

DOI:10.12158/j.2096-3203.2021.01.010

# 就地化分布式保护环网测试装置研制

裘愉涛<sup>1</sup>, 徐昱<sup>2</sup>, 王源涛<sup>2</sup>, 张魁<sup>2</sup>, 刘东冉<sup>2</sup>, 顾伟<sup>3</sup>

(1. 国网浙江省电力有限公司, 浙江 杭州 310007; 2. 国网浙江省电力有限公司杭州供电公司, 浙江 杭州 310009; 3. 南京南瑞继保电气有限公司, 江苏 南京 211102)

**摘要:**就地化元件保护采用分布式架构,各分布式子机间采用环网通信方式。文中针对子机环网报文的测试难点,设计和开发了具备环网测试功能新型继电保护测试装置。该装置采用双中央处理器(CPU)架构,主CPU负责测试流程管理,环网CPU负责环网数据交换测试。通过配置文本灵活组帧环网报文,开发延时测试、数据一致性测试、转发特性测试、异常报文模拟等功能,校验环网报文实际传输过程中的可靠性和实时性,补充了环网性能测试手段。文中通过单台测试装置即可完成分布式子机的保护功能及环网性能测试。所研制的装置已应用于就地化保护现场调试,为元件保护就地化实施提供了良好的测试手段。

**关键词:**元件保护;就地化;分布式;环网测试;传输延时

**中图分类号:**TM774

**文献标志码:**A

**文章编号:**2096-3203(2021)01-0072-07

## 0 引言

就地化保护装置靠近一次设备安装,就地电缆采样、电缆跳闸,取消了合并单元、智能终端等中间环节,成为未来继电保护的发展趋势。目前,线路就地化保护已成功挂网,为元件保护就地化实施提供了良好的理论和实践基础。为了解决元件保护存在的跨间隔问题,在线路保护基础上提出了分布式就地化保护实现方案。分布式元件保护方案由1台或多台就地化分布式保护子机构成,各子机间地位平等、共享信息、协同运行<sup>[1-6]</sup>。各子机的硬件及软件完全一致,保护功能及保护定值相同,通过双向冗余双环形千兆以太网首尾相连,负责各自报文的发送、过滤和转发<sup>[7-9]</sup>。

就地化保护的快速推广,给继电保护测试工作带来了新的研究方向。文献[10]针对就地化保护的硬件性能,深入分析其对电磁兼容和环境的影响,并提出相应的检测手段;文献[11]基于就地化保护设备尺寸、应用模型、对外接口统一的特点,设计流水线检测系统,快速完成工厂化调试;文献[12]提出一种就地化保护仿真测试系统设计方案,通过自动加载测试用例实现装置的保护功能逻辑自动验证和二次回路正确性验证。综合而言,分布式就地化保护的测试方式主要有两种:搭建整个元件保护正常运行环境,多台子机实现互联,同时施加激励量进行测试;对单台子机独立进行测试。前者测试全面,但测试环境搭建困难,需要同时对多台子机施加激励量才能完整模拟主保护功能。后

者虽然测试简便,但只能进行单台子机部分保护功能测试,无法模拟环网报文,与实际系统运行环境存在明显差异<sup>[13-14]</sup>。

文中研究了分布式就地化保护测试需求,在此基础上开发了一种新型继电保护测试装置,具备传统继电保护测试功能的同时新增了环网报文收发功能。通过1台测试装置即可完成就地化分布式单台子机的解耦测试,同时开发了环网性能测试功能,校验环网报文传输过程中的可靠性和实时性,完善环网测试内容。

## 1 方案设计

### 1.1 测试功能

根据就地化分布式子机保护特点,主要考虑保护功能测试和环网性能测试。

(1) 保护功能测试。测试装置输出常规模拟量、开关量,同时模拟其他子机环网数据发送,并接收待测子机反馈的信号判别保护动作正确性,完成全部保护逻辑功能测试。

(2) 环网性能测试。测试装置作为环网内设备接入环网,模拟多种环网报文发送,转发所有子机报文,同时接收并解析被测子机发送的报文帧,根据测试需求对报文内容进行校验。发送正常环网报文的同时可选择性发送异常报文帧,测试被测子机对异常报文的处理能力,如是否误动、拒动等。

### 1.2 硬件设计

测试装置采用插槽式机箱,由多种测试功能插件组成,如图1所示。包括:中央处理器(central processing unit, CPU)插件、环网测试插件、电源插

件、模拟量采集插件、模拟量输出插件、开入插件、开出插件、对时插件等。各插件通过背板控制器域网(controller area network, CAN)总线进行通信,对时插件通过对时总线给各插件提供对时信号。测试装置采用双 CPU 架构,主 CPU 负责整个测试流程的管理,接收测试软件下发的测试用例,将用例中的状态及数据离散成各插件对应输出的内容,再通过 CAN 总线下发,由各插件同步执行,同时接收各插件的反馈信息,进行处理并转发给测试软件。环网 CPU 与主 CPU 交换环网报文内容,接收主 CPU 环网测试命令并将相关数据下发环网数字信号处理(digital signal processing, DSP)芯片。环网可编程门阵列(field programmable gate array, FPGA)扩展出 4 个千兆以太网接口(ethernet, ETH)与环网通信,进行环网报文解析、转发以及模拟子机环网报文发送。环网 DSP 把数据分别送至保护环和启动环,由保护装置的保护 DSP 和启动 DSP 分别对采样通道数据进行并行处理和实时计算。

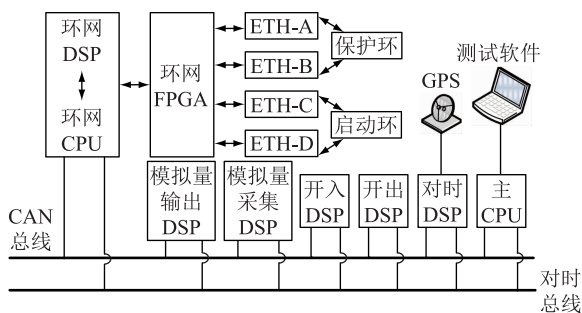


图 1 硬件结构

Fig.1 Hardware structure

### 1.3 软件架构

测试软件在 Windows 系统下采用 QT 语言开发,具有良好的人机交互界面。测试软件由三大功能模块组成:系统设置中心、报文监视中心和测试管理中心,如图 2 所示。

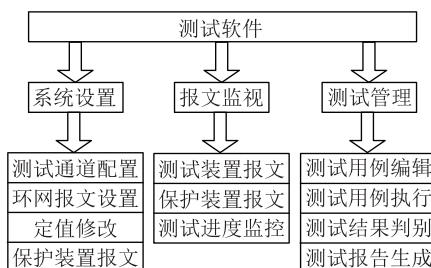


图 2 软件架构

Fig.2 Software structure

系统设置中心负责与继电保护测试装置及保护子机进行通信连接设置。与测试装置通信,设置开关量、模拟量通道、环网报文收发格式,控制测试

装置输出以及接收反馈信息。与保护子机通信,读取保护装置相关配置,修改定值,接收保护装置动作信息。

报文监视中心提供多个监视窗口,用来显示测试过程中测试装置报文、保护子机报文、测试用例执行结果等,实时掌握测试进度。

测试管理中心负责各个测试用例的编辑,控制用例执行过程,根据测试装置和保护子机反馈的信息进行结果判别,自动生成测试报告。单次测试时可根据需要选择用例数量实现自定义批量化测试,测试过程中个体测试用例的测试结果不影响其他用例的执行。测试报告包含被测装置的基本信息、测试时间、测试结论,并记录每个测试用例的测试过程,包含各状态序列具体的输出时间、输出数据、定值修改、接收接点状态、接收报文信息、误差设定及判别等,便于分析测试结果的准确性。

## 2 测试功能的具体实现

### 2.1 保护功能测试

测试装置简化了分布式子机的测试环境,可以对保护功能、精度及动作特性进行完整验证。测试环境如图 3 所示,测试装置通过接收对时,和分布式子机保持时间同步,测试软件编辑测试用例,向保护子机下发定值修改指令,在指定时间间隔后向测试装置下发测试数据,由测试装置将测试数据拟合开关量、模拟量、环网数据的状态序列,同步向保护子机施加激励量。测试用例执行完成后,根据用例中设定的测试结果,与测试软件实际接收到的数据进行对比,判别测试结果,并生成测试报告文件,实现分布式子机保护功能的解耦测试。

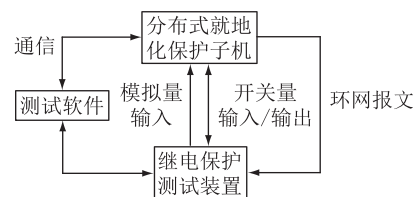


图 3 测试环境

Fig.3 Testing environment

就地化元件保护子机硬件接口、软件功能完全相同,同一厂家同型号子机仅需编辑 1 台装置的测试用例即可完成所有装置的重复测试。而不同厂家的装置间硬件接口定义和保护功能完全相同,仅事件顺序记录(sequence of event, SOE)报文或定值名称存在差异,测试用例的有效复用将为现场更换式检修及测试带来极大的便利性。

文中将基于测试数据的模板、测试用例中和数

据相关的接口进行解耦,通过批量复制测试模板以及批量接口映射,实现测试用例大规模复用。接口映射分为两类:与测试装置的开关量、模拟量通道映射;与保护装置的站控层映射。

测试模板采用三级目录管理。一级目录按照被测装置型号分类;二级目录按照保护功能大类分类,如过流 I 段、过流 II 段等;三级目录按照具体测试项分类,各级目录均支持测试模板的复制。接口映射在二级目录中完成,批量复制时,仅需重新将部分定值进行映射,有利于提高用例编辑的效率。在设计过程中还需考虑用例复制的兼容性,对于未进行映射的相关参数在测试用例中无效。实际应用时,针对同类型保护功能,可在开始阶段编辑一组用例全集,将其复制后删除无用的子用例。

## 2.2 环网性能测试关键技术

环网报文采用固定格式,包含目的地址、源地址、报文序号、应用数据单元、延时修正域等。环网 CPU 在进行报文组帧时,部分参数需预先设置,此处考虑通过环网报文配置文本实现环网报文内容的相关设置。各子机均具有主保护判别逻辑,环网数据交换的可靠性、实时性直接影响各子机保护判别逻辑的准确性和一致性。针对环网特性应考虑的测试能力包括:环网报文配置、延时测试、数据一致性测试、转发机制测试和模拟环网异常报文。

### 2.2.1 环网报文配置

测试装置在与分布式子机建立物理连接后且正式测试前,子机一直处于环网连接中断告警状态。按照表 1 的配置文本项进行设置,并进行环网报文组帧。

表 1 环网报文配置文本

Table 1 Configuration text of ring network messages

对象	文本
测试功能	Test mode Transmission mode
报文配置	Destination number Source number Protection type APPID
应用单元	SV channels GOOSE channels Int channels

Test mode 可根据测试需求设置为 tester 或 analyzer。tester 作为保护功能测试装置,可以模拟多台子机环网报文以及继电保护测试功能,实现对单体子机保护功能的解耦测试。analyzer 作为环网网络分析仪,可将测试装置串入环网中转发及模拟各种

环网类型报文,并对测试目标子机报文进行解析,实现环网各种性能测试。Transmission mode 用来选取传输方式是单播或多播。Destination number 设置测试目标子机编号。Source number 设置模拟的子机数量和编号。Protection type、APPID 等设置报文中相关保护类型参数;SV (sampled value) channels、GOOSE (generic object oriented substation event) channels、Int channels 分别用来设置应用单元 SV、GOOSE、整型值的通道。测试装置通过解析测试文本,生成环网报文基本格式。

通过报文配置文本可以解析环网报文帧格式,但未能完全模拟环网报文。应用数据单元除 SV、GOOSE 外,还有整型值,该类整型值是子机所有定值数值形成的一个校验码,环网内所有子机定值须保证一致,否则子机会产生定值项告警并闭锁相关保护功能。测试过程中存在不断修改定值的需求,该校验码会不断变化,无法通过事先设置达到测试目的,可考虑通过环网自适应连接方式来实现整型值的自动设置。各子机在上电运行后,根据自身定值项中的子机数量及编号,向其余子机发送含编号信息的环网报文。测试装置接收到测试目标子机报文后进行解析,保存整型值数值,再根据配置文本中需模拟的子机数量及编号,将整型值拟合入需要发送的报文中,应用单元内 SV、GOOSE 数值以 0 代替。每个中断周期,环网 CPU 按照设置好的报文格式以及需要模拟的子机数量向外发送环网报文。

测试过程中,若接收到主 CPU 具体测试数据,环网 CPU 会重新拟合相关报文内容;若子机定值发生修改,整型值数值会同时更新。

### 2.2.2 延时测试

环网报文的绝对延时为式(1),环网报文传输时序如图 4 所示。

$$T_d = T_1 + T_{stay} + T_{link} \quad (1)$$

$T_1$  为报文组帧延时,表示子机将采集到的模拟量、开入量等信息一起拟合成环网报文并发送出去的时间,主要是模数 (analog-to-digital, AD) 采样和 CPU 处理并发送引起的延时。环网报文中将该延时单独作为一个 SV 通道。

$T_{stay}$  为子机驻留时间,表示由中间节点子机转发过程中的停留时间累加而成的延时。

$T_{link}$  为链路延时,表示由环网报文从源子机到目标子机之间链路传输产生的延时。

$T_{stay} + T_{link}$  构成环网报文中的报文延时修正域,由报文本身携带,每经过 1 台子机则修正 1 次。由于光纤传播速度很快,接近光速的 2/3,测试中使用

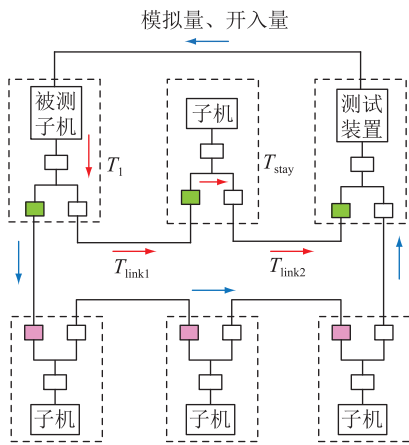


图4 环网报文传输时序

Fig.4 Time sequence of message transmission in ring network

的光纤只有 10 m, 传输时间很短, 链路延时可不予考虑。环网通信规范中对链路延时也不作强制要求。

将测试装置类比为子机接入环网中, 测试装置和源子机外接同一对时源, 保持时钟同步。测试装置向源子机施加模拟量同步脉冲, 记录同步脉冲输出时刻  $t_1$ , 并同步接收环网报文 SV, 记录接收到 SV 同步脉冲的时刻  $t_2$ , 则实际的报文绝对延时  $T'_d = t_2 - t_1$ 。将  $T'_d$  与  $T_d$  进行比较, 判别  $T_d$  的准确性。环网报文的  $T_d$  不应大于 1 ms。同步脉冲时序如图 5 所示。

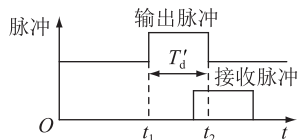


图5 同步脉冲时序

Fig.5 Time sequence of synchronized pulse

$T_1$  的离散度对于接收子机模拟量的插值计算非常重要。测试装置实时接收子机环网报文, 记录每一帧报文时刻, 并消除报文延时影响, 计算每两帧报文间隔时间  $\Delta t$ , 将其与标准采样间隔  $250 \mu\text{s}$  比较, 误差应小于  $10 \mu\text{s}$ 。

### 2.2.3 数据一致性测试

分布式子机保护功能计算需结合本地采集的模拟量和环网 SV。为了确保采样精度, 环网数据的发送频率采用每周波 80 个点<sup>[15-17]</sup>。

利用外部高精度继电保护测试仪给被测子机和测试装置施加模拟量及开入量, 测试装置同时接收被测子机环网报文。由于子机需要将采样数据转换成环网数据发送且经过其他子机转发, 测试装置接收到的环网 SV 会有延时。对于环网内部多台

子机以及测试装置采用相同源采样, 测试装置采集到的波形如图 6 所示。

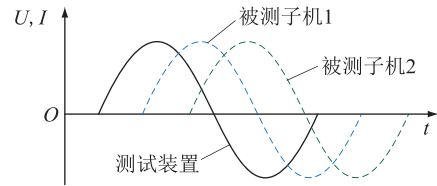


图6 测试装置采样波形

Fig.6 Sampling wave of test device

测试装置通过快速傅里叶变换计算被测子机单周波采样数据的相位和幅值, 其中以测试装置本地采集的波形为基准。假设测试装置本地采集波形的幅值为  $Z_0$ , 相角为  $\theta_0$ , 同时刻被测试装置接收到子机 1 环网 SV 的幅值为  $Z_1$ , 相角为  $\theta_1$ , 绝对延时为  $T_{d1}$ , 则角差  $\Delta\theta_1$  和比差  $k_1$  为:

$$\begin{cases} \Delta\theta_1 = \theta_1 - 1.08T_{d1} - \theta_0 \\ k_1 = [(Z_1 - Z_0)/Z_0] \times 100\% \end{cases} \quad (2)$$

同理可求得被测子机 2 的角差  $\Delta\theta_2$  和比差  $k_2$ 。环网内各子机的采样精度均可通过角差  $\Delta\theta$  和比差  $k$  进行比较。子机间的同步性可以用相对角差进行判别, 如式(3)所示。

$$\Delta\theta_{12} = \Delta\theta_1 - \Delta\theta_2 \quad (3)$$

环网 GOOSE 开入量的测试类似且易于 SV, 此处不再赘述。

### 2.2.4 转发机制测试

子机将环网中非本机发送的报文帧进行转发, 不转发自身为目标节点的单播帧。为测试该转发机制, 测试装置与被测子机构成环网, 不接入其他子机, 消除其他子机转发的影响, 由测试装置向被测子机发送各类型环网报文, 经子机转发后至测试装置另一端口, 判别转发的准确性。多播传输方式的测试方案可参考表 2 执行。

表2 报文转发测试方案

Table 2 Test scheme of message forwarding

报文类型	具体分类	是否转发
正常报文帧	子机编号定值范围内	是
	子机编号定值范围外	否
重复帧	设备重复帧	否
	应用重复帧	是
	网络风暴帧	否
异常帧	报文格式出错	否
	环网类型字出错	否
	APPID 出错	否
	校验码出错	否

对于正常报文, 比较收发两帧报文内容, 除延

时修正域外其他应无变化。同时,根据规范环网内按照最大 16 个节点、传输延时小于 1 ms 的要求,每个节点的传输延时不超过 62.5 μs。

在正常报文转发测试过程中,还应考虑环网的复杂环境,测试装置应具备模拟网络风暴的能力,要求 1~1 000 Mbit/s 可设,施加持续时间不低于 2 min。网络风暴测试过程中,对于网络风暴帧子机应予以丢弃,需转发的报文能正常转发。网络风暴持续过程中,测试装置模拟满足动作条件的环网报文,此时待测子机应能正确动作。测试装置的各端口不应收到任何网络风暴帧,正常报文帧能正确接收和转发。

### 2.2.5 异常报文模拟功能

目前尚无相关标准或规范对应就地化分布式环网报文异常测试,文中参考 GB/T 7261—2016 中针对智能变电站 SV 及 GOOSE 异常测试内容,将环网报文看成分布式子机采集的规模拟量、开关量转换成特殊格式的 SV、GOOSE。子机相当于传统意义上智能站的合并单元和智能终端,则 SV 和 GOOSE 的所有通道数据都可以当作同一个控制块。根据实际应用中的灵活配置要求,可将环网 SV 的检修、丢帧、抖动、错序、失步、品质异常、延时设置等按照图 7 所示子机数据结构进行设置,此类异常通常在同一台子机发生。异常数据按照图 8 中 SV 通道数据结构进行设置,可根据测试需求选择每周波异常点数,异常数据的施加方式可按照用例中的设置数值直接施加。对于 GOOSE 报文异常,均采用按子机设置,异常类型均设为单选。

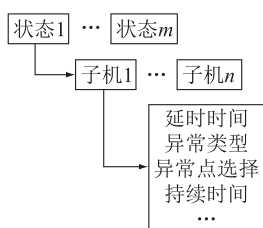


图 7 子机数据结构

Fig.7 Data structure of sub devices

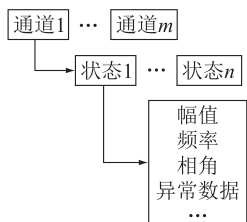


图 8 通道数据结构

Fig.8 Data structure of channels

每周波异常点数的选择可能对测试结果产生

不同的影响。相异于环网报文每周波 80 个点,保护子机实际采样每周波只选择 24 个点。若每周波只选取 1 个异常点,则在计算采样时可能不会计算此异常点,测试过程中应重复多次测试,每周波选择连续 3 个以上异常点才能确保异常点被采集到。在进行异常数据测试时,还应考虑异常数值对保护采样计算结果的影响。测试装置支持多状态、多通道、多子机的设置,测试时只设置一种异常状态,便于确认该异常对待测子机的影响。单个数据异常测试用例中禁止进行异常子机切换,防止待测子机在进行异常判别时选择错乱。

### 3 典型应用

文中通过测试装置和单台分布式母线保护子机模拟—4 台子机的母线保护系统,进行主要功能的测试和验证,典型应用场景如图 9 所示。测试装置和保护子机通过对时装置保持时钟同步,测试软件控制测试装置向子机施加模拟量和开关量,并模拟其余 3 台子机的环网报文,同时可对被测子机发出的环网报文进行检测。

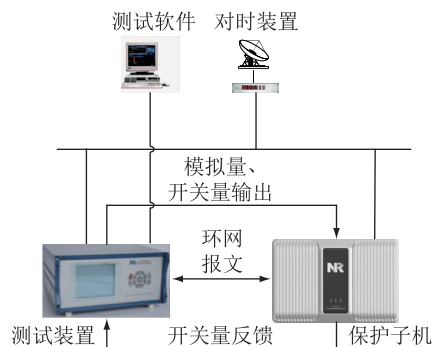


图 9 典型应用场景

Fig.9 Typical application scenario

测试用例编写方面,传统测试系统的分布式保护系统中,各台子机多间隔的数据模拟需要多台测试装置,各测试装置间的协同测试较为复杂。文中的环网测试装置仅需针对单台子机设置对应的开入量、模拟量、软报文映射关系和环网数据。使用两种测试装置针对分布式母线保护的主保护、过流保护、失流保护进行实际测试,分别以 1.2 倍动作定值的故障量测试 10 次,动作结果取平均值,如表 3 所示。环网测试装置可以达到传统测试装置的效果,同时拥有用例编辑方便、测试环境简单的优点,测试用例编辑及测试的时间可缩短 70% 以上。

环网报文传输延时测试方面,子机和测试装置通过 10 m 光纤连接,实测单个结点的报文转发延时为 1.56~2.48 μs,满足规范要求。

表3 2种测试装置测试结果分析

Table 3 Test result analysis of two test devices

测试项目	环网测试装置	传统测试装置
主保护动作时间(区内)/ms	19.2	19.4
主保护动作情况(区外)	不动	不动
过流保护(延时 200 ms)/ms	225.3	225.4
失灵保护(延时 100 ms)/ms	123.6	123.7
用例编辑及测试时间/min	15	52

异常报文测试方面,设置 SV 报文丢帧、抖动、错序、失步、品质异常及 GOOSE 报文发送机制异常等。抓取测试装置实际发出的环网报文,利用软件分析报文及波形,确认测试装置输出的环网报文与设置一致,同时判定保护装置的动作结果正确。

#### 4 结语

文中设计和开发了包含就地化分布式环网测试功能的新型继电保护测试装置,实现了分布式就地化单台子机完整保护功能的解耦测试,大幅优化了测试环境。该测试装置应用于就地化元件保护工厂化调试及更换式检修,可大幅缩减设备检修和消缺时间,减少停电时间,提高电网运行效率。随着就地化分布式保护技术的不断发展和成熟,如何将环网通信技术与实时数字仿真等系统相结合,不断丰富测试手段,提供更全面的仿真功能,将是后续的研究方向。

本文得到国网浙江省电力有限公司科技项目“就地化智能变电站二次保护设备仿真与运维支撑系统研究”(5211HZ17000A)资助,谨此致谢!

#### 参考文献:

- [1] 陈福锋,俞春林,张尧,等. 变电站继电保护就地化整体解决方案研究[J]. 电力自动化设备,2017,37(10):204-210.  
CHEN Fufeng, YU Chunlin, ZHANG Yao, et al. Research on integrated solution of on-site substation relay protection[J]. Electric Power Automation Equipment, 2017, 37(10): 204-210.
- [2] 吴通华,郑玉平,周华,等. 基于功能纵向集成的无防护安装就地化线路保护[J]. 电力系统自动化,2017,41(16):46-52.  
WU Tonghua, ZHENG Yuping, ZHOU Hua, et al. Vertically integrated outdoor installation line protection[J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(16): 46-52.
- [3] 裘愉涛,王德林,胡晨,等. 无防护安装就地化保护应用与实践[J]. 电力系统保护与控制,2016,44(20):1-5.  
QIU Yutao, WANG Delin, HU Chen, et al. Application and practice of unprotected outdoor installation protection[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(20): 1-5.
- [4] 郑玉平,吴通华,戴魏,等. 变电站二次设备就地化系统网络架构探讨[J]. 电力系统自动化,2017,41(16):20-26.  
ZHENG Yuping, WU Tonghua, DAI Wei, et al. Discussion on

network architecture of outdoor installation protection system in substation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(16): 20-26.

- [5] 侯伟宏,徐昱,王坚俊,等. 就地化保护挂网运行方案研究与实践[J]. 浙江电力,2019,38(3):37-41.  
HOU Weihong, XU Yu, WANG Jianjun, et al. Research and practice on tentative operation scheme of localized protection[J]. Zhejiang Electric Power, 2019, 38(3): 37-41.
- [6] 线路保护及辅助装置标准化设计规范:Q/GDW 1161—2014[S]. 北京:国家电网公司,2014.  
Standardization design specification for transmission line protection and auxiliary equipments: Q/GDW 1161—2014[S]. Beijing: State Grid Corporation of China, 2014.
- [7] 董贝,薛钟,张尧,等. 基于 IEC 61850 逻辑设备管理层次结构的就地化保护装置建模研究与应用[J]. 电力系统保护与控制,2018,46(14):165-170.  
DONG Bei, XUE Zhong, ZHANG Yao, et al. Research and application of modeling for on-site installation protection based on IEC 61850 logical devices management hierarchy[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(14): 165-170.
- [8] 周小波,汪思满,吴正学,等. 环网分布式母线保护装置就地化实现探讨[J]. 电力系统保护与控制,2015,43(6):104-108.  
ZHOU Xiaobo, WANG Siman, WU Zhengxue, et al. Local placing implementation research of distributed HSR busbar protection[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(6): 104-108.
- [9] 裘愉涛,徐凯,徐福锋,等. 基于双向环网的变压器保护就地化实现方案[J]. 电力系统自动化,2017,41(16):41-45,122.  
QIU Yutao, XU Kai, XU Fufeng, et al. Implementation scheme of outdoor installation transformer protection based on bidirectional ring network[J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(16): 41-45, 122.
- [10] 李岩军,艾淑云,王兴国,等. 继电保护就地化及测试研究[J]. 智能电网,2014,2(3):16-21.  
LI Yanjun, AI Shuyun, WANG Xingguo, et al. Locally installed mode and test research of relay protection[J]. Smart Grid, 2014, 2(3): 16-21.
- [11] 卜强生,宋爽,高磊,等. 就地化保护装置流水线测试系统研制[J]. 电力系统自动化,2018,42(20):177-183.  
BU Qiangsheng, SONG Shuang, GAO Lei, et al. Development of assembly test system for outdoor installation protection devices[J]. Automation of Electric Power Systems, 2018, 42(20): 177-183.
- [12] 李刚,黄继东,倪传坤,等. 智能变电站就地化保护仿真测试系统设计与探讨[J]. 电力系统保护与控制,2018,46(17):152-157.  
LI Gang, HUANG Jidong, NI Chuankun, et al. Discussion on the construction scheme of intelligent substation on-site protection simulation test system[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(17): 152-157.
- [13] 宋爽,乔星金,卜强生,等. 智能变电站就地化继电保护技

术方案研究[J]. 电力工程技术, 2018, 37(2): 83-88.

SONG Shuang, QIAO Xingjin, BU Qiangsheng, et al. Research on technical scheme of outdoor-layout relay protection in smart substation[J]. Electric Power Engineering Technology, 2018, 37(2): 83-88.

[14] 赵国庆, 季晨宇, 张海东, 等. 智能变电站整体集成仿真测试系统研究[J]. 江苏电机工程, 2016, 35(1): 66-69, 75.

ZHAO Guoqing, JI Chenyu, ZHANG Haidong, et al. Research on the integrated simulation test system for smart substation [J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2016, 35(1): 66-69, 75.

[15] 张言苍. 智能变电站网络采样同步新技术[J]. 电力自动化设备, 2015, 35(8): 143-147, 155.

ZHANG Yancang. Network sampling synchronization method for smart substation [J]. Electric Power Automation Equipment, 2015, 35(8): 143-147, 155.

[16] 张延旭, 蔡泽祥, 竹之涵, 等. 基于传输延时补偿的继电保护网络采样同步方法[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(18): 81-85, 96.

ZHANG Yanxu, CAI Zexiang, ZHU Zhihan, et al. Network sam-

pling synchronization of relay protection based on transmission delay compensation [J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(18): 81-85, 96.

[17] 王德林, 郑玉平, 周华良, 等. 基于多 HSR 环网的分布式母差平台及关键技术[J]. 电力系统自动化, 2017, 41(16): 27-34.

WANG Delin, ZHENG Yuping, ZHOU Hualiang, et al. Platform and key technology for distributed bus protection based on multi-HSR network [J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(16): 27-34.

作者简介:



裘愉涛

裘愉涛(1967),男,硕士,教授级高级工程师,从事继电保护专业管理、智能变电站等相关工作(E-mail:zdqyt@vip.sina.com);

徐昱(1975),男,硕士,高级工程师,从事电网营销管理工作;

王源涛(1984),男,硕士,高级工程师,从事继电保护及运维相关工作。

### Ring network test device development of on-site distributed protection relay

QIU Yutao<sup>1</sup>, XU Yu<sup>2</sup>, WANG Yuantao<sup>2</sup>, ZHANG Kui<sup>2</sup>, LIU Dongran<sup>2</sup>, GU Wei<sup>3</sup>

(1. State Grid Zhejiang Electric Power Co., Ltd., Hangzhou 310007, China;

2. State Grid Hangzhou Power Supply Company of Zhejiang Electric Power Co., Ltd., Hangzhou 310009, China;

3. NR Electric Co., Ltd., Nanjing 211102, China)

**Abstract:** The protection relays such as transformer relay, busbar relay and so on are installed outdoors which adopt the distributed architecture. And the ring network communication mode is adopted among the distributed slaves. Testing ring network messages is difficult. A new test device is designed and developed, which can fulfill function test of ring network. The device adopts dual central processing unit(CPU) architecture. The master CPU is responsible for testing process management. The slave CPU is responsible for testing the data exchange of ring network. The device can build the ring network messages by configuration file. The device can finish the following test function, including delay characteristics, data consistency, forwarding characteristics and abnormal message simulation. The reliability and real-time in the actual transmission process of ring network messages can be checked and it can be taken as supplement for the ring network performance test. One device can fulfill function test and performance test of all distributed slaves. The device has been used on-site widely and provides good test method for the protection relays installed outdoors.

**Keywords:** protection relay; on-site; distributed; ring network test; transmission delay

(编辑 吴楠)