

[分布式发电]

基于配电变压器智能融合终端的光伏柔性控制设计

文/涂祥存¹ 莫言红² 田中伟¹ 刘潇阳¹ 郭运城¹ 张冲¹

1. 国网山东省电力公司枣庄供电公司; 2. 青岛鼎信通讯股份有限公司

分布式光伏发电的大力发展给电网安全稳定运行带来巨大的挑战，配电变压器的反向重过载问题特别突出，频繁发生变压器烧坏事件，严重影响供电可靠性。在配电变压器智能融合终端应用的基础上，设计分布式光伏返送电柔性控制系统和配电变压器光伏发电反向重过载柔性控制装置，编写出配电变压器柔性控制程序，通过选取两个分布式光伏发电客户，对系统应用效果进行比对，验证系统的可行性，最大程度地利用配电变压器设备容量，同时也确保客户发电效益，实现分布式光伏与配电网之间的柔性互联，促进分布式光伏发电的健康发展。

分布式光伏发电的迅猛发展，给电网安全稳定运行带来巨大的影响，仅依靠传统的人工把关控制已难以适应电网发展的需要。在“先接入后改造”的政策下，配电变压器的反向重过载问题，导致部分配电变压器分布式光伏发电装机容量超过配电变压器容量。另外，在利益驱使下，部分客户违规超容发电，致使配电变压器反向重过载问题特别突出，变压器烧坏事件时有发生，严重影响供电可靠性。为适应新能源发展形势，试点建设分布式光伏低压柔性互联控制系统，推进分布式光伏发电可观、可测、可调 and 可控已成必然。本文在配电变压器智能融合终端应用的基础上，研制配电变压器光伏发电反向重过载柔性控制装置，从而实现分布式光伏与配电网之间的柔性互联。

光伏发电配电变压器反向重过载柔性控制原理

光伏发电配电变压器反向重过载柔性控制原理是通过应用数字化二次设备对配电变压器一次设备的运行情况进行控制。具体为根据变压器的运行状态，实现光伏发电的技术控制，防止因光伏发电反

向电流过大导致配电变压器过载运行，引起设备烧坏。在变压器侧安装变压器运行监测系统，用于监测变压器运行电压、电流、有功功率和无功功率，为调整各分布式并网点发电效率调节提供调节依据；在分布式光伏发电逆变器侧安装并网设备调节装置，根据变压器的运行状态，实时动态调节各并网点的发电效率。变压器运行监测系统根据光伏发电电流总值，通过并网设备调节装置控制光伏发电逆变器的工作效率，在保证配电变压器（负载率<100%）安全稳定运行的前提下，实现最大程度利用配电变压器容量，同时保障客户的发电效益。分布式光伏柔性控制原理如图1所示。

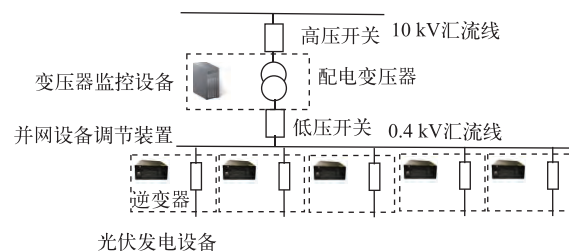


图1 分布式光伏柔性控制原理图

光伏发电配电变压器反向重过载柔性控制装置

1. 系统介绍

本文中变压器运行监测系统是通过配电变压器融合终端的应用实现。根据智能融合终端自身采集的数据，提前设置好配电变压器反向负载率控制目标值（上限：配电变压器容量的80%；下限：配电变压器容量的75%），由通过供电服务平台软件进行控制分布式光伏发电逆变器的输出效率，在保

证设备安全稳定运行的前提下，实现最大程度利用配电变压器容量，同时保障客户的发电效益。智能融合终端通过HPLC模块与规约转换器之间进行通信，将控制命令下发给规约转换器，规约转换器连接转换盒，通过RS 485通信方式，将命令转换为光伏逆变器厂家的协议命令下发给逆变器，从而实现对逆变器输出功率进行柔性控制的目的。如图2所示。

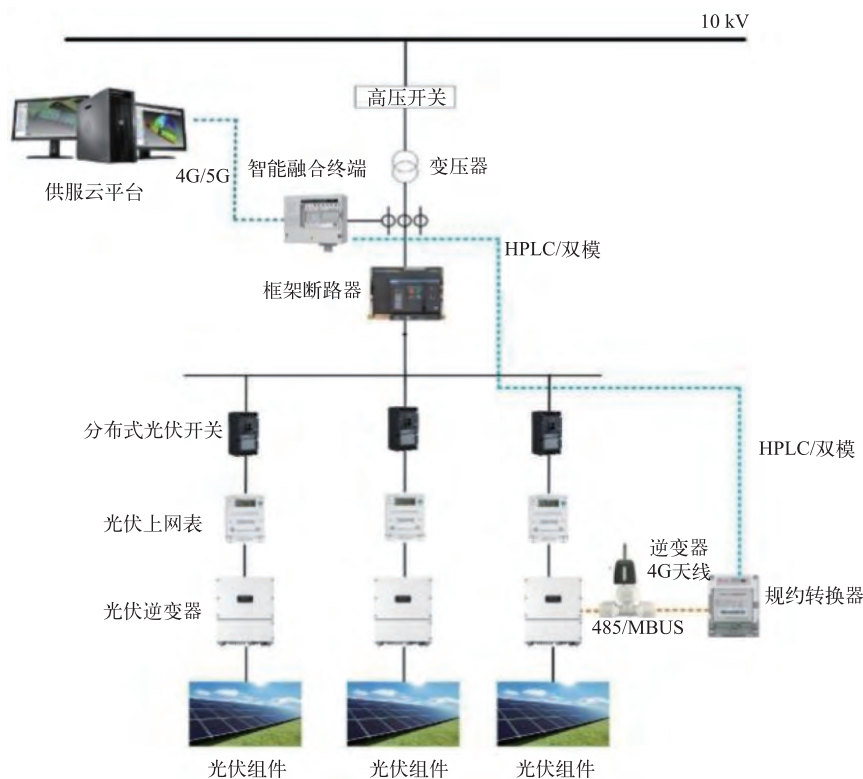


图2 分布式光伏柔性控制应用系统

2. 柔性控制设备

硬件设备主要包含智能融合终端、规约转换器和转接盒。

(1) 智能融合终端

融合终端负责整体控制策略的执行，智能融合终端作为配电台区网关节点，负责云平台需求数据上报及台区内逆变器数据采集，边设备对上通过4G/5G与云进行数据交互，将本地的数据上传至云，同时接收云端的调控指令或策略；终端侧通过标准化的分布式光伏APP，将整个分布式光伏群控各数据项的控制策略写入APP内，即如何控制由光伏APP执行；融合终端对下通过电力线载波技术与端设备（光伏断路器/规约转换器）进行通信/

交互。

(2) 规约转换器

本系统中的并网设备调节装置，采用青岛鼎信通讯股份有限公司生产的DCZL23-DX 规约转换器，其主要功能是负责智能融合终端与光伏逆变器通信及指令传输，用于对光伏逆变器的控制。规约转换器的作用是“听懂”不同厂家光伏逆变器的“语言”。将不同“语言”进行“翻译”后通过HPLC模块与融合终端进行通信，传达融合终端的指令和逆变器的答复。

(3) 转接盒

随着分布式光伏用户爆发式接入，光伏逆变器接入现阶段无法做到统一化、规范化，暂无技术监

督能力,故光伏逆变器存量用户呈现逆变器品牌多样化、接口差异化、通信协议扩展错综复杂,并且要考虑在满足对其控制的情况下,还要做到不影响分布式光伏自身主站采集。为应对光伏逆变器通信接口的多样性,开发了可适配各种通信接口的转接盒,既保证规约转换器本身接口的单一普适性,也应对光伏用户本身数据采集(逆变器本身仅1路通信口,需通过转接头拓展)的需求,实现逆变器单RS 485口电网和厂家自身4G采集控制双通道需求,原理框图如图3所示。

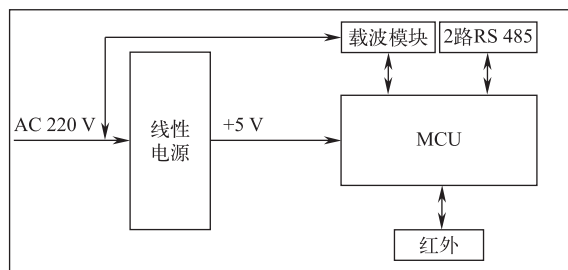


图3 转接盒原理框图

通过规约转换器将不同的厂家协议转换成统一的645协议,并通过自身配置的HPLC/双模,完成数据采集以及相应控制命令执行,从而达到分布式光伏群控目的。

3. 软件设计

逻辑控制流程如图4所示。变压器容量 Q ,光伏逆变器容量 P ,反向功率控制阈值 $T_1\%$,反向功率恢复阈值下限 $T_2\%$,反向上网功率 S ,逆变器输出额定功率占比 $H\%$ 。

配电变压器的反向功率控制阈值 $T_1\% \sim T_2\%$ 为终端设定的参数,当配电变压器反向电流值大于等于 $T_1\%$ 或小于等于 $T_2\%$ 时,开始进行控制。常规情况下, T_1 与 T_2 的差值大于5;逆变器额定功率输出占比 $H\%$;融合终端通过交采数据的采集实时监控反向功率 S ,当 S 大约等于 $T_1\% \times Q$ 时,开启监控控制逻辑,融合终端下发控制指令,台区内所有光伏逆变器额定功率下降 $(S - T_1\% \times Q) / P\%$,采用广播的方式下发,等待1 min(修正为1 min的主要原因为采用广播的方式下发控制指令,下发的报文为同一条,响应较为速度,不对其回针进行判定,即不对是否控制成功进行判定,在1 min之内,下发三次同样的广播指令,提高成功率,三次的时间间隔为20 s),监控采集实时反向功率 S_1 ,当 S 大约等于

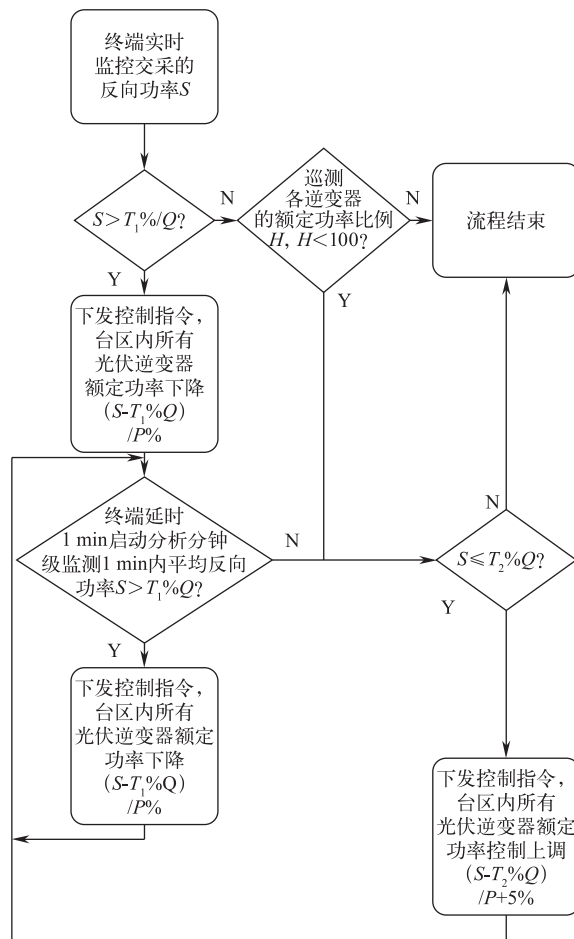


图4 配电变压器反向重过载本地控制逻辑控制流程

$T_1\% \times Q$ 时,下发控制指令,台区内所有光伏逆变器额定功率下降 $(S - T_1\% \times Q) / P\%$,采用整数即可,继续监控采集反向功率 S ,直至 S 小于 $T_1\% \times Q$;当 S 小于等于 $T_2\% \times Q$,下发控制指令,台区内所有光伏逆变器额定功率控制上调 $(S - T_2\% \times Q) / P\% + 5\%$,一直循环,直至100%。

安装应用及效果

针对某枣庄市某台区配电变压器容量200 kV·A,共安装分布式光伏发电用户15户,总发电容量338 kWp,共涉及光伏厂家6家,日照条件较好的情况下,配电变压器反向过载150%,反向送电现象严重,所以选取该配电变压器进行光伏柔性控制试点。

为了更好地检验本装置的调控效果,选取该变压器接入的11户分布式光伏用户进行试点调控,首先统计该台区分布式光伏逆变器的种类,相应配备不同型号及数量的接口转换器,见表1。

表1 台区在运逆变器厂家与型号

序号	逆变器厂家	型号	容量/kWp	接口
1	Growatt	25000UE	25	DB9针串口
2	Growatt	20000UE	20	DB9针串口
3	Growatt	10000TL3-S	10	DB9针串口
4	固德威	GW40K-MT	40	USB
5	Growatt	15000TL3-S	15	DB9针串口
6	Growatt	MID 25KTL3-X	25	USB
7	锦浪	GCI-3P23K-5G	23	4孔
8	光伏星	25KTL	25	4孔
9	锦浪	GCI-3P30K-5G	30	4孔
10	CHNT	ANI-M25T-2M	25	4孔
11	SUNGROM	SG20RT-20	20	网孔

本次智能融合终端在中午11:00—14:00, 监控反向功率达到160 kW阈值, 按预设台区配电变压器80%的负载率进行调控, 前后效果对比如图5、图6所示。

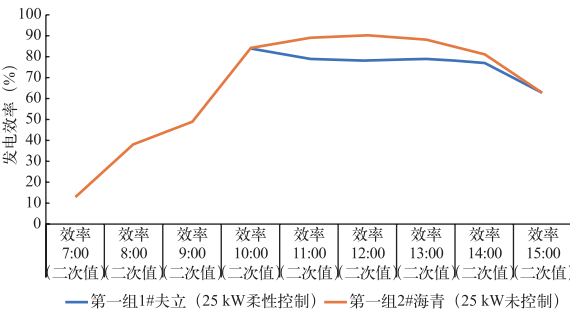


图5 两户光伏柔性控制效果对比

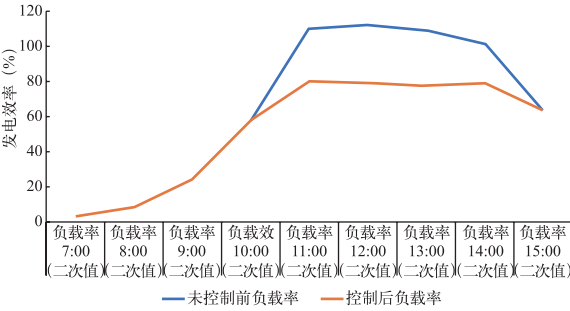


图6 配电变压器光伏柔性控制效果对比图

抽取两户容量相同的分布式光伏客户, 分别通过采用加装柔性控制设备和不加装柔性控制设备两种方式进行试验比对。客户1#夫立, 装机容量25 kWp, 加装柔性控制设备; 客户2#海青, 装机容量25 kWp, 未加装柔性控制设备。通过调取两户全天发电效率进行比对, 发现在11:00, 台区负载率达到设计阈值后, 智能融合终端通过向协议转换器

下发调控指令, 调节逆变器的发电效率, 控制发电效率控制在80%的目标。

通过调取该台变压器全天发电效率进行比对, 发现在11:00, 台区负载率达到设计阈值后, 智能融合终端通过向协议转换器下发调控指令, 调节逆变器的发电效率, 控制发电效率控制在80%附近, 实现台区负载率控制在重载范围内, 最大程度地利用设备容量, 同时也确保客户1#夫立发电效率, 达到了预期的效果。通过柔性控制设备实现光伏发电可观、可控、可测的效果, 确保设备安全稳定运行, 最大程度实现光伏的利用, 保障客户的发电利益。

结束语

本文采用青岛鼎信通信股份有限公司配电台区智能融合终端, 设计规约转换器、转接盒的柔性控制系统设计, 研制分布式电源导致变压器反向重过载本地控制装置, 从而实现分布式光伏与配电网之间的柔性互联, 促进源网荷储协同。EA

(收稿日期: 2025-06-25)

参考文献

[1] 柳杨, 赵立军, 刘建辉, 等. 基于专利分析的分布式光伏国内产业发展趋势[J]. 湖北电力, 2020, 44(2): 88-94.

[2] 熊平, 汪春江, 孙建军, 等. 含光伏逆变器的低压有源配电网谐振风险评估[J]. 湖北电力, 2020, 44(1): 20-25.

[3] 贝太周. 分布式光伏并网系统关键问题研究[D]. 天津: 天津大学, 2016.

[4] 蔡德福, 汪鹏, 闫秉科, 等. 湖北省分布式光伏电压和频率耐受能力分析[J]. 湖北电力, 2020, 44(3): 31-36.

[5] 李英姿. 分布式光伏并网系统运行中存在的问题[J]. 建筑电气, 2014, 33(11): 750-756.

[6] 杨帆. 分布式光伏并网技术及电能质量相关问题 访国网河北省电力公司电力科学研究院电网技术中心主任段晓波[J]. 电气应用, 2014, 33(17): 6-9.

[7] 齐小伟, 杨学涛, 刘开欣, 等. 基于柔性开关的配电网光伏接纳能力提升[J/OL]. 现代电力, 2024, 41(2): 295-301.