

支撑分布式光伏防逆流的速采型智能模块研制

宋欣雨*, 张 哲

(国网北京平谷供电公司, 北京 平谷 101200)

摘要: 针对一些地区分布式光伏渗透率提升引发的电网逆流及电能质量下降问题, 文章研制了一款支撑分布式光伏防逆流的速采型智能模块。该模块围绕分布式光伏场景下关键电气参数的速采速传技术、多模式通信组网方案开展研究设计, 实现了100 ms级的电气参数快速检测与计算, 兼容RS-485等多种通信方式, 支持免停电安装与非接触调试。模块依据国标与行业规范设计, 可与光伏逆变器、能量管理系统联动实现动态闭环调节, 在检测到逆向电流超额定输出5%时快速触发保护动作, 有效防止电网逆流。实际应用案例表明, 该模块能显著降低潮流返送引发的电网电压质量问题, 提升台区光伏管控水平。

关键词: 分布式光伏; 防逆流; 速采型智能模块; 电能质量

中图分类号: TM862

DOI: 10.13882/j.cnki.ncdqh.2603F005

CSTR: 32400.14.ncdqh.2603F005

Development of a Rapid-Sampling Smart Module for Supporting Distributed Photovoltaic Anti-Reverse Flow

SONG Xinyu*, ZHANG Zhe

(State Grid Beijing Pinggu Power Supply Company, Beijing Pinggu 101200, China)

Abstract: To address the issues of grid reverse flow and power quality degradation caused by the increasing penetration of distributed photovoltaic systems in certain regions, this paper develops a rapid-response intelligent module designed to prevent reverse current in distributed photovoltaic systems. The module focuses on research and design in rapid acquisition and transmission of key electrical parameters in distributed photovoltaic scenarios, as well as multi-mode communication networking solutions. It achieves rapid detection and calculation of electrical parameters within 100 ms, supports multiple communication methods such as RS-485, and enables installation without power outage and contactless debugging. Designed in accordance with national standards and industry regulations, the module can be integrated with photovoltaic inverters and energy management systems to achieve dynamic closed-loop regulation. When reverse current exceeds the rated output by 5%, it promptly triggers protective actions to effectively prevent grid reverse flow. Practical application cases demonstrate that this module significantly reduces voltage quality issues caused by power flow reversal and enhances the management level of photovoltaic systems in distribution networks.

Keywords: distributed photovoltaics; anti-backflow; rapid-sampling smart modules; power quality

0 引言

在电力系统中, 从配电变压器流向用户负载的电流, 称为正向电流。在分布式光伏系统中, 当光伏发电功率大于本地负荷功率时, 多余的电力就会流入电网^[1], 此电流方向是从负荷侧流向电网侧, 与正向电流相反, 称为逆流。电网停电时若孤岛保护失效, 也可能导致非计划性逆流, 见图1。

光伏逆变器在将光伏组件产生的直流电转换成交流电时, 会夹杂有直流分量和谐波, 三相电流不平衡, 输出功率不确定性等, 目前基本没有采取有效的治理手段。逆流将产生的电送往公用电网, 就

会对电网产生谐波污染, 易造成电网电压波动, 闪变等, 如果有许多这样的发电源向电网输电时, 会导致电网电能质量严重下降。

针对上述问题, 本文研究一种支撑分布式光伏防逆流的速采型智能模块, 在分布式光伏的速采速传方面、通信组网方面进行了改进, 可有效支撑分布式光伏的逆流, 降低潮流返送引出的电压质量问题, 有效支撑电压监测管理水平。

1 国内外研究现状

1.1 国内防逆流监测技术应用与方案特点

在公共连接点(PCC)监测方面, 国内方案强调对公共连接点(PCC)的实时功率流向监测, 而

基金项目: 国网北京市电力公司科技项目(52021325000C)。
收稿日期: 2026-03-02

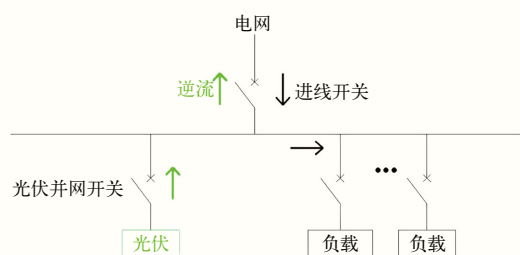


图1 电网逆流图

非用户侧内部并网点。例如，通过协调控制器（如 ACCU-100）与防逆流保护装置联动，实时采集市电总进线功率与光伏发电功率，经系统计算后调节逆变器输出，实现功率平衡。在专用仪表配置方面，针对不同场景推荐单相或三相防逆流检测仪表，通过判定逆变器过功率输出并发出控制信号，确保光伏发电量与负载需求匹配。

1.2 国外防逆流监测技术特点与趋势

海外市场的专用防逆流仪表，需满足当地电网认证标准，侧重高可靠性与适应性，适用于不同国家的电压等级与并网规则。同时，在通信协议兼容性方面，海外方案更注重与国际通用通信协议（如 Modbus、DNP3.0）的集成，支持远程数据交互与多平台接入，满足跨国项目的运维需求。

应用场景拓展方面，海外市场户用光伏系统防逆流监测多采用简化方案，依赖单相仪表与逆变器的本地联动；工商业项目则倾向于采用与国内类似的公共连接点监测模式，但更强调与微电网、储能系统的协同控制。

总之，随着光伏渗透率提升，防逆流技术正从“被动保护”向“主动优化”演进。未来，结合 AI 预测算法、边缘计算的智能调控方案将成为主流，通过更精准的负荷预测与储能协同，实现“零弃光”与电网安全的双重目标。同时，多能互补微电网系统（光伏 + 储能 + 传统能源）将进一步提升防逆流方案的经济性与可靠性。

2 研究设计

2.1 产品研究的关键点和技术难点

分布式光伏发电系统中，针对一些运行模式需要及时防止逆变器输出的电流流向电网，重点需要从监测模块的速采速传、通信组网等方面开展研究、设计，将成为研究的关键点和难点。

2.1.1 速采速传方案

针对电压监测装置的铭牌、报告等基础信息需开展电子化方法，可快速便捷查询基础信息，以及合格报告等。

2.1.2 通信组网方案

在通信模式方面，如何设计强大的通信功能，支持 RS-485 和蓝牙通信，可选 4G 和 LoRa 无线通信方式；通信组网时免布线，减少现场施工成本。进行非接触调试，减少调试成本。

2.2 产品研究原理与实践依据

2.2.1 研究原理

根据 GB/T 29319—2012《光伏发电系统接入配电网技术规定》8.5 章节要求：“当光伏发电系统设计为不可逆并网方式时，应配置逆向功率保护设备，当检测到逆向电流超过额定输出的 5% 时，光伏发电系统应在 2 s 内自动降低出力或停止向电网线路送电”。

根据 T/CET 401—2022《电池储能系统集成技术规范：用户侧储能》5.3 章节要求：“用户储能系统应配备防孤岛和逆功保护装置，防孤岛保护应与电网侧线路保护相配合，配备的逆功保护设备，当检测到逆向电流超过额定输出的 5% 时，储能设备应在 0.5~2 s 内停止向电网线路送电”。

上述标准文件中提到的逆功保护设备，可以使用防逆流电能表来实现；由于时间要求是需要整体系统在 2 s 内降低逆变器功率，所以并网点安装的防逆流电能表要能够快速检测到电流逆流，典型值需要在 100 ms 左右，从而给予逆变器足够的响应时间来调节功率输出。

智能边缘计算模块是边缘节点上的智能化通信枢纽。它在末端设备与主站/平台之间建立稳定、可靠的传输通道，可做到广泛、快速地接入和可信任的传输与转发。边缘计算网关在保证数据安全的同时，支持多云同时上传和更便捷的维护方式，具备较强的应用前景。

通过高度集成的通信系统与智能控制算法，实时监测电网公共连接点的功率及逆变器功率，一旦发现电网进线有功功率达到预设阈值，系统将自动调整逆变器输出功率，实现动态闭环调节，有效防止逆流发生。

2.2.2 实践依据

速采设计：在采集速率方面，实现 100 ms 实时

数据快速刷新，检测到逆流的时间较普通电能表快 10 倍，检测到逆流后，作为逆变器柔性调节输出的依据，阻止逆流向电网。在测量计量方面，可实现线/相电压、电流、中性点电流、有功/无功/视在功率、功率因数、频率、需量、谐波等高精度电能计量，正反向有功电能、正反向无功电能、视在电能、四象限无功电能^[2]。

场景 1：分布式光伏场景。

分布式光伏发电系统中，针对自发自用余电不上网的模式，须防止逆变器输出的电流流向电网；在光伏并网点安装防逆流电能表，当检测到反向电流超过额定输出的 5% 时，防逆流电能表可以在 100 ms 内检测到功率的变化，继而由网关进行逆变器的输出调节，见图 2。

场景 2：户用储能场景。

户用储能系统中，充电桩配置储能柜的场景，在电价低时给储能柜充电，然后电价高时由储能柜给充电桩供电，利用峰谷电价差来盈利；由储能柜给充电桩供电时，当反向电流超过额定电流的 5% 时，防逆流电能表可以在 100 ms 内快速检测到功率方向的变化，由 EMS 能量管理系统调节储能柜中变流器输出，实现防逆流功能，见图 3。

功能设计：支撑分布式光伏防逆流的速采型智能模块以工业级微处理器为核心，处理速度快，每周波 128 点采样，能够提供高精度的三相电压、电流和功率等基本测量数据，并具有需量计算、分时计费、63 次谐波监测、定值越限、定时记录、远程整定、电压暂态监测、剩余电流保护及温度保护等功能。

该模块针对光伏发电系统的防逆流要求，定制

了实时数据快速计算功能，可以在 100 ms 的典型值时间内检测到电流、功率等数据变化并计算出来，与逆变器/能量管理系统 EMS 进行串口通信，实现防逆流功能。

安装方式：可采用开口式 TA，支持免停电安装，在改造项目中可大幅缩短施工时间、节约施工成本；同时也可选 5 A 电流直接接入，支持暂态功能、波形记录，帮助企业定位故障、分析原因；可选配剩余电流测量和温度测量，保障企业安全用电。

3 装置与产品

3.1 装置研制

针对上述应用场景，本文研制了具备 100 ms 快速计算能力的防逆流采集模块，可以应用于光伏发电系统，能够快速检测电流、功率的变化，与逆变器/能量管理系统 EMS 进行通信，实现防逆流功能，见图 4。

3.2 装置参数设计

综合考虑分布式光伏防逆流需求，速采型智能采集模块参数设计见表 1。

3.3 运行模式

智能速采模块协同防逆流保护装置、并网接触器等可实现并网逆变器集成装置的研制，支撑实现并网防逆流的功能。

防逆流保护装置：用于检测产权分界点的电流、电压等数据，计算出实时功率值、功率方向等。是构成防逆流光伏箱的主要元器件，可以防止电流逆流，保证电力系统的安全和稳定运行。当光伏板产生的电流超过系统的需求时，防逆流保护装置会自

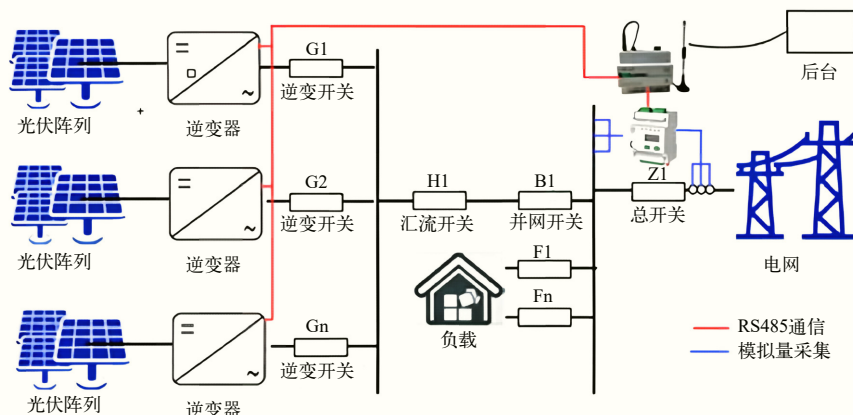


图2 分布式光伏场景模拟

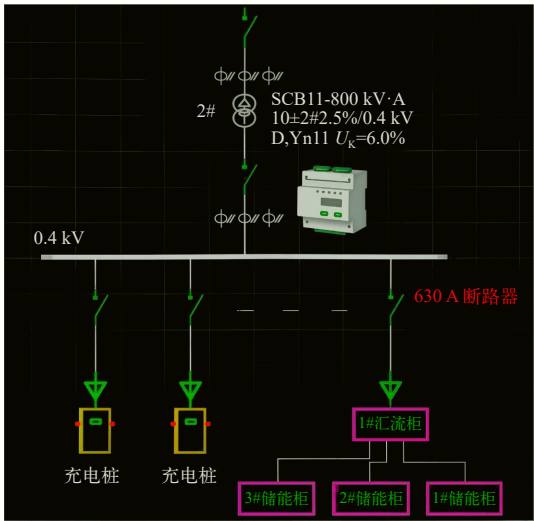


图3 户用储能场景模拟



图4 装置研究示意图

表1 防逆流装置参数设计表

参数项	指标
100 ms快速计算	包含电压、电流、功率、功率因数、DI、DO状态的快速计算
供电电源	95~264 V AC/DC
电压输入	额定值：57.74 V/220 V AC
电流输入	5 A开口电流互感器、100~1 600 A开口电流互感器、5 A闭口电流互感器
通信方式	RS485通信
精度等级	搭配开口互感器：有功电能1级；搭配闭口互感器：有功电能0.5S级

动关闭，以防止电流逆流回电网，确保电力系统的安全。

浪涌保护器：用于保护当前柜体内的电子设备、仪器仪表、通信线路。

隔离刀闸：用于建立可靠的绝缘间隙，将需要检修的设备或线路与电源用一个明显断开点隔开，以保证检修人员和设备的安全。

输入开关：用于光伏发电输出时的短路、接地保护。

并网接触器：配合防逆流控制器断开、合上光伏发电系统，适用于频繁操作。

3.4 案例分析

如图5所示的分布式光伏并网系统，防逆流装置已安装于某并网系统装置中，具有逆功率保护功能，当检测到逆功率时可触发保护动作，跳开逆变器开关或者光伏并网开关，从而避免发生电网逆流，实现分布式光伏系统的发电量全部自发自用。

当进线开关出现逆流，防逆流装置监测到逆功率后触发保护动作，选择跳开 Q01 并网开关，降低部分发电功率，保证全部发电自发自用；如果防逆流装置再次监测到逆功率，便会触发保护动作跳开 Q02 并网开关，避免发生电网逆流。

防逆流装置不仅具有逆功率保护功能，解决电网逆流问题，实现分布式光伏系统的发电量全部自发自用；还具有低频保护、高频保护、低压保护、过压保护、频率突变保护、频率滑差保护等功能，广泛应用于光伏系统、风力发电系统、储能系统以及微型电网等场景^[3]。

4 结束语

本文针对一些地区分布式光伏发展带来的电网逆流及电能质量下降问题，研发的支撑分布式光伏防逆流的速采型智能模块，实现了分布式光伏场景下电压、电流、功率等关键电气参数 100 ms 级的快速采集与计算，通过多模式通信组网设计与标准化的硬件配置，可与光伏逆变器、能量管理系统形成联动的动态闭环调节，能在检测到逆向电流超出额定输出 5% 时快速触发保护动作，有效抑制电网逆流现象，同时可降低潮流返送引发的电网电压波动、谐波污染等问题，提升台区分布式光伏的监测与管控水平，为配电网中分布式光伏的安全并网运行提供了硬件支撑与技术解决方案，也为同类光伏高渗透率地区的电网电能质量治理提供了实践参考。

该模块在实际应用中仍存在一定技术不足，其一，通信方式目前以 RS485 为主，4G、LoRa 等无

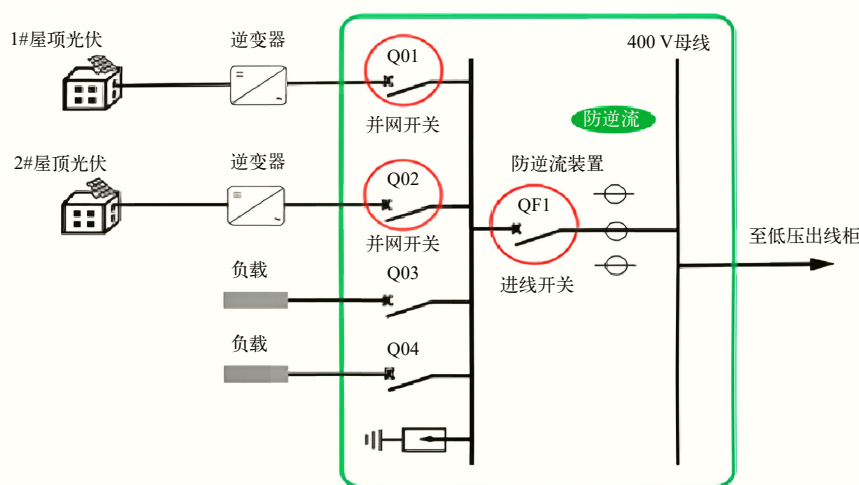


图5 案例分析模拟图

线通信方式仅为选配，无线通信的稳定性与抗干扰性尚未经过长期复杂工况的验证；其二，模块的功能应用仍以基础的参数采集与逆流保护为主，尚未融合负荷预测、功率智能分配等智能化算法，与储能系统的协同调控能力有待进一步开发。

参考文献

- [1] 苏阳. 基于分布式光伏系统的配电网逆功率控制系统设计[J]. 江西电力职业技术学院学报, 2024, 37(4):13-15.

- [2] 金闪. 基于IEC61850的变电站电能量采集终端建模与配置研究[D]. 杭州: 杭州电子科技大学, 2009.
- [3] 朱欣科. 考虑可再生能源消纳及阶梯碳交易的微电网分层优化运行研究[D]. 湘潭: 湖南科技大学, 2024.

作者简介

宋欣雨 (1997—), 女, 硕士, 工程师, 从事电气试验工作, E-mail: s13552899821@163.com.

张哲 (1995—), 男, 本科, 从事电力工程管理工作, E-mail: 15201495898@qq.com.

(责任编辑: 张峰亮)

(上接第4页)

3 结束语

经济发展, 电力先行。在用电负荷日益集中、高品质绿色用能需求日益增长、能碳管理要求日益严格的城市配电网中, 持续深化建设新型电力系统的过程实际就是一个在面对新形势、解决新问题中曲折前进的过程, 也正是供电企业作为能源行业的标杆发挥“国之重器”担当的深耕探索的广阔天地。新型电力系统的示范建设是深化电力体制改革、更好地推动能源生产和消费革命、保障国家能源安全、坚守电能供应安全底线的必由之路。在打造安全可靠、坚强韧性的数字化配电网, 全力支撑城市发展建设的高品质用能需求的同时, 推动新型电力系统的示范建设工作, 通过增加清洁能源的接入与消纳比例, 加快各行业的能源互济和转型升级, 以实现从“能耗双控”向“碳排放双控”的精准转变。供电企业可借助此契机, 对内推动公司在新能源快速

发展、节能降碳的风口上挖掘更大的市场空间及经济价值, 实现公司的转型升级; 对外挖掘数字资源和效能管理需求, 助力地区能源绿色转型, 在推动双碳目标建设进程中迈向新的高度。

参考文献

- [1] 韩肖清, 李廷钧, 张东霞, 等. 双碳目标下的新型电力系统规划新问题及关键技术[J]. 高电压技术, 2021, 47(9):3036-3046.
- [2] 董旭柱, 华祝虎, 尚磊, 等. 新型配电系统形态特征与技术展望[J]. 高电压技术, 2021, 47(9):3021-3035.
- [3] 舒印彪, 汤涌, 张正陵, 等. 新型配电网构建及其关键技术[J]. 中国电机工程学报, 2024, 44(17):6721-6733.
- [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[J]. 中国电机工程学报, 2022, 42(8):2806-2819.

作者简介

袁冰 (1993—), 女, 硕士, 工程师, 从事科技创新管理、新型电力系统建设、标准化管理等工作, E-mail: ybing0@126.com.

罗辉 (1981—), 男, 本科, 工程师, 从事配电网管理、电网安全管理、科技数字化管理等工作, E-mail: 13581879555@139.com.

(责任编辑: 张峰亮)