

分布式电源联合供电分层控制策略研究

安云鹏 赵锦成 刘金宁

(机械工程学院车辆与电气工程系 石家庄 050003)

摘要:为改善光伏发电系统供电不稳定性,本文以光伏电池为供电主体、直流源和锂离子蓄电池为补充单元,设计了一种小功率联合供电系统。在微电网分层控制的基础上提出了更适于系统优化运行的控制方法,并设计了中央控制器以及底层控制器。在 MATLAB 仿真环境下搭建了完整的联合供电系统仿真模型并在不同工况条件下进行了仿真研究,结果显示随着工况条件不断变化,系统总能够快速响应,合理分配功率分布,完成实时控制,充分验证了控制策略的正确性以及系统供电的智能化与稳定性。

关键词:联合供电;光伏;分层控制;MATLAB 仿真

中图分类号: TM914 TN710 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 470.40

Research on hierarchical control strategy of DG combined power system

An Yunpeng Zhao Jincheng Liu Jinning

(Department of Vehicle and Electrical Engineering, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China)

Abstract: In order to improve the power supply instability of photovoltaic power generation system, a new type of small power combined power supply system is designed, which includes the photovoltaic battery as the main body, the DC source and the lithium ion battery. Based on the hierarchical control of micro grid, a control method which is more suitable for system optimization is proposed, and the central controller and workshop controller are designed. In the MATLAB simulation environment, a complete simulation model of power supply system is built and the simulation study is carried out under different operating conditions. The results show that the system can quickly respond to the operating conditions. The system can quickly respond to the reasonable allocation of power distribution, complete real-time control. The simulation verifies the connectness the control strategy and the system power supply is intelligent and stability.

Keywords: combined power; photovoltaic; hierarchical control; MATLAB simulation

1 引言

随着新能源发电的推广与应用,联合供电技术已经成为研究热点。联合供电顾名思义就是多个电源经电压变换与母线相连给负载供电,电源可包括风力发电机(wind generator)、光伏电池(PV panel)、微型燃气轮机(micro-turbine)、燃料电池(fuel cell)及蓄电池(battery)等^[1]。其中,光伏发电以资源丰富、分布广泛、清洁等特点成为最具开发潜力的可再生能源之一^[2-3]。由于光伏发电输出功率受外界环境影响明显^[4],为提高供电可靠性,需加入稳定电源组成联合供电。目前国内对联合供电系统的研究多集中于新能源发电技术、储能装置的配备、供电单元特性分析及单独控制等方

面,成效显著。对整个供电系统优化控制方面的研究多集中在主从控制和对等控制,系统整体协调性不高,在面对各种复杂工况时自主性较差。

基于此,本文以光伏电池为供电主体、直流源和锂离子蓄电池为补充单元,设计了一种小功率联合供电系统,采用分层控制策略对系统运行进行优化控制,并在不同工况条件下进行了仿真研究,检验了控制策略的正确性以及系统供电的稳定性。

2 联合供电系统结构

联合供电系统结构如图1所示,为降低系统损耗并提高供电可靠性,系统采用直流母线连接方式。其中光伏发电系统经最大功率跟踪控制后与直流母线相连;直流源经

收稿日期:2015-09

DC/DC 变换后接入系统;分布式储能(distributed storage)采用锂离子^[5]蓄电池,通过双向 DC/DC 变换器接入系统实现能量的双向流动。

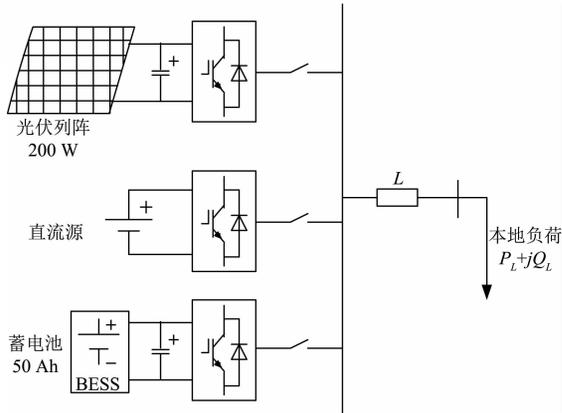


图1 基于光伏电池联合供电系统结构

3 系统控制策略

目前,常用的控制策略主要有3种:主从控制、对等控制和基于多代理技术的分层控制。这3种控制策略各有利弊,但代理的自治性、响应能力、自行为等特点,正好可以满足分布式电源分散控制的需要^[6],因此本文对系统的控制采用分层控制策略,控制系统结构如图2所示。

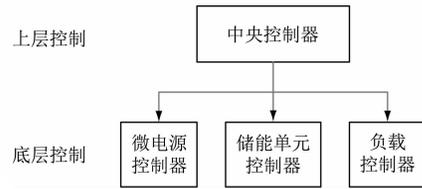


图2 控制系统结构示意图

由图可知,分层控制主要包括两个方面:一方面是系统上层能量管理优化分配控制,即中央控制器;另一个方面是底层微电源的控制策略。

3.1 中央控制器

中央控制器主要通过选择合适的优化算法使得系统内部各微源之间的功率分配达到最优分配,最终使系统的整体运行状况达到最优^[7],在系统中居于核心地位。

如图3所示为在 MATLAB 仿真环境下搭建的中央控制器仿真模型,输入端为蓄电池荷电容量、母线电压以及系统各部分功率参数,输出端为直流源开断控制信号和蓄电池充放电控制信号。在系统运行过程中,中央控制器实时监测蓄电池荷电容量、母线电压以及系统各部分功率并进行比较,通过功率比较确定系统工作模式并以母线电压、蓄电池荷电容量为辅助条件对系统进行协调控制。

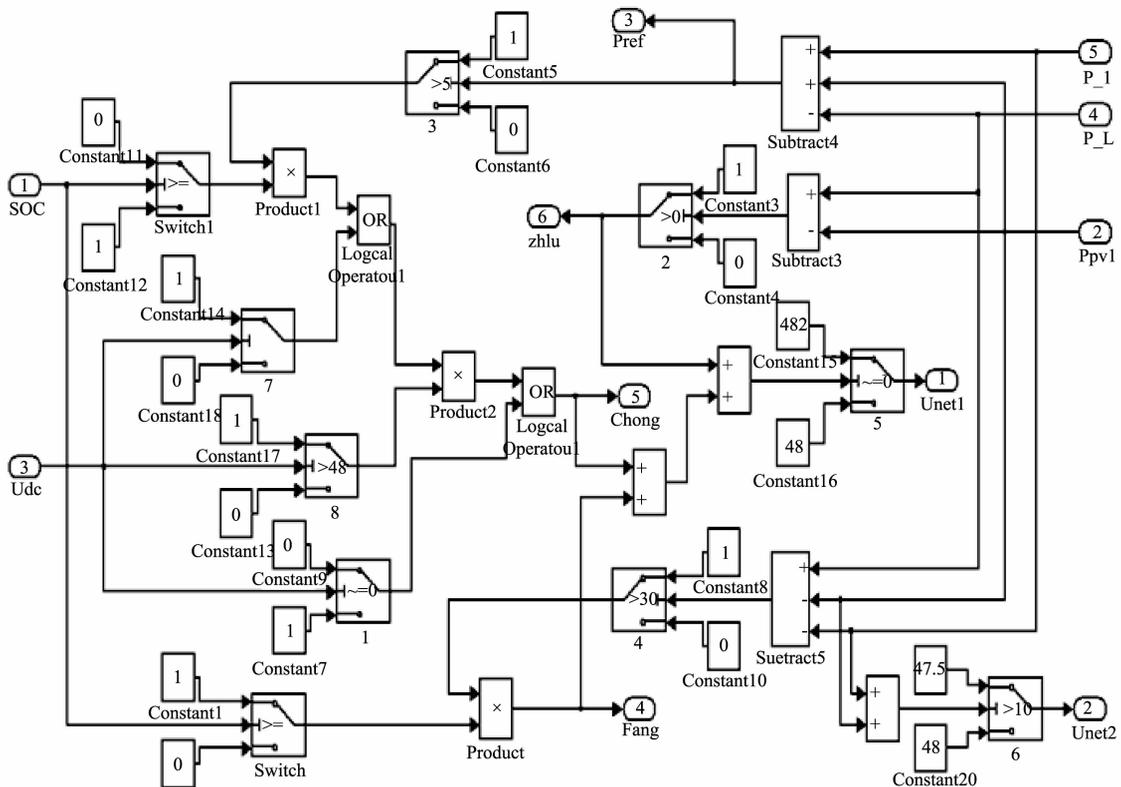


图3 中央控制器仿真模型

3.2 底层控制器

底层微源分散控制包括整体控制策略以及单一微源的接口控制。目前常用的整体控制策略主要是主从控制(master-slave control)和对等控制(peer-to-peer control)。本文采用对等控制策略,即所有微源都处于同等地位,各微源控制器之间无任何从属关系,每个微源都可以依据联入系统点的电压和频率,利用就地信息进行独立控制^[8],从而可以使系统各微源在运行过程中互不牵涉,实现即插即用的功能。

本系统中单一微源的接口控制主要包括:光伏系统最大功率跟踪控制、锂离子电池充放电控制、直流稳压控制、负荷优先级切入切出控制。根据各微源特性不同,接口控制方法也不尽相同。

光伏系统受环境影响较大,功率输出不稳定,为提高能源利用率,本文采用改进电导增量法进行最大功率跟踪并采用电压负反馈PID控制实现稳压控制^[9],为后期并联奠定基础。控制模型如图4所示,仿真结果如图5所示。

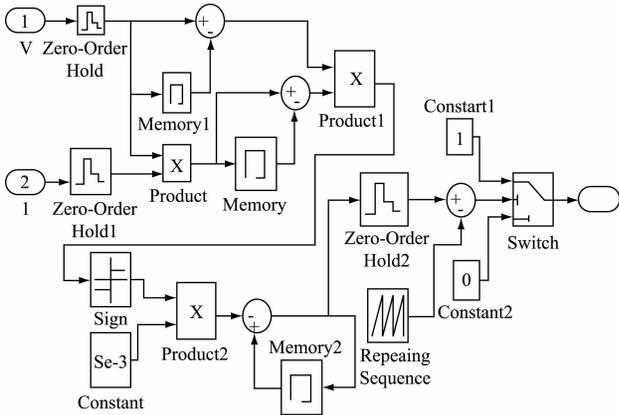


图4 最大功率点跟踪控制模型

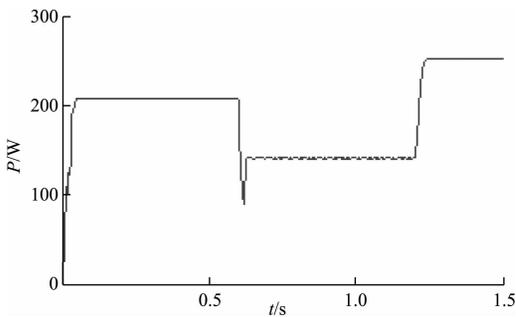


图5 最大功率跟踪控制仿真结果

图5中光照强度变化情况为: $t=0$ 时, $S=1\ 000\ \text{W}/\text{m}^2$; $t=0.6\ \text{s}$ 时, $S=700\ \text{W}/\text{m}^2$; $t=1.2\ \text{s}$ 时, $S=1\ 200\ \text{W}/\text{m}^2$ 。可以看出:随着光照强度的不断变化,光伏系统的输出功率总是可以快速跟踪并保持在最大功率点。

蓄电池兼具充电和放电特性,本文在基于双向DC/

DC变换器进行了充放电控制^[10]。蓄电池放电与直流母线相连,只需采用恒压控制即可,但充电过程主要吸收光伏系统输出功率,受环境影响较大,采用恒流充电不能使能源最大利用,故采用功率负反馈PID控制实现充电控制,控制模型如图6所示,仿真结果如图7所示。

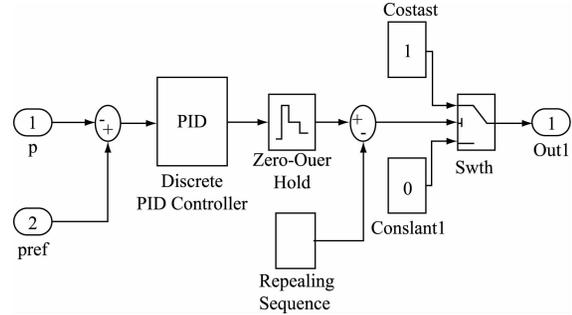


图6 蓄电池充电控制模型

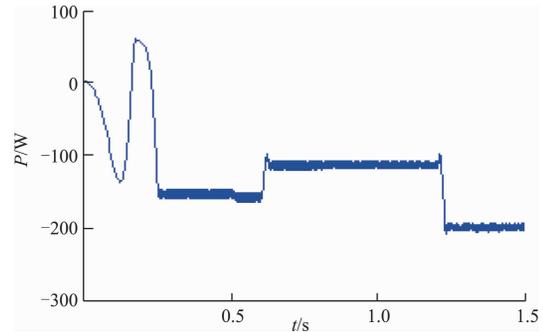


图7 蓄电池充电控制仿真结果

图7中光照强度变化情况与图5相同,负载功率为40W。可以看出:随着光照强度的不断变化,光伏系统的输出功率也随之变化,除去给负载正常供电外,剩余功率被蓄电池全部吸收进行充电,实现了能源利用最大化。

4 仿真验证

基于图1所示系统结构及上述控制策略,在MATLAB仿真环境下搭建完整的联合供电系统仿真模型,如图8所示,仿真模型中负荷采用纯阻性负载,系统仿真工况条件如表1所示,仿真结果如图9所示。

表1 系统仿真工况条件变化情况

时间/s	工况条件		
	光照强度 (S/ W/m^2)	负载功率 (P_L/W)	直流源
0	600	288	正常
1	700	288	正常
1.5	700	288	故障
2	1 200	40	故障

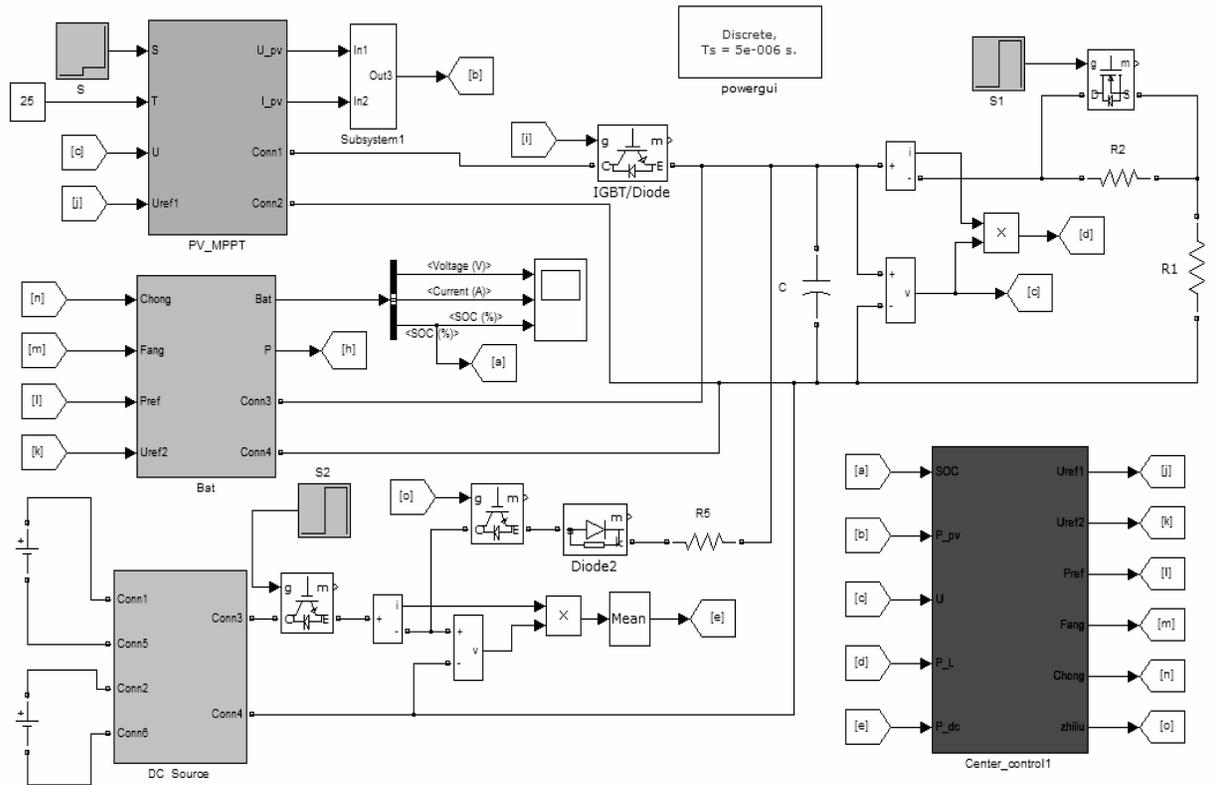


图8 联合供电系统仿真模型

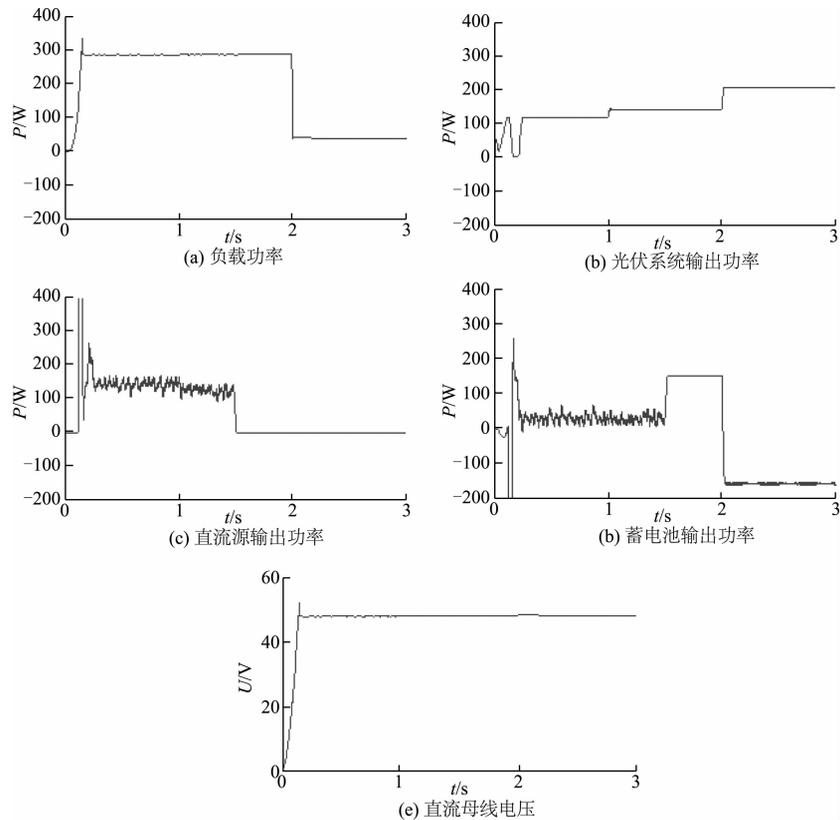


图9 系统运行仿真结果

系统开机运行时,负载功率较大,光照强度为 600 W/m^2 ,光伏系统输出功率小于负载功率,则由直流源补充不足功率,储能单元起能量调节作用,母线电压稳定在 48 V ; $t=1 \text{ s}$ 时,光照强度变为 700 W/m^2 ,输出功率增加,负载功率不变,直流源补充功率相应减少,母线电压几乎不受影响; $t=1.5 \text{ s}$ 时,直流源发生故障无法工作,则由蓄电池补充不足功率,母线电压略有增加,但仍稳定在 48 V ; $t=2 \text{ s}$ 时,光照强度增至 1200 W/m^2 ,输出功率增加,而负载功率突减,则剩余功率被蓄电池吸收进行充电,母线电压依旧稳定在 48 V 。

仿真结果可以看出在整个运行过程中,工况条件不断变化,系统总能够快速响应,合理分配功率分布,完成实时控制。母线电压持续稳定在 48 V ,验证了系统控制策略的准确性。

5 结论

光伏发电输出功率受外界环境影响明显,为提高供电可靠性,需加入稳定电源组成联合供电。本文以光伏电池为供电主体、直流源和锂离子蓄电池为补充单元,设计了一种小功率联合供电系统,控制策略采用分层控制,即上层控制和底层控制。上层控制主要是设计了基于系统各部分功率比较并辅以母线电压、蓄电池荷电容量参数进行控制的中央控制器,底层控制采用对等控制的整体控制策略并根据各微源不同特性设计了不同的接口控制方法。在 MATLAB 仿真环境下搭建了完整的联合供电系统仿真模型并在不同工况条件下进行了仿真研究,仿真结果表明当光伏输出功率小于负载功率时,直流源补充不足功率,蓄电池起能量调节作用;当光伏输出功率小于负载功率同时直流源出现故障时,蓄电池可以补充不足功率;当光伏输出功率大于负载功率时,蓄电池吸收剩余功率进行充电。而自始至终直流母线电压均可以稳定在 48 V 左右,这充分证明了控制策略的正确性以及系统供电的智能化与稳定性。

参考文献

- [1] 周念成,邓浩,王强钢,等. 光伏与微型燃气轮机混合微网能量管理研究[J]. 电工技术学报, 2012, 27(1): 74-84.
- [2] ROMAN E, ALONSO R, IBANEZ P, et al. Intelligent PV module for grid-connected PV systems[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2006, 53(4):1066-1073.
- [3] 林锥,王立德,周洁琼,等. 电力噪声作用下光伏电站监控系统可靠性研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2013, 23(12): 1170-1176.
- [4] 田雪,郑敏信. 基于 LabVIEW 的光伏储能控制系统设计[J]. 国外电子测量技术, 2014, 33(12): 53-56.
- [5] 刘大同,周建宝,郭力萌,等. 锂离子电池健康评估和寿命预测综述[J]. 仪器仪表学报, 2015, 38(1): 1-16.
- [6] 黄伟,孙昶辉,吴子平,等. 含分布式发电系统的微网技术研究综述[J]. 电网技术, 2009, 33(9): 14-18.
- [7] 陶银正. 微电网运行控制策略的研究及中央控制器的设计[D]. 合肥:合肥工业大学, 2012.
- [8] 赵方. 微电网中微源的能量管理及分散控制研究[D]. 秦皇岛:燕山大学, 2012.
- [9] 安云鹏,刘金宁,赵锦成. 基于改进电导增量法 MPPT 控制仿真研究[J]. 电子技术应用, 2015, 41(3): 130-132.
- [10] 田鹏,宋康,廖俊必,等. 磷酸铁锂电池性能测试与优化使用研究[J]. 电子测量技术, 2014, 37(12): 105-109.

作者简介

安云鹏,1991 年出生,男,硕士研究生,主要研究方向为联合供电系统能量管理与控制。

E-mail: anyunpeng2009@126.com