

# 基于物联网和云平台的光伏电站标准化模块检测系统设计

孙路 丁振华 丁宏 董磊 高武双

(安徽省产品质量监督检验研究院, 合肥 230051)

**摘要** 针对第三方检测机构在光伏现场检测过程中遇到的设备多样、数据储存成本高、处理效率低及数据同步等问题, 本文提出一种基于物联网和云平台的光伏电站标准化模块检测系统, 旨在提高检测效率、降低成本并增强数据的关联性。该系统通过部署标准化的检测模块, 每个模块包含多种传感器和数据采集器, 并利用网络协议实现时间同步, 确保所有测量活动在同一参考框架下进行。同时, 开发基于云计算技术的数据采集与管理系统, 实现数据的云端存储、共享与协作, 具有良好的扩展性。研究结果表明, 所提检测系统能够有效解决现有检测中存在的问题。此外, 该系统可显著降低设备部署成本, 节省了大量人力和物力资源, 适用于第三方检测机构的光伏电站现场检测, 具有广泛的应用前景。

**关键词:** 光伏电站; 标准化模块检测系统; 物联网; 硬件设计; 软件功能设计

## Design of a standardized modular detection system for photovoltaic power station based on internet of things and cloud platform

SUN Lu DING Zhenhua DING Hong DONG Lei GAO Wushuang

(Anhui Institute of Product Quality Supervision, Hefei 230051)

**Abstract** In response to the challenges faced by third-party inspection agencies during on-site photovoltaic testing, such as device diversity, high data storage costs, low processing efficiency, and data synchronization issues, this paper proposes a standardized module detection system for photovoltaic power stations based on the internet of things and cloud platforms. The aim is to enhance inspection efficiency, reduce costs, and improve data interconnectivity. By deploying standardized detection modules that include various sensors and data collectors, and utilizing network protocols for time synchronization, all measurements are ensured to occur within the same reference framework. Concurrently, a data acquisition and management system built upon cloud computing technology is developed to achieve cloud-based data storage, sharing, and collaboration with excellent scalability. Research findings indicate that the proposed detection system can effectively address existing problems encountered during inspection processes. Furthermore, it significantly lowers equipment deployment expenses, saving considerable manpower and material resources. Suitable for third-party inspectors conducting on-site photovoltaic station assessments, it holds broad application prospects.

**Keywords:** photovoltaic power station; standardized modular detection system; internet of things; hardware design; software function design

## 0 引言

随着装机容量的持续增长, 光伏电站建设与安装技术不断精进, 其稳定的盈利能力和收益表现广

受好评。在检测、验收、运维、故障诊断、性能评估及尽职调查等环节, 第三方检测至关重要。定期检测可及时发现潜在缺陷与隐患, 通过及时维护与修复, 提升设备可靠性, 减少意外停机时间, 确保

长期稳定的电力输出。

目前,第三方检测机构受限于体量、专业检测能力和质量管理水平等方面的差异,存在诸多问题。首先,检测设备不统一,存在设备品牌和型号多样、性能差异大、更新换代滞后等问题;其次,设备成本高,检测项目不全,部分机构未能全面覆盖光伏电站各项性能测试,特别是在电气性能检测设备方面,如电能质量分析仪、功率分析仪和钳形电流表等,国际品牌设备虽然精度高、稳定性好且环境适应能力强,但价格昂贵,中小型检测机构难以承担,相比之下,国内品牌设备的精度差别不大,但在稳定性和环境适应性方面还有提升空间;最后,设备大多为单机单系统,操作软件独立且单台设备只能采集部分参数,有的设备只能将数据存储在本机内存,只有通过专用软件才能导出,有的设备需要单独配备计算机和软件辅助采集数据,而且所采集数据时间不同步、数据关联性差,导致电站各部分性能和整体性能评价存在较大差异<sup>[1]</sup>,不同系统和部件、不同阵列、不同组串的第三方测试数据的可比性较差,特别是分布式光伏状态信息实时性差,难以准确分析<sup>[2]</sup>,难以及时发现系统的潜在问题。对于大型集中式光伏电站和分布式光伏电站,由于安装地点分散、涉及区域广、建设安装方式不同,检测机构仍面临检测效率低、设备周转周期长等问题,常常难以满足业主或客户的检测需求。

基于上述原因,第三方检测机构迫切需要一套适用于光伏电站现场检测的标准化模块检测系统<sup>[3]</sup>。首先,该系统可以进行时间校准,针对不同需求实时检测各个电站的性能和系统效率,识别、发现并排除故障<sup>[4-5]</sup>,确保电站可以正常运行。其次,根据检测标准要求和实际需要,利用现有成熟的技术集成设计一种成本较低的标准化模块检测系统,可随时根据需要扩展采集的参数(如光伏组串的电流和电压,并网点的电压、电流、功率及环境中的温度、压力、湿度、日照时间、辐照量等)。最后,系统能够不依赖本地存储,实时记录不同电站在同一环境和时间下采集的环境和电能数据,分析发电量与环境变量的关系,发现和评估影响发电效率和经济效益的因素,预测和评估电站的发电能力<sup>[6-8]</sup>,从而调整优化关键设备、施工和安装方式及安装位置的配置组合,指导后期电站设计和施工。因此,本文结合实际工作经验,提出一种利用物联网和云平台技术的标准化模块检测系统,以解决第三方检测机构在光伏电站现场检测中存在的问题。

## 1 标准化模块检测系统总体设计

### 1.1 检测系统的构成

本文讨论的光伏电站通常由光伏阵列、汇流箱、逆变器和升压设备构成。光伏板利用光伏效应将太阳的辐射能量转换成直流电能。光伏板产生的直流电通过汇流箱集中,随后由逆变器转换为交流电,最后通过升压变压器后输送至电网<sup>[9]</sup>。

本文设计的检测系统由标准化模块(传感器、数据采集器和通信模块)、云平台、网页客户端组成。系统总体设计如图1所示。

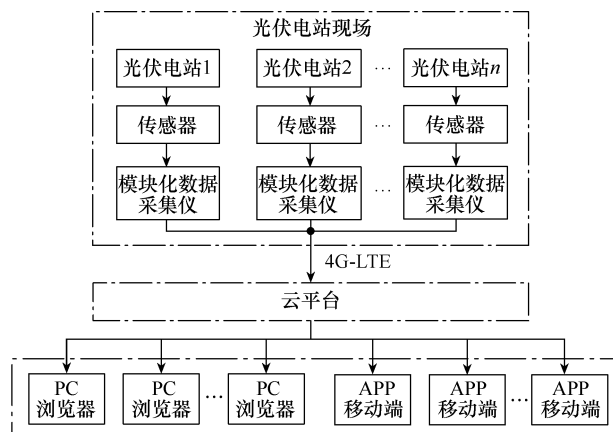


图1 系统总体设计

### 1.2 检测系统工作原理

在太阳光辐照下,电池片经光电效应产生电流和电压,光伏组件形成组串,接入汇流箱,然后接入逆变器,电流随之传输并通过逆变器转为交流电并入公用电网中<sup>[10]</sup>。本文系统的标准化模块数据采集器由检测人员布设在汇流箱附近(或组串式逆变器的直流侧),控制器通过电流、电压变送器、辐照计和热电偶采集光伏电站的阵列电压、各组串电流、辐照度及环境温度,信号通过RS 485总线传至控制器。控制器将采集到的模拟信号进行A-D转换,转换后的数据通过4G-LTE(long term evolution)通信模块<sup>[11-12]</sup>传输到云平台的数据接收端口,云平台对数据进行存储,并根据预先设定的软件功能模块将处理后的信息展示在Web用户界面。数据传输示意图如图2所示。

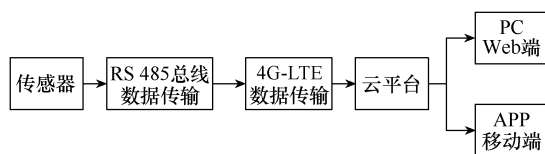


图2 数据传输示意图

## 2 检测系统硬件设计

数据采集器的标准化模块硬件设计包括数据采集器、环境参数采集传感器、电气性能数据采集传感器等的选择。

光伏电站现场检测的数据采集器应选择兼容性强，可以正确接收和处理模拟信号和数字信号的多通道数据采集器<sup>[13]</sup>。该设备通过布设相应的传感器，能够采集光伏电站各设备的运行状态和环境参数，如交流侧和直流侧的电压、电流、功率等信息，环境温度、湿度、辐照量等，并实时传输数据到云平台。数据采样频率、数据传输速率等参数可以根据需要在设备上设置。数据采集器有独立的 A-D 转换和 4G 数据传输功能，可根据测试地域或位置的需要布设多个数据采集器，并在云平台设置数据通道，避免因线路铺设过长产生通信故障。

环境参数检测数据采集涉及多种类型的传感器。电站现场需要检测光伏组件的温度、环境温度、湿度、风速、辐照量等参数，选用量程、精度符合要求且与采集器兼容的传感器，并根据传感器的信号灵敏度进行相应设置。

直流侧、交流侧、并网点电能信息数据采集需要检测汇流箱或组串式逆变器上各个光伏组串的输出电流、电压等信息，根据各组串的额定电流、电压配备变送器，并提供检测数据和信号给数据采集器。

## 3 检测系统软件设计

随着互联网和物联网的快速发展，人们更加习惯于利用网络获取数据和信息，因此软件设计采用 B/S (browser/server) 网络结构<sup>[14]</sup>。与 C/S (client/server) 结构相比，B/S 结构采用云端服务器代替传统的本地服务器，无需为每种操作系统专门定制客户端软件，所有用户只需通过通用浏览器即可访问服务器内容。基于云平台 (cloud platform) 的特点包括高度可扩展性、较低的初期投资成本及由云服务商管理和维护。与传统 B/S 结构相比，云平台的维护成本更低，工作人员只需在云平台上进行应用开发和扩展相应的计算资源即可。因此，本文采用基于浏览器和云平台的架构进行设计。采用 JAVA 和 Android Studio 开发 Web 端和移动端的应用平台，并利用相关部件厂商及云平台服务商提供的软件开发工具包 (software development kit, SDK) 和应用程序编程接口 (application programming interface, API) 来设计和开发检测平台界面及各项功能模块。

### 3.1 采集数据预处理

在进行逆变器和传感器设备的数据采集时，需要对原始信号如电流、电压、功率、温度、辐照度、风速和风向等进行数据预处理，目的是通过剔除无关、重复和错误的数 据，以及处理数据集中的缺失值，确保数据的准确性和可靠性。对于异常值，可以采用统计方法进行修正或删除。重复记录可以根据特定时间的出现频率来决定是删除还是合并。这样的处理能够提升数据集的精确度和可靠性。

在光伏电站的应用中，由于环境因素的不确定性，传感器收集的发电数据可能包含高斯白噪声。为了消除这些随机干扰，可以通过低通高斯滤波对光伏发电功率数据进行滤波处理。因此，本文参考现有的研究，采用低通高斯滤波对光伏发电功率数据进行处理，以消除原始发电功率信号中的随机干扰。文献[11]的研究表明，数据预处理可以有效提高数据集的准确性和可靠性。

### 3.2 功能模块设计

在整体设计中，标准化的模块检测系统分为用户权限管理模块、项目规划组建模块、数据管理模块、参数检测模块、传感器管理模块、校准管理模块，如图 3 所示。

#### 1) 项目规划组建模块

不同光伏电站项目在规模、光伏阵列组合、组串数量及系统结构方面存在显著差异。为了适应不同的需求并简化现场检测人员的工作，检测系统需要根据具体的测试要求建立相应的检测模型，并在适当位置布置测点。同时，还需要配置（或安装）经过校准的传感器。最后，检测人员进行光伏电站测试数据分析时，可以快速生成电站的发电计算模型，而无需重新开发软件。

#### 2) 数据管理模块

系统能够持续接收远程标准化模块数据采集设备的数据，并能够自动更新以呈现最新信息。用户可以通过数值列表、折线图或饼状图等多种可视化手段来浏览数据，所有数据都被系统自动保存。此外，系统支持根据时间、站点名称、测点标识和参数等条件进行高效数据检索。

#### 3) 参数检测模块

系统根据预定义的检测模型和检测标准，构建计算模型。该模型能够自动分析关键性能指标，包括系统效率、逆变器性能、电能质量、组件效率、光伏组串间的不平衡率及系统运行状态。此外，系统还能自动统计这些参数在不同时段的最大值、最

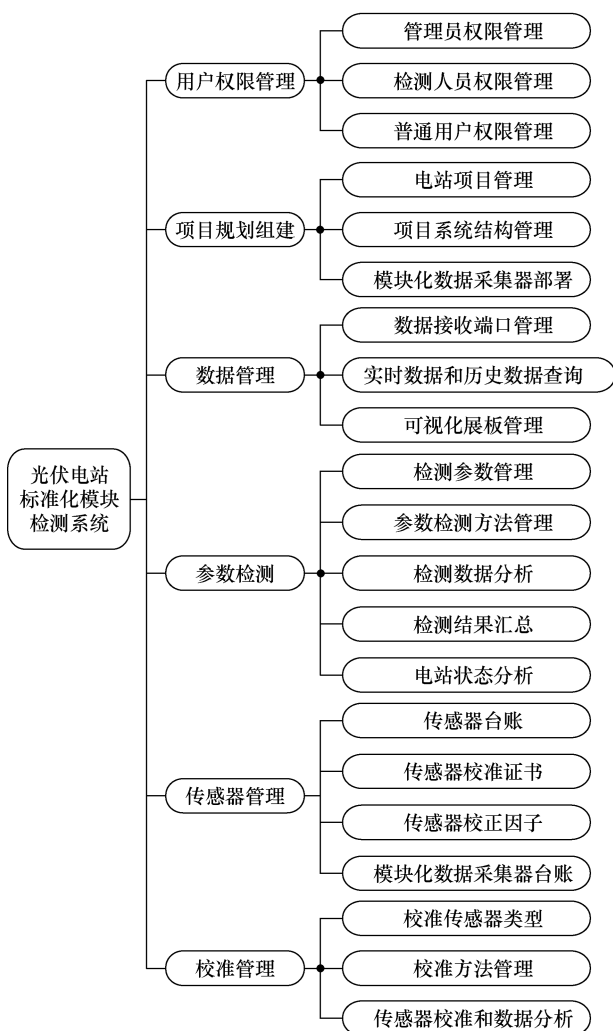


图3 系统功能模块

小值、平均值和累计值等数据。当检测到数据异常，即超出设定的阈值时，系统触发警报，提醒工作人员采取及时的干预措施。

对于每个光伏电站的检测结果，系统自动生成报表，并且允许所有数据导出和分享。此外，系统还能对多个光伏电站的数据进行统计分析，从而帮助提升管理水平。

#### 4) 传感器管理模块

建立一个传感器库，用于记录每一个检测活动中使用的传感器及其相关信息，如设备编号、规格、量程和精度等。此外，还可上传该传感器的校准证书、溯源确认记录及校准因子，从而便于在计算模型中调用，以修正检测数据。

#### 5) 校准管理模块

根据 ISO/IEC 17025—2017《测试和校准实验室能力的一般要求》、GB/T 27025—2019《检测和校准

实验室能力的通用要求》和 RB/T 214—2017《检验检测机构资质认定能力评价 检测机构通用要求》，检验检测机构为建立检测结果的计量溯源性，所使用的检测设备应进行检定或校准<sup>[15-16]</sup>。该模块由具备资质的校准机构进行操作，对传感器进行校准时，在校准管理模块录入标准值和实测值，通过对检测数据进行分析、对比，得出每个传感器的校准因子并储存在系统里。校准功能模块工作原理如图4所示。

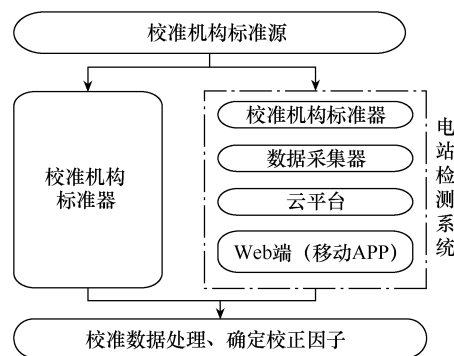


图4 校准功能模块工作原理

### 3.3 云平台选用

第三方云平台的选用需要考虑服务范围、成本效率、性能、安全性、易用性及创新能力等方面。在选择云平台时，需要评估自身的业务需求。如果业务涉及数据密集型任务，如大数据分析或机器学习，就选择相应的专业平台。此外，还应考虑平台是否提供全面的云计算基础架构服务，包括但不限于计算、存储、数据库等。根据应用的性能需求，进行基准测试，评估服务的可扩展性和弹性特性，以选择最适合自身需求的云平台。同时，还需考虑云平台的地理位置，确保应用程序部署在离用户更近的地方，以提高性能。云平台的管理工具和开发工具集是否符合系统的技术开发背景和业务需求也很重要。企业须比较不同云平台的定价策略，包括按需付费、预留实例等多种选项，以优化长期成本。

## 4 系统实现和能效比测试举例

根据测量目标、参数类型及数量的需求，参照测试方法标准可以设置合适的采集频率。该系统负责收集直流电源参数及逆变器转换后的交流参数，还会监测光伏电站的周围环境参数，包括太阳辐射强度、气温、光伏板温度、空气湿度和风速等。其中，电参数采集点的位置可以根据实际需求进行选择 and 连接。标准化模块检测系统可以在不同地理位

置的光伏电站布置检测模块, 这样可以实现同时对多座处于不同地域的光伏电站进行效率和性能检测。

下面举例说明光伏电站系统能效比测量。光伏电站能效比的标准化测试过程应符合 IEC 61724-1—2021《光伏系统性能监测 测量、数据交换和分析指南》<sup>[17]</sup>, 标准中还根据测试的准确度等级规定了数据的采样间隔。在处理光伏电站系统中不同朝向的光伏阵列时, 必须为每个阵列单独安装气象数据采集设备, 以便分别收集辐照度和光伏组件的温度数据。对于交流并网的光伏发电系统, 检测交流侧的总发电量及在运行过程中的电网供电量是关键。对于直流并网系统, 需要在直流侧收集发电总量的数据, 以及系统运行所需的电网电能信息。在评估系统能效时, 可以参照以下标准测量公式。

$$P_R = \frac{Y_f}{Y_r} \quad (1)$$

$$P_R = \frac{E_{out}/P_0}{H_i/G_{i,ref}} \quad (2)$$

$$P_R = \frac{\sum_k \frac{P_{out,k} \tau_k}{P_0}}{\sum_k \frac{G_{i,k} \tau_k}{G_{i,ref}}} \quad (3)$$

式中:  $P_R$  为系统能效比;  $Y_f$  为系统最终的电产量;  $Y_r$  为系统参考电产量;  $E_{out}$  为实际输出能量 ( $\text{kW}\cdot\text{h}$ );  $P_0$  为额定功率 ( $\text{kW}$ );  $H_i$  为规定时间间隔内积分的辐照度 ( $\text{kW}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-2}$ );  $G_{i,ref}$  为光伏阵列平面参考辐照度 ( $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ );  $P_{out,k}$  为测试采样时间间隔内的输出功率 ( $\text{kW}$ );  $\tau_k$  为测试采样的时间间隔 ( $\text{h}$ );  $G_{i,k}$  为测试采样时间间隔内光伏阵列平面的实际辐照度 ( $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ )。式 (3) 由式 (2) 展开得到。

2022年, 采用该系统对安徽省多个电站进行连续测试, 包括 A 县的光伏扶贫渔光互补电站, B 县的 S 和 L 光伏电站, 以及 C 县的 X 光伏电站。以上电站测试结果的不确定度符合现行检测标准的要求。

检测系统的部署成本主要来自人力成本、设备成本、时间成本。例如, 在未使用该系统前, 对上述 4 个地理位置分散的电站项目进行同步检测, 需要 4 套独立设备、4 组检测团队, 且现场部署累计耗时约 1 个月; 采用新系统后, 只需要 4 个标准化模块和 1 组检测人员, 现场部署时间缩短至 10 天左右。单个标准化检测模块的成本大约为 1 套独立设

备成本的 20%, 而大多数第三方检测机构通常只配备 2 套独立设备。因此, 该系统的应用能够显著降低系统部署成本。

该检测系统突破了当前光伏电站现场多台独立检测设备独立采集和独立处理数据的模式, 实现了标准化模块同时采集多种参数及可扩展性; 数据采集后通过物联网传至云平台进行存储和处理, 检测人员可通过手机端和 PC 端随时进行远程监测、预警和故障分析; 该系统整合了数据预处理功能, 提高了数据的准确性和可靠性; 系统具备校准管理功能, 记录了所有传感器的校准因子信息, 可随时调用以修正数据。

该检测系统的应用不仅实现了对单个光伏电站的性能检测, 还可以对跨地域的集中式光伏电站或分布式光伏电站同时进行性能检测。通过分析各参数的采样数据, 可以及时发现光伏组串间的不平衡、断路等问题。通过归类和分析, 还可以比较相同条件 (如位置、规模和时间等) 下不同厂家的设备和安装工艺对发电量和发电效率的影响, 进而指导制定最优的电产量提升方案。

## 5 结论

本文提出了一种基于物联网和云平台的标准化模块光伏电站检测系统, 最大的特点是主机虚拟化, 可根据不同电站规模和不同检测需求进行标准化模块部署, 不受数量和地域限制, 可扩展性强。该系统可实现一次性部署多个电站, 在相同的时间和环境条件下, 同时开展检测工作, 并可实现长时间连续检测, 从而为光伏电站系统性能检测提供了更有效的技术手段, 大大节省了光伏电站检测过程中的人力和物力投入, 避免了重复配备昂贵的检测设备, 解决了检测设备规格型号不统一、检测和数据采集不同步, 结果受时间、太阳辐射等因素变化影响大, 可比性不高的问题。该系统适用于第三方检测机构的光伏电站现场检测或类似应用场景。未来可在设备智能化部署, 多功能传感器、云平台数据分析、数据挖掘功能多样化和传感器在线校准等方面继续深入开发, 实现更好的服务。

## 参考文献

- [1] 郑伟烁, 郑文悦, 李志伟, 等. 光伏电站在线监测技术现状与进步趋势展望[J]. 电测与仪表, 2021, 58(9): 1-7.
- [2] 谭大师, 戴彬, 郭刚, 等. 分布式光伏管控平台的设

- 计与实现[J]. 电气技术, 2023, 24(2): 41-51.
- [3] 盛庆博, 王涛, 邹林, 等. 模块化光伏电站参数采集系统设计[J]. 工业仪表与自动化装置, 2023(1): 67-71.
- [4] 乔苏朋, 杨艳, 陈世群, 等. 光伏阵列故障检测方法综述[J]. 电气技术, 2021, 22(7): 1-6.
- [5] 周亮, 武美娜, 胡安. 局部遮挡下光伏阵列的快速建模及极值点分布特征研究[J]. 电工技术学报, 2021, 36(增刊 2): 572-581.
- [6] 刘伟, 杨凯宁. 基于数值天气预报因子扩充和改进集成学习的高寒地区短期光伏功率预测[J]. 电气技术, 2024, 25(8): 1-10.
- [7] 时珉, 许可, 王珏, 等. 基于灰色关联分析和 GeoMAN 模型的光伏发电功率短期预测[J]. 电工技术学报, 2021, 36(11): 2298-2305.
- [8] 刘晓艳, 王珏, 姚铁锤, 等. 基于卫星遥感的超短期分布式光伏功率预测[J]. 电工技术学报, 2022, 37(7): 1800-1809.
- [9] 谢骊骊, 叶青, 陈伟, 等. 光伏电站在线监测智能诊断系统设计与实现[J]. 太阳能, 2017(1): 16-21, 27.
- [10] 陈国灯, 林培杰, 赖云锋, 等. 基于电流时间序列的光伏故障在线监测系统[J]. 电气技术, 2018, 19(6): 20-25.
- [11] 周盛龙, 常梦星, 杨鹤松, 等. 光伏电站在线监测及故障诊断系统设计[J]. 电气技术与经济, 2024(4): 95-97, 102.
- [12] 顾超, 宋树平, 方凯. 智能化光伏电站监控系统设计与实现[J]. 南方农机, 2022, 53(5): 187-189.
- [13] 张丽瑾, 李昌恩, 王卓. 便携式光伏电站多路电流比测仪的研发与应用[J]. 青海科技, 2022, 29(4): 146-150.
- [14] 海涛, 纪昌青, 李晓念, 等. 基于 Web 的光伏电站监控与故障诊断系统[J]. 自动化与仪表, 2016, 31(10): 5-9, 18.
- [15] 测试和校准实验室能力的一般要求: ISO/IEC 17025—2017[S].
- [16] 检测和校准实验室能力的通用要求: GB/T 27025—2019[S]. 北京: 中国标准出版社, 2019.
- [17] 光伏系统性能监测 测量、数据交换和分析指南: IEC 61724-1—2021[S].
- 
- 收稿日期: 2024-10-08  
修回日期: 2024-11-21
- 作者简介  
孙 路 (1983—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事建筑节能产品、可再生能源产品的检测和标准制修订方面的研究工作。
- 
- (上接第 58 页)
- [10] 蒋平, 郑斌青, 冯双. 基于功率及频率波动相位的强迫扰动源定位[J]. 电力自动化设备, 2017, 37(1): 112-117.
- [11] 王茂海, 孙昊. 强迫功率振荡源的在线定位分析技术[J]. 中国电机工程学报, 2014, 34(34): 6209-6215.
- [12] 肖仕武, 徐立光. 基于频率耦合阻抗的直驱风电机组次同步振荡关键影响因素分析及抑制措施[J]. 电网技术, 2023, 47(4): 1641-1652.
- [13] 余一平, 闵勇, 陈磊, 等. 基于能量函数的强迫功率振荡扰动源定位[J]. 电力系统自动化, 2010, 34(5): 1-6.
- [14] 陈磊, 陈亦平, 闵勇, 等. 基于振荡能量的低频振荡分析与振荡源定位(二)振荡源定位方法与算例[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(4): 1-5.
- [15] 姜涛, 高滢, 李雪, 等. 电力系统强迫振荡源定位的耗散能量谱方法[J]. 中国电机工程学报, 2023, 43(8): 2940-2952.
- [16] 李颖, 沈沉, 刘锋. 基于 Hamilton 实现的电力系统振荡源设备级定位[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(23): 6-11, 86.
- [17] 陈磊, 王文婕, 王茂海, 等. 利用暂态能量流的次同步强迫振荡扰动源定位及阻尼评估[J]. 电力系统自动化, 2016, 40(19): 1-8.
- 
- 收稿日期: 2024-09-19  
修回日期: 2024-10-21
- 作者简介  
陈玉林 (1980—), 男, 博士, 湖北武汉人, 高级工程师, 主要从事广域同步相量测量和输电线路故障测距技术研究工作。