

# 光储逆变升压一体机集成优化设计

欧林龙 朱达 李显东

宁波奥克斯智能科技股份有限公司

DOI: 10.32629/jpm.v7i3.8802

**[摘要]** 针对传统光储系统中逆变、升压、储能控制模块分立布置导致的体积庞大、能耗偏高、协同性不足等技术瓶颈，本文开展光储逆变升压一体机集成优化设计研究。通过模块集成架构创新、功率拓扑优化及控制策略改进，实现各功能模块的高度集成与协同运行，提升系统能量转换效率与运行稳定性，降低设备制造成本与运维难度。研究表明，优化后的一体机可有效缩减设备体积，提升能量转换效率，满足分布式光伏储能系统的高效运行需求。

**[关键词]** 光储一体机；逆变升压；集成设计；拓扑优化；能量管理

## Integrated Optimization Design of Photovoltaic-Storage Inverter-Step-Up System

Ou Linlong Zhuda Li Xiandong

Ningbo AUX Intelligent Technology Co., Ltd.

**[Abstract]** To address technical bottlenecks in traditional PV-storage systems caused by discrete deployment of inverter, step-up, and energy storage control modules—including excessive size, high energy consumption, and insufficient coordination—we conducted integrated optimization design research for a photovoltaic-storage inverter-step-up system. Through innovative modular architecture design, optimized power topology, and improved control strategies, this study achieves high-level integration and coordinated operation of functional modules, enhancing system energy conversion efficiency and operational stability while reducing manufacturing costs and maintenance complexity. Results demonstrate that the optimized integrated system effectively reduces equipment footprint, improves energy conversion efficiency, and meets the high-efficiency operational requirements of distributed photovoltaic energy storage systems.

**[Key words]** Integrated photovoltaic-storage system; Inverter voltage boosting; Integrated design; Topology optimization; Energy management

### 引言

全球能源结构转型进程持续推进，光伏储能技术作为清洁能源利用的核心支撑，其系统集成化水平直接决定能源利用效率与产业发展质量。传统光储系统采用逆变、升压、储能控制等模块分立设计模式，存在设备冗余、接口复杂、能量损耗环节较多等问题，难以适配分布式光伏场景的小型化、高效化需求<sup>[1]</sup>。在此背景下，光储逆变升压一体机凭借集成度高、能耗低、运维便捷等优势，成为光储系统发展的重要方向。本文聚焦一体机集成优化的核心技术，从架构、拓扑、控制三个维度

开展设计研究，为光储一体机的工程化应用提供理论支撑与技术参考。

### 1 光储逆变升压一体机集成设计基础

#### 1.1 一体机集成设计核心目标

光储逆变升压一体机集成优化设计以实现系统高效化、小型化、可靠化为宗旨，兼顾经济性、可扩展性。高效化要求最大限度地减少能量转换过程中各种损耗，提高系统整体能量利用效率；小型化就是通过模块集成来缩小设备占地面积和体积，满足不同应用场景的安装需求；可靠化要求保证一体机在

复杂工况下稳定运行，降低故障发生率；经济性要求简化结构、减少器件用量，降低设备制造成本和全生命周期运维成本；可扩展性要求设计方案可以适应不同容量的光伏组件和储能单元，满足场景化定制需求。

### 1.2 集成设计核心约束条件

一体机集成设计要面对诸多约束条件，电气性能约束属于主要的约束条件。电压等级约束要和光伏组件的输出电压范围以及电网接入电压标准相匹配，保证逆变、升压环节的电压匹配性，功率等级约束要根据应用场景的功率需求，合理设计功率模块的容量，防止过载运行造成设备损坏。热约束上，模块集成之后器件密度增大，热量积聚明显，需要合理地进行热设计来控制设备运行温度，防止高温造成的性能下降和寿命缩短。电磁兼容约束要求一体机运行时产生的电磁干扰要符合相关标准，不能对自身及周边的电气设备造成影响。成本约束、安装约束也要考虑进去，达到技术性能和经济性的统一。

## 2 光储逆变升压一体机集成架构优化

### 2.1 传统分立架构存在的问题

传统光储系统的逆变模块、升压模块、储能控制模块采用分立布置方式，各模块之间通过电缆连接，存在诸多弊端。接口数量过多导致系统可靠性降低，电缆连接环节易产生接触不良、损耗增加等问题；各模块独立设计导致设备整体体积庞大，占用较多安装空间，不适用于分布式光伏等空间有限的场景；模块间协同控制难度较大，无法实现能量流的最优分配，易出现能量浪费现象；分立设计增加了器件用量与装配工序，导致设备制造成本与运维成本居高不下，制约了光储系统的规模化应用<sup>[2]</sup>。

### 2.2 一体化集成架构设计

基于传统架构的不足，本文提出一种高度集成的一体机架构，将逆变模块、升压模块、储能控制模块、能量管理模块整合为一个整体，采用共用散热系统与控制系统的设计思路，大幅简化系统结构。架构设计中，将光伏输入接口、储能接口、电网输出接口集中布置，减少接口数量与电缆用量；通过模块化设计理念，将功率器件、控制电路、保护电路等集成于同一PCB板，提升空间利用率；采用分层布局方式，将发热器件与敏感元件分离布置，降低热干扰与电磁干扰，保障系统运行稳定性。该集成架构实现了各模块的物理集成与功能协同，为后续拓扑优化与控制策略改进奠定基础。

### 2.3 集成架构可靠性设计

可靠性设计是一体机集成架构优化的重要组成部分，需从器件选型、结构设计、保护机制三个方面开展。器件选型环节，优先选用耐高温、低损耗、高可靠性的功率器件与电子元件，降低器件故障概率；结构设计中，采用密封式外壳设计，防止灰尘、湿气等外界因素对内部电路造成影响，同时优化外壳散热结构，提升散热效率；保护机制方面，集成过流保护、过压

保护、过热保护、短路保护等多重保护功能，当系统出现异常工况时，能够快速切断故障回路，避免故障扩大，保障设备与人员安全。此外，通过冗余设计提升系统容错能力，确保单一模块故障时，系统仍能维持基本运行。

## 3 光储逆变升压一体机功率拓扑优化

### 3.1 传统功率拓扑的局限性

传统光储系统中，逆变环节与升压环节采用独立拓扑结构，逆变环节多采用两电平或三电平拓扑，升压环节多采用Boost拓扑。两电平拓扑存在输出谐波含量高、开关损耗大等问题，三电平拓扑虽能改善输出波形，但结构复杂、控制难度大；独立的Boost拓扑导致升压环节能量损耗较高，且与逆变环节的协同性较差，无法实现能量转换效率的最大化。此外，传统拓扑结构中，储能单元的充放电控制与逆变、升压环节分离，易出现能量流分配不合理的现象，影响系统整体性能。

### 3.2 新型集成功率拓扑设计

为解决传统拓扑的局限性，本文设计一种新型集成功率拓扑，将逆变拓扑与升压拓扑有机融合，实现光伏能量转换、储能充放电控制与电网接入的一体化。该拓扑采用三电平NPC逆变拓扑作为核心结构，兼顾输出波形质量与开关损耗控制，通过优化开关管的驱动策略，进一步降低开关损耗；将Boost升压环节集成于逆变拓扑的直流侧，取消独立的升压模块，简化拓扑结构，减少能量损耗环节；引入储能接口电路，实现储能单元与拓扑结构的无缝集成，通过能量流控制实现光伏能量的实时分配与储能单元的充放电管理。新型集成拓扑大幅提升了能量转换效率，同时简化了电路结构，降低了器件用量。

### 3.3 拓扑参数优化设计

拓扑参数的合理设计直接影响一体机的运行性能，需结合系统功率等级、电压等级等需求，对拓扑中的关键参数进行优化。开关频率的优化需兼顾开关损耗与输出谐波，通过权衡两者关系，确定最优开关频率，在降低开关损耗的同时，确保输出谐波含量符合相关标准；滤波参数的优化主要针对直流侧滤波电容与交流侧滤波电感，通过合理选择电容容量与电感值，抑制电压波动与电流谐波，提升系统运行稳定性；功率器件参数的优化需根据系统最大输出功率，选择合适的额定电压与额定电流，确保器件在额定工况下稳定运行，同时预留一定的冗余量，提升系统抗过载能力。

## 4 光储逆变升压一体机控制策略优化

### 4.1 控制策略设计原则

光储逆变升压一体机的控制策略要遵照协同性、高效性、稳定性这三个准则。协同性原则即控制策略要实现光伏发电、储能充放电和电网接入的协同运行，合理分配能量流，最大限度地利用光伏清洁能源；高效性原则就是通过优化控制算法来降低能量转换过程中的损耗，提高系统能量利用效率；稳定性原则就是控制策略要有较强的抗干扰能力，能适应光伏辐照

度、负载变化等复杂工况，保证系统输出电压、电流的稳定性，保证电网接入质量。

#### 4.2 能量管理控制策略优化

能量管理控制策略是一体机控制的关键，它的优化目标就是实现能量流的最优分配。本文提出一种基于模型预测控制的能量管理策略，建立系统能量流模型，实时采集光伏输出功率、储能剩余容量、电网负荷需求等参数，预测不同工况下能量分配方案。光伏输出功率大于电网负荷需求时，控制储能单元充电，把多余的能量储存起来；光伏输出功率小于电网负荷需求时，控制储能单元放电，补充能量缺口，保证电网供电稳定。同时使用功率平滑控制算法来抑制光伏功率波动对电网的影响，提高电网接入的稳定性。

#### 4.3 逆变升压协同控制策略优化

逆变升压协同控制策略的优化就是提高两者协同运行的效率，减小能量损耗。传统的控制方式中逆变环节和升压环节是分开控制的，响应速度慢、协同性差。本文采用统一协同控制算法，把逆变控制和升压控制整合成一个整体，通过共享控制参数和反馈信息来达到两者的同步响应。在升压控制上用自适应 PI 控制算法，根据直流侧电压变化实时调节控制参数，保证升压过程的稳定性和快速性，在逆变控制上用模型预测电流控制算法，提高输出电流的跟踪精度，降低输出谐波含量。依靠协同控制，使逆变和升压环节可以无缝对接，从而提高整个系统的能量转换效率。

### 5 集成优化设计的工程化考量

#### 5.1 散热系统优化设计

模块集成之后，器件密度明显提高，热量积聚问题突出，散热系统优化设计成了保证一体机稳定运行的重要因素。本文采用强制风冷和自然散热相结合的复合散热方式，根据各个器件的发热功率合理布置散热通道和散热片。功率器件等高热耗器件用散热片和风扇组合的强制风冷方式提高散热效率，控制电路等低热耗器件用自然散热方式降低系统能耗。同时对散热片的结构、布置方式进行优化，增大散热面积，减少热量积聚，保证各个器件的运行温度在允许范围内，防止高温造成性能下降和寿命缩短。

#### 5.2 成本控制与经济性分析

集成优化设计要兼顾技术性能和经济性，用结构简化、器件集成等手段来降低设备制造成本。器件选型上优先选择性价比、通用性强的器件，减少专用器件的使用，降低采购成本；结构设计上通过模块集成减少器件用量和装配工序，降低生产成本和人工成本；运维上一体化设计减少接口数量和故障点，降低运维难度和运维成本。经济性分析结果表明，优化后的光储逆变升压一体机制造成本比传统的分立式系统低，全生命周期运维成本也大大降低，具有较好的市场竞争力。

#### 5.3 标准化与可扩展性设计

标准化设计是工程化应用一体机的前提，本文按照相关行业标准和电网接入标准，对一体机的接口规格、控制协议、性能参数等进行标准化设计，保证设备的兼容性、互换性。可扩展性设计上采用模块化设计思想，留有光伏组件、储能单元的扩展接口，根据应用场景的功率需求，可以灵活地增加光伏组件、储能单元的数量，实现系统容量的扩展。设计出可以升级的控制软件，根据技术的发展以及应用需求，通过软件升级来提高设备的使用寿命和适用性。

### 6 结论与展望

#### 6.1 结论

本文对光储逆变升压一体机的集成优化设计进行系统研究，用架构创新、拓扑优化、控制策略改进来解决传统光储系统分立设计存在的体积大、能耗高、协同性差等问题。一体化集成架构设计把各个功能模块高度整合在一起，大大简化了系统的结构，提高了空间利用率；新型集成功率拓扑的应用降低了能量转换损耗，改善了输出性能；优化后的控制策略实现了能量流的最优分配和各个模块的协同工作，提高了系统运行的稳定性以及能量利用效率。工程化设计考虑进一步保证一体机的可靠性、经济性、可扩展性，给一体机的工程化应用提供有力支持。

#### 6.2 展望

随着光伏储能技术的不断发展，光储逆变升压一体机的集成化程度会越来越高。未来研究可以集中在高性能功率器件的应用上，进一步降低能量损耗，提高系统的功率密度；深入研究智能控制算法，结合大数据、人工智能等技术，实现系统的自适应控制和智能运维；探索多能源协同集成模式，将光伏、储能和其他清洁能源结合起来，构建更加高效、稳定的综合能源系统。同时还要加强行业标准的完善，推进光储逆变升压一体机的规模化、标准化应用，给全球能源结构转型提供更好的技术支撑。

### [参考文献]

- [1]杨旭红, 金宏艳, 刘众鑫, 等. 光储逆变器的虚拟同步机自适应控制策略研究 [J]. 电力科学与技术学报, 2024, 39 (02): 181-189. DOI: 10.19781/j.issn.1673-9140.2024.02.020.
- [2]郭义娜, 王勇. 光储逆变器自适应分数阶重复控制 [J]. 电力电子技术, 2024, 58 (03): 71-74.

作者简介：欧林龙，出生年月：1987-07-02，男，汉族，籍贯：宁波象山，学历：本科，职称：中级工程师，研究方向：光储逆升压一体机。