

配电网电压暂降监测系统构建及对策研究

曹俊英¹, 邓才波¹, 江海², 刘洋¹, 袁乐¹

(1. 国网江西省电力有限公司电力科学研究院, 江西 南昌 330096; 2. 国网江西省电力有限公司萍乡供电分公司, 江西 萍乡 337000)

摘要:电压暂降监测系统获取的数据是明确配电网电压区域暂降水平的核心手段之一, 可为精准的预防和治理对策提供必要依据。文中构建了一套电压暂降监测系统, 实现暂降残压及持续时长的自动计算和统计分析。在此基础上, 利用监测数据, 从暂降源、线路保护、敏感设备多个维度, 形成精准的电压暂降防治对策; 以江西鹰潭某企业为典型案例, 通过监测系统捕获暂降事件信息后, 采取变电站近区电网运维强化、线路保护配置优化及敏感设备参数调整等组合措施, 有效减少了电压暂降导致的“闪停”问题。该监测系统可为电压暂降问题诊断提供数据支撑, 所提出的防治对策具有显著工程应用价值, 对提升敏感用户供电可靠性具有重要意义。

关键词:电压暂降; 暂降监测系统; 防治对策; 变电站近区; 敏感设备

中图分类号: TM 714.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1006-348X(2025)03-0016-06

0 引言

电压暂降是指系统受到扰动后导致供电电压有效值在短时间内突然下降, 持续一段时间后电压恢复正常的现象。《电能质量电压暂降与短时中断》(GB/T 30137—2024)^[1]关于电压暂降的定义是指供电电压方均根值突然下降到额定电压值的10%~90%, 并在持续10 ms~1 min后恢复正常电压^[2-4]。

近年来, 电压暂降作为电能质量领域的核心挑战之一, 在工业自动化与精密制造领域引发广泛关注。据统计, 电压暂降事件占电能质量问题的80%以上, 每年导致工业用户经济损失高达数十亿元, 尤其在半导体制造、生物制药等高敏感行业, 其影响更为显著^[5-9]。

在新能源高渗透与电力电子化设备普及的背景下, 暂降事件的时空耦合特性愈发显著, 传统的基于局部监测的治理模式已难以应对复杂电网环境下的暂降传播与责任溯源需求^[10]。近年来, 国内外学者在暂降监测与治理领域取得一系列进展。在监测技术层面, 基于同步相量测量单元的广域监测系统显著提升了事件捕获精度^[11]; 深度学习技术被应用于暂降源

定位与特征提取^[12-13]; 在治理策略方面, 动态电压恢复器的多目标优化配置^[14]、快速开关分级部署^[15]等方案为暂降防治提供了新思路。然而, 现有研究仍存在三方面瓶颈: 1) 监测终端采样率不足, 导致短时暂降事件漏检率偏高; 2) 治理策略与设备耐受特性缺乏动态耦合, 难以适配多场景需求; 3) “监测-分析-决策”链路断裂, 无法形成闭环治理体系。

针对上述问题, 文中构建了一套电压暂降监测系统, 为暂降对策研究提供数据支撑; 通过暂降监测系统数据, 从暂降源、线路保护、敏感设备等方面提供防治对策, 指导电压暂降的主动精准防治, 优化电力营商环境。

1 电压暂降

1.1 产生原因

电压暂降的重要评价指标包括暂降持续时间、残余电压及暂降深度。1) 电压暂降持续时间: 电压暂降发生与结束时刻的差值; 2) 残余电压: 电压暂降持续时间段内电压均方根值的最小值; 3) 暂降深度: 额定电压与残余电压的差值。

一方面, 当主网发生故障时, 会导致由主网接带

收稿日期: 2025-04-15

基金项目: 国家电网有限公司科技项目(配电线路带电作业外骨骼助力支撑技术研究及应用, 521820230016)。

作者简介: 曹俊英(1998), 女, 硕士, 助理工程师, 主要研究配电网电压暂降防治技术、配电智能运检技术。

的配网线路发生电压暂降现象。当主网线路发生故障时,由于故障电流迅速增大,导致母线节点处电压降低造成电压暂降,进一步导致由主网线路接带的配电网出现暂降事件。

另一方面,在电网系统的配电线路上,系统电源阻抗附近的线路上可能出现比正常值大许多倍的电流,致使线路阻抗上的分压迅速增大,带来同母线其他出线的电压暂降故障。日常电力系统中雷击、短路故障、大容量电机启动、变压器组的投切等,均会引起电压暂降^[16-17]。

1.2 危害

配电网中电压暂降事件的起因众多,系统中线路发生短路故障、大型感应电机或变压器启动等都会导致暂降事件的频发,在电压暂降持续时间内,不合格的电压会引起用户的敏感设备停机或不正常工作,致使生产出来的产品不符合标准甚至直接报废,给用户带来重大经济损失,用户投诉风险极大。

电压暂降现象发生时,企业并未停电,肉眼可以观测到灯光发生闪动,同时生产线大面积停机,用电负荷大幅下降,因有些企业所生产的产品必须保持连续加工,停运可能导致生产线上的众多产品成为残次品,且生产重新恢复需数小时,生产损失巨大。

随着各类产业进一步升级,企业自动化程度不断提高,企业内部电压敏感用电设备大量增加,对电能质量要求越来越高。为了保障用户的用电可靠性,以及对用户电压暂降现象反馈的更优质服务,暂降监测的重要性逐步显现。

2 电压暂降监测系统

配电网电压暂降监测系统基于安全标准体系,以终端用户暂降残压和暂降持续时长的高质量监测及录波为目标,在用户侧部署高精度电压暂降监测终端,通过4G无线加密认证通道,将数据传输至物管平台。在业务中台部署暂降监测后台,开展暂降残压及持续时长的自动计算和统计分析,同时通过数据中台打通配电自动化系统,获取配电网故障事件。针对每次暂降事件匹配故障信息,获取暂降前后线路负荷电流变化等信息,为电压暂降防治提供第一手的基础数据。

2.1 系统架构

系统由电压暂降监测终端、数据服务后台和前端分析应用三部分组成。电压暂降监测终端负责监测供电电压的状况,并将采集到的监测数据上传至后台系统;后台软件实时接收来自终端设备的上送数据,监控设备的运行状态,并对设备监测获得的实时数据进行深入分析;通过可视化的方式,这些数据将展示给前端用户,辅助电压暂降的处理与分析。系统架构图如图1所示。

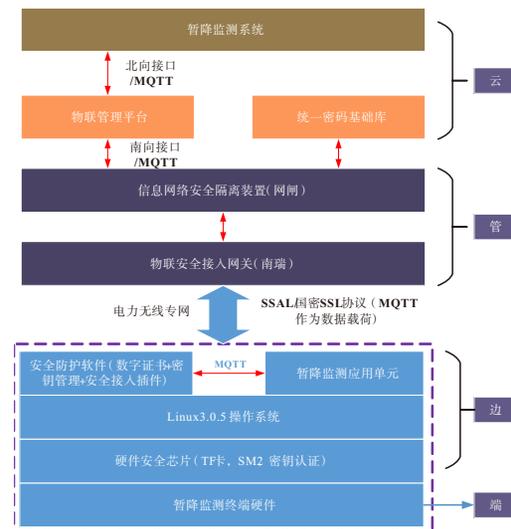


图1 电压暂降监测系统架构图

监测装置先将采集到的电压瞬态事件数据用TF卡进行加密,然后以电力无线专网作为数据传输通道,并以传输协议为载体,经过安全接入网关和信息安全网络隔离装置认证,传输至物管平台,物管平台作为数据暂存池,再通过传输协议,将接收到数据进行二次转发至电压暂降监测后台进行存储,经过电压暂降分析应用软件对数据进行分析,结果最后通过Web浏览器前端展示给用户,数据架构如图2所示。

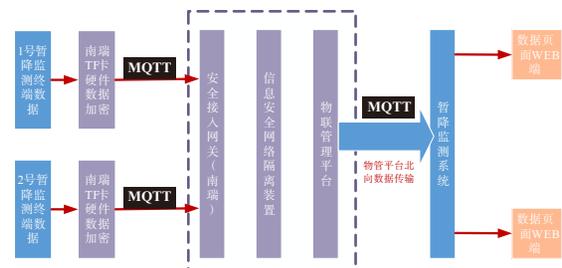


图2 电压暂降数据架构图

2.2 监测终端

为了获取敏感用户侧的电压暂降数据,需依靠电

电压暂降监测终端来采集用户侧的暂降数据。终端具备电压、电流等关键参数采集功能,通过4G传输通道上传至物联管理平台,满足加密及隔离防护要求,实现数据自动传输与展示。终端能对电压进行实时监测并判断是否为电压暂升、电压暂降、短时中断等,并保存对应的波形文件。电压有效值小于设定报警值时触发电压暂降报警,报警时间设定范围为5~60 s,同时在发生电压暂降20 ms内,终端能监测到电压暂降信号,5 s内上传报警信号。

2.3 监测平台

电压暂降监测平台通过无线网络,接收监测装置上传的电压电流数据、事件信息数据、事件波形数据等,并存储在数据库中。经过电压暂降分析应用软件可对数据进行分析,结果通过内网平台展示,实时查看监测数据。电压暂降监测平台功能包括区域管理、用户管理、采集数据管理、暂降统计及分析等,具体如表1所示。

3 电压暂降防治对策

基于物联管理平台、量测中心,有序推进电压暂降监测装置对工业园区变电站、敏感企业用户、政府机关、医院、公用事业部门、存在停电安全风险的重要用户、大用电客户的覆盖,在线路公用配变计量补偿柜、用户低压侧等位置实施监测,收集监测装置上传的数据并实现电压暂降波形分析、统计等功能。通过波形数据及故障数据关联分析,实现发生暂降时同一母线下的线路负荷损失量分析,评价线路负荷在不同

时段对不同深度、不同时长电压暂降的耐受能力,为供电公司提供暂降预警;同时,利用监测数据,从暂降源、线路保护、敏感设备多个维度,形成精准的电压暂降防治策略和方案,指导电压暂降的主动精准防治,如图3所示。

电压暂降造成用户设备停机一般需要满足两个条件,一是暂降残压低于用户设备的保护电压,二是暂降持续时长超过用户设备的保护反应时长。要开展电压暂降的防治,监测系统提供的暂降残压和暂降持续时长是首先需要获得的重要基础数据。

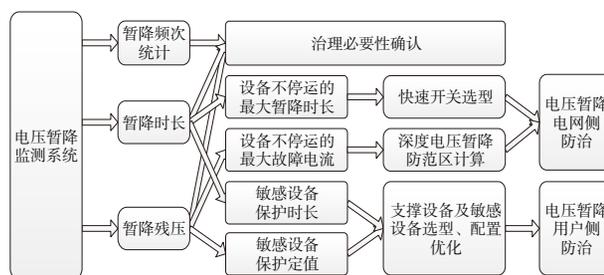


图3 电压暂降防治对策研究

3.1 建立深度电压暂降防范区

以暂降前后线路负荷电流变化为基础,结合同一母线地区电网用户侧电压暂降残压、短路电流及系统阻抗,分析故障距离对敏感负荷暂降停机规模的影响,以此构建深度电压暂降防范区。建立不同于其他线路段的深度电压暂降防范区运维检修方案,强化防范区内电缆防外破、树障清理、预防性试验等措施的执行,减少电网深度暂降的发生频次。

电压暂降防范区定义为当变电站母线电压降低到临界电压70%时,故障点与变电站母线之间的距

表1 电压暂降监测平台功能

功能分类	功能清单	功能描述	数据需求
区域管理	区域信息管理	区域实行分级管理,从供电局、地区到公司分3层组织架构,可根据用户实际需求配置	设备部署层级数据,如地区,供电局,机柜等
	设备管理	设备设定服务器IP和端口后主动连接服务器后台,后台接收到信息后将设备记录下来。支持针对设备进行分级管理,可按地区、供电局、公司等进行分类配置管理	监测仪部署信息
用户管理	用户信息管理	可以增加、修改、删除用户,设定用户的角色。主要分管理员角色和普通用户角色,管理员角色主要是系统配置管理功能,普通用户是设备数据、暂态事件的查看功能	用户信息
	用户设备权限管理	配置不同层次单位设备数据权限查看需求	用户权限信息
采集数据管理	暂态事件	根据地区、站点、机柜和监测点等分不同级别进行暂态事件查询,统计暂降、暂升、中断等事件的发生时间、事件持续事件、特征幅值等信息	设备台账、事件信息
	实时数据	三相电压曲线、三相电流曲线,可以切换一次值/二次值,根据设备上设置的电压互感器/电流互感器系数进行切换显示	实时数据、终端
	暂态事件列表	结合暂态事件类型的事件等筛选条件,查询暂态事件列表。用户可根据地区、站点、机柜和监测点等分不同级别进行暂态事件查询	事件类型、时间、层级信息
	暂态事件波形回放	针对暂态事件三相电压、电流波形回访功能,可对波形进行放大、缩小查看,同时提供导出波形文件功能	终端、波形数据
暂降统计及分析	暂态事件分析	统计暂降、暂升、中断等事件的发生时间、事件持续事件、特征幅值等信息	事件数据、层级信息
	数据统计与分析	根据地区、站点、机柜和监测点等分不同级别进行暂态事件数据统计与分析	事件数据、层级信息

离。通过电气手册,可查询到各类导线单位长度电阻电抗值,当临界电压设置为70%时,不同导线情况下的变电站近区距离如表2所示,其中 L 表示不同系统阻抗下电压暂降防范区距离。

表2 不同导线情况下变电站近区距离

导线型号	单位电阻 (Ω/km)	单位电抗 (Ω/km)	L/km (0.2 Ω)	L/km (0.3 Ω)	L/km (0.4 Ω)	L/km (0.5 Ω)	L/km (1 Ω)	L/km (1.5 Ω)
YJV-300	0.060	0.084	4.52	6.78	9.04	11.30	22.60	33.90
绝缘铝120	0.280	0.223	1.30	1.95	2.60	3.25	6.51	9.77
LGJ-35	0.850	0.429	0.49	0.73	0.98	1.22	2.45	3.67
LGJ-50	0.650	0.418	0.60	0.90	1.20	1.50	3.01	4.52
LGJ-70	0.450	0.408	0.77	1.15	1.53	1.92	3.84	5.76
LGJ-95	0.330	0.397	0.90	1.35	1.80	2.25	4.51	6.77
LGJ-120	0.270	0.391	0.98	1.47	1.96	2.45	4.91	7.36
LGJ-150	0.210	0.384	1.07	1.59	2.13	2.66	5.33	7.99
LGJ-185	0.170	0.394	1.09	1.63	2.17	2.71	5.43	8.15
LGJ-240	0.131	0.386	1.14	1.71	2.28	2.86	5.72	8.58
LGJ-300	0.105	0.409	1.11	1.65	2.21	2.76	5.52	8.28
LGJ-400	0.078	0.400	1.15	1.71	2.29	2.86	5.72	8.58
LGJJ-300	0.105	0.407	1.11	1.66	2.22	2.77	5.55	8.32
LGJJ-400	0.078	0.398	1.15	1.72	2.30	2.87	5.75	8.62

3.2 指导防范区内快速磁控开关/熔断器部署

结合用户侧电压暂降持续时长统计数据,分析暂降持续时长对敏感负荷停机规模的影响,根据故障特点和上级保护定值,指导故障频发区段合理安装快速开关或快速熔断器,可在故障频发区段或分支线首端安装部署,实现故障的快速切除,减少电压暂降持续时间,减少故障对同母线相邻用户的不利影响。

1) 快速磁控开关配置方法

(1) 安装位置:快速磁控开关安装在接带敏感企业母线上经常发生故障的区段或分支线前端,快速熔断器安装在近区范围内分支线路前端;

(2) 参数配置:利用70%暂降临界距离,配置保护范围,临界距离计算见表2;

(3) 与站内开关配合:站内开关一般不退出速断保护,但在特殊情况下可退出速断保护,延时不超过0.2 s;

(4) 与后级开关配合:允许同跳,闭锁磁控开关重合,人工遥控非故障区间;

(5) 对于新建/改造线路,快速磁控开关安装位置、参数配置、与站内开关配合均按上述方法配置。在与后级开关配合时,为避免同跳现象,后级开关应安装在近区范围外;磁控开关速断保护仍利用70%暂降故障残压来配置保护范围,磁控开关II段保护应延伸到下一段线路的保护范围,但不能超过下一段速断保护范围。

2) 快速熔断器配置

应根据快速熔断器的时间-电流曲线选择,综合考虑三方面因素,即后侧负荷额定电流下不熔断、合闸励磁涌流下不熔断、上级末端保护电流下更快熔断。

3.3 指导敏感设备保护参数调整及选型

以用户电压暂降停机事件统计为基础,匹配用户侧电压暂降残压及持续时长,指导存量设备保护定值及时长的整定,指导增量设备参数选型;另一方面,针对只能接受20 ms以内超短暂降、需要投入电压暂降支撑装置的敏感设备,根据暂降统计数据,可以为电压暂降支撑装置提供响应时间、支撑时长、设备容量等的参数选型指导。

电压暂降监测系统目前共安装296台监测终端,2025年1季度监测终端记录暂降条数2471条,共计暂降事件971次。从持续时间分析,53.6%的暂降事件持续时间在100 ms(一般开关的0 s速断保护分闸时长)以下;从暂降残压值分析,69.4%的事件暂降残压值大于70%(常规设备能正常运行的残压);电压暂降持续时间100 ms以上且残压值低于70%的次数共198次(20.3%)。暂降监测系统事件按持续时间及暂降残压两个维度进行统计,分析情况如表3、表4所示。

表3 暂降监测系统事件情况-持续时间维度

持续时间(ms)	次数(次)	占比(%)
<60	291	30.0
60~100	230	23.6
100~300	202	20.9
>300	248	25.5
合计	971	100.0

表4 暂降监测系统事件情况-暂降残压维度

残压值/额定电压(%)	次数(次)	占比(%)
>80	535	55.1
70~80	139	14.3
50~70	132	13.6
<50	165	17.0
合计	971	100.0

其中,暂降持续时间大于500 ms且暂降残压小于70%的暂降事件占比较小,仅为6.59%,一方面可指导敏感设备调整设备参数,在设备可设置范围内,合理设置电压暂降耐受能力相关参数,如欠电压保护设置0.7倍额定电压、延时0.5 s动作;另一方面可指导敏感企业选购耐受能力高的设备。

若敏感设备不具备调整参数功能,或敏感企业不允许调整设备参数时,应加装不间断电源或动态电压恢复装置等电压支撑装置,以杜绝电压暂降事件发生。

4 典型案例

2024年6月,电压暂降监测系统监测到鹰潭某企业发生了一起暂降持续时间为99 ms,暂降残压为50.549%额定电压的暂降事件,相关数据如图4所示。据该企业反映,这种现象发生时,企业并未停电,肉眼可以观测到灯光闪动,同时生产线大面积停机,用电负荷大幅下降。因企业所生产的产品必须保持连续加工,停运生产线上的众多产品将成为残次品,且生产重新恢复需数小时,生产损失巨大。

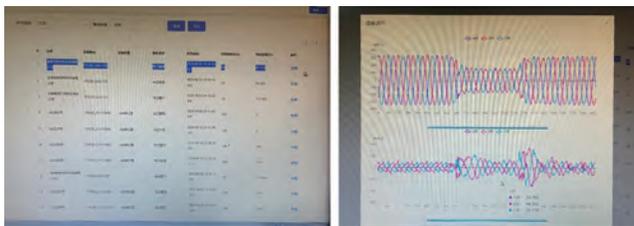


图4 暂降监测平台显示数据

经现场调研,所反映的设备停机时,供电线路未发生跳闸,但供电片区同一时段内发生过故障,企业普遍反应是厂内变频器停止运行,导致相关设备停电,现场变频器停运时故障显示如图5所示。出现停电的变频器以国外厂家生产的型号居多,且部分变频器在停止故障时,出现过“紧急停车”或“F30006”的信号反馈。

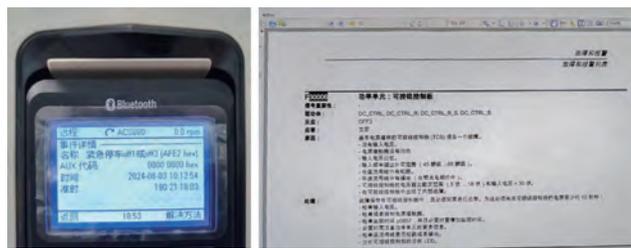


图5 现场变频器停运时故障显示

经对变频器的工作原理和使用说明书进行分析后,基本判断闪停原因为同母线其他线路故障及切除过程中,供电变电站的母线电压发生了短时波动,而变频器对电压波动较为敏感,导致内部设置的电压不足保护动作,引发设备停电。为降低电压暂降停机事件频次,提出了如下防治对策。

1) 提高电网运维水平。对电压暂降防范区即变电站近区增加线路巡视力度,开展带电检测,及时发现存在的缺陷;对树障较多的地段,适当对线

路进行绝缘化;对雷电多发地段线路加装带间隙的避雷器,尽量减少故障发生概率;对于外力破坏故障,应着力解决施工等外力破坏对线路的影响,梳理施工过程中配电线路的走向,做好标示、宣传工作。

2) 优化10 kV配电线路保护配置。若故障电流越大,母线故障电压也越小,对于变电站近区故障应以更快速度切除,降低负荷停运概率。可考虑在企业出线首端部署快速开关/熔断器。

3) 优化敏感设备动作参数。合理设置企业敏感设备的欠压保护定值,相关设备耐受0.7倍额定电压、0.5 s延时,增加敏感设备耐受能力,保证设备的可靠稳定运行。

截至目前,该企业暂未发生电压暂降停机事件。

另外,2024年6月1日11时06分,鹰潭某10 kV线路发生故障,当时当地天气为中到大雨,经过现场勘查和调取线路上磁控开关的相关录波记录发现,本次故障系10 kV线路15号杆附近专变发生AB两相短路故障,引发快速磁控开关和快速熔断器熔丝动作,重合闸后恢复了除专变以外的全线供电。

故障发生后,第一时间走访了该线路以及所在母线的10 kV出线上接带的敏感负荷企业(某铜箔制造厂、某新材料厂、某材料制造厂、某光电产品厂),4家企业反馈本次短路故障未引发敏感负荷“闪停”问题,此次故障现象表明,保护快速动作可缓解电压暂降问题的发生。

5 结语

文中构建了一套电压暂降监测系统,实现了暂降残压及持续时长的自动计算和统计分析,为防治对策的研究提供了重要的基础数据;根据监测数据在电压暂降防范区、快速开关部署、敏感设备参数设置等方面提供了策略,主动精准进行电压暂降防治;以鹰潭某重点企业为案例进行分析,该企业采取了强化运维变电站近区、优化线路保护配置及调整敏感设备参数等方法后,有效降低了电压暂降停机事件频率,优化了电力营商环境,保障了敏感企业的稳定可靠运行。

参考文献:

- [1] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 电能质量电压暂升、电压暂降与短时中断: GB/T 30137—2024[S]. 北京: 中国标准出版社, 2025.
- [2] 肖先勇, 谭秀美, 汪颖, 等. 基于电气特性—物理属性—感知损失的电压暂降经济损失评估[J]. 中国电机工程学报, 2018, 38(51): 105-110.
- [3] 汪颖, 周杨, 莫文雄, 等. 设备电压暂降耐受能力测试技术分析测试规范建议[J]. 电力自动化设备, 2020, 40(2): 196-206.
- [4] 丁凯, 李伟, 谢佳妮, 等. 电压暂降治理效果评价指标体系及综合评价模型[J]. 科学技术与工程, 2019, 19(25): 197-203.
- [5] 徐方维, 陈家乐, 郭凯, 等. 计及子过程贡献度的电压暂降经济损失评估方法[J]. 电力自动化设备, 2024, 44(9): 197-204.
- [6] 梁怡雪, 钟庆, 张华赢, 等. 面向敏感负荷的电压暂降在线监测点优化配置[J]. 电力系统及其自动化学报, 2024, 36(9): 81-87.
- [7] 何冕, 王林玲, 郭成, 等. 电力系统电压暂降治理措施综述[J]. 电工技术, 2023(18): 210-215.
- [8] 张逸, 张良羽, 陈锦涛, 等. 基于电能质量监测数据的电压暂降敏感负荷识别[J]. 电力自动化设备, 2025, 45(2): 176-184.
- [9] 张逸, 章书旗, 李传栋. 基于支路变化影响域的大型电网电压暂降评估[J]. 电网技术, 2023, 47(10): 4056-4070.
- [10] 代佰华, 朱洪防, 刘海泳, 等. 考虑电压暂降多维可观测性的监测装置序贯优化配置方法[J]. 供用电, 2024, 41(2): 64-72.
- [11] 尚力, 于占勋, 荆铭, 等. 山东电网广域实时动态监测系统[J]. 电力自动化设备, 2008(7): 89-93.
- [12] 于思政. 计及监测点优化的数据驱动型电力系统电压暂降定位方法[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2023.
- [13] 彭雪枫. 基于深度学习的电压暂降溯源与定位[D]. 南京: 东南大学, 2023.
- [14] 崔婷婷, 钟庆, 梁怡雪, 等. 配电网串/并联型动态电压恢复器组合优化配置方法[J]. 电力电容器与无功补偿, 2025, 46(2): 135-142.
- [15] 申屠磊璇, 华文, 杨滢, 等. 220 kV 快速开关的布点原则及校核方法研究[J]. 浙江电力, 2023, 42(3): 55-63.
- [16] N. G. Hingorani. Introducing Custom Power[J]. IEEE Spectrum, 1995, 32(6): 41-48.
- [17] 王金丽, 盛万兴, 宋祺鹏, 等. 配电网电能质量智能监控与治理仿真[J]. 电网技术, 2014, 38(2): 515-519.

(上接第 15 页)

- [4] 胡泰山, 刘浩, 刘刚, 等. 基于改进 YOLOv3 的避雷器红外图像故障检测方法[J]. 红外技术, 2023, 45(11): 1256-1261.
- [5] 靳海军, 靳文星. 红外测温诊断技术在避雷器内部过热故障诊断中的应用[J]. 能源与节能, 2019(10): 175-176, 181.
- [6] 王景, 付晨晓. 110 kV 氧化锌避雷器泄漏电流的带电检测方法研究[J]. 机电信息, 2020(35): 40-41.
- [7] 何贵先, 行鸿彦, 季鑫源, 等. 金属氧化物避雷器在线监测的谐波校正及研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2017, 31(10): 1549-1554.
- [8] 陈登义, 周雪会, 李鹏. 电涌保护器老化监测指标对比研究[J]. 电瓷避雷器, 2016(5): 90-93.
- [9] 陈丹, 傅中君, 柳益君, 等. 一种氧化锌避雷器阻性电流的提取方法[J]. 电测与仪表, 2019, 56(13): 117-122.
- [10] 洪佳明, 陈从颜. 一种基于 STM32 的 10 kV 金属氧化物避雷器泄漏电流检测方法[J]. 工业控制计算机, 2019, 32(9): 80-81.
- [11] 国家能源局. 带电设备红外诊断应用规范: DL/T 664-2016[S]. 北京: 中国电力出版社, 2017.
- [12] 国家能源局. 输变电设备状态检修试验规程: DL/T 393—2021[S]. 北京: 中国电力出版社, 2022.