DOI：10.13234/j.issn.2095-2805.2026.6.39 **中图分类号**：TM464 **文献标志码**：A

多输入逆变器拓扑结构与能量管理研究综述

曾汉超(中国电源学会高级会员)，郑向荣，邱琰辉，张达敏(中国电源学会会员)，
张 强(中国电源学会会员)
(厦门市高端电力装备及智能控制重点实验室(厦门理工学院)，厦门 361024)

摘要：多输入逆变器可将多种新能源联合发出的直流电转换为电网所需的交流电，有效地克服了单一新能源供电带来的电力供应可靠性低、电能质量差、功率波动大等问题。结合国内外研究现状，按直流变换器类型和功率变换级数，将多输入逆变器的拓扑结构分成两级单输入直流变换器型逆变器、两级多输入直流变换器型逆变器和单级多输入逆变器 3 类。详细论述了各种多输入逆变器的优缺点及在不同应用场合下的能量管理；对比分析了不同拓扑结构多输入逆变器的电路复杂性、控制难易程度、成本和变换效率等，为该领域的进一步研究与发展提供了参考。

关键词：多输入逆变器；功率变换级数；能量管理；新能源发电

Review of Topologies and Energy Management of Multi-input Inverters

ZENG Hanchao, *Senior Member*, *CPSS*, ZHENG Xiangrong, QIU Yanhui,
ZHANG Damin, *Member*, *CPSS*, ZHANG Qiang, *Member*, *CPSS*
(Xiamen Key Laboratory of Frontier Electric Power Equipment and Intelligent Control (Xiamen University of Technology), Xiamen 361024, China)

Abstract: A multi-input inverter is capable of converting the direct current (DC) generated by multiple new energy sources into the alternating current (AC) required by power grids, effectively solving the problems caused by single new energy power supply such as low power supply reliability, poor power quality and significant power fluctuations. Based on the research status both at home and abroad, the topologies of multi-input inverters are classified into three categories according to the types of DC-DC converters and stages of power conversion, i.e., two-stage single-input DC-DC converters, two-stage multi-input DC-DC converters and single-stage multi-input inverters. A detailed discussion on various types of multi-input inverters is carried out, including their advantages and disadvantages, as well as the corresponding energy management under different application scenarios. Furthermore, a comparison of circuit complexity, control difficulty, cost and conversion efficiency among the multi-input inverters with different topologies is performed, providing a reference for further research and development in this field.

Keywords: Multi-input inverter; stage of power conversion; energy management; new energy power generation

收稿日期：2024-06-19；**修回日期**：2024-07-29；**录用日期**：2024-08-23；**网络首发日期**：2024-09-20
基金项目：福建省自然科学基金资助项目(2022J011260)；新能源发电与电能变换福建省重点实验室开放课题(KFKL202508)
This work is supported by the Natural Science Foundation of Fujian Province under the grant 2022J011260; the Open Fund of Fujian Key Laboratory of New Energy Generation and Power Coversion under the grant KFKL200508

传统化石能源的大规模开采和使用，导致环境污染和能源危机等问题日益严峻，对全球能源安全构成重大威胁。自“双碳”目标提出以来，我国的新型能源体系加速构建，能源、经济与环境协调发展。但是，现今能源发展仍面临着需求压力大、绿色低碳转型困难等诸多挑战，大力发展新能源发电

技术是应对这一系列挑战的必经之路[1-2]。截至2025 年 12 月，国内新能源总装机容量连续突破，达到了 23.4 亿千瓦时，同比增长 24%，占全国发电总装机容量的 60%；可再生清洁能源发电量达到 3.99 万亿千瓦时，同比增长 15%，约占全社会用电量的 38%。

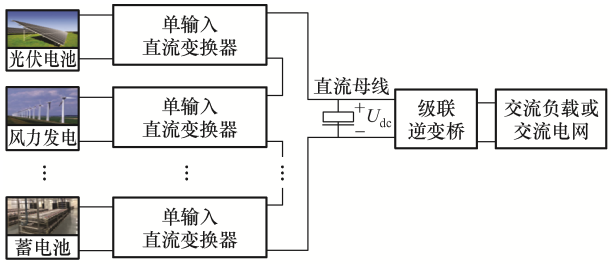
尽管新能源发电技术被视为解决电力需求与能源危机之间冲突的关键途径，但在实际应用中，大部分新能源发电设备的性能会受到季节、昼夜变化及天气条件的显著影响。当只采用单一类型的新能源来满足不同状态下客户的电力需求时，供电系统往往会出现可靠性低、电能质量差、功率波动大等问题，这些都极大地影响了发电质量和发电效率，阻碍了新能源发电技术在实际生活中的推广应用[3-6]。为了克服单一新能源发电系统带来的缺陷，需要使用多种新能源联合供电的方式来进行发电，以提高新能源的利用效率和供电稳定性。多输入逆变器作为多能源发电系统的关键设备，其性能的优劣将直接决定整个多能源发电系统的转换效率和成本[7-9]。

本文紧随多输入逆变器的发展趋势，根据直流变换器类型和功率变换级数的不同，将多输入逆变器的电路结构分成两级单输入直流变换器型逆变器、两级多输入直流变换器型逆变器和单级多输入逆变器 3 种类型[10]。详细介绍了各种多输入逆变器的电路拓扑及在不同应用场合下的能量管理模式与控制策略；从电路复杂性、控制难易程度、变换效率等角度对不同拓扑结构的多输入逆变器进行深入比较，分析了不同多输入逆变器的优缺点。

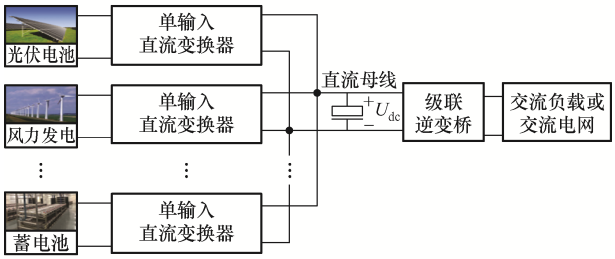
1 多输入逆变器拓扑结构

1.1 两级单输入直流变换器型逆变器

两级单输入直流变换器型逆变器的电路结构如图 1 所示[11-12]，此类多输入逆变器把前级的多个单输入直流变换器在输出端以串联或并联的形式连接到公共的直流母线上，后级级联的逆变桥将直流母线电压逆变为可供负载使用的交流电或直接并网，实现了多种新能源的联合供电[13-14]。



(a) 输出端串联



(b) 输出端并联

图 1 两级单输入直流变换器型逆变器电路结构

Fig. 1 Circuit structure of inverter based on two-stage single-input DC-DC converter

文献[15]中提出了一种两级单输入直流变换器型逆变器，其前级输出端采用串联的连接形式，电路拓扑如图 2 所示。该多输入逆变器前级的多个光伏电池分别通过多个四开关 Buck-Boost 直流变换器进行电能变换，其多个直流变换器可以独立工作，开关管电压应力小，升降压范围大；但是由于存在多个直流变换器，整体电路结构较复杂，成本较高，且为两级功率变换，变换效率不高。文献[16]提出了一种多能源供电的两级逆变器，电路拓扑如图 3 所示。前级的多个单输入 Boost 型直流变换器在输出端采用并联的形式连接到直流母线上，后级的 Buck 型逆变器对输出电压进行稳压控制，为交

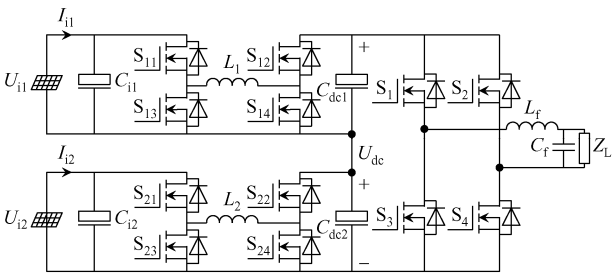


图 2 文献[15]所提出的电路拓扑

Fig. 2 Circuit topology proposed in Ref. [15]

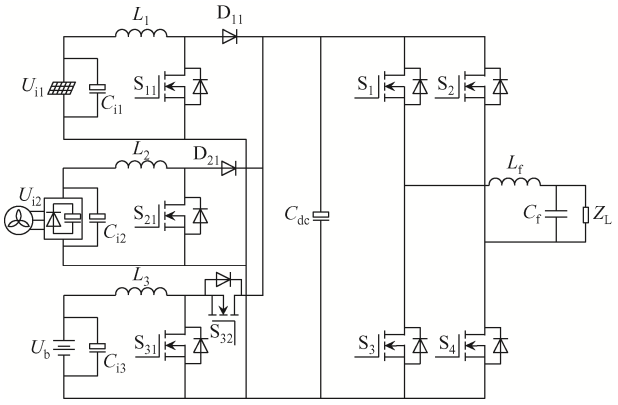


图 3　文献[16]所提出的电路拓扑

Fig. 3 Circuit topology proposed in Ref. [16]

流负载提供稳定电能。与输出串联式电路相比，输出并联式电路的直流母线需采用较高电压等级、较低容值的电解电容。此外，输出串联式电路还需考虑每组母线电容上的电压均衡问题。

1.2　两级多输入直流变换器型逆变器

为简化电路结构、降低成本，可用 1 个多输入直流变换器代替前级的多个单输入直流变换器，构成如图 4 所示的两级多输入直流变换器型逆变器[17-18]。文献[19]提出了一种组合 Buck/Buck-Boost 两级多输入直流变换器型逆变器，其电路拓扑如图 5 所示。该

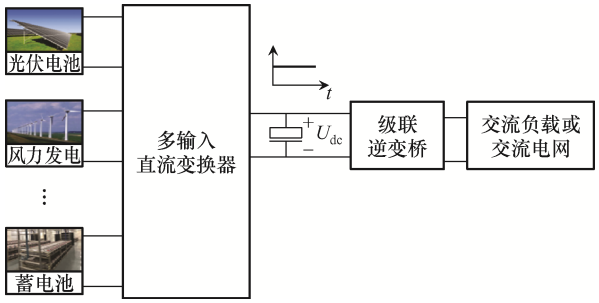


图 4　两级多输入直流变换器型逆变器电路结构

Fig. 4 Circuit structure of inverter based on two-stage multi-input DC-DC converter

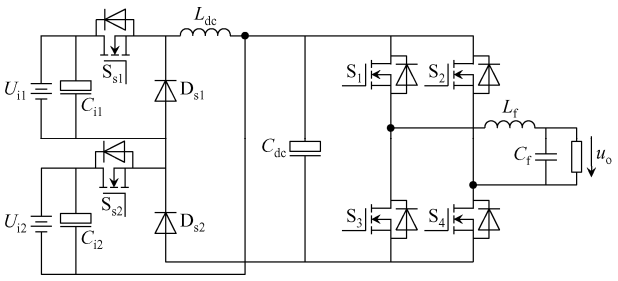


图 5　文献[19]所提出的电路拓扑

Fig. 5 Circuit topology proposed in Ref. [19]

多输入直流变换器由 1 个 Buck 型直流变换器和 1 个 Buck-Boost 型直流变换器组合而成，2 个输入源可以同时供电，也可以独立工作，但是难以实现多路扩展；另外，由于采用两级结构，功率变换效率仍不够理想。

文献[20]提出了一种分时供电两级多输入逆变器，电路拓扑如图 6 所示。多个输入源共用 1 个多输入 Cuk 型直流变换器进行电能变换，相较于文献[19]其控制更为灵活且输入源易于扩展，但 Cuk 型拓扑结构存在电容、电感等储能元件数量过多、电路较为复杂等不足。文献[21]提出了一种带隔离的两级式多输入逆变器，电路拓扑如图 7 所示，通过控制开关管 S_1、S_2 的导通与关断来决定光伏电池或蓄电池是否接入，2 路可独立工作；由于 C_3、C_4 的电压取决于输入源的电压，因此不利于电容电压的调节，且不易扩展为多个输入源。

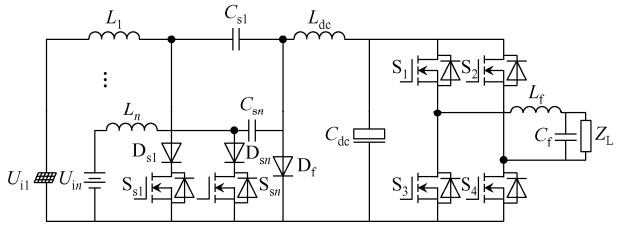


图 6　文献[20]所提出的电路拓扑

Fig. 6 Circuit topology proposed in Ref. [20]

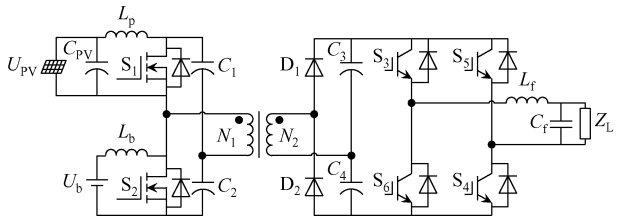


图 7　文献[21]所提出的电路拓扑

Fig. 7 Circuit topology proposed in Ref. [21]

1.3　单级多输入逆变器

单级多输入逆变器将上述 2 类多输入逆变器中的前级直流变换器与后级逆变桥集成一体，降低了多输入逆变器的能量转换级数，实现单级功率变换，可进一步提高变换效率、降低成本[22-24]，其电路结构如图 8 所示。文献[25]提出一种单级多输入 DC-AC 变换系统，如图 9 所示。其中，U_1 端口为主变换单元，其全桥电路中的开关管 S_{a1} 与 S_{a2} 高频

动作，而 S_{a3} 和 S_{a4} 及 U_2~U_n 各个输入端口所对应的全桥电路均为工频动作。每个工频全桥电路与主变换单元中的全桥电路相互串联，作为 1 个整体输入源进行升、降压 DC-AC 变换，在任意时刻电路中都只有 2 个开关管高频工作，有效提升了多输入逆变器的效率。该电路的输入、输出无电气隔离，且每增加 1 个输入端口需对应增加 1 个全桥电路，开关器件数较多。

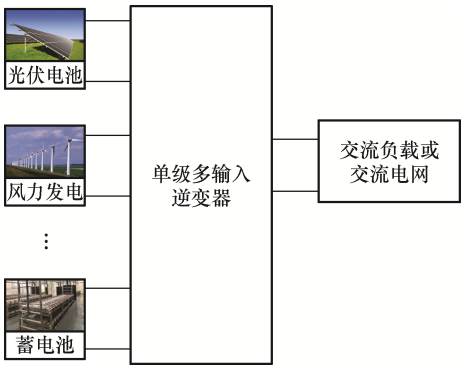


图 8 单级多输入逆变器电路结构

Fig. 8 Circuit structure of single-stage multi-input inverter

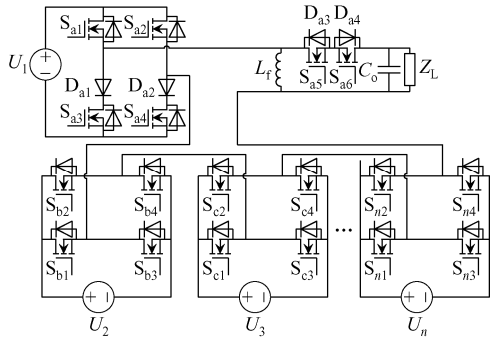


图 9 文献[25]所提出的电路拓扑

Fig. 9 Circuit topology proposed in Ref. [25]

文献[26]提出了一种同时供电的单级多输入逆变器，其电路拓扑如图 10 所示。该电路拓扑由多输入单输出高频逆变器、高频变压器、周波变换器和输出滤波器组成，具有多路输入源同时向负载供电、输入输出高频隔离、功率单级变换、变换效率高的特点。文献[27]将文献[26]电路中的二极管 D_{s1}、D_{s2} 用通态电阻较小的功率场效应晶体管代替，以实现同步整流功能，进一步降低系统的损耗，提高效率。

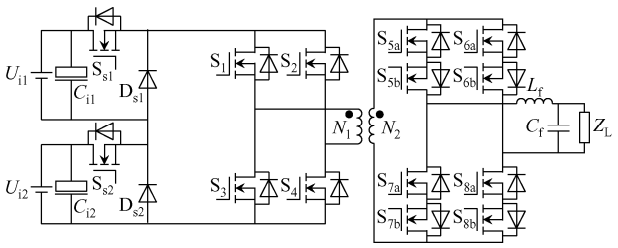


图 10 文献[26]所提出的电路拓扑

Fig. 10 Circuit topology proposed in Ref. [26]

文献[28]中提出了一种并联分时供电的 Buck 型多输入逆变器，其电路拓扑如图 11 所示。该电路拓扑由并联分时选择开关、高频逆变桥、滤波电感、工频变压器、滤波电容组成，具有电路结构简单、单级功率转换、易于多路拓展的特点，但由于其变压器工作在低频状态，变压器体积庞大，变换效率不高，因此不利于系统集成度的提升。文献[29]中提出了一种正激式单级多输入逆变器，电路拓扑如图 12 所示，由多个串联的多输入源和 2 个双向正激式直流变换器组成。2 个正激式直流变换器的输入并联、输出反向串联，分别输出 2 个低频单极性正弦脉宽调制 SPWM(sinusoidal pulse width modulation)半波，再通过输出 LC 滤波器得到高质

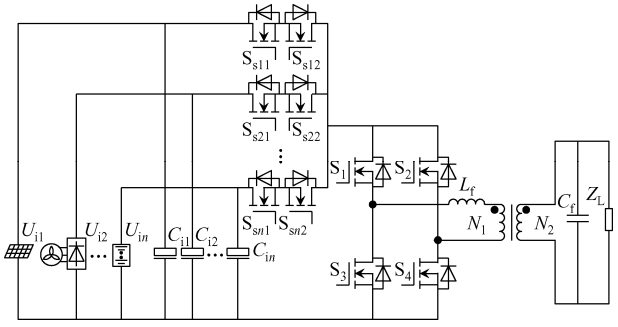


图 11 文献[28]所提出的电路拓扑

Fig. 11 Circuit topology proposed in Ref. [28]

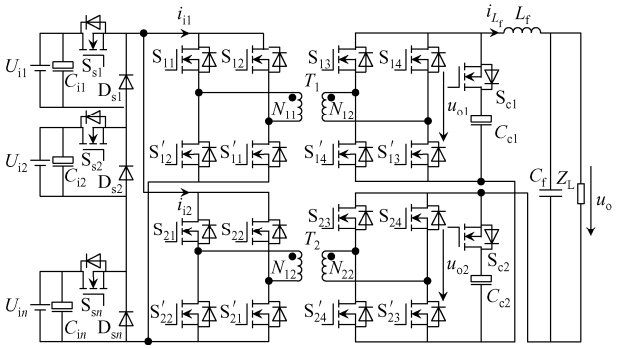


图 12 文献[29]所提出的电路拓扑

Fig. 12 Circuit topology proposed in Ref. [29]

量的正弦交流电压。2 个正激式直流变换器分别工作在正、负 2 个半周，电路器件的利用率较低，额外的变压器也会增加逆变器的损耗及体积。

2　多输入逆变器能量管理模式与控制策略

为了在多能源发电系统中实现各类新能源的合理利用，需要对各输入源进行合适的能量管理。多输入逆变器由于存在多个输入源及相应的功率开关，可对多个占空比进行控制，即存在多个控制自由度，因此可以实现对多个输入源的能量管理。多输入逆变器的能量管理应实现三大功能：一是输出电压(电流)的稳定控制；二是新能源最大功率点跟踪 MPPT(maximum power point tracking)；三是多输入源功率的合理分配[30-33]。

根据应用场合的不同，多输入逆变器的能量管理可以分为最大功率和主从功率 2 种模式，见表 1。

表 1　2 种能量管理模式的应用场合

Tab. 1 Application scenarios in two energy management modes

应用场合	能量管理模式
多输入逆变器离网发电系统	主从功率
多输入逆变器并网发电系统	最大功率
带储能单元的多输入逆变器离网发电系统	最大功率

2.1　主从功率能量管理

多输入逆变器离网发电系统的能量管理模式如图 13 所示。由于系统的负载功率为已知，因此可利用多输入逆变器的最后一路输入源进行负载功率的补充。此能量管理模式有 2 种供电模式，当 1~n−1 路输入源的最大功率之和大于负载功率时，第 n 路输入源停止工作，第 n−1 路输入源退出 MPPT 工作模式对负载所需功率进行补足，此时为供电模式Ⅰ；当第 1 路输入源的最大功率大于负载功率时，除第 1 路外的其他输入源停止工作，第 1 路输入源退出 MPPT 工作模式来平衡负载功率，此时为供电模式Ⅱ[34]。可见，这种主从功率能量管理模式可以实现多种新能源的优先利用。

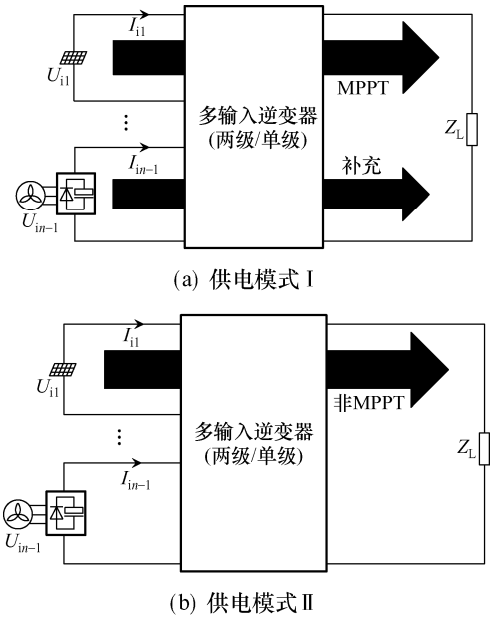


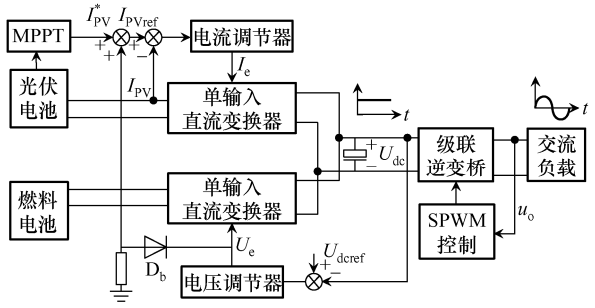
图 13　主从功率能量管理模式

Fig. 13 Energy management mode of master-slave power

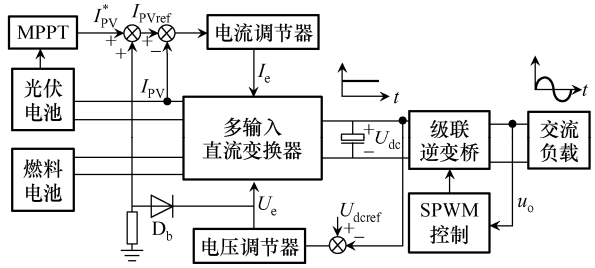
以光伏、燃料电池 2 种输入源为例，多输入逆变器离网发电系统的主从功率能量管理控制策略如图 14 所示。当光伏电池最大功率小于交流负载功率时，电压调节器(有效值)输出信号 U_e>0，二极管 D_b 阻断，光伏与燃料电池独立工作，联合向负载供电，光伏电池以最大功率输出，燃料电池补足负载所需功率；当光伏电池最大功率大于交流负载功率时，电压调节器(有效值)输出信号 U_e<0，二极管 D_b 导通，燃料电池停止工作，光伏单独提供负载所需功率。

2.2　最大功率能量管理

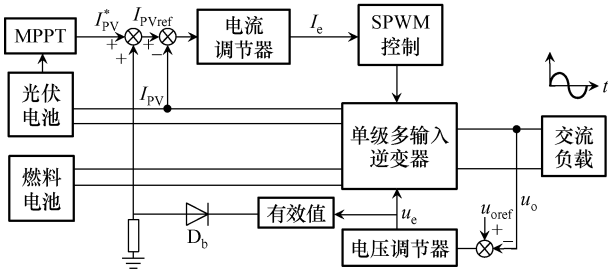
多输入逆变器并网发电系统的最大功率能量管理模式如图 15(a)所示，多输入逆变器的多个输入源均工作在 MPPT 状态，以最大功率给电网供电。带储能单元的多输入逆变器离网发电系统的能量管理模式如图 15(b)所示，各新能源均以最大功率向负载供电，超过负载所需功率的部分则储存在储能单元中[35-36]。可见，这种最大功率能量管理模式可以实现多种新能源的充分利用。



(a) 两级单输入直流变换器型



(b) 两级多输入直流变换器型

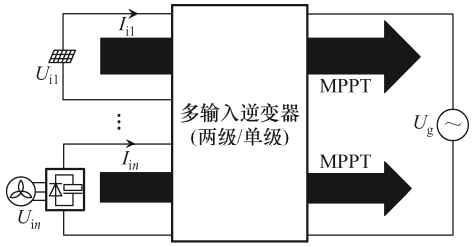


(c) 单级多输入逆变器

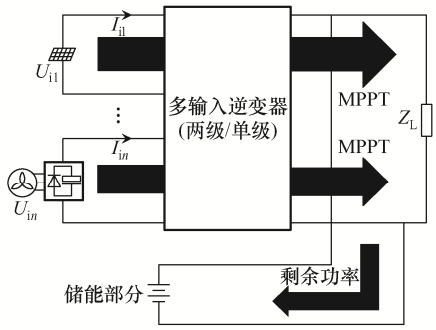
图 14 主从功率能量管理控制策略

Fig. 14 Energy management control strategy of master-slave power

以多输入逆变器并网发电系统为例，图 16 为最大功率能量管理控制策略。其中，图 16(a)、(b)所示的两级电路结构采用分级控制，前级直流变换器通过调节开关管的占空比来实现多输入源的最大功率输出，后级逆变桥用于直流母线电压与并网电流的调节，实现了系统前、后级的解耦控制。图 16(c)所示的单级电路结构采用集中控制，在同



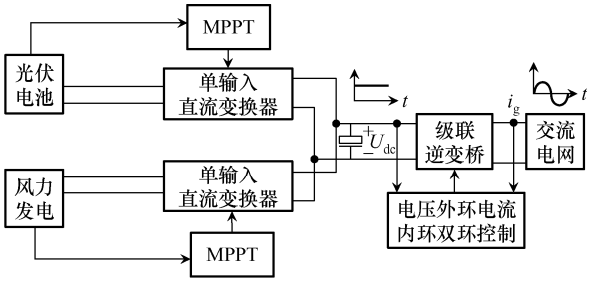
(a) 多输入逆变器并网发电系统



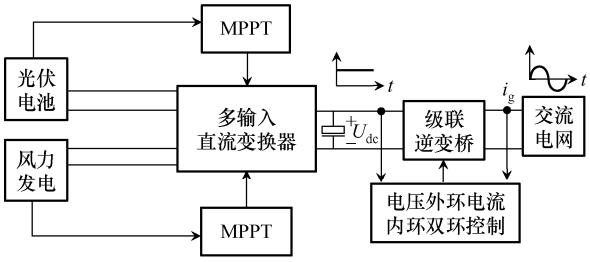
(b) 带储能单元的多输入逆变器离网发电系统

图 15 最大功率能量管理模式

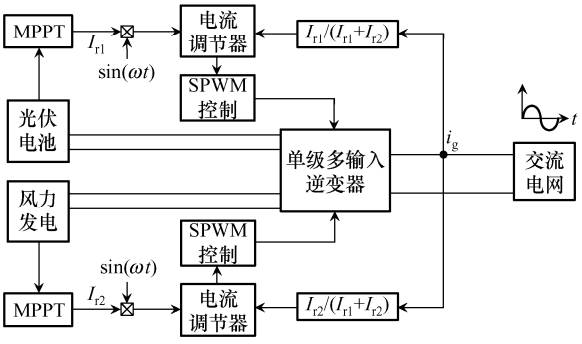
Fig. 15 Energy management mode of maximum power



(a) 两级单输入直流变换器型



(b) 两级多输入直流变换器型



(c) 单级多输入逆变器

图 16 最大功率能量管理控制策略

Fig. 16 Energy management control strategy of maximum power

一级功率变换中实现多输入源的最大功率输出和并网电流控制。

3　多输入逆变器拓扑对比分析

根据上述不同多输入逆变器的拓扑结构与能量管理控制方法可得表 2 的对比结果，对比分析可得以下结论。

(1)两级单输入直流变换器型逆变器中的每一个输入源都需有对应的单输入直流变换器进行电能变换，前级直流变换器和后级逆变桥具有不同的控制目标，其控制环路相对独立且易于实现，同时也容易进行输入源的扩展；两级单输入直流变换器型逆变器的电路结构复杂，且需要直流母线电容进行解耦，不可避免地增加了电路的体积和成本；两级单输入直流变换器型逆变器存在两级功率变换，功率密度和变换效率较低，因此实用性受到了限制。

表 2　不同多输入逆变器拓扑对比

Tab. 2 Comparison among topologies of various multi-input inverters

拓扑	输入源	电路结构	输入电压/V	电气隔离	功率开关+电感+二极管/个	控制难度	效率/%
图 2	2	两级单输入直流变换器型	50/55	无	12+3+0	易	—
图 3	3	两级单输入直流变换器型	36/36/36	无	8+4+2	易	85.0
图 5	2	两级多输入直流变换器型	60/30	无	6+2+2	较复杂	91.7
图 6	2	两级多输入直流变换器型	261/519	无	6+4+3	较复杂	—
图 7	2	两级多输入直流变换器型	36/10	有	6+3+2	较复杂	90.2
图 9	3	单级多输入逆变器	160/100/190	无	14+1+2	复杂	96.1
图 10	2	单级多输入逆变器	270/240	有	14+1+2	复杂	94.4
图 11	2	单级多输入逆变器	288/250	有	8+1+0	复杂	91.7
图 12	2	单级多输入逆变器	220/200	有	20+1+2	复杂	93.5

(2)两级多输入直流变换器型逆变器虽然通过前级的多输入直流变换器简化了电路结构、降低了成本，但多个输入源需要通过同一多输入直流变换器进行电能变换，相较于独立的单输入直流变换器控制较为复杂，且本身依旧属于两级功率变换，同样需要直流母线电容进行功率解耦，其变换效率和功率密度仍不够理想。

(3)单级多输入逆变器将上述两级多输入逆变器的前后两级集成为一级，减少了能量变换级数，电路结构也更为简洁，可进一步提高多输入逆变器的变换效率、降低成本；由于单级多输入逆变器为单级功率变换，MPPT、功率分配、输出电压(电流)控制等多种功能的实现都需要在同一级中完成，电路控制参数的耦合性强，控制复杂。

影响多输入逆变器变换效率、成本的因素还有很多，系统高频化、集成化和碳化硅、氮化镓等宽禁带电力电子器件的应用也是其研究方向。此外，多输入逆变器的封装、制作工艺、工作环境等也均会影响设备的效率和成本，在实际设计中应综合考虑多方面的因素，以使逆变器具有更好的性能。

4　结语

多输入逆变器能够有效提升光伏、风电等新能源发电系统供电的灵活性和稳定性，是新能源发电领域的重要研究方向。本文对多输入逆变器的电路结构及能量管理进行了详细论述，按照两级单输入直流变换器型逆变器、两级多输入直流变换器型逆变器和单级多输入逆变器的方式进行分类，对比了各种多输入逆变器的电路拓扑，分析了不同多输入逆变器的优缺点及在不同应用场合下的能量管理模式和控制策略，指出单级多输入逆变器在变换效率、电路成本方面更具潜力，但电路控制参数耦合性高、控制复杂也是其亟待解决的主要问题，为多

输入逆变器的研究提供了参考。

参考文献：

[1] 程嵩晴, 滕云, 卢国强, 等. 基于云-边协同求解的智慧综合能源园区多能协调碳排放优化模型[J]. 电工技术学报, 2026,41(9): 3051-3069.
Cheng Songqing, Teng Yun, Lu Guoqiang, et al. Multi-energy coordinated carbon emission optimization model for smart integrated energy park based on cloud-edge collaborative solution [J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2026, 41(9): 3051-3069. (in Chinese)

[2] 舒印彪, 赵勇, 赵良, 等. “双碳”目标下我国能源电力低碳转型路径[J]. 中国电机工程学报, 2023, 43(5): 1663-1671.
Shu Yinbiao, Zhao Yong, Zhao Liang, et al. Study on low carbon energy transition path toward carbon peak and carbon neutrality [J]. Proceedings of the CSEE, 2023, 43(5): 1663-1671. (in Chinese)

[3] Elnozahy A, Yousef A M, Abo-Elyousr F K, et al. Performance improvement of hybrid renewable energy sources connected to the grid using artificial neural network and sliding mode control [J]. Journal of Power Electronics, 2021, 21(8): 1166-1179.

[4] 江周鹏, 郝武帮, 李琰. 多功能光伏并网逆变器优化控制策略[J]. 电源学报, 2025, 23(6): 132-141.
Jiang Zhoupeng, Hao Wubang, Li Yan. Optimal control strategy for multi-functional grid-connected photovoltaic inverter [J]. Journal of Power Supply, 2025, 23(6): 132-141. (in Chinese)

[5] 张伟琦, 王艳敏, 宋凯, 等. 考虑参数扰动的风力发电系统并网逆变器积分型连续滑模控制策略[J]. 电工技术学报, 2025,40(22): 7313-7333.
Zhang Weiqi, Wang Yanmin, Song Kai, et al. Integrated continuous sliding mode control strategy of grid-connected inverter for wind power system considering parameter perturbation [J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2025, 40(22): 7313-7333. (in Chinese)

[6] 高锋阳, 杨凯文, 宋志翔, 等. 非隔离型光伏并网逆变器漏电流抑制控制策略[J]. 电源学报, 2025, 23(5): 51-60.
Gao Fengyang, Yang Kaiwen, Song Zhixiang, et al. Control strategy for leakage current suppression in non-isolated grid-connected photovoltaic inverter [J]. Journal of Power Supply, 2025, 23(5): 51-60. (in Chinese)

[7] 张兴, 李明, 郭梓暄, 等. 新能源并网逆变器控制策略研究综述与展望[J]. 全球能源互联网, 2021, 4(5): 506-515.
Zhang Xing, Li Ming, Guo Zixuan, et al. Review and perspectives on control strategies for renewable energy grid-connected inverters [J]. Journal of Global Energy Interconnection, 2021, 4(5): 506-515. (in Chinese)

[8] 刘林, 熊兰, 高迎飞. 应用于储能变流器的 LLC/CLLC 谐振变换器综述[J]. 电源学报, 2021, 19(6): 50-63.
Liu Lin, Xiong Lan, Gao Yingfei. Review of LLC/CLLC resonant converters applied to power conversion system [J]. Journal of Power Supply, 2021, 19(6): 50-63. (in Chinese)

[9] 刘俊峰, 胡仁俊, 曾君. 一种多输入端口的多电平高频逆变器[J]. 电工技术学报, 2016, 31(S1): 111-118.
Liu Junfeng, Hu Renjun, Zeng Jun. A high-frequency multilevel inverter with multi-inputs [J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2016, 31(S1): 111-118. (in Chinese)

[10] 陈道炼. 新能源多输入逆变器[M]. 北京: 科学出版社, 2021.
Chen Daolian. New Energy Multi-input Inverter [M]. Beijing: Science Press, 2021. (in Chinese)

[11] Neira S, Pereda J, Rojas F. Three-port full-bridge bidirectional converter for hybrid DC/DC/AC systems [J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2020, 35(12): 13077-13084.

[12] Kumar S, Patel L N, Singh B, et al. Self-adjustable step-based control algorithm for grid-interactive multifunctional single-phase PV-battery system under abnormal grid conditions [J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 2020, 56(3): 2978-2987.

[13] Srivastava A, Seshadrinath J. A novel single phase three level triple Boost CG switched-capacitor based grid-connected transformerless PV inverter [J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 2023, 59(2): 2491-2501.

[14] Amiri E, Khorasani R R, Adib E, et al. Multi-input high

step-up DC-DC converter with independent control of voltage and power for hybrid renewable energy systems [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2021, 68(12): 12079-12087.

[15] Chen Chengwei, Chen K H, Chen Y M. Modeling and controller design of an autonomous PV module for DMPPT PV systems [J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2014, 29(9): 4723-4732.

[16] Dragičević T, Lu Xiaonan, Vasquez J C, et al. DC microgrids: Part II: A review of power architectures, applications, and standardization issues [J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2016, 31(5): 3528-3549.

[17] 李艳, 阮新波, 杨东升, 等. 无缓冲单元的多输入直流变换器电路拓扑[J]. 电工技术学报, 2009, 24(5): 73-79.
Li Yan, Ruan Xinbo, Yang Dongsheng, et al. Multiple-input DC/DC converters without buffer cells [J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2009, 24(5): 73-79. (in Chinese)

[18] 杨东升, 阮新波, 李艳, 等. 一种新的多输入全桥变换器[J]. 电工技术学报, 2011, 26(8): 24-32.
Yang Dongsheng, Ruan Xinbo, Li Yan, et al. A new multiple-input full bridge converter [J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2011, 26(8): 24-32. (in Chinese)

[19] Zhang Hao, Liu Wei, Ding Honghui, et al. Multi-harmonic oscillation and stability analysis of double-input Buck/Buck-Boost inverter [J]. IET Power Electronics, 2021, 14(1): 38-50.

[20] Bae S, Kwasinski A. Dynamic modeling and operation strategy for a microgrid with wind and photovoltaic resources [J]. IEEE Transactions on Smart Grid, 2012, 3(4): 1867-1876.

[21] Sunny A C, Debnath D. Two-stage off-grid system for catering household AC appliances with reduced switches [J]. IET Power Electronics, 2020, 13(16): 3807-3817.

[22] Danyali S, Hosseini S H, Gharehpetian G B. New extendable single-stage multi-input DC-DC/AC Boost converter [J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2014, 29(2): 775-788.

[23] Varzaneh M G, Rajaei A, Forouzesh M, et al. A single-stage multi-port Buck-Boost inverter [J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2021, 36(7): 7769-7782.

[24] Chen Daolian, Zhao Tao, Xu Song. Single-stage multi-input Buck type high-frequency link's inverters with multiwinding and time-sharing power supply [J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2022, 37(10): 12763-12773.

[25] 赖国清, 赖群, 李铭, 等. 新型多输入端口升降压 DC-AC 变换系统[J]. 电气传动, 2023, 53(10): 23-28.
Lai Guoqing, Lai Qun, Li Ming, et al. Novel multi-input-port Buck-Boost DC-AC conversion system [J]. Electric Drive, 2023, 53(10): 23-28. (in Chinese)

[26] Chen Daolian, Zhao Tao, Han Lu, et al. Single-stage multi-input Buck type high-frequency link's inverters with series and simultaneous power supply [J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2022, 37(6): 7411-7421.

[27] 林珊, 赵涛, 农兴中, 等. 多输入高频链逆变器及其控制策略研究[J]. 电力电子技术, 2023, 57(2): 15-17, 29.
Lin Shan, Zhao Tao, Nong Xingzhong, et al. Research on multi-input high-frequency link inverter and its control strategy [J]. Power Electronics, 2023, 57(2): 15-17, 29. (in Chinese)

[28] Zeng Hanchao, Chen Daolian. A voltage-fed single-stage multi-input inverter for hybrid wind/photovoltaic power generation system [J]. Journal of Power Electronics, 2022, 22(4): 593-602.

[29] Chen Daolian, Jiang Jiahui, Su Yishi. A forward-type single-stage multi-input inverter with series-time-overlapping power supply [J]. IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, 2023, 11(4): 3613-3622.

[30] 高博, 毛荀, 王峰, 等. 基于相关性分析的微网分布式电源能量管理建模与仿真[J]. 电源学报, 2022, 20(3): 187-195.
Gao Bo, Mao Xun, Wang Feng, et al. Modeling and simulation of energy management for micro-grid distributed generation based on correlation analysis [J]. Journal of Power Supply, 2022, 20(3): 187-195. (in Chinese)

[31] 邓浩, 陈洁, 焦东东, 等. 风氢耦合并网系统能量管理控制策略[J]. 高电压技术, 2020, 46(1): 99-106.
Deng Hao, Chen Jie, Jiao Dongdong, et al. Control

strategy for energy management of hybrid grid-connected system of wind and hydrogen [J]. High Voltage Engineering, 2020, 46(1): 99-106. (in Chinese)

[32] 沈超, 赵世伟. 多输入双向全桥 DC-DC 变换器及其能量管理策略研究[J]. 电工电能新技术, 2020, 39(6): 34-41.
Shen Chao, Zhao Shiwei. Research on multi-input bi-directional full-bridge DC-DC converter and its energy management strategy [J]. Advanced Technology of Electrical Engineering and Energy, 2020, 39(6): 34-41. (in Chinese)

[33] Li Cong, Liu Jinjun, Du Sixing, et al. A T-type DAB-based isolated DC-DC-AC three-port converter with high power efficiency [J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2023, 38(11): 14178-14194.

[34] 邱琰辉, 陈道炼, 江加辉. 多能源联合供电系统电路结构与能量管理策略[J]. 电力电子技术, 2017, 51(3): 43-46.
Qiu Yanhui, Chen Daolian, Jiang Jiahui. Circuit structure and energy management control strategy of multi-energy joint-power-supply system [J]. Power Electronics, 2017, 51(3): 43-46. (in Chinese)

[35] Mangu B, Akshatha S, Suryanarayana D, et al. Grid-connected PV-wind-battery-based multi-input transformer-coupled bidirectional DC-DC converter for household applications [J]. IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, 2016, 4(3): 1086-1095.

[36] Qiu Yanhui, Chen Daolian, Zhao Jiawei. Boost type multi-input independent generation system with multi-winding simultaneous power supply [J]. IEEE Access, 2021, 9: 99805-99815.



曾汉超

作者简介：

曾汉超(1992—)，男，中国电源学会高级会员，通信作者，博士，副教授。研究方向：新能源发电技术，电力电子变流技术。E-mail：zenghanchao@hotmail.com。

郑向荣(2000—)，男，硕士研究生。研究方向：电力电子变流技术。E-mail：1905924901@qq.com。

邱琰辉(1988—)，男，博士，讲师。研究方向：新能源发电技术。E-mail：512621898@qq.com。

张达敏(1983—)，男，中国电源学会会员，博士，副教授。研究方向：新能源发电及其智能控制方法。E-mail：hqxmzj@sina.com。

张强(1985—)，男，中国电源学会会员，博士，副教授。研究方向：高频软开关功率变换。E-mail：zhangqiangfzu@foxmail.com。

(责任编辑：孙美菊)