

DOI: 10.7667/PSPC201762

一种智能电网保护装置远程诊断系统研究

王治国, 陆静, 笃峻, 于哲, 王伟, 朱晓彤

(南京南瑞继保电气有限公司, 江苏 南京 211102)

摘要: 智能电网保护装置在保障我国智能电网安全稳定运行中发挥着极其重要的作用。装置的运行异常或故障行为将会影响整个电力系统的正常工作, 甚至为智能电网带来潜在隐患。如何及时诊断保护装置的运行异常及故障行为, 快速恢复保护装置的正常运行, 是业内普遍关注的一个主要问题。利用现有成熟的4G移动通信技术, 开发了智能电网保护装置远程诊断系统, 实现了保护装置的远程在线诊断。该系统为企业工程师架起了快速诊断保护装置的绿色数据通道, 有效解决了以前工程师必须到达事发现场进行问题处理用时过长的弊端, 为用户赢得了宝贵时间。同时该系统为保护装置软硬件研发工程师联合诊断提供了技术支撑, 并为企业节约了大量维护费用。

关键词: 远程诊断; 智能电网; 继电保护装置; 非正常运行

Research on remote diagnosis system of smart grid protection device

WANG Zhiguo, LU Jing, DU Jun, YU Zhe, WANG Wei, ZHU Xiaotong
(Nanjing NR Electric Co., Ltd., Nanjing 211102, China)

Abstract: Smart grid protection device plays an extremely important role in ensuring the safe and stable operation of smart grid in China. Protection device abnormal operation or fault behavior will affect the normal work of the whole electric power system, and even bring potential risks for the power grid. How to diagnose the abnormal operation and fault behavior of the protection device in time, and restore it to normal operation quickly, which is a major concern in power industry. The remote diagnosis system of relay protection device (RDSRPD) is developed based on the existing mature 4G mobile communication technology. It sets up a fast green data channel for the enterprise engineers to diagnose the abnormal problems of the protection device, which effectively solves the problem that the engineers must arrive at the scene to deal with the problem and processing time is too long, and wins valuable time for users. At the same time, the system provides the technical support for the joint diagnosis of the software and hardware development engineers of the protection device, which saves the cost of maintenance for the enterprise effectively.

Key words: remote diagnosis; smart grid; relay protection device; abnormal running

0 引言

目前, 我国智能电网建设发展十分迅速, 其保护装置分布在不同区域, 并在电网安全稳定运行中发挥着极其重要的作用^[1-4]。然而, 继电保护装置的异常运行或故障行为等非正常状态, 将直接影响电力系统的安全稳定运行。面对继电保护装置的突发异常, 如何提高企业的反应速度, 及时处理、快速恢复, 并给客户一个满意答复, 降低企业对已投运装置的维护成本, 是智能电网保护设备研发企业一直思考并努力改进的问题之一。

当前, 继电保护研发企业采取有技术人员从企业所在地赶往现场进行问题处理的方式, 而这种处

理方式的弊端是效率低, 客户满意度低。因此采用传统派出技术人员至现场进行技术服务的方法已不能满足社会当前需求, 急需采用新的手段和方法, 而远程诊断技术则可以很好地解决这些问题^[5]。文献[5-12]分别提出了基于云计算服务、利用局域网延伸技术, 基于 B-S 模式的远程诊断中心或平台建设, 实现了冶金、电力或化工等企业中的大型关键设备或系统的维护水平; 文献[13-14]论述了远程诊断技术在大型汽轮发电机组方面应用, 较好地解决了当时存在的问题; 文献[15]论述了远程诊断技术在国内外的研究现状, 指出远程诊断技术可以实现知识共享和协助处理的便利性, 而这些对电力行业而言都具有巨大的吸引力。由于变电站离企业所在

地一般相对较远,加上变电站所在地位置相对偏僻,到现场处理问题费时、费力且费人。因此,远程诊断在电力系统行业,渴望已久。但由于电力系统行业的特殊性,大量继电保护装置不可能直接连接到现有的因特网。所以用于智能电网保护装置的远程诊断技术,完全通过传统因特网技术建立固定数据通道或专用数据通道的方法,因其较高风险或较高成本问题,将很难得到推广应用。所以,当下远程诊断技术在电力系统领域应用还相对较少。

为解决上述瓶颈制约,基于现有保护装置多采用串口或网口进行本地调试与诊断的实际技术情况,本文利用现有移动通信技术,开发一种新的继电保护装置远程诊断系统。该系统成本较低,便于携带,且能有效提高企业对保护装置异常问题的处理速度及客户满意度;能为企业继电保护高级研发人员节约大量宝贵时间,使其专注研发;同时为企业节约大量维护费用。

1 系统需求分析

对智能保护装置生产企业而言,保护装置的远程诊断方法的技术特征是:实现多人同时在线对不同地区的多个保护装置或同一个保护装置进行远程诊断,能够完成装置异常数据和故障波形读取等功能。

而对保护装置而言,完全基于网络通信技术,根据装置IP进行装置的远程诊断,该方法虽然快捷,但会为电网的安全稳定运行带来潜在隐患。因此,保护装置在系统设计时采用运行系统接口和调试系统接口分离机制,通过独立的调试接口仅能获取装置的异常运行数据及控制装置的相关操作,但无法控制或影响保护装置的动作行为,这是一种较好的设计方案,见图1。

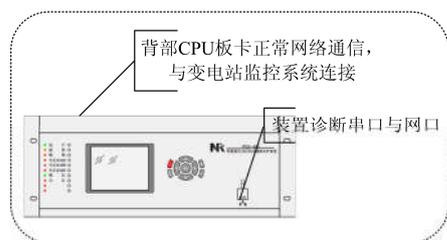


图1 保护装置调试和监控接口

Fig. 1 Debugging and monitoring interfaces of device

通过独立的调试串口或网口实现保护装置的远程在线调试,技术成熟,容易实施,并且通过调试串口或网口通信实现装置异常问题诊断,即插即用,方便快捷,可以有效和运行网络进行隔离,做到风险规避。而如何通过串口或网口实现保护装置的远

程诊断,需要在产品平台前期设计上给予考虑,比如操作方式,命令格式和权限的设计等。全面的调试方法设计,将有助于推动保护装置远程调试与诊断技术的深入应用。

智能电网保护装置调试的特点是采用串口或网口通信,物理通道建立连接后,数据信息的交换需要工程师输入命令来启动,装置才会有数据反馈。系统对两者通信的实时性要求不是很强,数据进流量也不是很大。考虑到目前4G的带宽和速率,4G网络的理论峰值速率可以达到上行50M,下行100M,保护装置的远程调试信息,完全能够通过移动通信技术建立数据通信传输通道。通过远端和末端数据接收处理程序的合理设计,可以在不丢数据包的情况下,将装置回复的信息通过网络转发给调试诊断客户端,并完成调试数据的正常显示及各种操作功能。

2 系统设计

智能电网保护装置远程诊断系统主要有以下三部分来实现:在远方保护装置侧设计测试终端盒;在企业所在地建立测试数据服务中心,实现数据转发;同时开发远程诊断客户端软件,实现诊断命令数据下发与显示等功能。

测试终端盒利用现有移动通信技术,通过串口或网口通信将智能电网保护装置的诊断数据通过移动公网将测试数据传到企业测试数据服务中心;企业测试数据服务中心负责接受所有测试终端盒的数据,同时接受诊断客户端的连接,将客户端的命令数据和测试终端盒的数据根据测试终端盒唯一ID号进行交换,从而完成对保护装置的远程诊断。

本系统采用跨平台的QT来开发上位机软件和测试数据服务器软件,方便继电保护装置远程诊断系统在WINDOW平台和LINUX平台上的移植操作。采用CLIENT/SERVER设计模型来开发测试数据服务中心和诊断客户端软件。

2.1 测试终端盒

测试终端盒有串口网口通信处理模块、4G通信处理模块及外置天线等组成。串口网口通信处理模块采用可插拔式RJ-45接口与装置对接,方便现场使用。该模块主要完成测试终端盒和继电保护装置的物理连接,实现测试终端盒上传和下发诊断数据,本系统利用串口数据主动分帧技术和串口出现空闲的智能判断实现串口在大数据流量情况下的数据透明转发,从而实现串口通信和网口通信的底层数据统一处理。

4G通信处理模块负责将测试终端盒接收到的

串口数据或网络数据转化为 TCP 数据, 通过移动公网上传到企业测试数据服务中心, 同时将企业测试数据服务中心发往保护装置的诊断命令传到串口或网口通信处理模块, 由其下发给保护装置。

由于变电站地处偏僻或者周围建筑物复杂, 一般变电站附近 4G 信号不是很好, 尤其是主控室内信号会更差, 测试终端盒在设计上采用天线延长技术, 将信号输出到继保控制室外, 确保良好的通信, 见图 2。

测试终端盒使用时, 需插入已付费的 4G 电话卡芯片。测试终端盒上电后, 主动通过移动公网将终端盒 ID 号发送给企业测试数据服务中心。

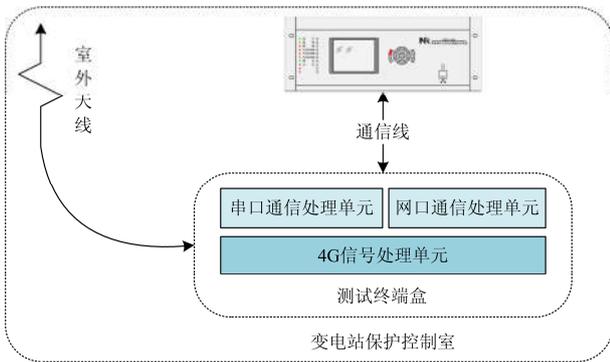


图 2 测试终端盒在现场布置示意图
Fig. 2 Diagram of test terminal box layout

2.2 企业测试数据服务中心

企业测试数据服务中心是整个调试诊断系统的核心, 对测试终端盒而言, 是数据服务器; 对调试客户端而言, 也是数据服务器。所有保护装置的诊断调试数据均通过该数据服务中心进行数据中转。系统在设计上, 采用多线程模式, 线程 1 负责接受测试终端盒数据, 线程 2 负责接收客户端数据, 用于减轻界面数据显示负载。所有登录数据和操作数据将会在主界面进行显示。

测试数据服务器包含测试终端盒登录管理模块、客户端连接管理模块、测试数据处理模块和测试日志存储模块。

测试终端盒登录管理模块: 主要负责测试终端盒上线和下线处理操作, 记录并显示有效的测试终端盒 ID 号, 客户端进行 TCP 连接时, 把在线的测试终端盒 ID 号数据集合统一发给所有调试客户端。

客户端连接管理模块: 主要负责客户端 TCP 连接 SOCKET 记录及建立客户端与测试终端盒的映射连接关系。并根据调试客户端发来的测试终端盒 ID 号实时更新记录数据链表。测试终端盒记录数据结构为

```
struct tagClient
{
    int nSocketID; //远程 SOCKET 连接 ID
    QStringList sTestBoxList; //测试终端盒 ID
};
```

测试终端盒数据链表定义为

QList< struct tagClient > m_clientList, 当远端用户断开与装置连接时, 系统主动清除该数据链表中的无效数据, 确保用户选择有效测试终端盒进行诊断。

测试数据处理模块: 测试终端盒上电后, 自动登录到企业测试数据服务中心, 同时将保护装置通过串口转发的数据转发给测试数据服务器, 根据调试客户端选择的测试终端盒 ID 号, 将调试数据发往不同的调试终端 SOCKET, 同时将携带有调试终端盒 ID 号的调试数据命令, 发往调试终端盒, 有其下发给继电保护装置。

测试日志存储模块: 负责将所有终端盒登录的原始数据信息记录、显示和保存; 将所有用户操作的命令原始信息记录、显示和保存。

2.3 诊断客户端

诊断客户端软件是人机交互的接口, 主要负责将指定测试终端盒的数据进行正确显示, 同时将技术人员输入的调试命令传递给分布在各个区域并已选择的测试终端盒。

诊断客户端与企业测试数据服务中心交互报文设计如下。

1) 请求在线测试终端盒 ID 号列表报文: 在诊断客户端与企业测试数据服务中心建立 SOCKET 连接后, 系统主动发送。当测试数据服务中心收到该报文后, 会将当前上线的测试终端盒 ID 号通过报文的形式全部发给诊断客户端, 有诊断客户端解析并显示在界面上, 供技术人员选择相应 ID 号进行保护装置的远程诊断。诊断盒每 30 s 发送一次在线测试终端盒 ID 号列表请求报文。有终端盒发送主动查询命令, 可以减轻多个终端盒和多个客户端同时在线的数据处理负载。

2) 选择诊断的测试终端盒 ID 号列表报文: 诊断客户端选择测试终端盒 ID 号列表(m_SelBoxList)后, 需将 ID 号列表内容告诉企业测试数据服务中心, 有其根据客户端选择的 ID 号列表进行数据的双向转发。

3) 保护装置诊断测试命令报文: 企业测试数据服务中心根据 m_SelBoxList 转发给相应测试终端盒, 由其转发给相应的保护装置。

4) 保护装置反馈的数据报文: 有保护装置针对接收到的诊断命令反馈的报文, 该类数据报文量有

时会比较大, 测试终端盒对接收到的报文通过数据缓冲及分帧处理技术, 而后逐个发送到企业测试数据服务中心, 降低在整个测试过程中数据丢包概率。

RDSRPD 从数据流上分为三层: 上层是分布式测试终端盒, 分布在各个智能变电站; 中间层是企业测试数据服务中心, 属于数据交换处理层; 底层是分布式诊断客户端软件, 实现数据读取与显示。各种模式下的具体操作数据流如下。

图 3 红色箭头展示了一位工程师对北京奥运村变一台保护装置实现远程调试诊断的数据流向。

图 4 红色箭头展示了一位工程师同时对北京奥运村变、南京青奥变和广州大运村变的 3 台继电保护进行远程诊断的数据流向。

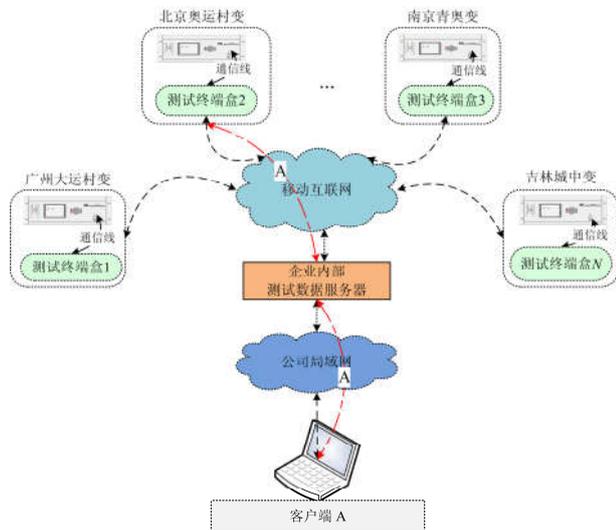


图 3 一对一操作模式

Fig. 3 One tester to one device operating mode

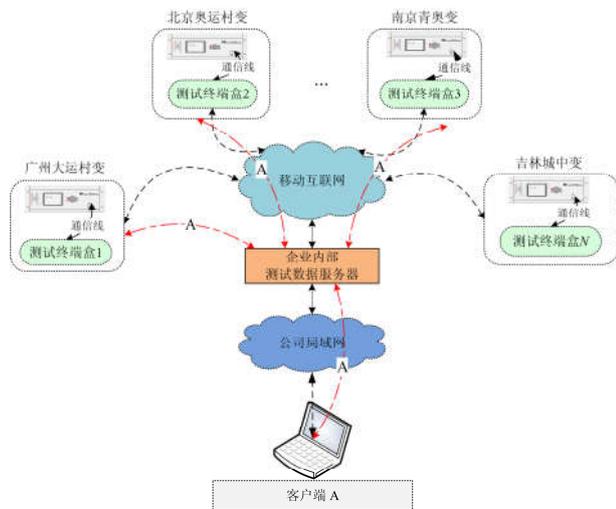


图 4 一对多操作模式

Fig. 4 One tester to many devices operating mode

图 5 红色箭头展示了三位工程师(硬件研发工程师、系统软件研发工程师和应用软件研发工程师)同时对北京奥运村变的一台继电保护装置进行联合诊断的数据流向。该模式是三位研发工程师在三个客户端软件上同时选择了一个 ID 号的测试终端盒而建立相应数据通道。企业测试数据服务中心根据测试终端盒 ID 号及 SOCKET 连接实现数据的分时处理, 并将装置侧数据返回给相应的客户端软件。

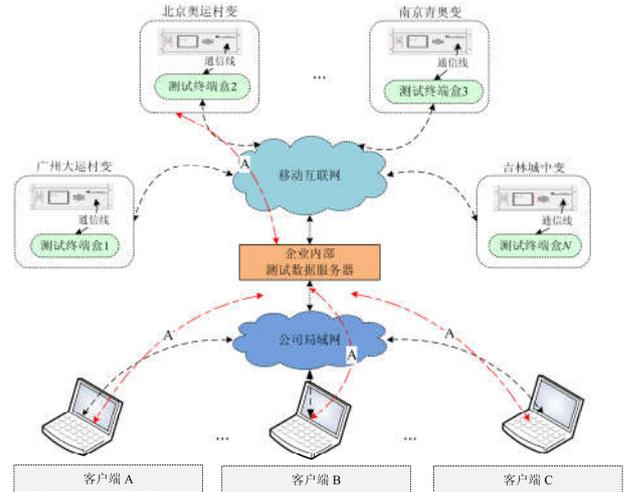


图 5 多对一操作模式

Fig. 5 Many testers to one device operating mode

图 6 箭头指示方向展示了三位工程师分别对三个变电站的保护装置独自进行异常诊断的数据流向。这也是 RDSRPD 应用最多的模式, 即多个研发人员借助 RDSRPD 建立属于自己的数据映射通道, 并在各自的数据通道上进行远程诊断。由于各自的数据通道上注册并绑定, 即客户端 A 绑

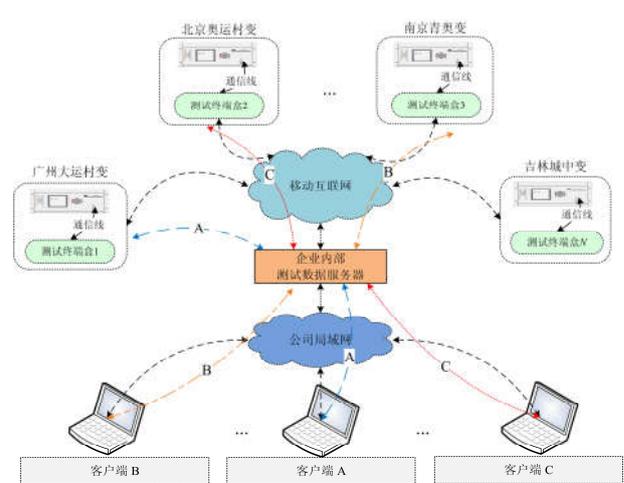


图 6 多对多操作模式

Fig. 6 Many testers to many devices operating mode

定终端盒 1, 见蓝色箭头; 客户端 B 绑定终端盒 3, 见橙色箭头; 客户端 C 绑定终端盒 2, 见红色箭头。因此多对多远程诊断方案并不相互影响和制约。该模式是三位研发工程师通过在三个客户端软件上分别选择了不同 ID 号的测试终端盒, 建立数据通道。企业测试数据服务中心根据该 ID 号及 SOCKET 连接实现数据的分时处理, 并将装置侧数据返回给相应的客户端, 从而实现数据的有序收发。

3 系统应用与分析

RDSRPD 有分布在现场的一个或多个测试终端盒, 架构在企业研发中心的数据服务器及客户端软件组成。研发人员仅需在电脑上安装远程诊断客户端软件即可进行继电保护装置的远程诊断。RDSRPD 使用简单, 操作快捷。具体操作方法: 位于变电站现场的操作人员将测试终端盒插到智能电网保护装置的调试串口或者网口上, 等测试终端盒上电后, 现场人员将测试终端盒 ID 号告诉保护厂家诊断工程师, 由其通过客户端选择相应的测试终端盒, 并实现继电保护装置相关功能的远程诊断操作。

应用场景 1: 以下为工程师借助 RDSRPD 通过调试变量的方式诊断远方智能电网保护装置, 查看装置的运行状态, 如图 7 所示。

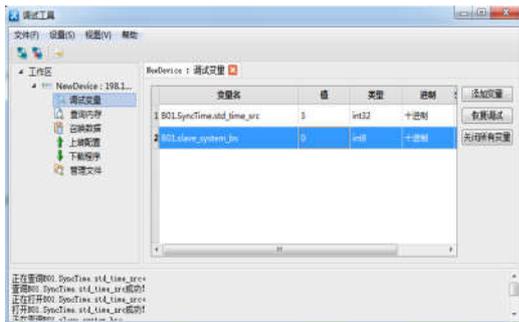


图 7 诊断客户端主界面

Fig. 7 Main interface of diagnostic client

应用场景 2: 以下为工程师借助 RDSRPD 通过查看装置状态的方式读取远方保护装置的跳闸动作报告及进行录波后, 在本地电脑通过波形显示工具查看装置的动作波形, 帮助客户进行相关问题的分析与处理, 如图 8 所示。

RDSRPD 较好地解决了当前企业和客户的共同需求: 快速处理异常问题, 快速恢复装置正常运行, 实现企业和客户的双赢局面。而对企业而言, 在节省企业异常问题处理费用, 保证高级研发人员的研发时间投入方面, 均有不小的收获。假设 A 公司现场年问题处理次数为 1000 次(对于 500 人的研发队伍而言, 人年均 2 次), 现场平均处理时间基本

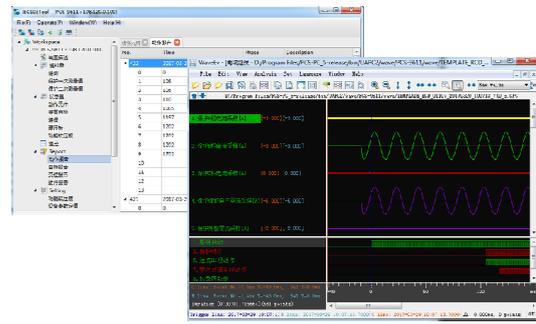


图 8 装置动作报告及波形显示

Fig. 8 Device action report and waveform display

在 2 天/每人次以上, 现场处理平均差旅费用在 2000 元/每人次以上; 而远程处理费用基本为 0, 时间也不过几个小时。这样, 远程诊断系统每年节约资金将在几百万以上, 年平均节约高级研发人员时间将在 10 000 h 以上, 这些节省下来的财力和时间均可用到产品更深层次的研发上。由此可见远程诊断系统效益十分可观。

RDSRPD 较好地解决了当前存在的问题, 但在应用过程中也存在网络安全风险, 尤其是在移动互联网阶段容易受到攻击。但通过图 9 所示方案可以有效降低被攻击的频率: 1) 测试终端盒到企业数据服务中心的登录进行多级认证; 2) 从客户端和装置侧进出数据流实现正反双向数据加密。

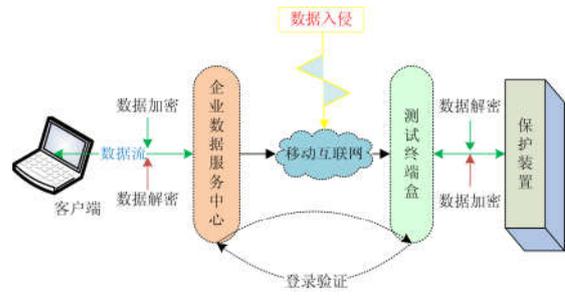


图 9 系统风险

Fig. 9 System risk of RDSRPD

4 结论

基于现有的移动通信技术, 实现智能电网保护装置的远程在线诊断。该方法为企业远程调试继电保护装置提供了相应技术手段, 将原来必须到现场才能解决的装置异常或故障问题转化为在公司内部解决。该方法具有以下显著优点: 其一, 提高了企业处理问题的反应速度, 缩短了装置运行恢复时间, 降低了企业维护成本, 同时为高级研发人员节省了宝贵的处理时间; 其二, 为多人同时快速诊断保护装置异常问题提供了解决方案, 使得多人同时诊断

保护装置异常问题变得更加高效和快捷。

随着移动通信技术的迅猛发展, 移动通信信号将逐步覆盖更广的区域。届时网速更快, 资费更低。这对于远程诊断变电站中的继电保护装置而言, 基于移动通信技术建立的智能电网保护装置远程诊断系统将能得到更有效推广与深入应用。

本文下一步的工作重点是如何保证 RDSRPD 在操作过程中的数据安全性及传输高效性。

参考文献

- [1] 王治国, 李兴建, 王言国, 等. 基于统一建模的继电保护测试装置开发研究[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(19): 180-184.
WANG Zhiguo, LI Xingjian, WANG Yanguo, et al. Research on the development of relay protection tester based on unified building mode[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(19): 180-184.
- [2] 王忠, 张晓莉, 李忠安, 等. 继电保护装置自动测试系统设计[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(5): 130-134.
WANG Zhong, ZHANG Xiaoli, LI Zhongan, et al. Design of automatic test system for relay protection device[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(5): 130-134.
- [3] 浮明军, 刘昊昱, 董磊超. 智能变电站继电保护装置自动测试系统研究和应用[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(1): 40-44.
FU Mingjun, LIU Haoyu, DONG Leichao. Research and application of relay protection automatic test system for smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(1): 40-44.
- [4] 陈德辉, 王丰, 杨志宏. 智能变电站二次系统通用测试平台方案[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(1): 139-143.
CHEN Dehui, WANG Feng, YANG Zhihong. Unified test platform for smart substation secondary system[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(1): 139-143.
- [5] 年瑞, 符意德, 葛二灵, 等. 一种基于云服务的远程诊断系统设计[J]. 计算机与数字工程, 2012, 40(10): 166-168.
NIAN Rui, FU Yide, GE Erling, et al. A design of remote diagnosis system based on cloud service[J]. Computer & Digital Engineering, 2012, 40(10): 166-168.
- [6] 朱子坤. 利用局域网延伸技术实现监控系统远程诊断[J]. 继电器, 2007, 35(16): 59-60.
ZHU Zikun. Long-range diagnosis for supervisory control system over local network extending[J]. Relay, 2007, 35(16): 59-60.
- [7] 谢善益, 杨强, 梁成辉, 等. 输变电设备远程诊断信息平台中的统一状态监测模型研究[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(11): 86-91.
XIE Shanyi, YANG Qiang, LIANG Chenghui, et al. Research of unified condition monitoring information model in data platform of power transmission equipment remote monitoring and diagnosis[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(11): 86-91.
- [8] 颜伏伍, 曹恺, 胡杰, 等. 基于 Internet 和 3G 的汽车远程诊断数据采集技术的研究[J]. 汽车工程, 2013, 35(5): 467-471.
YAN Fuwu, CAO Kai, HU Jie, et al. A study on the data acquisition technology for remote vehicle diagnosis based on Internet and 3G[J]. Automotive Engineering, 2013, 35(5): 467-471.
- [9] 吕勇, 李友荣. 基于 B-S 模式的设备远程诊断中心的体系结构及应用[J]. 机床与液压, 2005(6): 179-182.
LÜ Yong, LI Yourong. Architecture and application of machinery remote diagnosis center based on B-S[J]. Machine Tool & Hydraulics, 2005(6): 179-182.
- [10] 周继威, 张波, 王栋, 等. 风电机组综合状态在线检测与远程诊断中心的建立[J]. 中国电力, 2014, 47(3): 19-23.
ZHOU Jiwei, ZHANG Bo, WANG Dong, et al. Establishment of comprehensive online condition monitoring and remote diagnosis center for wind turbine units[J]. Electric Power, 2014, 47(3): 19-23.
- [11] 李立伟. 互联网+下电站设备远程诊断系统研究[J]. 中国科技纵横, 2016(13): 28-29.
- [12] 姚跃荣. 配网设备故障远程诊断的探究[J]. 低碳世界, 2014(11): 68-69.
- [13] 顾煜炯, 何成兵, 杨昆. 汽轮发电机组扭振监测与远程诊断系统[J]. 现代电力, 2002, 19(4): 1-7.
GU Yujiong, HE Chengbing, YANG Kun. Torsion vibration monitoring and remote diagnosis system of turbo-generator set[J]. Modern Electric Power, 2002, 19(4): 1-7.
- [14] 王延博, 张卫军, 张学延, 等. 大型汽轮发电机组轴系振动故障的远程诊断[J]. 振动工程学报, 2004, 17(增刊): 537-539.
WANG Yanbo, ZHANG Weijun, ZHANG Xueyan, et al. Remote vibration diagnosis of high capacity steam-turbine generator units[J]. Journal of Vibration Engineering, 2004, 17(S): 537-539.
- [15] 何岭松, 王峻峰, 杨叔子. 基于因特网的设备故障远程协作诊断技术[J]. 中国机械工程, 1999, 10(3): 1-4.
HE Lingsong, WANG Junfeng, YANG Shuzi. Internet based remote cooperative diagnostics for machine faults[J]. China Mechanical Engineering, 1999, 10(3): 1-4.

收稿日期: 2017-02-28; 修回日期: 2017-08-23

作者简介:

王治国(1978—), 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向为电力系统继电保护及其智能化测试技术; E-mail: wzgnow@163.com

陆静(1986—), 女, 硕士, 工程师, 研究方向为电力系统继电保护测试技术;

笃峻(1975—), 男, 硕士, 研究员级高工, 从事电力系统自动化研究和管理工作的。

(编辑 张爱琴)