

DOI: 10.7667/PSPC170600

RTDS-GTNET 打包 SV 报文的延时特性测试技术

朱云峰, 胡宝, 朱军红, 赵中华, 满基, 代永恒

(许继电气股份有限公司, 河南 许昌 461000)

摘要: 由于 RTDS 的 GTNET 网络协议卡发送 SV 报文的延时时间与其 Timedelay 延时通道的配置延时时间不一致, 应用时会给数字化继电保护装置的闭环测试带来误差, 甚至会影响试验结果的正确性。针对此情况, 提出了 RTDS-GTNET 打包 SV 报文的延时特性的测试技术及方案, 并结合常用使用方式进行了数据样本统计分析。仿真验证了该测试方案的正确性, 通过测试能得出 GTNET 打包 SV 报文延时的确切数据, 为在实际测试过程中更准确地试验继电保护装置数据采样处理环节及逻辑的正确性提供了准确的检测方法。

关键词: RTDS; GTNET; SV 报文; 延时特性; 通道延时

Test scenario for RTDS-GTNET packaging SV packets delay characteristics

ZHU Yunfeng, HU Bao, ZHU Junhong, ZHAO Zhonghua, MAN Ji, DAI Yongheng

(XJ Electric Co., Ltd, Xuchang 461000, China)

Abstract: The delay time of sending SV packets by RTDS-GTNET network protocol card is inconsistent with the configured delay time of Timedelay delay channel. When it is applied to the closed-loop test of digital relay protection device, it will cause errors, even affecting the correctness of the test result. In view of this situation, this paper presents the testing technique and scheme of the delay characteristic of the RTDS-GTNET packing SV packet, and carries on the statistical analysis of the sample with the common methods. The simulation verifies that the test scheme is correct, it can obtain the exact delay time of the GTNET packing SV packet through test, which provides an accurate method for testing the data sampling process and the logic correctness of the relay protection device more accurately during the practical applications.

This work is supported by Science and Technology Program of State Grid Corporation of China (Critical technology and platform construction of multi-energy system hybrid simulation) and Science and Technology Program of State Grid Zhejiang Electric Power Research Institute (No. 5211DS15002V).

Key words: RTDS; GTNET; SV packets; delay characteristic; delay channel

0 引言

近年来, 随着智能电网的发展, 智能变电站作为智能电网的重要环节, 得以大规模推广利用, 与传统变电站不同, 智能变电站具有智能化的一次设备和集成化的二次设备, 并支持各种高级的互动应用^[1-4], 智能变电站基于 IEC61850 标准^[5-6], 间隔层以 SV 报文和 GOOSE 报文的形式通过光纤传输模拟量和开关量^[7], 数据通信方式的改变, 也促使变电站的测试环境发生了重大的变化, 在实验室搭建针对数字化的二次继电保护设备进行闭环动态仿真, 验

证继电保护设备的动作行为是否符合设计逻辑, 是一种十分有效的手段。

目前, 常用的智能变电站二次设备测试手段有物理动态模拟试验、数字化继电保护测试仪及数字实时仿真系统。数字实时仿真系统因其建模周期短, 使用方便灵活等优点得到了广泛使用, RTDS 实时仿真装置是一种全数字电力系统暂态仿真模拟装置, 因其数值稳定性好、建模使用方便及有成熟应用案例等优点在国内的使用最为广泛。RTDS 为适应智能变电站的发展需求, 早在 2006 年就开发了 GTNET 网络协议卡, 并将 GTNET 作为接口以便 RTDS 与智能变电站保护设备 IED 的采样值和开关量进行通信, 实现闭环测试功能, 针对中国应用市场, 2013 年又开发了点对点方式的 IEC 61850-9-2SV 协议, 并与国内继电保护厂家的数字化继电保护装置

基金项目: 国家电网公司科技项目“多能系统混合仿真关键技术及平台建设”; 国网浙江省电力公司电力科学研究院科技项目(5211DS15002V)

成功通信^[8]。

RTDS-GTNET 发送的点对点 SV 报文每组最多支持 24 个通道, 包括 Timedelay 延时通道和电压电流通道, 可根据需要进行灵活配置, 但是其 Timedelay 延时通道与国内合并单元相应通道工作机制不一致, 如延时通道配置为 750 μs 时, RTDS 仿真计算产生数据送到 GTNET 板卡, 并由 GTNET 板卡打包成 SV 报文送出的延时时间并不是其设置的 750 μs , 实测结果为 GTNET 板卡打包 SV 报文所需的一个固有延时, 通道延时参数 750 μs 仅作为一个变量发送出来。应用时 GTNET 其 Timedelay 延时通道配置与其自身打包 SV 报文所需延时不一致, 对数字化继电保护装置的闭环测试会带来误差, 甚至会影响试验结果的正确性^[9-12], 如进行双端线路保护装置的差动保护测试过程中, 当一端为传统模拟量采样装置, 一端为数字化 SV 采样装置时, 由于通道延时配置不准确, 保护装置差流计算有误差, 误差随通道延时配置大小正相关, 过大会导致保护误启动误动作的情况出现^[13-17]。文章针对此情况, 提出了 RTDS-GTNET 打包 SV 报文的延时特性的测试技术及方案, 并进行样本数据统计分析, 得出实际延时参数。

1 测试方案

1.1 测试系统搭建及测试原理

测试系统所用设备及其连接如图 1 所示, 测试系统相关设备均采用 IEEE1588 对时信号授时, 选用一台主钟作为授时源, 对时信号分别接入 GTSYNC 板卡(RTDS 仿真设备可通过此板卡与外界授时源保持同步)和 DANE0400 网络报文分析装置, DANE0400 支持基于 IEC61850 标准的 SV 和 GSE 报文的分析、延时测试功能, 可以将接收的每帧 SV 报文高精度打上时间标签。

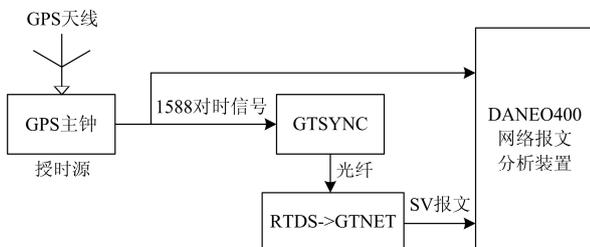


图 1 测试系统结构

Fig. 1 Structure of test system

RTDS 仿真设备经 IEEE1588 对时信号同步后, 仿真计算数据在每个整秒时刻送到 GTNET 板卡,

GTNET 板卡经数据打包成 SV 报文的延时后, 从 0 序号 SV 报文开始发出数据, SV 报文送到网络报文分析装置, 网络报文分析装置与 RTDS 仿真设备接入同一对时源, 接到每帧报文头时打上时间标签, 以频率 50 Hz, 80 点采样率为例, 将每秒的 0~3999 序号的 SV 报文全部打上时间标签, 获取样本数据, 进行 SV 报文解析, 将每帧 SV 报文的时间标签提取出来, 0 序号 SV 报文的时间标签与相应整秒时刻的差即是 GTNET 板卡打包 SV 报文所需时间。将相邻序号的两帧 SV 报文时间标签做差再减去两帧报文理论时差, 统计分析, 得到 RTDS-GTNET 发送 SV 报文的离散性特征。

1.2 测试系统设备间误差说明

授时源 GPS 主钟设备, IEEE1588 授时误差小于 100 ns^[18-19], 最高授时精度小于 8 ns, 满足微秒级误差分析的要求。DANE0400 网络报文分析装置在 IEEE1588 对时方式下实测统计, 通过授时报文 Sync Message、Follow Up Message、Announce Message 进行统计分析^[20-21], 其对时精度在 ± 500 ns 以内, 满足接收报文打时间标签的精度要求。

RTDS 仿真设备的同步误差有两部分, 其一为 GTSYNC 本身的对时精度, RTDS 公司提供的用户手册中 GTSYNC 在 IEEE1588 对时方式下的对时精度在 ± 1 μs 以内。其二为 GTSYNC 与 RTDS 仿真设备接口板卡间传输延时, GTSYNC 通过 1 m 长光纤与 RTDS 仿真设备的接口板卡 GTWIF 相连, 而 GTSYNC 与 GTWIF 之间通信的固有延时为 750 ns, 每 1 m 长光纤通信产生 5 ns 延时, 此延时可通过配置进行补偿, 补偿后可忽略 GTSYNC 与 RTDS 仿真设备间同步误差, 配置界面示例如图 2 所示。

```
PER > 64
Current GTSYNC configuration:
Ethernet port      : Fiber ST
IP address         : 172.24.4.251
Subnet mask       : 255.255.0.0
Gateway IP address : 172.24.0.1
SNTP server IP address : 0.0.0.0
Sync mode         : IEEE 1588
Transmit VLAN tags : Disabled
Sync correction   : 0
GTSYNC->GTWIF skew : 750
IRIG-B output time quality override : Enabled
IRIG-B output time quality value    : 0x0
IRIG-B output continuous time quality value : 0x0
BNC output format      : IRIG-B
Fiber1 output format   : 1PPS
Fiber2 output format   : 1PPS
Fiber3 output format   : 1PPS
Fiber4 output format   : 1PPS
```

图 2 GTSYNC 配置示例

Fig. 2 Example of GTSYNC configuration

1.3 GTNET 发送 SV 报文通道个数选取原则

为使测得 GTNET 打包 SV 报文延时特性具有实用性, 参照智能变电站采样合并单元通道配置需求, 分别测试 GTNET 打包 SV 报文通道个数为 24 个、22 个及 7 个时的延时特性, 三种通道配置如表 1 所示。其中 24 通道为 GTNET 单元支持的最大通道个数。22 通道为合并单元常用通道个数, 除去第一个通道为 Timedelay 外, 其余按照一组双 AD 采样的保护用电压通道和电流量通道, 另外配置一组测控用的电压电流量通道。7 通道配置常用在母线保护中母联或分段元件的保护用电流量通道, 一组 SV 报文仅取母联或者分段元件的电流量。

表 1 SV 报文通道组成

Table 1 Constitution of SV packets channels

SV 通道数	SV 通道组成
24	GTNET 支持的最大通道个数, Timedelay+23 个可配置通道
22	Timedelay+保护用双 AD 量(U_a 、 U_b 、 U_c+I_a 、 I_b 、 I_c)+测控量(U_a 、 U_b 、 U_c 、 U_0 、 U_x 、 I_a 、 I_b 、 I_c 、 I_0)
7	Timedelay+保护用双 AD 量(I_a 、 I_b 、 I_c)

2 仿真测试及结果处理

2.1 仿真模型

使用 RSCAD 软件搭建典型继电保护仿真测试模型, 如图 3 所示, 仿真步长设置为电力系统电磁暂态仿真常用的 $50 \mu s$ 。因 RTDS 不同, RACK 之间计算电力系统网络节点时及同一 RACK 不同控制元件放在不同的物理处理器板卡构成顺序执行时, 其仿真运算数据输出会相差一个仿真步长。为使测试 GTNET 延时特性结果处理方便, 简化仿真模型, 仿真运行时将相关互感器 PT、CT 元件使用控制元件模型搭建, 并将所用到的其他控制元件和 GTNET-SV 元件一起指定在同一个物理处理器上进行运算, 减少误差, 参照图 1 所示的测试系统结构图, 将 GTNET 输出的 SV 报文直接接入网络报文分析装置, 得到原始数据并进行分析。

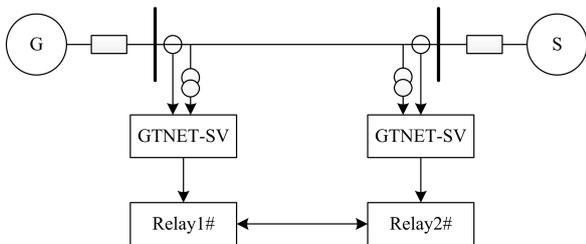


图 3 电力系统仿真模型

Fig. 3 Simulation model of power system

2.2 数据处理及分析

为保证测试精度, 分别针对 24 个通道、22 个通道、7 个通道 SV 报文进行持续 30 min 的数据采集, 将得到的原始数据使用 SV 报文解析软件进行解析, 解析得到的数据效果图如图 4 所示, 解析后的 SV 报文仅需每帧报文的序号、时间标签、时间差、APPID、采样序号、大小等信息提取出来, 数据处理过程中, 利用 SV 报文解析软件相应的接口, 编写脚本文件, 自动提取并保存成 Excel 表格的“.csv”文件, 示例如图 5 所示。

序号	时间	时间差	帧长	APPID	采样序号	大小
1	2016-08-15 10:00:00.000024400	0.000		0x400A	3999	128
2	2016-08-15 10:00:00.000274940	250.540		0x400A	0	128
3	2016-08-15 10:00:00.000524540	249.600		0x400A	1	128
4	2016-08-15 10:00:00.000774140	249.600		0x400A	2	128
5	2016-08-15 10:00:00.001024220	250.080		0x400A	3	128
6	2016-08-15 10:00:00.001273780	249.560		0x400A	4	128
7	2016-08-15 10:00:00.001524340	250.560		0x400A	5	128
8	2016-08-15 10:00:00.001774420	250.080		0x400A	6	128
9	2016-08-15 10:00:00.002025000	250.580		0x400A	7	128
10	2016-08-15 10:00:00.002274560	249.560		0x400A	8	128

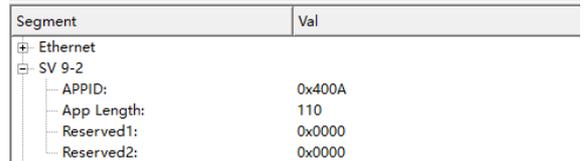


图 4 SV 报文解析示例

Fig. 4 Example of parsing SV packets

序号	时间	时间差	信息 APPID	采样序号	大小
1	2016-10-31 09:00:56.000260600	0.000	0x400A	0	128
2	2016-10-31 09:00:56.000510800	250.200	0x400A	1	128
3	2016-10-31 09:00:56.000760720	249.920	0x400A	2	128
4	2016-10-31 09:00:56.001010740	250.020	0x400A	3	128
5	2016-10-31 09:00:56.001260280	249.540	0x400A	4	128
6	2016-10-31 09:00:56.001510400	250.120	0x400A	5	128
7	2016-10-31 09:00:56.001761480	251.080	0x400A	6	128
8	2016-10-31 09:00:56.002010540	249.060	0x400A	7	128
9	2016-10-31 09:00:56.002260700	250.160	0x400A	8	128
10	2016-10-31 09:00:56.002510320	249.620	0x400A	9	128
11	2016-10-31 09:00:56.002760580	250.260	0x400A	10	128
12	2016-10-31 09:00:56.003010520	249.940	0x400A	11	128
13	2016-10-31 09:00:56.003260680	250.160	0x400A	12	128
14	2016-10-31 09:00:56.003510820	250.140	0x400A	13	128
15	2016-10-31 09:00:56.003760640	249.820	0x400A	14	128
16	2016-10-31 09:00:56.004010980	250.340	0x400A	15	128

图 5 Excel 表格示例

Fig. 5 Example of Excel table

得到图 5 所示的简化表格数据后, 使用 Matlab 软件, 编写脚本文件, 根据从 SV 报文提取的“采样序号”序列, 找到“0 序号”SV 报文相应的时间标签, 如“2016-08-15 10:00:00.000274940”这个时间标签, 去掉对应的整秒数据“2016-08-15 10:00:00”, 得到“000274940”, 并将此字符串转成整形数, 单位为 ns, 依次循环处理并用 Matlab 的绘图工具进行绘图, 得到这组数据的“0 序号”SV 报文的时间戳分布图, 如图 6—图 8 所示。参照此方

法将 0~3 999 序号的 SV 报文的时间标签均提取出来, 将时间标签转换成以 ns 为单位的数据后进行相邻数据相减, 系统频率为 50 Hz, 每周波采样 80 点时, 两点之间的时间差理论值为 250 μs , 相减后结果再减去该理论值, 得到结果数据后, 将 $-0.5\sim 0.5\ \mu\text{s}$ 内的报文个数统计标记为“0 偏差”的报文个数, 将 $-1.5\sim -0.5\ \mu\text{s}$ 统计标记为“-1 偏差”的报文个数, 依次类推就可以得到 GTNET 发出的 SV 报文间的离散性统计数据, 用 Matlab 进行绘图, 得出结果如图 9—图 11 所示。

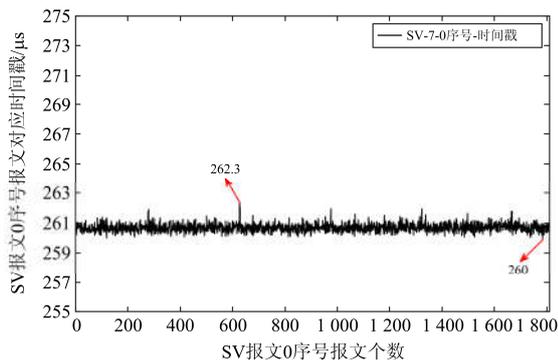


图 6 7 通道 SV 报文 0 序号报文时间戳分布图
Fig. 6 Timestamp distribution of 0 sequence number of 7 channel SV packets

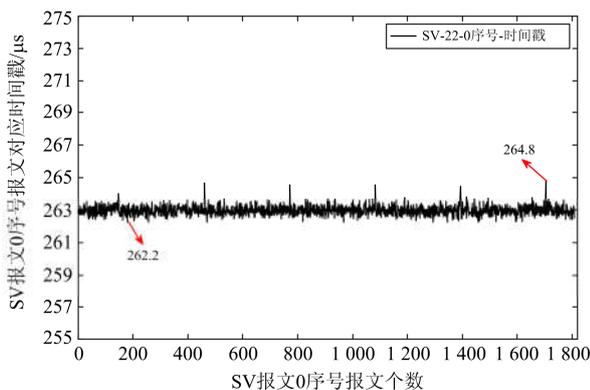


图 7 22 通道 SV 报文 0 序号报文时间戳分布图
Fig. 7 Timestamp distribution of 0 sequence number of 22 channel SV packets

从图 6—图 8 可以看出, 在连续 30 min 的数据中, GTNET 发送的 SV 报文延时稳定性较好, 无累积性偏差, 整个数据中最大值和最小值相差 2.6 μs , 其中 7 通道 SV 报文的“0 序号”报文时间戳平均值为 274.507 μs , 22 通道 SV 报文的“0 序号”报文时间戳平均值为 286.653 μs , 24 通道 SV 报文的“0 序号”报文时间戳平均值为 287.844 μs 。

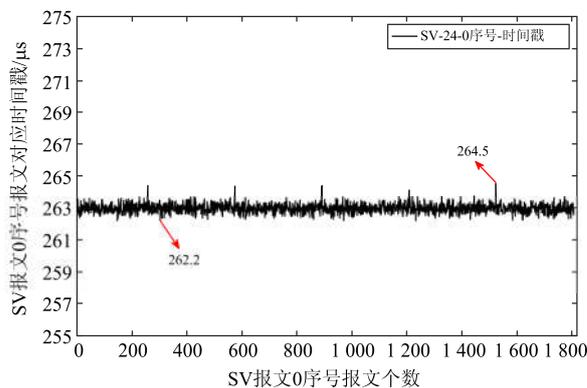


图 8 24 通道 SV 报文 0 序号报文时间戳分布图
Fig. 8 Timestamp distribution of 0 sequence number of 24 channel SV packets

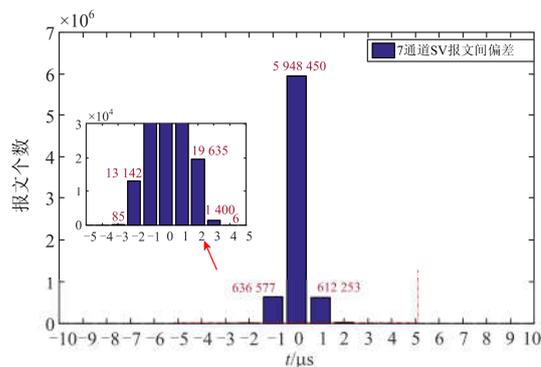


图 9 7 通道 SV 报文间偏差分布图
Fig. 9 Deviation distribution of 7 channel SV packets

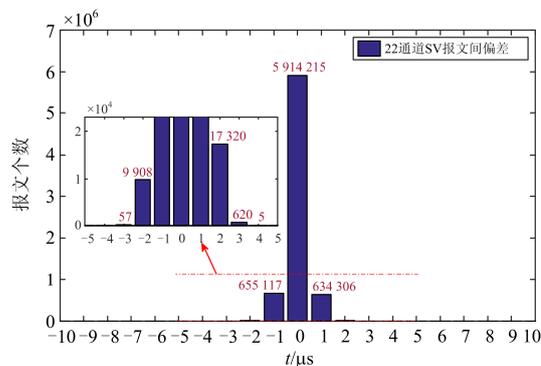


图 10 22 通道 SV 报文间偏差分布图
Fig. 10 Deviation distribution of 22 channel SV packets

从图 9—图 11 可以看出, GTNET 发送的 SV 报文间离散性较好, 在 $\pm 1\ \mu\text{s}$ 间的报文数达到 72% 以上, 根据 Q/GDW 国家电网公司企业标准《模拟量输入合并单元检测规范》相关规定, 合并单元发送 SV 报文的离散性应在 10 μs 以内, GTNET 发送的 SV 报文满足相关标准规定。

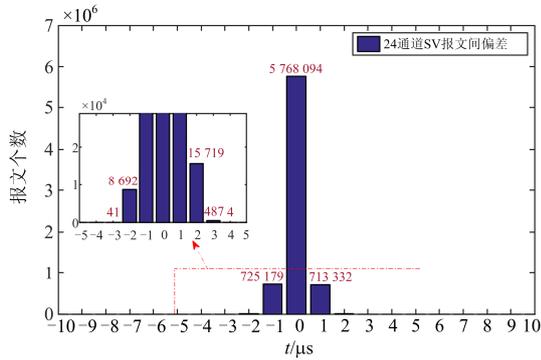


图 11 24 通道 SV 报文间偏差分布图

Fig. 11 Deviation distribution of 24 channel SV packets

3 结论

随着智能变电站的推广投入使用, 智能变电站相关继电保护产品的测试手段也日益完善, 文章针对基于 RTDS 的二次继电保护测试环节中, GTNET 板卡发送 SV 报文时 Timedelay 延时通道与配置参数不一致问题, 提出 GTNET 打包 SV 报文延时特性的测试技术及方案, 并结合常用使用方式进行了数据样本统计分析。仿真验证了该测试方案的正确性, 通过测试能得出 GTNET 打包 SV 报文延时的确切数据, 同时测试了 GTNET 板卡发送 SV 报文的高散性, 为在实际测试过程中更准确地试验继电保护装置数据采样处理环节及逻辑的正确性提供了准确的检测方法。

参考文献

- [1] 纪陵, 李忠明, 蒋衍君, 等. 智能变电站二次系统仿真测试和集成调试新模式的探究和研究[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(22): 119-123.
JI Ling, LI Zhongming, JIANG Yanjun, et al. Exploration and research of smart substation secondary system simulation testing and integration new mode[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(22): 119-123.
- [2] 李孟超, 王允平, 李献伟, 等. 智能变电站及技术特点分析[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(18): 59-62.
LI Mengchao, WANG Yunping, LI Xianwei, et al. Smart substation and technical characteristics analysis[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(18): 59-62.
- [3] 高磊, 杨毅, 苏麟, 等. 智能变电站二次系统物理回路建模方法及设计实现[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(24): 130-139.
GAO Lei, YANG Yi, SU Lin, et al. A modeling approach and design implementation of secondary system physical circuit for smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(24): 130-139.
- [4] ZHANG Baohui, HAO Zhiguo, BO Zhiqian. New development in relay protection for smart grid[J]. Protection and Control of Modern Power Systems, 2016, 1(1): 121-127. DOI: 10.1186/s41601-016-0025-x.
- [5] 樊陈, 倪益民, 窦仁辉, 等. 智能变电站信息模型的讨论[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(13): 15-19.
FAN Chen, NI Yimin, DOU Renhui, et al. Discussion on Smart Substation Information Model[J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(13): 15-19.
- [6] 常弘, 茹峰, 薛钧义. IEC61850 语义信息模型的实现[J]. 电网技术, 2005, 29(12): 39-42.
CHANG Hong, RU Feng, XUE Junyi. Implementation of semantic information module in IEC 61850[J]. Power System Technology, 2005, 29(12): 39-42.
- [7] 朱建斌, 崔琳琳, 马冠群, 等. 一种应用于 PT 间隔过程层合智一体装置研制[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(20): 142-147.
ZHU Jianbin, CUI Linlin, MA Guanqun, et al. Development of the integrated and combined intellectual device of process layer applied to PT interval[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(20): 142-147.
- [8] CHEN Y, OUELLETTE D S. RTDS 在基于 IEC 61850 标准的保护闭环测试中的应用[J]. 华北电力技术, 2015(10): 31-39.
CHEN Y, OUELLETTE D S. Realization and application of RTDS simulator for IEC 61850 relays in China[J]. North China Electric Power, 2015(10): 31-39.
- [9] 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.
ZHANG Yanxu, CAI Zexiang, ZHU Zhihan, et al. Network sampling synchronization of relay protection based on transmission delay compensation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(18): 81-85.
- [10] 潘伟, 陈旭, 许立强, 等. 基于无线传感器网络的应急保护通道可靠性及通信性能研究[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(17): 71-77.
PAN Wei, CHEN Xu, XU Liqiang, et al. Reliability and performance of emergency communication channel based on wireless sensor network[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(17): 71-77.
- [11] 张晓莉, 刘慧海, 李俊庆, 等. 智能变电站继电保护自动测试平台[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(18): 91-95.
ZHANG Xiaoli, LIU Huihai, LI Junqing, et al. Automatic

- test platform in smart substation for relay protection[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(18): 91-95.
- [12] 牟涛, 任志航, 樊占峰, 等. 基于高性能 FPGA 的合并单元设计与实现[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(19): 128-132.
MU Tao, REN Zhihang, FAN Zhanfeng, et al. Realization of the critical technologies merging unit based on FPGA[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(19): 128-132.
- [13] 冯亚东, 李彦, 王松, 等. IEC 61850-9-2 点对点采样值传输在继电保护中的实现与应用[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(2): 82-85.
FENG Yadong, LI Yan, WANG Song, et al. Realization and application of peer-peer IEC 61850-9-2 sampled value transmission[J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(2): 82-85.
- [14] 刘颖. 提高智能变电站采样可靠性的研究与应用[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(19): 150-156.
LIU Ying. Research on improvement of sampling reliability in smart substation and application[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(19): 150-156.
- [15] 刘宏君, 裘愉涛, 徐成斌, 等. 一种新的智能变电站继电保护架构[J]. 电网与清洁能源, 2015, 31(3): 49-61.
LIU Hongjun, QIU Yutao, XU Chengbin, et al. A new architecture of relay protection in smart substations[J]. Power System and Clean Energy, 2015, 31(3): 49-61.
- [16] 伊洋, 刘育权, 陈宇强, 等. 基于信息综合判断的智能变电站网络通信故障定位技术研究[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(3): 135-140.
YI Yang, LIU Yuquan, CHEN Yuqiang, et al. Research of network communication fault location technique in smart substation based on comprehensive information judgment[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(3): 135-140.
- [17] 邹磊, 薛明军, 姚亮, 等. 智能变电站采样异常处理方法的研究[J]. 陕西电力, 2017, 45(4): 39-43.
ZOU Lei, XUE Mingjun, YAO Liang, et al. Research and analysis on SV exception treatment method in smart substation[J]. Shaanxi Electric Power, 2017, 45(4): 39-43.
- [18] 李永乐, 江道灼, 禹化然. 一种基于多授时源多授时方式的电力系统同步授时方案[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(21): 76-85.
LI Yongle, JIANG Daozhuo, YU Huaran. A timing scheme for power system based on multi-timing source and multi-mode of timing[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(21): 76-85.
- [19] 朱兵, 叶水勇, 邵名声. 基于北斗系统的杆塔在线监测系统研究[J]. 陕西电力, 2016, 44(4): 51-59.
ZHU Bing, YE Shuiyong, SHAO Mingsheng. Study on Power Tower Online Monitoring System Based on Beidou System[J]. Shaanxi Electric Power, 2016, 44(4): 51-59.
- [20] 樊陈, 倪益民, 沈健, 等. IEEE 1588 在基于 IEC61850-9-2 标准的合并单元中的应用[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(6): 55-59.
FAN Chen, NI Yimin, SHEN Jian, et al. Research on the application of IEEE 1588 in the merging unit based on IEC 61850-9-2[J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(6): 55-59.
- [21] 崔全胜, 魏勇, 何永吉, 等. PTP 1588 协议的分析[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(10): 148-154.
CUI Quansheng, WEI Yong, HE Yongji, et al. Analysis of PTP 1588 protocol[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(10): 148-154.

收稿日期: 2017-04-24; 修回日期: 2018-01-05

作者简介:

朱云峰(1986—), 男, 通信作者, 本科, 工程师, 研究方向为继电保护及自动化产品测试, 电力系统实时仿真测试; E-mail: zyf0806@live.com

胡宝(1963—), 男, 高级工程师, 研究方向为继电保护及自动化产品的研发测试管理工作;

朱军红(1978—), 女, 高级工程师, 研究方向为继电保护及自动化产品测试, 电力系统实时仿真测试。

(编辑 周金梅)