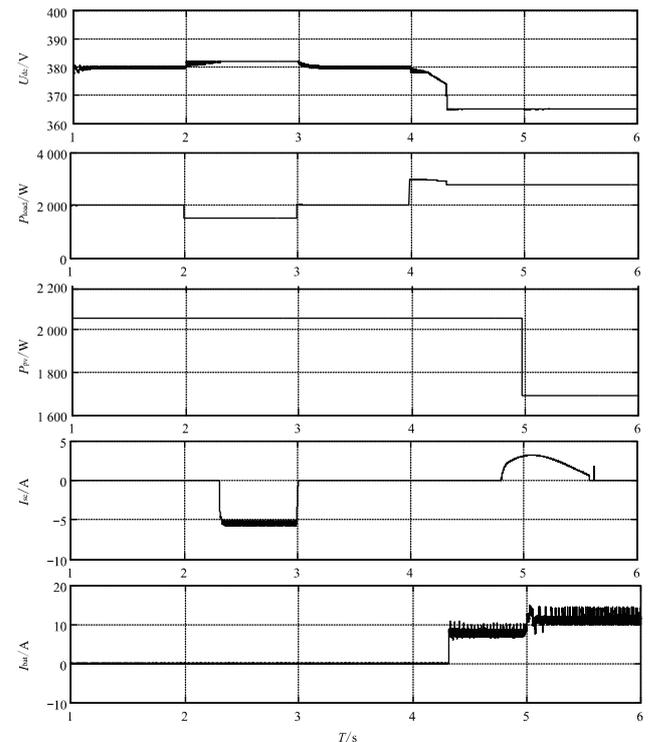


图3 场景3实验图

提出了一种用于此直流微电网的能量管理策略。该策略采用母线电压作为参考量来代表不同的运行模式,微电网中的混合储能系统含有2个互补型储能元件——蓄电池和超级电容器,利用其各自的优势,可以减少蓄电池的充放电次数以延长其寿命,并提高直流微电网的长期经济性,利用超级电容器的快速响应特性,可以弥补光伏和负荷之间的小范围功率失配,

# 柴油发电机在发电厂中的应用和维护

彭 永

(广东粤电云河发电有限公司 广东 云浮 527328)

**摘要:**为了应对全厂厂用电中断的风险,在“全厂厂用电中断”的情况下能快速成功保证机组安全停运,广东粤电云河发电有限公司A、B厂增设了CATERPILLAR SR4B柴油机作为应急保安电源。现就该类柴油发电机的工作原理、技术要求、日常维护等等进行简要介绍。

**关键词:**厂用电;中断;机组;维护

## 0 引言

目前,柴油发电机被广泛应用于大型火力发电厂的机组保安电源系统中,当正常厂用电突然中断时,紧急保安电源能及时、安全、可靠地投用,确保机组能够安全停运。我厂A厂两台 $2 \times 125$  MW机组、B厂两台 $2 \times 135$  MW机组所使用的柴油发电机是美国原装进口卡特彼勒柴油机,机组型号SR4B。下面就该类柴油发电机的工作原理、技术要求、日常维护、一般故障成因及排除作简要介绍。

### 1 柴油机工作原理

简而言之,就是柴油机驱动发电机运转。在汽缸内,经过空气滤清器过滤后的洁净空气与喷油嘴喷射出的高压雾化柴油充分混合,在活塞上行的挤压下,体积缩小,温度迅速升高,达到柴油的燃点。柴油被点燃,混合气体剧烈燃烧,体积迅速膨胀,推动活塞下行,称为“做功”。各汽缸按一定顺序依次做功,作用在活塞上的推力经过连杆变成了推动曲轴转动的力量,从而带动曲轴旋转。将无刷同步交流发电机与柴油机曲轴同轴安装,就可以利用柴油机的旋转带动发电机的转子,利用“电磁感应原理”,发电机就会输出感应电动势,经闭合的负载回路就能产生电流。

### 2 柴油发电机组的技术要求

#### 2.1 带负荷稳定运行功能

(1)柴油发电机组启动成功后,保安负荷分级投入,各项参数指标正常。

(2)机组在功率因数为0.8的额定负载下运行,允许有累计1 h的1.1倍过载运行。

(3)整套柴油发电机组能满足不小于0.2倍柴油发电机额

定容量( $P$ )的四极笼型异步电动机全电压启动。

#### 2.2 自动调节功能

(1)柴油发电机组的空载电压整定范围为95%~105%,线电压波形正弦畸变率不大于 $\pm 2\%$ 。

(2)柴油发电机组在空载额定电压时的电压波形正弦畸变率不大于5%,柴油发电机组各部分温升不超过额定运行工况的水平。

(3)柴油发电机在一定的三相对称负载下,在其中一相加上25%的额定功率的电阻性负载,应能正常工作。

### 3 柴油发电机组配置

所配置的柴油发电机组容量能满足全厂厂用电中断后机组的应急保安电源需求,因此柴油发电机组选择型号为CATERPILLAR SR4B。卡特彼勒产品,主用额定功率520 kW(作为工作发电机运行的额定功率,允许过负荷到572 kW长期连续运行),备用额定功率520 kW(允许按520 kW长期连续运行,但不允许超载)。元件全套由美国卡特彼勒提供,整机在美国卡特彼勒有限公司合资的福州电机厂成套。

(1)额定电压:400/230 V。

(2)额定频率:50 Hz。

(3)额定转速:1 500 r/min。

(4)功率因数:0.8(滞后)。

(5)相数及接线:三相四线,Y接。

(6)中性点接地方式:直接接地。

(7)励磁方式:旋转无刷励磁、自励磁型并配套励磁调节器。

(8)绝缘:H级。

(9)电机外壳、机组及电气配套设备满足南方湿热工作条

同时增强交流市电与直流微电网的功率交换,具有较强的实用性。所提出的控制策略通过Matlab/Simulink仿真得到了验证。

#### [参考文献]

- [1] Planas E, Andreu J, Gárate J I, et al. AC and DC technology in microgrids: A review [J]. Renewable & Sustainable Energy Reviews, 2015, 43: 726-749.
- [2] 张犁, 孙凯, 吴田进, 等. 基于光伏发电的直流微电网能量变换与管理[J]. 电工技术学报, 2013, 28(2): 248-254.
- [3] 毕大强, 赵润富, 葛宝明, 等. 直流微电网能量控制策略的研究[J]. 电源学报, 2014(1): 1-7.

[4] 刘家赢, 韩肖清, 王磊, 等. 直流微电网运行控制策略[J]. 电网技术, 2014, 38(9): 2356-2362.

[5] 张永明, 丁宝, 傅卫东, 等. 基于直流配电与直流微网的电气节能研究[J]. 电工技术学报, 2015, 30(S1): 389-397.

收稿日期:2016-09-13

作者简介:杜彪(1973—),男,内蒙古包头人,硕士研究生,高级工程师,研究方向:光伏电站及微网设计咨询。