

基于改进ADRC的光伏逆变器故障穿越关键参数辨识研究

曹国强^{1,2}, 杨志¹, 孙启宸¹, 蔡权³, 王志杨¹, 张子见¹, 闫江峰²

¹贵州大学电气工程学院, 贵州 贵阳

²贵州电网有限责任公司金阳供电局, 贵州 贵阳

³贵州电网有限责任公司遵义供电局, 贵州 遵义

收稿日期: 2025年11月19日; 录用日期: 2025年12月12日; 发布日期: 2025年12月18日

摘要

目前, 实际光伏逆变器均配备了高电压和低电压穿越特性控制, 但是目前基于实际波形的高电压和低电压穿越中的关键参数辨识尚不完善, 还处于起步阶段。为了解决上述关键问题, 本文提出了考虑故障穿越特性的光伏逆变器辨识模型, 包括基于ADRC的光伏逆变器实测数据预处理和考虑故障穿越特性的微分进化算法下的光伏逆变器辨识模型。仿真算例验证了本文所提模型和算法的正确性和有效性。

关键词

光伏电站, 参数辨识, 微分进化算法

Research on Key Parameter Identification of Fault Crossing in Photovoltaic Power Stations Based on Improved ADRC

Guoqiang Cao^{1,2}, Zhi Yang¹, Qichen Sun¹, Quan Cai³, Zhiyang Wang¹, Zijian Zhang¹, Jiangfeng Yan²

¹School of Electrical Engineering, Guizhou University, Guiyang Guizhou

²Guizhou Power Grid Co., Ltd. Guiyang Jinyang Power Supply Bureau, Guiyang Guizhou

³Guizhou Power Grid Co., Ltd. Zunyi Power Supply Bureau, Zunyi Guizhou

Received: November 19, 2025; accepted: December 12, 2025; published: December 18, 2025

Abstract

Currently, actual photovoltaic power stations are equipped with high voltage and low voltage ride through characteristic control. However, the identification of key parameters in high voltage and low voltage ride through based on actual waveforms is still incomplete and in its early stages. To address the aforementioned key issues, this paper proposes a photovoltaic power plant identification model that considers fault crossing characteristics, including pre-processing of measured data for photovoltaic power plants based on ADRC and identification models for photovoltaic power plants based on differential evolution algorithms that consider fault crossing characteristics. The simulation examples have verified the correctness and effectiveness of the model and algorithm proposed in this paper.

Keywords

Photovoltaic Power Plants, Parameter Identification, Differential Evolution Algorithm

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

面对当前二氧化碳排放的严峻形势，我国做出“2030 年前实现碳达峰、2060 年前实现碳中和”的重大战略选择，近年来，风电、光伏等新能源增长迅猛[1]-[4]。截至 2023 年 6 月底我国目前的可再生能源装机占比首次超过煤电，达到 13.22 亿千瓦，光伏发电装机占比新能源装机总量的 35.6% [5]。光伏逆变器通过电力电子器件接入电网，其外特性不同于传统同步电源，给电网精确计算造成了一定的困难，在稳态运行时表现为一个功率源，对电网相关计算影响尚不明显，但在暂态期间，局部故障对电网稳定影响更加显著，为确保高比例光伏接入的电力系统安全稳定运行[6]，因此迫切需要切实可行的方法对光伏逆变器整体建模，得到其准确的模型参数以满足电网计算需求，指导实际电网的运行方式、安控措施等[7][8]。

目前，参数辨识方法研究主要以四大参数(发电机、励磁系统、原动机及调速系统、负荷模型的有关参数)为主[9]。虽然目前对光伏发电有了诸多研究，但是研究主要集中于稳态控制。参数辨识大都是对光伏组件和逆变器 PI 控制模型以及对限幅环节参数进行的研究，在光伏逆变器参数辨识方面的研究少之又少。文献[10]采用改进人工鱼群算法对光伏组件输出特性曲线进行数学模型参数辨识，并以此来判断光伏组件的运行状态。文献[11]在樽海鞘群算法的基础上加入精英反向学习与差分策略来辨识光伏电池双二极管模型的参数。文献[12]提出了一种差分进化算法面向故障暂态建模的光伏并网逆变器的控制器参数辨识方法，准确辨识了 PI 调节器参数和限幅环节参数。文献[13]对樽海鞘群优化算法进行改进，提出了改进的樽海鞘群优化算法(ISSA)，运用在机组调节系统参数辨识。文献[14]提出了一种结合自适应正态云模型的樽海鞘群辨识算法(CSSA)，对永磁同步电机参数进行快速、稳定且准确的辨识。文献[15]提出一种基于改进樽海鞘群算法的静止同步补偿器模型参数解耦辨识方法。文献[16]采用多智能体算法对永磁同步发电机参数协同辨识。智能算法在参数辨识领域得到广泛应用，但是上述研究只是在实验室进行，均采用仿真数据验证辨识算法的有效性，少有相关实际数据进行验证，无法应用于实际工程需求。

为了解决上述问题和故障穿越特性光伏逆变器辨识的新问题,本文提出了基于改进 ADRC 的全过程光伏逆变器故障穿越关键参数辨识研究。该方法与传统方法的创新点总结如下:1) 提出了基于微分进化算法的考虑故障穿越特性的光伏逆变器辨识模型,该方法能更有效辨识光伏逆变器高低电压穿越的关键参数;2) 采用基于 ADRC 的预处理技术,提高了光伏逆变器低电压和高电压故障穿越模型的辨识精度。第一节,介绍了基于 BPA 的光伏电站故障穿越模型;第二节具体介绍了考虑故障穿越特性的光伏逆变器辨识模型,包括基于 ADRC 的光伏逆变器实测数据预处理和考虑故障穿越特性的微分进化算法下的光伏逆变器辨识模型。仿真算例验证了本文所提模型和算法的正确性和有效性。

2. 基于 BPA 的光伏逆变器故障穿越模型

相比于传统光伏辨识模型,本文重点关注光伏逆变器在低电压和高电压穿越相关的关键参数辨识问题。首先,对于通过 220 kV(或 330 kV)光伏发电汇集系统升压至 500 kV(或 750 kV)电压等级接入电网的光伏光伏电站群中的光伏逆变器(图 1),当电力系统发生短路故障引起电压跌落时,光伏逆变器注入电网的动态无功功率应满足以下要求:

- 1) 自并网点电压跌落的时刻起,动态无功功率的响应时间不大于 30 ms。
- 2) 自动态无功功率响应起直到电压恢复至 0.9 pu 期间,光伏逆变器注入电力系统的动态无功功率 $I_{q,ref}$ 应实时跟踪并网点电压变化,并应满足:

$$I_{q,ref} = \begin{cases} K_q (0.9 - U_T) I_N, & 0.2 < U_T < 0.9 \\ 1.05 I_N, & U_T < 0.2 \\ 0, & U_T > 0.9 \end{cases} \quad (1)$$

其中, K_q 为无功功率支撑系数。

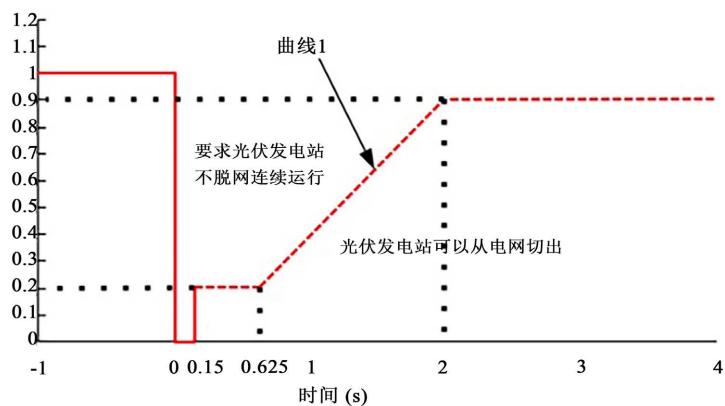


Figure 1. Waveform of low voltage ride through characteristics in photovoltaic power plants

图 1. 光伏逆变器低电压穿越特性波形

故障期间输出的有功功率值根据不同的计算方式可以大致分为以下三种:

$$I_{d,ref} = \begin{cases} \min\left(P_0/U, I_{max} - |I_d|\right) \\ \min\left(P_0/U, \sqrt{I_{max}^2 - I_d^2}\right) \\ K_{dl} I_{d0} + K_{du} U + I_d^* \end{cases} \quad (2)$$

式中: P_0 为故障前输出的有功功率; I_{\max} 为逆变器电流最大值; I_{d0} 为故障前的有功功率值; K_{dl} 为 Id 与 I_{d0} 之间的比例系数; K_{du} 为 Id 与 U 之间的比例系数; I_d^* 为低穿有功功率基础值。

下图 2 给出了实际 PSD-BPA 软件对应的光伏电站电压穿越模型, 该系统模型包含了: 光伏发电模型 MS、正常状态下有功控制模型 EU、正常状态下无功控制模型 EZ、有功无功功率限制模型 ES、低电压高电压状态判断模型 EV、低电压穿越状态下有功控制模型 LP、低电压穿越状态下无功控制模型 LQ、频率控制模型 EY。

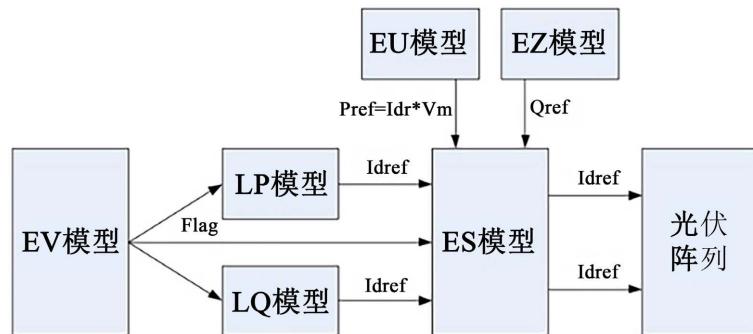


Figure 2. BPA based voltage ride through model for photovoltaic power plants
图 2. 基于 BPA 的光伏逆变器电压穿越模型

图 3 给出了 LP 卡的关键参数示意图。从图中可以看出, 针对光伏逆变器的电压穿越有功关键参数, 涉及到 1) 故障期间的有功功率值, 该参数由 LP 卡中的 IPSET1 来确定; 2) 故障爬坡过程的上升率 IPRATE 和故障爬坡过程的时间 TP 共同决定了故障爬坡过程以及故障结束后的 IP 电流的终值。由此可见, IPSET1, IPRATE, TP 这三个参数为光伏逆变器电压穿越模型中有功功率的关键辨识参数。

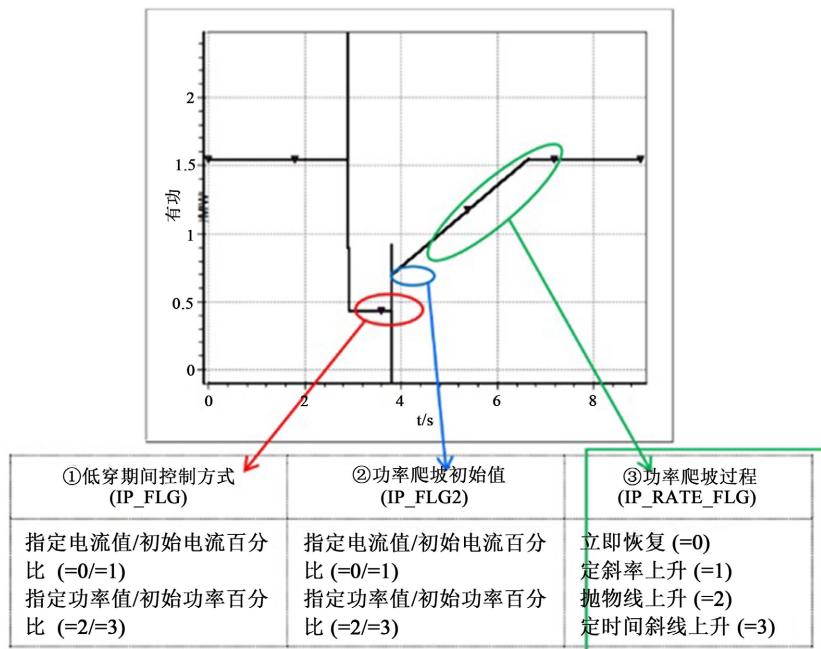


Figure 3. Fault traverse LP card key parameter extraction
图 3. 故障穿越 LP 卡关键参数提取

类似地, 可以确定光伏逆变器电压穿越模型中无功功率的关键辨识参数 1) QRATE: 无功功率值, 决定无功功率故障恢复时间段的特性; 2) IQLIM: 无功功率最大值, 决定故障期间的无功功率特性(如图 4)。

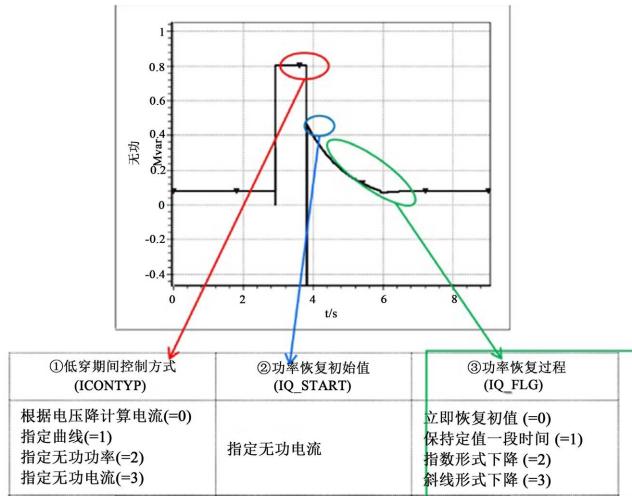


Figure 4. Key parameter extraction for fault traversal LQ card
图 4. 故障穿越 LQ 卡关键参数提取

3. 考虑故障穿越特性的光伏逆变器辨识模型

3.1. 基于改进 ADRC 的光伏逆变器实测数据预处理

通常实际光伏逆变器的量测数据巨有大量的白噪声和异常点, 这些数据如果直接作为辨识模型的输入数据, 则会影响辨识结果的可靠性和鲁棒性, 甚至极端情况下, 会出现辨识结果出错的情况[17]。因此, 本文提出了基于 ADRC 的光伏逆变器实测数据预处理算法, 继而过滤掉输入数据的异常点和测量白噪声干扰。

系统在运行过程中, 人们往往通过被控对象的输出(部分状态变量)来把握控制系统运行状况, 也就是根据被控对象的输入(控制量)和被控对象的输出来确定被控对象所有内部状态信息, 这时就需要引入状态观测器。首先考虑线性控制系统,

$$\begin{cases} \dot{X} = AX + BU \\ Y = CX \end{cases} \quad (3)$$

其中 X 为状态变量, U 为控制向量, Y 为输出向量。可以构造观测系统 L :

$$\begin{aligned} \dot{\bar{X}} &= \bar{A}\bar{X} - L(C\bar{X} - Y) + BU \\ &= (\bar{A} - LC)\bar{X} + BU \end{aligned} \quad (4)$$

对于上式来说, 只要矩阵 $\bar{A}-LC$ 稳定, $\bar{x}(t)$ 就可以渐进地估计状态变量 $x(t)$ 。此外, 如果 L 是依照噪声的最小方差律设计的, 则这个观测器就是 ADRC 器了。

$$\begin{cases} \dot{x} = x_2 \\ \dot{x}_2 = f(x_1, x_2) + bu \\ y = x_1 \end{cases} \quad (5)$$

当函数 f 和 b 已知时, 可以建立如下的状态观测器。

$$\begin{cases} e_1 = \bar{x}_1 - y \\ \dot{x}_1 = \bar{\dot{x}}_2 - l_1 e_1 \\ x_2 = f(\bar{x}_1, \bar{x}_2) - l_2 e_1 + bu \end{cases} \quad (6)$$

同样根据最优控制的理论, 可以得到本文采用的非线性状态观测器。

$$\begin{cases} e_1 = \bar{x}_1 - y \\ \dot{x}_1 = \bar{x}_2 - \beta_{01} e_1 \\ x_2 = -\beta_{02} |e_1|^{0.5} \operatorname{sign}(e_1) - l_2 e_1 + bu \end{cases} \quad (7)$$

它可以对系统中的状态变量 $x_1(t)$ 和 $x_2(t)$ 进行很好的跟踪, 如果把非线性函数 f 改写为新的状态变量 $x_3(t)$, 于是这个被扩张的系统所建立的非线性状态观测器即为:

$$\begin{cases} e_1 = x_1 - y \\ \dot{x}_1 = x_2 - \beta_{01} e_1 \\ x_2 = x_3 - \beta_{02} |e_1|^{\alpha_1} \operatorname{sign}(e_1) + bu \\ \dot{x}_3 = -\beta_{03} |e_1|^{\alpha_2} \operatorname{sign}(e_1) \end{cases} \quad (8)$$

式中参数 α_1 经常取 0.5 和 α_2 经常取 0.25, 而参数 β_{01} , β_{02} , β_{03} 对整个状态观测器的估计性能以及系统的稳定性起到重要作用, 因此这三个参数的整定也是扩展观测器系统配置的重点, 通过调整 β_{01} , β_{02} , β_{03} 分别取 0.12, 0.26, 0.35 为最佳取值。

3.2. 考虑故障穿越特性的微分进化算法下的光伏逆变器辨识模型

光伏模型的逆变器参数辨识基于辨识优化算法, 依据光伏发电系统逆变器控制系统数学模型, 分析系统的电流、电压在暂态过程中的变化, 得到等效的逆变器控制参数。核心算法采用微分进化算法。微分进化算法是由 Rainer storn 和 Kenneth price 于 1995 年提出的一种实数编码, 解决全局优化问题的启发式算法, 图 5 展示了微分进化算法的一般实现思想。

微分进化算法是一种主要用于连续优化问题的启发式算法, 优化过程中具有良好的收敛性和鲁棒性。该算法适用于单目标优化、混合整数非线性规划、多目标优化、噪声系统优化和动态系统优化等问题。微分进化算法和遗传算法一样, 同属于进化算法, 但是微分进化是比较新的基于群体的随机优化方法。它具有简单、快速及鲁棒性好等特点。微分进化算法和其他进化算法的不同, 主要表现在变异算子的选取上, 它是由多对向量的差值取到的。其主要用于实参数优化问题, 在非线性和不可微的连续空间问题上优于其他进化方法。微分进化算法秉承着进化算法的特性, 模拟生物的进化, 根据适者生存的法则, 通过多次迭代, 找到搜索控件内的最优解。微分进化算法的初始化种群, 交叉和选择操作等机理与其他算法相似。

因此本项目采用微分进化算法作为迭代求解最优结果的核心算法。

以进行考虑故障穿越特性的光伏逆变器辨识分析为例, 主要实现步骤如下:

- (1) 设置外部环境。

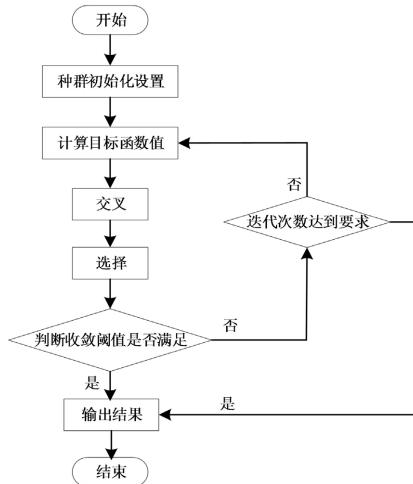


Figure 5. Schematic diagram of differential evolution algorithm

图 5. 微分进化算法示意图

(2) 选取参考值及初始化变量。设定输入的有功、无功功率参考值 P_{ref} , Q_{ref} (一般设置 $Q_{ref} = 0$) 以及直流侧电压参考值 u_{dc_ref} 。根据所测量到的电压电流 e_d , e_q , i_d , i_q 等数据, 经过矩阵运算可得出实测电压电流所对应的功率大小 P , Q 。其次, 使用 P , Q 的初始点大小作为初始量, 通过计算可得到 i_{d_ref} , i_{q_ref} 。

(3) 建立优化模型。优化变量为 5 个待辨识参数: IPSET1, IPRATE, TP, QRATE, IQLIM。

(4) 优化求解。目标函数为时刻辨识出的功率值 P 与实际测量功率值 P 的差, 实际计算中由于功率标幺值在动态过程中波动较小, 常采用 $t + \Delta t$ 时刻辨识出的电流 I_d , I_q 与实际测量电流 i_d , i_q 的差作为目标函数。经求解得到四个待辨识参数: IPSET1, IPRATE, TP, QRATE, IQLIM, 以及对应 $t + \Delta t$ 时刻的电路状态变量 IPSET1, IPRATE, TP, QRATE, IQLIM 的值。

(5) 令 $t = t + \Delta t$, 转到步骤(3), 直至 $t = T$ (T 为仿真周期), 辨识结束。

辨识流程如图 6 所示。

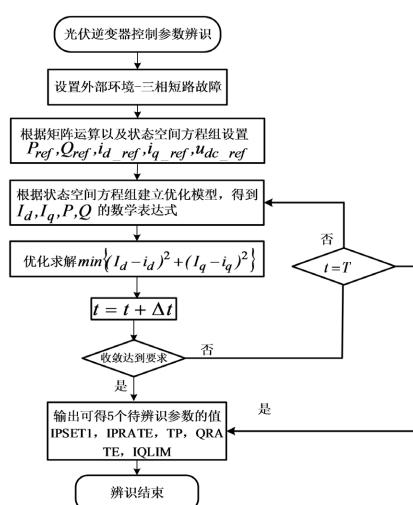


Figure 6. Identification model of photovoltaic power station considering fault crossing characteristics

图 6. 考虑故障穿越特性的光伏逆变器辨识模型

4. 仿真分析与验证

为了验证本文所提出辨识算法的正确性，采用国内某实际光伏逆变器的实测故障穿越波形进行辨识和仿真验证。其中，光伏逆变器并网系统包括：光伏阵列、逆变器及其控制保护，其并网系统结构图如图 7 所示。

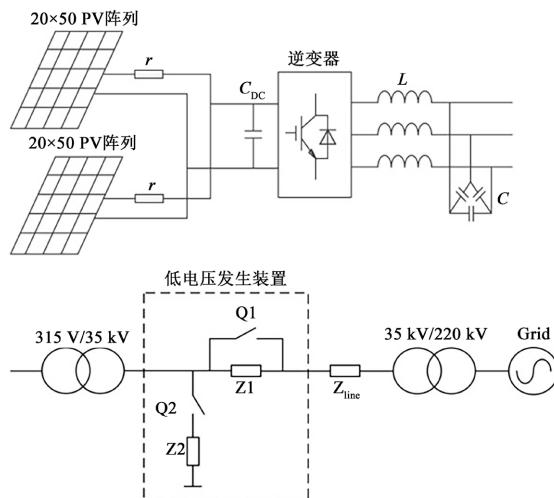


Figure 7. Topology diagram of photovoltaic testing system
图 7. 光伏测试系统拓扑图

如图 8，光伏方阵由太阳电池组件串、并联构成，其作用是直接把太阳能转换为直流形式的电能。若忽略单体太阳电池生产过程中的差异、组件相互之间的连接电阻，且假设单体太阳电池具有理想的一致性，则光伏方阵的伏安特性曲线可以看作是单体太阳电池伏安特性曲线按串、并联方式放大其坐标的比例尺，光伏发电系统中使用的逆变器是一种将太阳能电池所产生的直流电能转换成交流电能的转换装置。控制光伏方阵的负载工作在光伏方阵最大功率点位置，最大程度利用光伏方阵输出功率；同时，它使转换后的交流电的电压、频率与电力系统向负载提供的交流电的电压、频率一致。光伏方阵工程应用模型模拟不同辐照度和温度下光伏方阵的光电转换特性。输入量包括：太阳幅照度 S ，工作温度 T ，光伏阵列直流工作电压 U_{dc} ；输出量为光伏阵列输出电流 I_{array} 。在给定太阳幅照度 S 和工作温度 T 下。

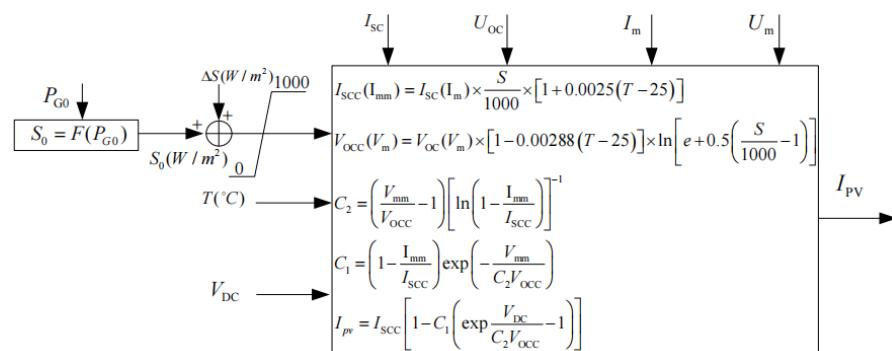


Figure 8. Control of photovoltaic power station with low voltage crossing
图 8. 低电压穿越的光伏逆变器控制

给出了本文所用的考虑低电压穿越的光伏逆变器控制。典型三环控制的逆变器在并网点发生低电压故障时易出现过电流现象，导致光伏系统被迫退出运行。加入低穿控制策略可以在低穿期间对输出电流进行限制，保证发电系统的安全并维持其在低穿期间不脱网。具体方法是当并网点电压低于阈值 0.9 p.u. 时，由常规模式切换为故障模式，根据低电压穿越控制进行有功、无功功率控制；同时使能/去使能 MPPT 环节与直流电压控制环节的能力，以保证低穿期间的功率平衡，并减小故障消除后切换至正常控制策略时的功率振荡(如图 9)。

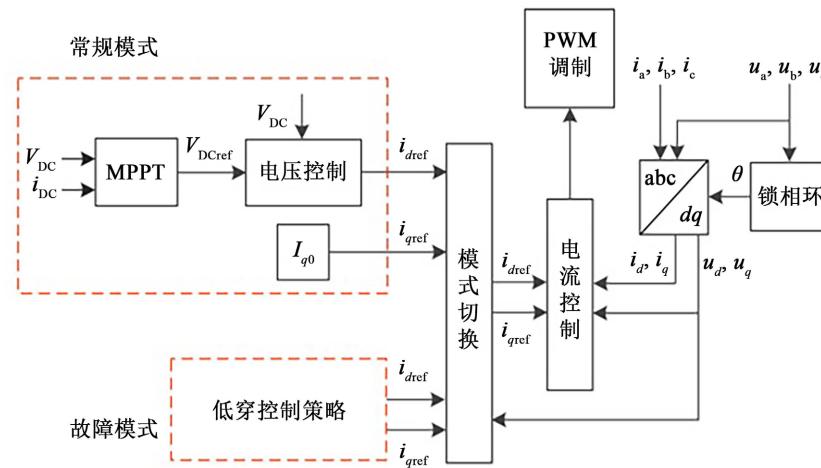


Figure 9. Low voltage ride through control considered for photovoltaic power stations
图 9. 光伏逆变器考虑低电压穿越控制

4.1. 工况 1：电压跌落深度 40%

下图 10~12 给出了电压跌落深度为 40% 场景下，光伏逆变器关键故障穿越波形的对比结果，即有功功率和无功功率的故障穿越波形对比。从图中可以看出，辨识结果的仿真波形与实际波形高度吻合。从局部放大图可以看出，在故障结束后的最大误差不超过 0.01 pu，故障期间的最大误差不超过 0.02 pu。从下图可以看出，故障以后，低电压穿越的时间大约为 2 s，有功功率的上升率为 0.4 pu/s。

下图给出了本文提出的基于 ADRC 的滤波观测器的对比结果。从图中可以看出，采用本文提出的观测器算法可以有效过滤掉输入辨识数据的异常点。

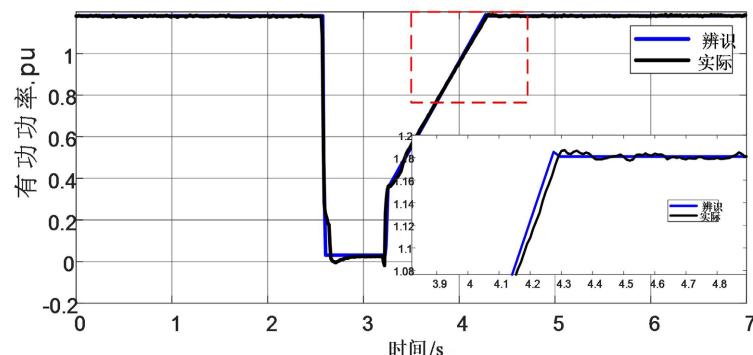


Figure 10. Results of ADRC based filtering observer with a voltage drop of 40%
图 10. 电压跌落 40% 的基于 ADRC 的滤波观测器结果图

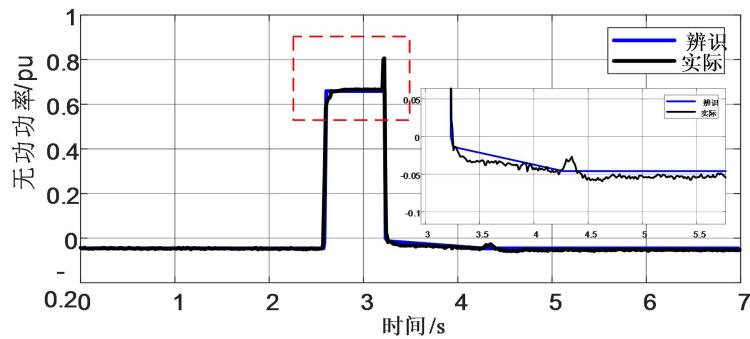


Figure 11. Comparison between reactive power identification and measured results with a voltage drop of 40%

图 11. 电压跌落 40% 的无功功率辨识与实测结果对比图

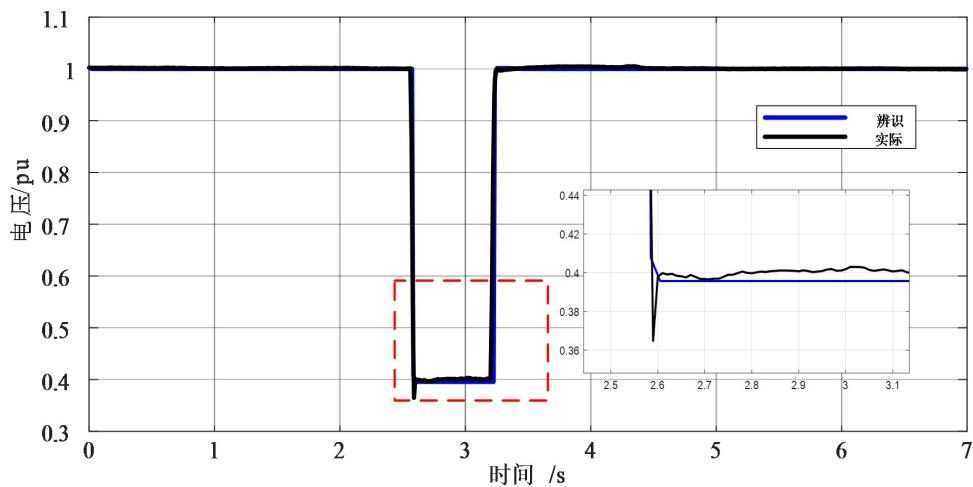


Figure 12. Comparison between voltage identification and measured results with a 40% voltage drop

图 12. 电压跌落 40% 的电压辨识与实测结果对比图

辨识以后的参数如下表 1 所示。

Table 1. Identification results of voltage drop depth of 40%

表 1. 电压跌落深度 40% 辨识结果

辨识变量	IPSET1	IPRATE	TP	QRATE	IQLIM
参数值	6.6	0.36	0.998	1.1	1500

4.2. 工况 2：电压升高 124% (高电压穿越测试)

下图 13~15 给出了电压跌落深度为 124% 场景下，即高电压穿越情况下光伏逆变器关键故障穿越波形的对比结果，即有功功率和无功功率的故障穿越波形对比。从图中可以看出，辨识结果的仿真波形与实际波形高度重合。从局部放大图可以看出，在故障结束后的最大误差不超过 0.01 pu，故障期间的最大误差不超过 0.012 pu。

辨识以后的参数如下表 2 所示。

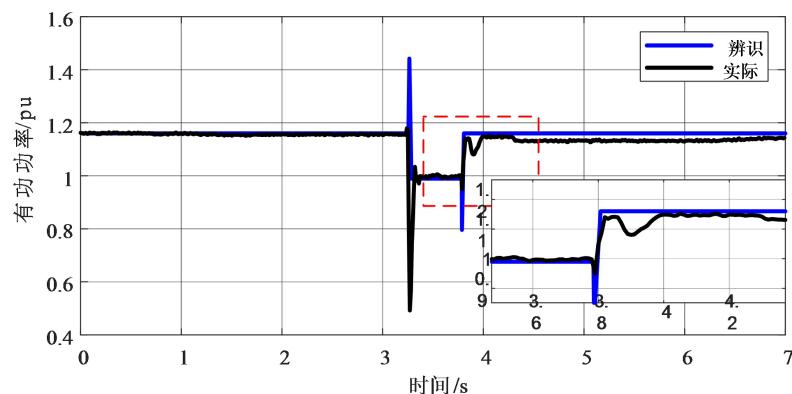


Figure 13. Comparison between active power identification and measured results with a voltage drop of 130%

图 13. 电压跌落 130% 的有功功率辨识与实测结果对比图

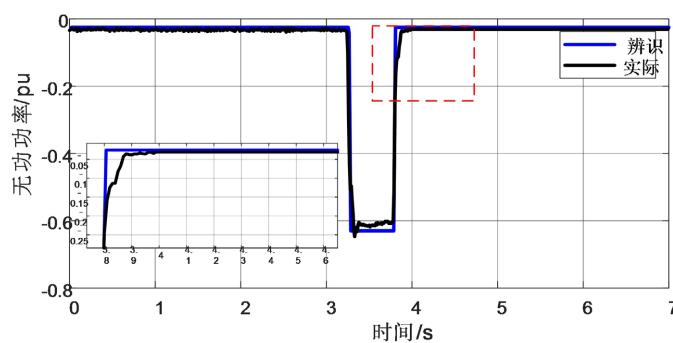


Figure 14. Comparison between reactive power identification and measured results with a voltage increase of 124%

图 14. 电压升高 124% 的无功功率辨识与实测结果对比图

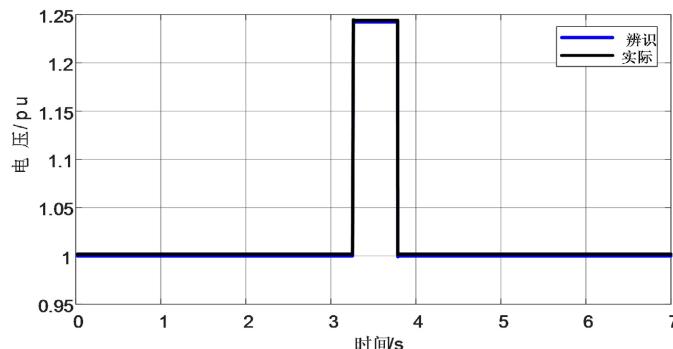


Figure 15. Comparison between voltage identification and measured results with a 124% increase in voltage

图 15. 电压升高 124% 的电压辨识与实测结果对比图

Table 2. Identification results of 124% voltage increase

表 2. 电压升高 124% 辨识结果

辨识变量	IPSET1	IPRATE	TP	QRATE	IQLIM
参数值	58.68	0.978	0.989	-0.01	1500

4.3. 预处理算法比较

下图 16、图 17 给出了是否考虑预处理情况下。电压升高 124% 场景下，即高电压穿越情况下光伏逆变器关键故障穿越波形的对比结果，即有功功率和无功功率的故障穿越波形对比。从图中可以看出，没有加上预处理环节，由于异常点的问题，会导致辨识结果去拟合异常点，继而造成整体波形出现比较大的误差。而加入预处理以后，辨识结果与实际波形高度吻合。

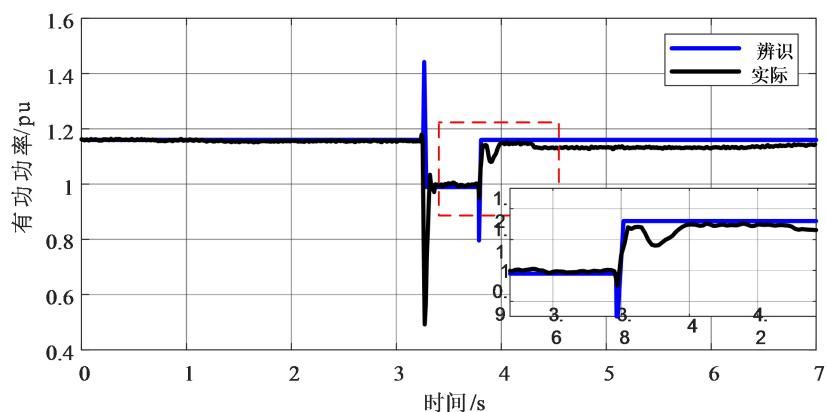


Figure 16. Comparison between identification and measurement results of active power with a 124% voltage increase (with preprocessing)

图 16. 电压升高 124% 的有功功率辨识与实测结果对比(加上预处理)

辨识以后的参数如下表 3 所示。

Table 3. Identification results of voltage increase by 124% (with preprocessing)
表 3. 电压升高 124% 辨识结果(有预处理)

辨识变量	IPSET1	IPRATE	TP	QRATE	IQLIM
参数值	58.68	0.978	0.989	-0.01	1500

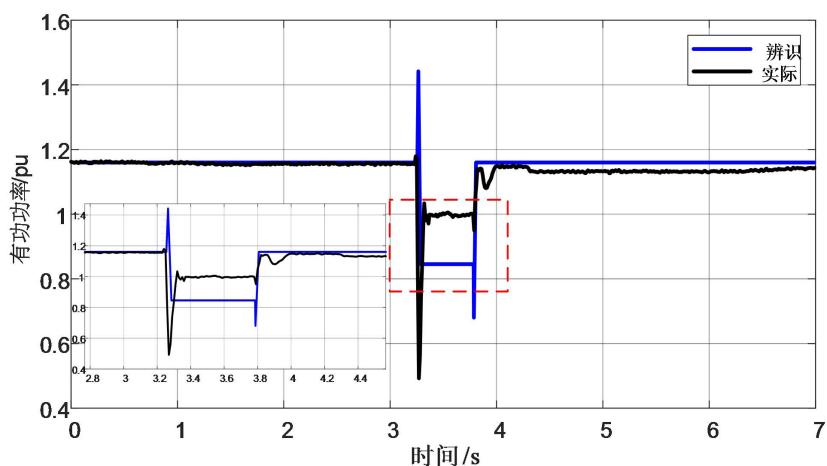


Figure 17. Comparison between active power identification and measured current results with a voltage increase of 124% (without preprocessing)

图 17. 电压升高 124% 的有功功率辨识与实测电流结果对比(无预处理)

辨识以后的参数如下表 4 所示。

Table 4. Identification results of voltage increase by 124% (without preprocessing)
表 4. 电压升高 124% 辨识结果(无预处理)

辨识变量	IPSET1	IPRATE	TP	QRATE	IQLIM
参数值	58.68	0.978	0.989	0.002	1502

5. 结论

本文基于光伏发电原理, 提出了基于改进 ADRC 的全过程光伏逆变器故障穿越关键参数辨识研究。

- 1) 提出了基于微分进化算法的考虑故障穿越特性的光伏逆变器辨识模型, 该方法能更有效辨识光伏逆变器高低电压穿越的关键参数。
- 2) 采用基于 ADRC 的预处理技术, 提高了光伏逆变器低电压和高电压故障穿越模型的辨识精度。通过仿真算例对本文所提模型和算法的正确性进行了验证, 具有一定的工程价值。

参考文献

- [1] 陈国平, 董昱, 梁志峰. 能源转型中的中国特色新能源高质量发展分析与思考[J]. 中国电机工程学报, 2020, 40(17): 5493-5506.
- [2] 孙华东, 等. 大规模电力系统仿真用新能源场站模型结构及建模方法研究(二): 机电暂态模型[J]. 中国电机工程学报, 2023, 43(6): 2190-2202.
- [3] 任大伟, 肖晋宇, 侯金鸣, 杜尔顺, 金晨, 刘耀. 双碳目标下我国新型电力系统的构建与演变研究[J]. 电网技术, 2022, 46(10): 3831-3839.
- [4] 张智刚, 康重庆. 碳中和目标下构建新型电力系统的挑战与展望. 中国电机工程学报, 2022, 42(8): 2806-2819.
- [5] 国家能源局. 我国可再生能源装机超过煤电[EB/OL]. 新华网.
http://www.nea.gov.cn/2023-08/04/c_1310735564.htm, 2023-06-01.
- [6] 王蒙, 张文朝, 汪莹, 等. 高比例光伏接入的电力系统暂态过电压控制策略[J]. 太阳能学报, 2023, 44(10): 148-155.
- [7] 曹斌, 刘文焯, 原帅, 许冰, 贾焦心, 颜湘武. 基于低电压穿越试验的光伏发电系统建模研究[J]. 电力系统保护与控制, 2020, 48(18): 146-155.
- [8] 周于清, 李大虎, 姚伟, 等. 受端近区光伏电站对 LCC-HVDC 系统稳定性影响分析[J/OL]. 中国电力, 2023: 1-12.
<http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3265.TM.20230808.1051.002.html>, 2024-03-14.
- [9] 聂永辉, 张春雷, 高磊, 赵妍, 王明超. 基于改进鸡群算法的静止无功补偿器模型参数辨识方法[J]. 电网技术, 2019, 43(2): 731-738.
- [10] 韩伟, 王宏华, 王成亮, 陈凌, 张经炜, 孙蓉. 基于参数辨识的光伏组件故障诊断模型[J]. 电网技术, 2015, 39(5): 1198-1204.
- [11] 易威, 杨家强, 张晓军. 一种基于改进型樽海鞘群算法的光伏电池参数辨识方法[J]. 电工技术, 2021(14): 58-61+64.
- [12] 孔祥平, 袁宇波, 阮思烨, 徐凯, 弓新月. 面向故障暂态建模的光伏并网逆变器控制器参数辨识[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(11): 65-72.
- [13] 张路遥. 基于 ISSA 和 IAHA 算法的抽水蓄能机组调节系统参数辨识[D]: [硕士学位论文]. 邯郸: 河北工程大学, 2023.
- [14] 张铸, 张仕杰, 饶盛华, 张小平, 王静袁. 改进樽海鞘群算法的永磁同步电机多参数辨识[J]. 电机与控制学报, 2022, 26(8): 139-146.
- [15] 王明超, 董佳圆, 李继影, 高磊, 聂永辉. 基于 ISSA 的 STATCOM 模型参数解耦辨识研究[J]. 东北电力大学学报, 2020, 40(1): 81-89.
- [16] 李昊哲, 王宏伟. 基于事件驱动的多智能体系统参数辨识[J]. 科学技术与工程, 2021, 21(31): 13389-13398.
- [17] 庄良文, 张彦兵, 陈光华, 等. 光伏逆变器高、低电压穿越控制参数辨识方法[J]. 广西电力, 2022, 45(4): 8-16+71.