

For citation: Jia Zheng-Yi. Photovoltaic-storage power generation system and its control strategies // Grand Altai Research & Education — Issue 1 (24)'2025 (DOI: 10.25712/ASTU.2410-485X.2025.01) — EDN: <https://elibrary.ru/ABKRTX>

UDK 621.31

PHOTOVOLTAIC-STORAGE POWER GENERATION SYSTEM AND ITS CONTROL STRATEGIES

Jia Zheng-Yi¹

¹ Wuhan Textile University, Hubei Key Laboratory of Digital Textile Equipment,
College of Mechanical Engineering and Automation, Wuhan 430073, China
E-mail: 337906180@qq.com

Abstract. As the position of new energy power generation becomes increasingly crucial in the energy system, its inherent volatility and uncertainty have given rise to numerous severe challenges. This study conducts an in-depth exploration of the coordinated control technology of photovoltaic (PV) and energy storage. By establishing a power generation system that integrates PV and energy storage, leveraging the generator-like characteristics exhibited by distributed inverters, and applying the small-signal model analysis method, the control strategy is optimized. Based on the MATLAB/Simulink simulation platform, a PV and energy storage power generation system and a three-phase off-grid model have been constructed. The technical approaches to enhancing the system penetration rate and improving the performance of the microgrid are emphatically investigated, with the aim of providing solid theoretical support for addressing the difficult problem of the stability of new energy grid connection.

Keywords: Photovoltaic and energy storage power generation; Maximum power point; Inertia parameter; Coordinated control

光储发电系统及其控制策略

贾正一¹

¹ 武汉纺织大学, 湖北省数字化纺织装备重点实验室, 机械工程与自动化学院, 武汉, 430073
E-mail: 337906180@qq.com

摘要: 随着新能源发电在能源体系中的重要性日益提升, 针对其波动性和不确定性带来的挑战, 本研究聚焦光储协同控制技术, 通过构建光伏与储能相结合的发电系统, 利用分布式逆变器的类发电机特性和小信号模型分析方法优化控制策略. 基于 MATLAB/Simulink 平台搭建了光储发电系统及三相离网模型, 重点探讨提升系统渗透率和微电网性能的技术路径, 为解决新能源并网稳定性问题提供理论支持.

关键词: 光储发电; 最大功率点; 惯性参数; 协调控制

0 引言

随着经济的发展和能源需求的增加, 能源危机是我们共同面对的问题. 而风能, 太阳能和水能作为清洁, 可再生的能源, 着力研究可再生能源对于提高能源利用效率具有重要意义. 本文旨在光伏电系统的协调控制策略, 通过仿真模拟验证控制策略的有效性, 以期为实际应用提供理论依据.

1 储能系统分析

1.1 光储发电系统介绍

光电储存与电力供应体系. 由太阳能面板, 能量储存体系, 电力网以及负荷组成的光电储存与电力供应体系. 太阳能面板是一系列并联的电子线路, 将太阳光能转换为电能. 电力网将光能转化为电能并分配给各个用电设备. 负荷是由各种用电设备所产生的, 其大小和性质是随着负荷变化而变化的, 它对整个系统的影响是非常重要的, 但它在整个电力系统中所占比例很小. 存储设备. 在光伏面板中, 通常包含一个或多个存储设备, 用于确保系统的平衡和稳定. 它们通常由蓄电池或蓄电池组组成, 也可能由储能技术如超级电容器等提供支持. 逆变电源. 逆变电源是一种新型的电力供给方式, 具有很大的优越性, 但也具有一定的局限性. 图1 中给出了转换器的示意图, 微源部分主体由光伏系统组成, 而直流侧则集中在储能系统中.

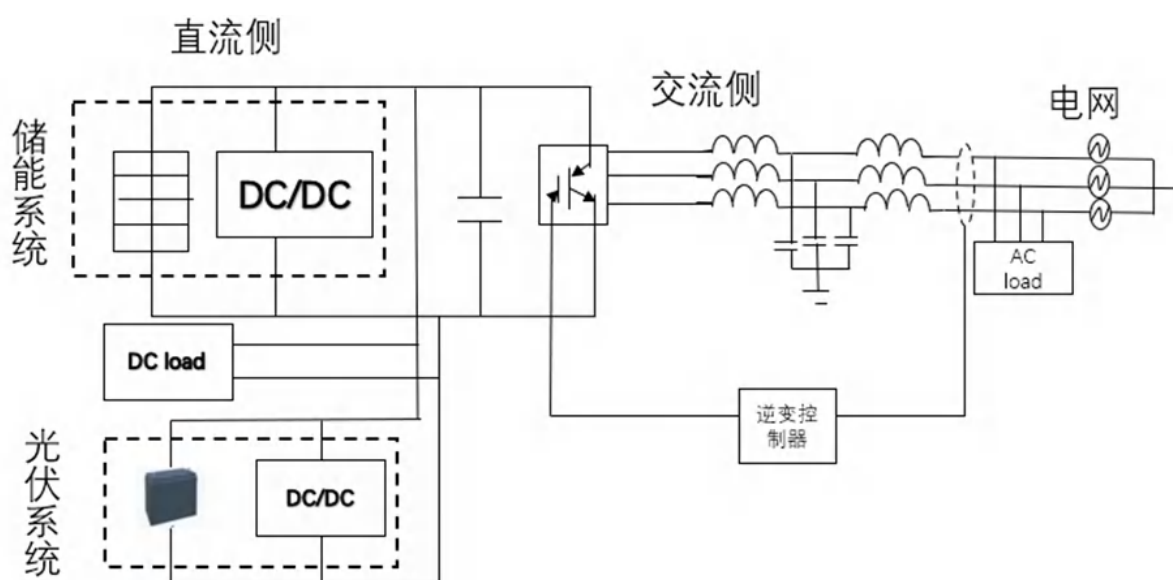


图1 光储发电简要示意图 [1]

Figure 1. Brief Schematic Diagram of Photovoltaic and Energy Storage Power Generation

1.2 光伏发电工作原理及模型

光伏电池是广泛存在的设备, 通常由硅制成, 在被照亮时可以产生电力. 它的工作原理是, 当光伏电池的表面被一些光照亮时, 半导体的 P-N 结暴露在来自太阳的光子下, 能量被转移到原子介子, 然后就形成了电子-空穴对, 因为电场的内在不稳定性, 电子-空穴对移动到带负电的 P 区和带正电的 N 区的空穴.

所以电荷分离在 P 域和 N 域之间形成了电场, 电池的顶部和底部表面作为电极, 电荷链以这样的方式连接, 光能可以直接转化成电能. 以上分析主要是通过半导体的光电效应, 它的工作原理如图2 所示. 可以看出, 光照强度越强, 产生的电量就越多.

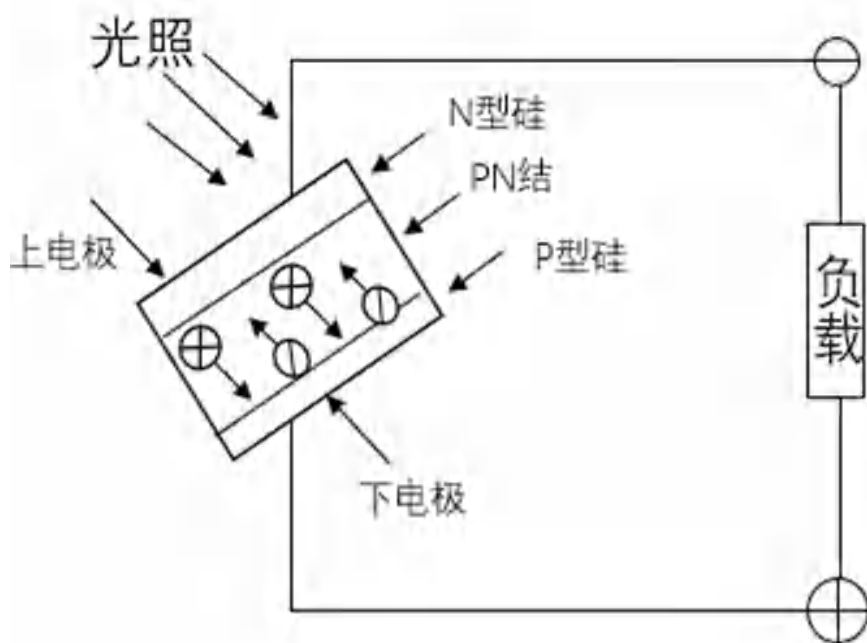


图2 光伏发电原理 [2]
Figure 2. The Principle
of Photovoltaic Power
Generation

2 储能系统及其特性

微电网中的分布式能源与负载具有随机平衡特性，维持分布式能源的可用性对微网稳定运行至关重要。储能系统作为核心组件，主要由电池单元，电池管理系统 (BMS) 和电能转换系统构成，不仅承担能量传输功能，还显著增强了系统的稳定性。

锂离子电池因其高功率输出，宽工作温度范围，快速充放电能力，低自放电率以及环保特性，成为微电网中广泛应用的储能技术。为延长电池组寿命，需通过 BMS 实现实时监测，控制，保护及紧急预警等功能。大型储能系统通常采用三级模块化架构，包括电池组管理系统，电池模块单元等。本文聚焦商业化应用，以锂离子电池为核心构建储能系统。当负载需求高于供电能力时，电池放电以维持系统运行；反之，电池充电以存储多余能量，从而提升系统惯性并优化能量利用效率。

2.1 蓄电池模型及控制原理

在光伏发电系统设计中，蓄电池模型如图3 所示而蓄电池的选择需综合考虑其性能参数。国内相关标准已对储能电池的短路电流，最大输出功率及充放电电流等指标提出明确要求，同时对电压，容量和荷电状态 (SOC) 等参数设定了较高标准。此外，系统设计还需结合安装区域的最大连续阴天日数等环境因素，合理确定电池的最大放电深度 (DOD)，以避免过度放电导致电池内部化学反应异常，造成电极材料表面电压差失衡，进而影响电池寿命和系统稳定性。

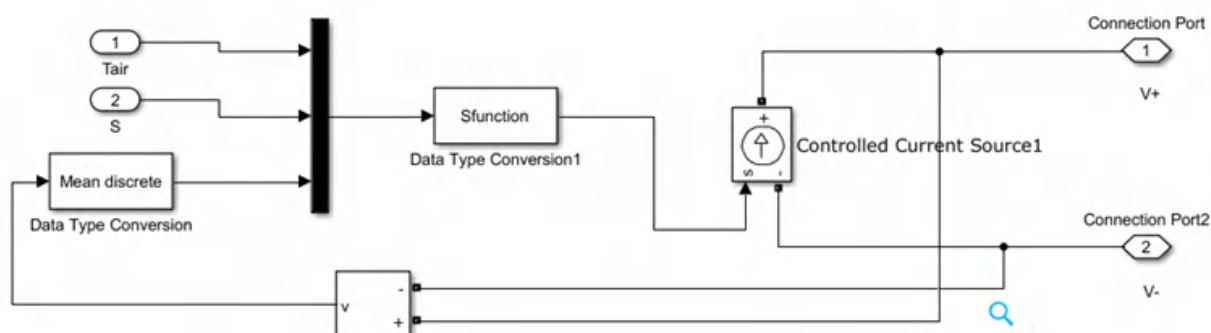


图3 蓄电池仿真模型 [4]

Figure 3. Simulation Model of Storage Battery

储能侧的逆变器应用双向降压/升压电路, 它的结构如图4 所示. I_b 是电池充放电电流; L_b 是锂电池输出侧电感; C_{dc} 是直流侧电压调节器; U_{dc} 是直流输出电压 D_{boost} 和 D_{buck} 是双向 DC/DC 转换器启动信号.

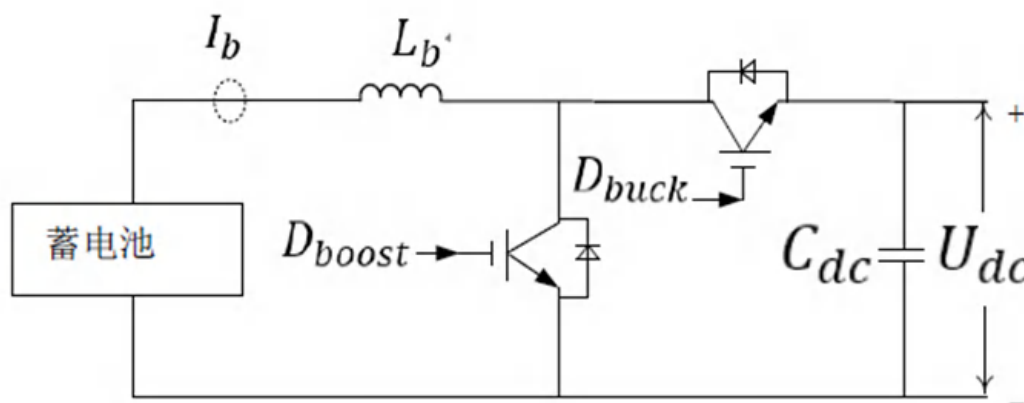


图4 双向 DC/DC 结构图 [4]

Figure 4. Structural Diagram of Bidirectional DC/DC Converter

3 光储互补发电系统

3.1 光储系统结构

光伏储能系统其组成为: 逆变器, 储能系统, 发电系统, 直流负载和交流负载. 图5 为一套光电能量储存装置. 在此基础上, 通过直流/直流变流器对阵列所产生之输出电压进行提升及调整, 最终达到最大之功率追踪, 使阵列所产生之光能得到最大程度的利用.

在该储能设备中双向 DC/DC 变换器采用了全桥电路来实现双向变换功能. 通过与直流母线进行电能交换, 产生稳定的直流电压. 在逆变, 整流方式下工作的双向 DC/AC 变换器, 其作用是在交, 直流母线之间进行能量交换, 并保证了系统的稳定性. 具体的操作方式要结合实际情况确定.

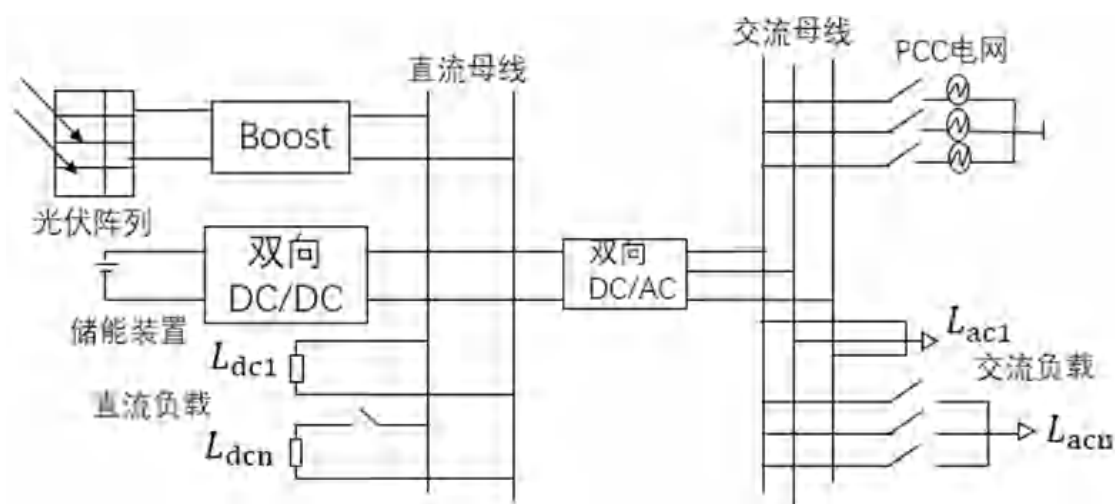


图5 光储发电系统结构 [5]

Figure 5. The Structure of Photovoltaic and Energy Storage Power Generation System

3.2 光储系统的模型分析

在光伏储能微电网中, 光伏逆变器的输出功率通常呈现波动性和不均匀性. 为应对这一问题, 储能系统中的双向 DC/DC 转换器可模拟同步机的惯性特性, 而双向 DC/AC 转换器则通过优化控制策略实现交流与直流母线间的功率平衡. 当光伏发电量超过负载需求时, 需通过功率限制控制策略进行调节, 光伏逆变器通常采用最大功率点跟踪 (MPPT) 和恒压控制方式. 储能逆变器通过充放电模式运行, 并网逆变器则采用整流与逆变相结合的方式. 通过协调控制光伏阵列, 储能装置及网侧逆变器等环节, 实现直流节点电压的分层调节, 从而确保电力系统稳定运行, 并有效降低系统冲击.

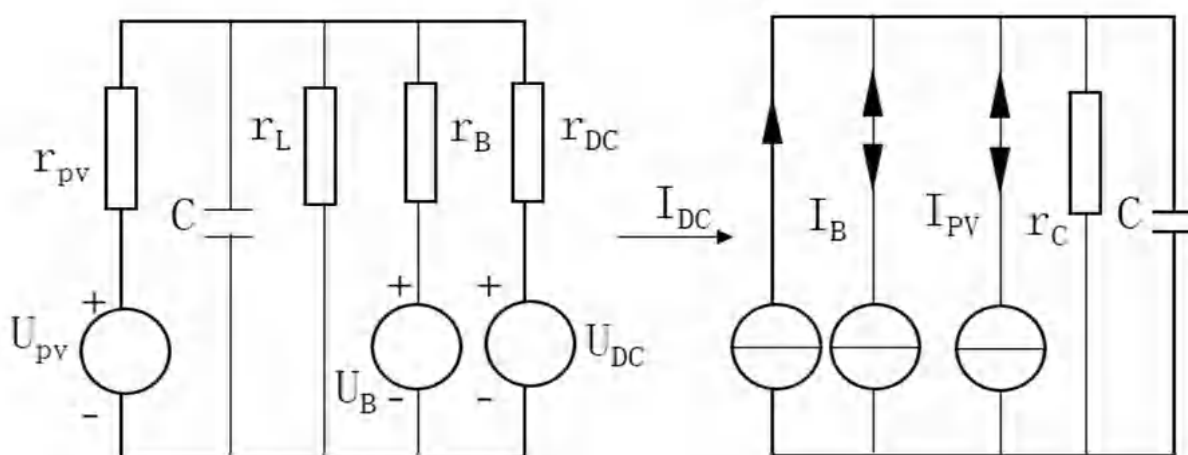


图6 光储系统的简化电路及其等效电路 [6]

Figure 6. The simplified circuit and its equivalent circuit of the photovoltaic and energy storage system

如图6 所示, 直流母线上连接了储能装置和网侧逆变器. 储能装置可采用蓄电池或超级电容, 通过充放电操作实现与交流电网的平滑切换; 网侧逆变器则通

过调控直流母线与交流电网的连接, 确保切换过程的稳定性. 图中展示了太阳能电池储能系统的简化结构及其等效电路.

从图6 可以看出, 储能装置和网侧逆变器可等效为一个双向电流源, 表明电压 U_B 具备可调节性. 电容器在维持电压稳定和能量平衡中起关键作用, 从而保障系统运行的可靠性和安全性.

4 结束语

本文聚焦光储协同控制技术, 针对光伏发电系统展开系统性分析与优化. 通过将光伏电站与储能电站有机结合, 提出并验证了协调控制策略, 仿真结果表明该策略能有效提升系统运行效率. 研究成果为增强可再生能源利用率提供了理论依据和实践参考, 对推动新能源发电技术发展具有重要意义.

参考文献

- [1] 魏远, 张欢畅, 刘世友, 孙旭东, 周祥. 光储联合发电系统站级功率控制器及其仿真研究 [J]. 电力勘测设计, 2021(01):1-7.
- [2] 晏鑫. 高海拔地区光储发电系统的建模与仿真分析 [J]. 中国高新科技, 2021(02):31-33.
- [3] 吴永斌, 王素娥, 熊连松, 张东辉, 许昭. 光储一体化并网发电系统的惯量阻尼机理分析 [J]. 电力系统自动化, 2020, 44(06):129-137.
- [4] 范亚楠. 基于虚拟同步电机的光储发电系统控制研究 [D]. 上海电机学院, 2020.
- [5] 曾国宏, 郭亚男, 吴学智, 潘一飞. 基于光储模块的发电系统及其控制策略研究 [J]. 电力电子技术, 2019, 53(06):72-75+103.
- [6] 祁明, 张逸婕, 于晓蒙. 基于储能电站调度的光储发电系统运行优化措施 [J]. 中国科技信息, 2019(24):80-81.

References

- [1] Wei Yuan, Zhang Huanchang, Liu Shiyu, Sun Xudong, Zhou Xiang. Station-level Power Controller of Photovoltaic and Energy Storage Combined Power Generation System and Its Simulation Research [J]. Electric Power Survey & Design, 2021(01): 1-7.
- [2] Yan Xin. Modeling and Simulation Analysis of the Photovoltaic and Energy Storage Power Generation System in High-altitude Areas [J]. China High-tech, 2021(02): 31-33.
- [3] Wu Yongbin, Wang Sue, Xiong Liansong, Zhang Donghui, Xu Zhao. Analysis of the Inertia Damping Mechanism of the Integrated Photovoltaic and Energy Storage Grid-connected Power Generation System [J]. Automation of Electric Power Systems, 2020, 44(06): 129-137.
- [4] Fan Yanan. Research on the Control of Photovoltaic and Energy Storage Power Generation System Based on Virtual Synchronous Machine [D]. Shanghai Dianji University, 2020.
- [5] Zeng Guohong, Guo Yanan, Wu Xuezhi, Pan Yifei. Research on the Power Generation System Based on Photovoltaic and Energy Storage Modules and Its Control Strategy [J]. Power Electronics Technology, 2019, 53(06): 72-75 + 103.
- [6] Qi Ming, Zhang Yijie, Yu Xiaomeng. Operation Optimization Measures of the Photovoltaic and Energy Storage Power Generation System Based on the Scheduling of the Energy Storage Power Station [J]. China Science and Technology Information, 2019(24): 80-81.