

具备故障定位功能防反充电 PT 并列装置的研制

李鹏, 钟著辉, 陈力, 陈健, 贺斌, 王蕾, 张巍

(湖南常德供电公司, 湖南 常德 415000)

摘要: 为杜绝电压互感器(PT)并列反充电导致并列装置损坏、空开跳闸等故障发生, 研制出一种基于 ARM 的具备故障定位功能防反充电 PT 并列装置。详细介绍了该装置工作原理及总体构成、软硬件设计。该装置通过采集、计算同相电压差值作为并列必要条件, 具有传统 PT 并列装置没有的防异常并列、防反充电功能。且并列电路中设计有由新型电子元件自恢复保险丝(PPTC)构成的过流阻断电路, 可瞬时隔离故障并能自动恢复。通过电压比较、判别, 能自动定位、识别高压保险熔断、二次空开跳闸、母线接地等故障, 并实时显示各相电压值及故障信息, 大大缩短检修人员故障查找处理时间, 提高了供电可靠性。

关键词: 并列; 防反充电; 同相电压差; 自恢复; 故障定位

Development of a PT parallel device with fault location function used to prevent reverse charge

LI Peng, ZHONG Zhuhui, CHEN Li, CHEN Jian, HE Bin, WANG Lei, ZHANG Wei
(Changde Power Supply Company of Hunan Power Company, Changde 415000, China)

Abstract: To prevent parallel device damage and breaker tripping fault occur caused by PT parallel reverse charge, a PT parallel device based on ARM is developed, which has fault location function and can prevent reverse charge. This paper introduces the device's working principle and the overall structure, hardware and software design in detail. The device takes data acquisition and calculating of in-phase voltage difference as parallel necessary condition, and has the advantage of preventing abnormal parallel and reverse charging function compared to traditional PT parallel device. In parallel circuit, it designs an overcurrent blocking circuit based on new electric component PPTC, with transient fault isolation and automatic recovery function. By the voltage comparison and discrimination, it can identify the high voltage fuse breaking, breaker tripping, and bus ground fault automatically, which has the function of fault location. It also can real-time display each phase voltage and fault information, which greatly shortens the maintenance personnel troubleshooting time and enhances the safety and stability operation of the power supply.

Key words: parallel; prevent reverse charge; in-phase voltage difference; self recovery; fault location

中图分类号: TM774

文章编号: 1674-3415(2016)01-0117-05

0 引言

变电站二次电压经二次回路、元件, 通过电压互感器(PT)向一次母线输出电压称为反充电, 电压反充电会导致严重后果, 轻则空开跳闸、二次失压, 重则损坏装置、设备, 甚至引发人身触电事故^[1]。传统的 PT 二次并列装置是通过判断隔离开关、母联断路器等的位置来实现电压切换、并列^[2], 不能杜绝反充电发生, 回路无过流保护, 仅依靠空开脱扣切断故障; 无电压采集、显示功能, 无故障判别功能。实际运行中存在发生反充电的可能^[3]。如在

PT 一、二次并列运行时, PT 高压保险熔断^[4]、或操作不当(在一组 PT 电压异常时, 将二次电压并列)都会引发二次反充电。近年因反充电引发的并列装置损坏、空开跳闸等故障已多次发生。

本文提出一种基于 ARM 的全新 PT 并列装置, 它具有传统装置没有的防异常并列、防反充电功能^[5], 并有电压、运行状态显示等多种功能。它通过计算同相电压差值作为并列、切换的必要条件; 在并列电路中设计有由 PPTC 元件构成的过流阻断电路, 瞬时隔离故障并能自动恢复; 通过电压比较、判别, 能自动识别高压保险熔断、二次空开跳闸、母线接

地等故障；装置还具有完整的电压显示、运行状态监视功能。

1 装置总体结构

装置总体结构如图 1 所示，装置由电源、CPU 及开入开出、AD 采样、继电器控制输出、自恢复 (PPTC) 电路及显示(人机交互)六大部分组成。根据设计要求共组成 5 块板：电源及开入板、CPU 板、继电器输出及 AD 板、显示板(人机交互)、总线板。各板通过插槽与总线板相连，可自由拔出。

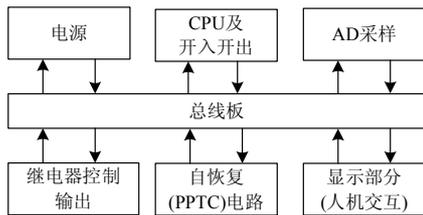


图 1 装置总体结构图

Fig. 1 Overall structure of device

2 CPU 及开入开出部分设计

本装置选用 STM32f103vft6 为核心控制器。该控制器为 ARM 32 位 CPU，其最大工作频率为 72 MHz, 1.25 DMips/MHz, 具有 768 K~1 M 闪存空间，具有 96 K SRAM，其采样通道数多达 16 个，采样精度为 12 位，满足装置性能要求。装置 CPU 及开入开出部分如图 2 所示。

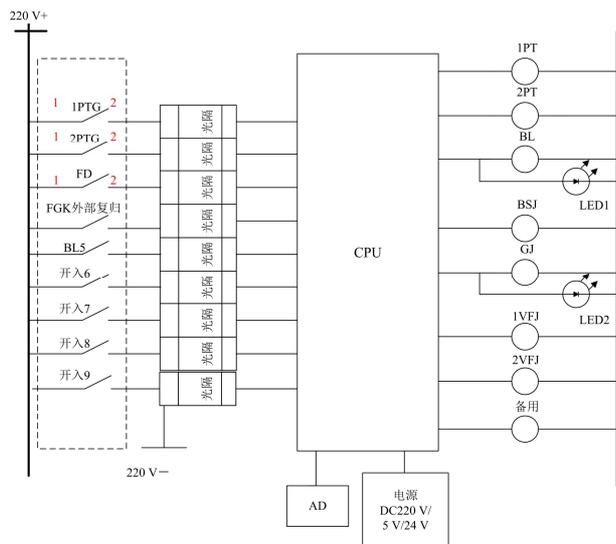


图 2 CPU 及开入开出部分原理图

Fig. 2 Schematic of CPU and I/O

本装置具备 9 路开入量采集功能，现场应用需采集 5 路开入：1PTG(PT1 隔刀位置)、2PTG(PT2

隔刀位置)、FD、FGK 外部复归按钮、BL5(并列继电器辅助触点位置)，其中分段位置 FD 为分段 DL，及其两侧隔刀 1G、2G 串联后改接到 CPU 模块开入。装置开出部分包括：I 母电压投入(驱动 1PT 继电器)，II 母电压投入(驱动 2PT 继电器)，I 母电压故障(驱动 1VFJ 继电器)，II 母电压故障(驱动 2VFJ 继电器)，装置告警输出(驱动 GJ 继电器)，装置闭锁输出(驱动 BJS 继电器)以及并列输出(驱动 BL 继电器)。当 1(2)PTG 合上时，1(2)PT 延时闭合，1(2)PTG 断开时，1(2)PT 瞬时断开。

该部分开入变位信息可在液晶面板直接显示，开出节点驱动装置面板 LED 显示灯，实时监控电压投入、并列状态、有无异常告警等并列运行状态。

3 模拟量采集电路设计

本装置需采集 14 路电压，分别为 I 母保护电压(A630、B630、C630)、计量电压(A630J、B630J、C630J)、零序电压(L630)，II 母保护电压(A640、B640、C640)、计量电压(A640J、B640J、C640J)、零序电压(L640)。图 3 为计量电压 A630J 采样电路，其余电压采样电路与其相同。

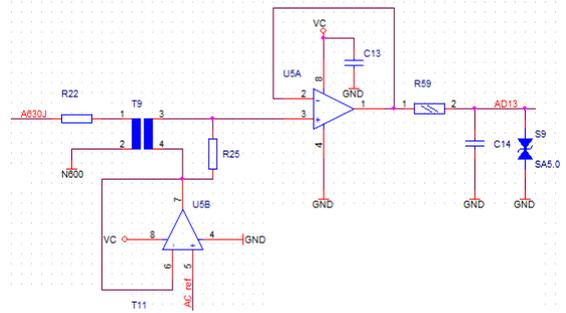


图 3 电压采集电路图

Fig. 3 Voltage acquisition circuit diagram

装置设计的外部电压采集范围为 0~120 VAC，为便于 CPU 采样，需利用电压互感器把输入电压降至 CPU 可直接采样的范围。本装置选用微型电流型电压互感器(图中 T9 所示)，其额定输入电流为 2 mA，额定输出电流为 2 mA，最大输入电流为 10 mA，相位差为 $\leq 15'$ ，空载线性度 $\leq 0.1\%$ ，工作温度为 $-35^{\circ}\text{C} \sim 70^{\circ}\text{C}$ ，满足设计要求，采用直接电阻采样法，可根据检测电压范围调整限流电阻 R22 大小，以满足采样精度要求。

4 继电器控制及自恢复电路设计

该部分包含 I、II 母电压切换输出、并列控制输出、自恢复电路三部分，其原理图如图 4、图 5 所示。

图 4 中电压切换及并列控制电路设计参考传统 PT 并列装置工作原理, 其输出部分只要检测到 1(2)PT(为 PT 辅助触点)吸合则 1(2)PTJ1~1(2)PTJ5(继电器线圈)均导通, 其常开触点闭合, I(II)母电压输出; 并列控制输出部分只要满足装置控制逻辑, 并列继电器 BL 吸合, 此时只要 BLK 并列触点闭合, 则 BLJ1~BLJ5(继电器线圈)均吸合, 其常开触点闭合, I、II 母电压并列输出。

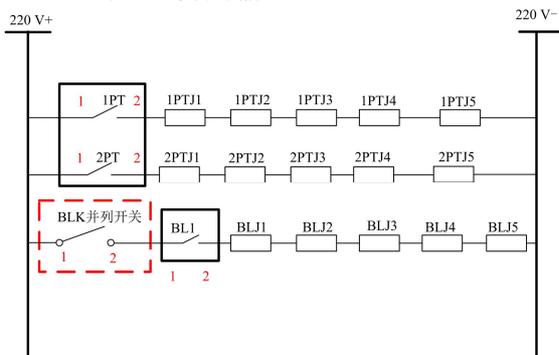


图 4 电压切换、并列控制原理图

Fig. 4 Voltage switching and parallel control diagram

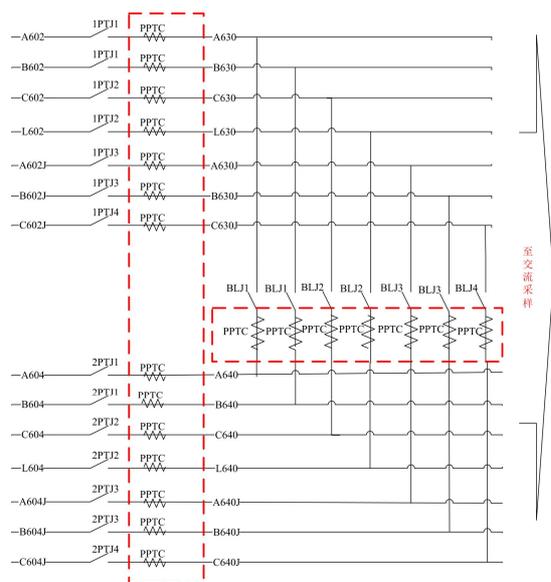


图 5 电压并列及自恢复电路原理图

Fig. 5 Voltage parallel and self recovery circuit diagram

传统 PT 并列装置为简单继电器控制装置, 无交流电压采样及开入量检测功能, 而本装置为完善防反充电功能, 并列控制逻辑中增加了同相电压差(通过 CPU 采集图 5 中切换后交流电压实现)模拟量判据, 同时判断并列继电器 BLJ5 是否吸合(通过 CPU 检测图 2 中 BLJ5 辅助触点开入量状态实现), 当 PT1、PT2 中任意一组 PT 投入运行, 且二次电压回路处于并列状态(BLJ5 继电器吸合), 则装置不判

同相电压差, 可直接并列。

在电路板设计中注意强电、弱电、交流、数字量的分开隔离, 避免干扰, 且继电器板上每组继电器由多只 24 V 电压继电器串联, 触点容量不小于 5 A。

图 5 中电压切换、并列电路设计基于传统 PT 并列装置继电器控制原理, 为实现防反充电功能, 加入了自恢复电路, 即在 I、II 母每相电压并列回路中增加自恢复保险(PPTC), 如图 5 虚线框内所示。该电路能在并列回路过流时自动阻断两组电压联系, 隔离相关联的电压回路, 故障消除后并列回路能自动恢复。

通常情况下, 35 kV、10 kV 等不同电压等级下 PT 并列反充电电流大小不一, 因此选择合适的 PPTC 器件型号极为重要, 可参考其动作电流、动作时间、恢复时间、负载阻抗等参数, 且需根据变电站实测反充电电流大小决定。表 1 为该装置在 110 kV 汉寿变 10 kV 电压等级模拟运行时自恢复功能实测数据。

表 1 自恢复电路阻断并列回路时间

Table 1 Time of recovery circuit block parallel loop

反充电电流/A	回路阻断时间/s	备注
5	15.769	此电流下二次电压空开不能脱扣
10	0.803	此电流下二次电压空开不能脱扣
20	0.076	此电流下二次空开脱扣时间为 7.925 s
30	0.070	此电流下空开脱扣时间为 0.104 s

由表 1 可以看出, 在并列回路所加反充电电流大于 20 A 时, 自恢复电路动作时间快于二次电压空开跳闸, 从而防止因空开跳闸造成二次失压, 确保了无电压异常导致保护装置异常情况发生。

5 装置控制部分软件设计

针对 110 kV 及以下不接地系统设计了防 PT 并列反充电及防异常并列控制逻辑, 图 6 为装置控制部分软件流程图。本装置控制逻辑主要分为防反充电 PT 并列及故障定位判别两部分。

(1) 防反充电 PT 并列控制逻辑中, 已限定必须一次并列完成后, 且满足模拟量电压判据条件, 才能进行二次并列操作。其中 PT 二次并列回路电压差阈值设置为 15 V, 是考虑到 I 母和 II 母电压相位可能存在一定偏差, 不完全同相, 因此正常运行时二次回路电压差不为零, 对应的电压相位差约为 15°, 此电压差定值根据实际运行情况在液晶显示里参数设置界面中的相压差定值中设定^[6]。

(2) 故障定位判别逻辑。

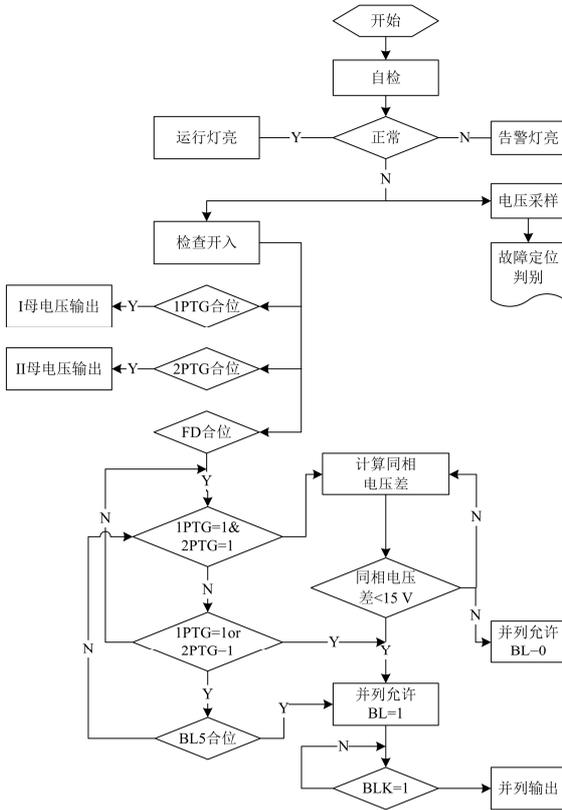


图 6 装置控制部分软件流程图

Fig. 6 Software flow chart of device control part

6 装置故障定位及判别功能实现

为缩短电网检修人员故障分析查找时间，提高检修效率，根据变电站现场运行情况，设计了故障自动判别及定位控制逻辑，装置在电压异常时能自动判别故障类型，进行故障定位，其故障定位判别逻辑如图 7 所示。

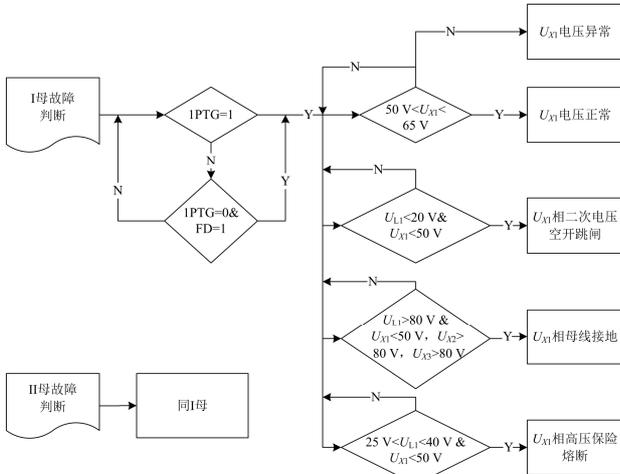


图 7 故障定位判别流程图

Fig. 7 Flow chart of fault location discrimination

图 7 中 U_{X1} 表示 I 母 A、B、C 三相任意一相电压幅值， U_{X2} 、 U_{X3} 表示除 U_{X1} 外其余两相相电压幅值。对本装置进行故障定位与判别测试，判别前提条件：1) I 母 PT 运行或电压并列状态；2) 1PTG 合位；3) 1PTG 分位且 FD 在合位。满足条件 1、2 或 1、3 时进行故障定位判别。

7 装置现场应用及测试结果

本装置已在 110 kV 汉寿变电站 10 kV 电压等级上试运行。装置安装完成后，进行了一系列功能测试(其中自恢复电路测试结果前文已阐述)，以下为测试结果。

(1) 交流电压数据采集测试，测试结果如表 2 所示。以 10 kV I 母、II 母保护绕组同相电压差为例。

表 2 交流电压数据采集测试

Table 2 AC voltage data acquisition test

输入压差/V	U_{Aa}/V	U_{Bb}/V	U_{Cc}/V	测试结果
1	1.05	1.10	1.08	通过
5	5.05	5.06	5.09	通过
30	30.08	30.09	30.05	通过
60	60.07	60.10	60.11	通过
120	120.05	120.10	120.09	通过

测试结果表明装置采样精度满足并列逻辑中模拟量判据要求。

(2) 防反充电并列控制逻辑测试，测试结果如表 3 所示。

表 3 防反充电并列控制逻辑测试

Table 3 Anti reverse charge control for parallel logic test

序号	测试项目名称	测试条件	测试结果
1	一次并列成功	外部开入 FD 合位时，即分段断路器及两侧刀闸均为合位。	装置液晶主界面一次模拟图 FD 显示合位
2	I、II 母同时运行 PT 并列	(1) 1PTG、2PTG 合位； (2) FD 合位； (3) 检查 I、II 母各相电压正常，且全部同相电压差值(U_{AA} 、 U_{BB} 、 U_{CC} 、 U_{AAJ} 、 U_{BBJ} 、 U_{CCJ})均小于 15 V。	满足条件(1)、(2)后才进行条件(3)的判断，同时满足条件(1)、(2)、(3)，开出并列允许 BL，点亮并列允许灯。合上 BLK 开关时，并列成功灯亮。
3	单个 PT 运行 PT 并列	确认运行方式：1PTG、2PTG 只有一个在合位，且 FD 在合位。(不检查同相电压差)	检查 I 母或 II 母电压正常，开出并列允许 BL，点亮并列允许灯。合上 BLK 开关时，并列灯亮。

测试结果表明本装置具备防反充电及防异常并列功能。

(3) 故障定位判别功能测试, 下面以 I 母 PT 高压保险熔断故障为例进行模拟测试, 其余故障点测试与本例类似, 测试结果如表 4 所示。

表 4 I 母 PT 高压保险熔断故障定位判别测试
Table 4 High voltage fuse breaking fault location and discrimination test of PT on I bus

高压保险熔断故障定位判别测试			
前提条件: 1PTG=1 or 1PTG=0 and FD=1			
序号	U_{L1} 幅值	各相电压幅值	测试结果
1	$25\text{ V} < U_{L1} < 40\text{ V}$	$U_{A1} < 50\text{ V}$, $U_{A1} < 50\text{ V}$, 其余相正常	A 相高压保险熔断
2	$25\text{ V} < U_{L1} < 40\text{ V}$	$U_{B1} < 50\text{ V}$, $U_{B1} < 50\text{ V}$, 其余相正常	B 相高压保险熔断
3	$25\text{ V} < U_{L1} < 40\text{ V}$	$U_{C1} < 50\text{ V}$, $U_{C1} < 50\text{ V}$, 其余相正常	C 相高压保险熔断
4	$25\text{ V} < U_{L1} < 40\text{ V}$	$U_{AB1} < 50\text{ V}$, $U_{AB1} < 50\text{ V}$, 其余相正常	AB 相高压保险熔断
5	$25\text{ V} < U_{L1} < 40\text{ V}$	$U_{BC1} < 50\text{ V}$, $U_{BC1} < 50\text{ V}$, 其余相正常	BC 相高压保险熔断
6	$25\text{ V} < U_{L1} < 40\text{ V}$	$U_{CA1} < 50\text{ V}$, $U_{CA1} < 50\text{ V}$, 其余相正常	CA 相高压保险熔断

测试结果说明该装置能正确对 PT 运行及并列过程中的故障进行自动判别与定位。当故障发生时, 装置面板告警指示灯被点亮, 故障信息能实时存储并显示在液晶面板上, 方便调阅分析^[7]。

8 结语

本文详细介绍了具备故障定位功能防反充电 PT 并列装置的工作原理、总体结构及软硬件设计, 从改进并列原理出发, 有效解决了传统 PT 并列装置不能防反充电, 不能防止异常并列等问题, 从根本上杜绝了 PT 并列反充电引发人身伤害、设备损坏事故^[7]。且该装置故障判断定位准确, 人机交互良好, 不仅有助于电网检修人员提高检修效率与质量, 而且大大减少了运维检修人员工作量, 有效保障电网安全稳定运行。

参考文献

- [1] 孙亚辉, 陈志强, 蔡衍. 电压互感器二次回路反充电的原因分析及防范措施[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(9): 126-129, 133.
SUN Yahui, CHEN Zhiqiang, CAI Yan. Cause analysis and preventions of voltage transformer secondary circuit anti-inverse charge[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(9): 126-129, 133.
- [2] 吴建辉, 郑新才, 韩潇, 等. 一种防止电压互感器二次

侧反充电空气开关的探讨与研究[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(24): 182-184.

WU Jianhui, ZHENG Xincui, HAN Xiao, et al. Discussion and research of air switch used to prevent the secondary reverse charge of voltage transformer[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(24): 182-184.

- [3] 张耀洪, 袁锋, 岑林, 等. 考虑 PT 二次电压及刀闸辅助触点的电压并列判据[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(15): 137-140.
ZHANG Yaohong, YUAN Feng, CEN Lin, et al. A new criterion for voltage juxtaposition considering the secondary voltage and auxiliary contact of PT disconnecter[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(15): 137-140.
- [4] 李雷, 罗容波, 王岩, 等. 基于 10 kV 配电网 PT 频繁故障的仿真与改进措施研究[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(14): 132-137.
LI Lei, LUO Rongbo, WANG Yan, et al. Simulation analysis and improved measures for preventing potential transformer fault in 10 kV distribution networks[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(14): 132-137.
- [5] 王永胜, 苏智东, 韩海英. 35 kV 系统双母线 TV 二次电压非正常并列事故原因分析及防范措施[J]. 内蒙古电力技术, 2012, 30(4): 104-106.
WANG Yongsheng, SU Zhidong, HAN Haiying. Cause analysis and preventive measures of TV secondary voltage abnormal concatenation in 35 kV double-bus system[J]. Inner Mongolia Electric Power, 2012, 30(4): 104-106.
- [6] 李鹏, 钟著辉. 一种防反充电电压互感器并列装置的研制[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(13): 135-138.
LI Peng, ZHONG Zhuhui. Development of a PT parallel device used to prevent reverse charge[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(13): 135-138.
- [7] 蒋怀贞, 吴双惠, 高建琨, 等. 一种前接线二次保护装置显示终端的设计与实现[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(1): 98-101.
JIANG Huaizhen, WU Shuanghui, GAO Jiankun, et al. Design and implementation of the display terminal for secondary protection devices front wiring[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(1): 98-101.

收稿日期: 2015-03-29; 修回日期: 2015-05-14

作者简介:

李鹏(1987-), 男, 硕士, 工程师, 从事继电保护研究工作; E-mail: lipengqbx@163.com

钟著辉(1966-), 男, 本科, 高级技师, 长期从事继电保护研究工作. E-mail: 9148579@qq.com

(编辑 魏小丽)