

DOI: 10.7667/PSPC201810

一种资源再利用的交流采样测试装置

李帅, 龚世敏, 赵谦, 陈福锋, 谢坤, 蔡亮亮

(南京国电南自电网自动化有限公司, 江苏 南京 211153)

摘要: 针对电力系统被更替设备的处理问题, 提出了一种资源再利用的解决思路, 并以模拟量输入式合并单元为例, 通过软硬件调整, 将其改造为交流采样测试装置。首先分析了合并单元的现有资源, 给出了硬件调整方案, 采用最简化配置, 兼容互感器、模件、装置等不同的采样接入方式。然后给出了软件调整方案, 采用增量模式, 结合应用需求, 增加交流采样测试功能。随后分析了非周期分量衰减时间常数、最大峰值瞬时误差、波形畸变监视等测试模块的功能原理, 并给出了详细的设计方案及实现步骤。最后, 结合不同的测试场合, 给出了具体的应用实例。试验结果表明, 该装置可以较好地适用于交流采样测试。

关键词: 资源再利用; 交流采样; 暂态特性; 波形监视

A resource reused device for AC sampling tests

LI Shuai, GONG Shimin, ZHAO Qian, CHEN Fufeng, XIE Kun, CAI Liangliang
(Nanjing SAC Power Grid Automation Co., Ltd., Nanjing 211153, China)

Abstract: To deal with the replaced equipment in power system, a resource reused solution is proposed. And a merging unit of analog input is taken for instance, which is converted to AC sampling test device by software and hardware adjustments. First of all, the present resources of the merging unit are analyzed, while the hardware adjusting scheme with simplified configuration is given, compatible with the transformers, modules, devices and other different sampling access modes. Then according to the application requirements, the software adjusting scheme is introduced, adopting incremental mode and adding AC sampling test functions. Additionally the principles of different testing function are analyzed, such as decay time constant, maximum peak instantaneous error and waveform monitoring, while the detailed design scheme and implementation steps are discussed. Finally, the specific application instances are given according to different test occasions. The results show that the device can be applied to AC sampling test.

Key words: resource reusing; AC sampling; transient characteristics; waveform monitoring

0 引言

随着科学技术及社会经济的发展, 电力行业日新月异, 呈现出数字化、智能化、就地化、一二次融合等诸多发展方向和研究热点, 加速了电力设备的更新换代^[1-5]。

伴之而来的是被更替设备的处理问题。面对数额庞大的“过期”产品, 如何妥善处置与综合利用, 成为电力用户和设备厂家需要关注的共同课题, 也是贯彻国家“全面节约和高效利用资源”政策的重要举措^[6]。

现有的二次设备, 如合并单元、继电保护、测量控制等装置均具有采样接入及分析处理的能力。在此基础上, 稍加改造, 就可以实现交流采样的测

试功能, 满足各种定制化的需求^[7-10]。

本文在模拟量输入式合并单元的基础上, 利用现有的软硬件平台, 开发了一套具有暂态特性测试、波形畸变监视等功能的综合测试装置, 适用于互感器测试、模件测试、装置测试等应用场合, 为资源再利用提供了一种思路。

1 总体方案

某型号的模拟量输入式合并单元的电气机构如图1所示, 主要由CPU模件、AC模件、IO模件、电源模件、母板模件等部分组成。

其中, AC模件通过交流互感器实现信号转换, CPU模件完成AD采样、数字报文接入、数据运算、逻辑处理等功能, I/O模件完成开入、开出等功能,

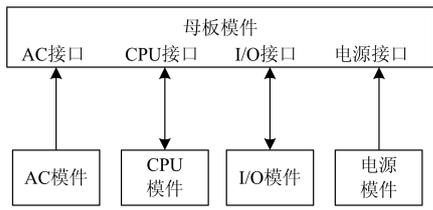


图1 某型合并单元的电气结构示意图

Fig. 1 Electrical structure of the MU with analogue input

电源模块用于装置供电，母板模块用于各模块之间的电气连接。

下文将以该合并单元为基础，进行硬件调整与软件升级，实现资源再利用。

1.1 硬件方案

针对交流采样测试功能，采用最简化配置，保留CPU模块、电源模块、母板模块，如图2所示。

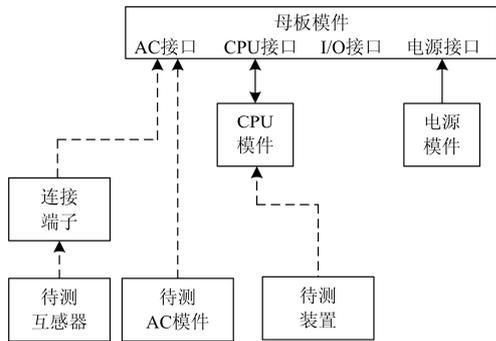


图2 交流采样测试装置的硬件方案

Fig. 2 Hardware structure of the device for AC sampling tests

针对多种应用场合，采用不同的接入方式。

1) 互感器测试

由于互感器无法直接接入母板，可采用端子连接的方式，如图3所示。该端子制作简单、方便灵活，可根据需求同时接入多路互感器。

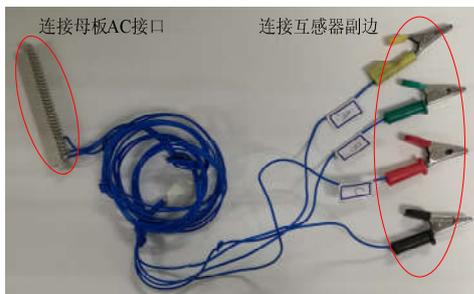


图3 互感器接入端子

Fig. 3 Connector to access the transformer

2) AC 模块测试

该场合下，直接将AC模块接入母板。

3) 装置测试

通过光纤将待测装置与CPU模块相连，以9-2、FT3等数字报文的形式接入。

1.2 软件方案

软件设计时，采用增量模式，即沿用合并单元的软件平台，保留原有的应用功能，在此基础上增加交流测试相关的功能，最大限度地降低开发成本，提高兼容性。

交流测试功能采用模块化设计，每个功能模块独立运行，通过人机接口和用户操作界面可以控制功能进退、设置运行参数、查看测试结果，如图4所示。

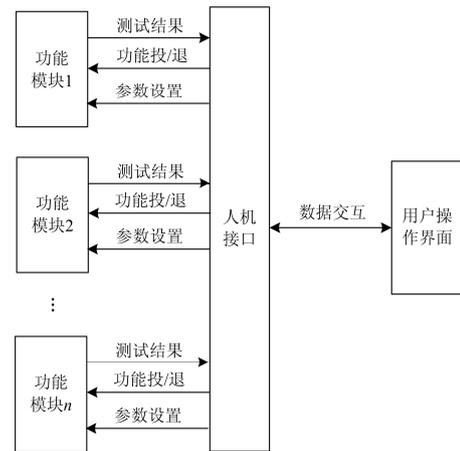


图4 交流采样测试装置的软件方案

Fig. 4 Software structure of the device for AC sampling tests

针对多种应用需求，开发的测试功能如下所述。

1) 暂态特性测试

主要针对保护电流通道，包括非周期分量衰减时间常数、最大峰值瞬时误差等。

2) 波形畸变监视

检测采样波形是否畸变，并对异常数据录波，可用于EMC试验等场合。

2 功能设计

2.1 非周期分量衰减时间常数

非周期分量衰减时间常数测试主要针对保护电流采样通道，模拟短路故障，其波形如图5所示。图中，纵坐标为相对于额定电流有效值的标么值。

非周期分量衰减时间常数的计算方法如式1所示。其中， I_5 为第5波峰的峰值， I_p 为稳态电流峰值， \ln 为自然对数函数^[11-14]。

$$\tau = 0.09 / \ln(I_p / (I_5 - I_p)) \quad (1)$$

非周期分量衰减时间常数的算法流程如图6所示。当功能投入后，获取特征值 I_5 、 I_p ，并按式(1)计算测试结果。

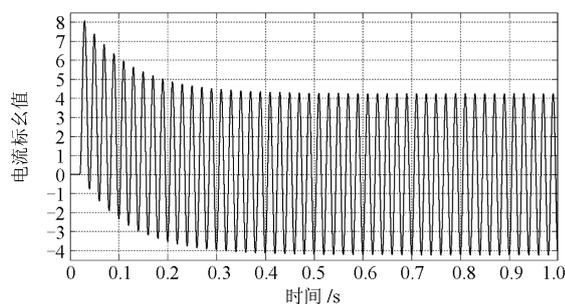


图 5 非周期分量衰减时间常数的电流波形

Fig. 5 Current wave of decay time constant

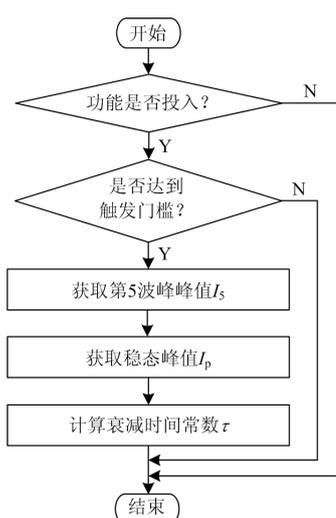


图 6 衰减时间常数的算法流程图

Fig. 6 Algorithm flowchart of decay time constant

由于装置无法预知试验波形的施加时刻, 若处理时序出现偏差, 必然影响计算结果。这里采用波形触发的方式: 当电流超过门槛值时, 可以确定试验波形已施加, 此时启动特征值获取。

启动条件如式(2)所示。其中, I_n 为额定电流有效值, 可由用户设定。

$$|I| > 3I_n \quad (2)$$

2.2 最大峰值瞬时误差

最大峰值瞬时误差测试主要针对保护电流采样通道, 模拟永久性故障, 分为 10 倍大电流、20 倍大电流。

图 7 为 20 倍大电流波形。图中, 纵坐标为相对于额定电流有效值的标么值。图 8 为波形局部放大。

最大峰值瞬时误差计算方法如式(3)所示^[15-16]。其中, i_δ 为最大峰值瞬时误差电流, I_{psc} 为暂态的额定一次短路电流。

$$\delta = 100 \cdot i_\delta / (\sqrt{2} \cdot I_{psc}) \% \quad (3)$$

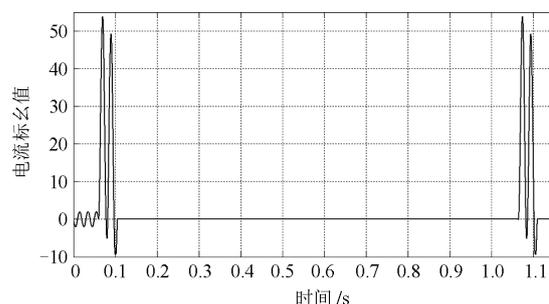


图 7 最大峰值瞬时误差的电流波形

Fig. 7 Current wave of maximum peak instantaneous error

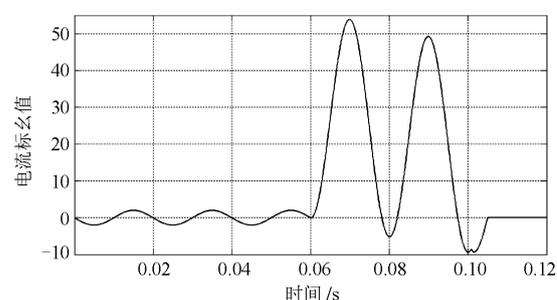


图 8 最大峰值瞬时误差的电流波形(局部放大)

Fig. 8 Amplified wave of maximum peak instantaneous error

为了简化计算, 这里采用捕获 4 个波峰值, 与标准波形对比的方式, 其算法流程如图 9 所示。

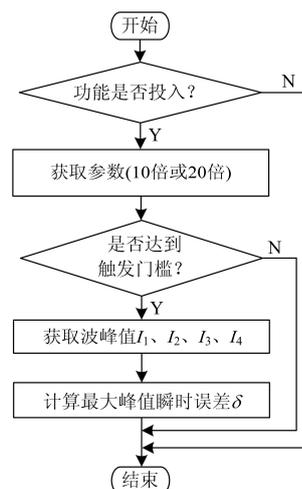


图 9 最大峰值瞬时误差的算法流程图

Fig. 9 Algorithm flowchart of maximum peak instantaneous error

当功能投入后, 获取试验参数, 即 10 倍大电流还是 20 倍。由于标准波形是已知的, 由此可以得到标准波形的 4 个波峰值 I_{S1} 、 I_{S2} 、 I_{S3} 、 I_{S4} 以及暂态额定一次短路电流 I_{psc} 。

当实际电流超过门槛值以后, 启动特征值获取,

得到实际波形的 4 个波峰值 I_1 、 I_2 、 I_3 、 I_4 。

由此可计算最大峰值瞬时电流 i_{δ} ，如式 4 所示。

$$i_{\delta} = \max(|I_1 - I_{S1}|, |I_2 - I_{S2}|, |I_3 - I_{S3}|, |I_4 - I_{S4}|) \quad (4)$$

根据式(3)，计算最终的测试结果。

2.3 波形畸变监视

波形畸变监视主要针对电快瞬脉冲群等 EMC 试验场合^[17-18]。该功能模块可监视采样波形是否畸变，并具备录波功能。

波形畸变的判别条件如式(5)所示。其中， d 为波形畸变率， x_0 为当前采样点， x_1 为前一时刻采样点， x_2 为前两时刻采样点， A 为正常波形的幅值， g 为畸变判别门槛。

$$d = \frac{|x_0 + x_2 - 2x_1|}{2A} > g \quad (5)$$

波形畸变监视的算法流程如图 10 所示。当功能投入后，获取畸变门槛 g 及正常波形幅值 A ，然后开始畸变次数统计及录波。

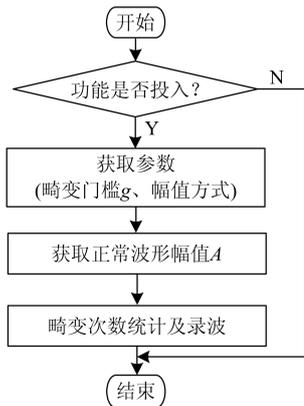


图 10 波形畸变监视的算法流程图

Fig. 10 Algorithm flowchart of waveform distortion monitoring

畸变判别门槛可由用户根据试验需求设定，默认为 5%。 g 值越小，试验越严苛。

正常波形的幅值 A 有两种获取方式：用户设定、自适应。若采用自适应方式，则装置通过傅里叶算法获取该值。

为避免频繁录波，采用最大畸变量触发的方式，即当畸变量超过历史最大值时，启动录波，如图 11 所示。

3 应用实例

3.1 互感器暂态测试

保护 CT 暂态测试系统如图 12 所示。其中，三相交流源连接 CT 原边，通过回放功能施加测试波形；采样测试装置连接 CT 副边，分析暂态数据。

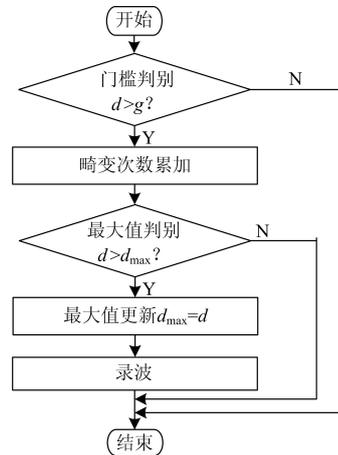


图 11 畸变录波的算法流程图

Fig. 11 Algorithm flowchart of wave recording

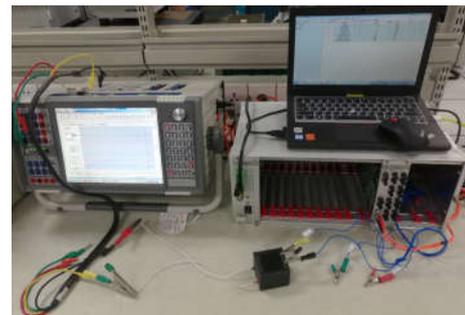


图 12 CT 暂态测试系统

Fig. 12 Testing system of CT transient characters

通过 PC 软件可以观测暂态测试结果，包括衰减时间常数、最大峰值瞬时误差等试验，如图 13、14 所示。

3.2 电快瞬变脉冲群测试

电快速脉冲群测试系统如图 15 所示。其中，三相交流源的输出信号经 EFT/B 测试仪叠加干扰量，连接至被测装置；交流测试装置通过光纤连接待测装置的采样输出，完成波形监视功能。

名称	实际值
通道1衰减时间常数(ms)	97.526
通道2衰减时间常数(ms)	0.000
通道3衰减时间常数(ms)	0.000
通道1最大峰值瞬时误差(%)	0.000
通道2最大峰值瞬时误差(%)	0.000
通道3最大峰值瞬时误差(%)	0.000
通道1最大畸变量(%)	0.000
通道2最大畸变量(%)	0.000
通道3最大畸变量(%)	0.000
通道1波形畸变次数	0.000
通道2波形畸变次数	0.000
通道3波形畸变次数	0.000

图 13 非周期分量衰减时间常数试验结果

Fig. 13 Testing result of decay time constant of non-periodic component

名称	实际值
通道1衰减时间常数(ms)	0.000
通道2衰减时间常数(ms)	0.000
通道3衰减时间常数(ms)	0.000
通道1最大峰值瞬时误差(%)	2.639
通道2最大峰值瞬时误差(%)	0.000
通道3最大峰值瞬时误差(%)	0.000
通道1最大畸变量(%)	0.000
通道2最大畸变量(%)	0.000
通道3最大畸变量(%)	0.000
通道1波形畸变次数	0.000
通道2波形畸变次数	0.000
通道3波形畸变次数	0.000

图 14 最大峰值瞬时误差试验结果

Fig. 14 Testing result of maximum peak instantaneous error



图 15 电快瞬脉冲群测试系统

Fig. 15 EFT/B testing system

通过 PC 软件可以实时监测采样波形, 包括最大畸变量、波形畸变次数等数据, 如图 16 所示。

名称	实际值
通道1衰减时间常数(ms)	0.000
通道2衰减时间常数(ms)	0.000
通道3衰减时间常数(ms)	0.000
通道1最大峰值瞬时误差(%)	0.000
通道2最大峰值瞬时误差(%)	0.000
通道3最大峰值瞬时误差(%)	0.000
通道1最大畸变量(%)	9.163
通道2最大畸变量(%)	8.866
通道3最大畸变量(%)	8.605
通道1波形畸变次数	752.000
通道2波形畸变次数	698.000
通道3波形畸变次数	657.000

图 16 波形畸变监视结果

Fig. 16 Result of waveform distortion monitoring

对于畸变波形, 可以调看录波数据, 如图 17 所示。其中, 每段录波存储半周波数据。

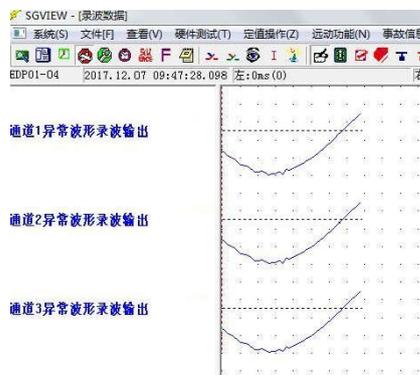


图 17 波形畸变录波数据

Fig. 17 Recorded data of waveform distortion monitoring

4 结语

在模拟量输入式合并单元现有资源的基础上, 通过软硬件调整, 将其改造为交流采样测试装置。该装置兼容互感器、模件、装置等采样接入方式, 可实现非周期分量衰减时间常数、最大峰值瞬时误差、波形畸变监视等功能, 为资源再利用提供了一种思路。

该装置的功能可以进一步拓展, 例如开入、开出测试, 对时守时精度测试以及保护功能逻辑测试等, 值得进一步研究与开发。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 张志鹏, 胡君慧, 刘国平, 等. 基于点对点技术的数字化变电站工程实践[J]. 电力自动化设备, 2009, 29(4): 139-142. ZHANG Zhipeng, HU Junhui, LIU Guoping, et al. Engineering practice of digital substation based on peer-to-peer technology[J]. Electric Power Automation Equipment, 2009, 29(4): 139-142.
- [4] 丁泉, 李帅. 智能变电站重采样应用研究及其线性插值法误差分析[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(23): 132-136. DING Quan, LI Shuai. Application study on resampling in smart substation with error analysis of linear interpolation[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(23): 132-136.
- [5] 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.
- [6] 国家发展与改革委员会. 中华人民共和国国民经济和社会发展规划第十三个五年规划纲要辅导读本[M]. 北京: 人民出版社, 2016.
- [7] 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.
- [8] 李保恩. 智能变电站继电保护装置自动测试平台的研究和应用[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(7): 131-135.
- LI Baoen. Research and application of automatic test platform for intelligent substation relay protection device[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(7): 131-135.
- [9] 黄曙, 陈炯聪, 李晓朋, 等. 数字化变电站二次系统综合测试仪的研制[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(24): 195-198.
- HUANG Shu, CHEN Jiongcong, LI Xiaopeng, et al. Development of secondary system integrated tester in digital substation[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(24): 195-198.
- [10] 董磊超, 刘昊昱, 浮明军, 等. 智能变电站间隔层设备自动测试系统研制[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(5): 147-151.
- DONG Leichao, LIU Haoyu, FU Mingjun, et al. Development of automatic test system for bay level equipment of smart substations[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(5): 147-151.
- [11] 舒展, 汤汉松, 谢国强, 等. 模拟量合并单元暂态时间特性测试技术研究[J]. 电测与仪表, 2015, 52(7): 40-45.
- SHU Zhan, TANG Hansong, XIE Guoqiang, et al. Technology of time characteristic testing of analog quantity merging unit in transient state[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2015, 52(7): 40-45.
- [12] 互感器第 8 部分: 电子式电流互感器: GB/T 20840.8—2007[S]. 北京: 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会, 2007.
- [13] 陈德树, 尹项根, 张哲, 等. 电磁式电流互感器暂态特性试验研究[J]. 电力系统保护与控制, 2008, 36(13): 1-4, 32.
- CHEN Deshu, YIN Xianggen, ZHANG Zhe, et al. Test study on the transient performance of the electro-magnetic type current transformer[J]. Power System Protection and Control, 2008, 36(13): 1-4, 32.
- [14] 李长云, 李庆民, 李贞, 等. 直流偏磁和剩磁同时作用下保护用电流互感器的暂态特性研究[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 23(13): 107-111.
- LI Changyun, LI Qingmin, LI Zhen, et al. Research on the transient characteristics of the protective CTS with co-impacts of DC bias and remnant flux[J]. Power System Protection and Control, 2010, 23(13): 107-111.
- [15] 王长瑞, 张雯, 刘军娜, 等. 模拟量输入式合并单元测试仪的研制[J]. 电测与仪表, 2015, 52(11): 79-83.
- WANG Changrui, ZHANG Wen, LIU Junna, et al. Development of analog-input merging unit tester[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2015, 52(11): 79-83.
- [16] 模拟量输入式合并单元检测规范: Q/GDW 11015—2013[S]. 北京: 国家电网公司, 2011.
- [17] 徐丽青, 丁泉, 史志伟, 等. 合并单元的电快速瞬变脉冲群抗扰度分析[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(21): 108-113.
- XU Liqing, DING Quan, SHI Zhiwei, et al. Analysis on electrical fast transient/burst immunity of merging unit[J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 38(21): 108-113.
- [18] 翟小社, 耿英三, 王建华, 等. 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验发生器的建模[J]. 中国电机工程学报, 2010, 30(6): 123-128.
- ZHAI Xiaoshe, GENG Yingsan, WANG Jianhua, et al. Modeling of pulse generator in electrical fast transient/burst test[J]. Proceedings of the CSEE, 2010, 30(6): 123-128.

收稿日期: 2018-02-05; 修回日期: 2018-05-10

作者简介:

李 帅(1984—), 男, 硕士, 工程师, 从事电力自动化设备的开发工作; E-mail: shuai-li@sac-china.com

龚世敏(1980—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事电力自动化设备的开发工作; E-mail: shimin-gong@sac-china.com

赵 谦(1985—), 男, 硕士, 工程师, 从事智能变电站过程层设备的开发工作。E-mail: qian-zhao@sac-china.com

(编辑 许 威)