

# 智能配网终端罩式 FTU 整机自动测试开发与应用研究

王治国, 陆静, 于哲, 张延冬, 笃峻  
(南京南瑞继保电气有限公司, 江苏南京 211102)

**摘要:**文中在详细分析智能配网终端罩式 FTU 装置的特点及手动测试难点后, 基于硬件模块化设计思想, 提出了罩式 FTU 装置的整机自动化测试解决方案, 该方案实现了对罩式 FTU 装置开入通道、开出通道、模拟量通道及通信接点的有效测试, 保证了各通道的正确性; 同时通过对大批量试生产装置自动化测试的大数据分析及质量反馈控制方案, 大大提高了产品的一次性生产合格率和生产测试效率。该方案有效解决了罩式 FTU 装置的实际测试难题, 实际应用表明该方案具有一定的行业推广价值。

**关键词:** FTU; 自动化测试; 测试装置; 模块化

**中图分类号:** TM774

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1009-0665(2016)04-0060-04

随着社会对电力需求的不断增长及对电能质量要求的不断提高, 现有模式越来越难以满足用户对电能安全性和可靠性的要求。而配电网自动化可以显著提高供电可靠性, 它的一个核心功能就是馈线自动化功能, 基于 FTU 馈线开关远程式终端的配电网馈线自动化是目前配电网馈线自动化技术的发展方向<sup>[1-5]</sup>。而作为馈线自动化的控制终端, 罩式 FTU 装置的产品质量无疑是馈线自动化技术能否取得显著经济效益和社会效益的重要支撑之一。

罩式 FTU 装置运行环境一般挂在架空线或柱上开关, 通过通用无线分组业务(GPRS)与工作站实时通信。且运行环境恶劣, 维护困难。如装置硬件存在问题, 从更换设备到投入运行周期较长, 因此高规格要求罩式 FTU 装置的产品质量, 无疑是整个运行系统链条中的重要一环。对于罩式 FTU 的出厂检测, 如何实现高效、严格、准确测试, 又是罩式 FTU 稳定运行的首要环节和重要保证。文献[6]在室内模拟中压 FTU 工作环境, 基于 ARM7 微处理器, 设计了 FTU 检测平台, 仅对 FTU 的测控功能进行了检测; 文献[7]针对馈线终端蓄电池运行现状及电池活化管理方面的缺陷, 提出了一种蓄电池故障检测方法。目前, 对罩式 FTU 进行全自动化测试的文献很少, 大多停留在对 FTU 单个功能的测试。因此深入探索罩式 FTU 装置的全自动化测试对业界具有重要的借鉴意义。

## 1 罩式 FTU 装置的特点及测试难点

罩式 FTU 装置的运行环境为高空, 恶劣的运行环境决定了罩式 FTU 装置的密闭性必须很好。所有信号接口通过航空端子引入到外面, 再通过电缆连接到各设备, 进行信号传输, 如图 1 所示。基于实用因素和成本因素, 罩式 FTU 装置一般没有液晶, 不像其他常规保护装置那样, 在进行整机测试时, 容易获得装置内部

接点的运行状态, 所有数据必须通过通信来完成, 这对罩式 FTU 装置的生产测试而言, 是个挑战, 手动测试比较困难, 效率较低。



图 1 罩式 FTU 外观和接口

另外, 由于罩式 FTU 装置的密闭性很好, 该装置在生产期间发现问题、定位问题、排查问题都比较困难。因此当前罩式 FTU 装置的生产测试效率普遍低下, 要想大批量高效率生产测试, 必须解决自动测试该装置所面临的一些问题。

## 2 罩式 FTU 自动测试平台架构

### 2.1 FTU 测试系统硬件架构

罩式 FTU 自动测试平台, 在硬件上采用基于 CAN 总线通信的分布式模块化设计。系统有人机界面功能模块, 主控 CPU 模块, 开关量输出模块, 开关量输入模块, 模拟断路器模块等相关功能模块组成。系统软件整体设计采用测试流程控制主程序与测试配置相结合的业务分离式设计模式。该模式将系统测试功能软件开发与测试配置通过自定义规则进行内部联系, 使整个开发工作可以并行开发, 大大缩短了整个项目的开发周期<sup>[8]</sup>。罩式 FTU 自动测试系统架构具体如图 2 所示。

罩式 FTU 自动测试平台系统主程序通过 CAN 总线与各子功能板卡测试子程序进行系统级通信。测试主程序根据测试配置文件设置情况, 采用字符驱动方式, 解释测试逻辑, 最后发送相应的具体测试命令给具体功能板卡。各功能测试子程序负责具体功能测试, 并将测试结果反馈给测试主程序, 最后有测试主程序根

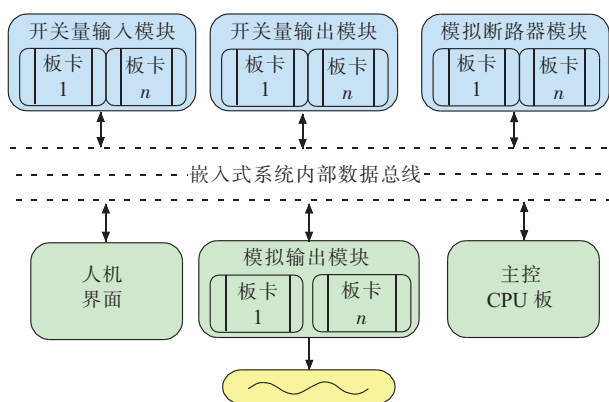


图2 罩式 FTU 自动化测试系统架构

据每个测试子逻辑的输入输出结果形成罩式 FTU 装置的整机测试报告和测试简报。测试简报较为简单的提示测试工程师关于该装置的错误测试,方便测试工程师进行问题排查及处理。整机测试报告详细记录了该装置测试的相关测试接点信息,同时包含测试工程师和装置的各种属性,实现产品问题责任的追踪。

## 2.2 罩式 FTU 关键测试问题分析及设计

### 2.2.1 模拟量输入与电源切换测试问题

罩式 FTU 引入  $U_{ab}$ 、 $U_{bc}$  作为开关两侧的线电压,任何一路电压均可作为装置提供电源。当两路同时失压,转后备电源供电。 $I_a$ 、 $I_b$ 、 $I_c$  为保护及测量用三相电流。那么潜在的问题是:(1)  $U_{ab}$ 、 $U_{bc}$  加入的线电压,装置显示是否正常;(2) 各种模拟量数据及角度的准确性;(3) 两路线电压同时失压,装置断电,后备电源是否能及时向装置提供电源,保证装置正常运行。3 个问题,任何 1 个问题的存在,都会对罩式 FTU 构成潜在威胁。模拟量与电源切换测试子系统流程图如图 3 所示。

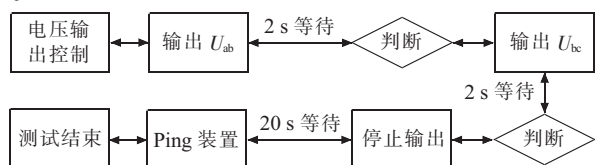


图3 模拟量与电源切换测试子系统流程图

自动化测试逻辑设计:系统自动控制博电按先后顺序加入  $U_{ab}$ 、 $U_{bc}$ 、 $I_a$ 、 $I_b$ 、 $I_c$  等电压电流模拟量数据。通过 IEC 103 通信规约或 IEC 61850 规约读取装置的电压、电流值及角度等数据,并进行自动判断。当  $U_{ab}$  有值时, $U_{bc}$  不能有值,逐个判断与设计值是否相符。之后,断开电压电流输出 10 s 后,系统主动去 Ping 装置,以此判断装置是否运行;这样设计测试逻辑,就能发现  $U_{ab}$ 、 $U_{bc}$  等内部接线是否未接,错接等情况,装置两相全部失电,通过装置是否重启就能判断后备电源是否具备正确供电功能。

### 2.2.2 无线通信模块 GPRS 测试问题

GPRS 作为罩式 FTU 装置与主站通信的惟一通

道,必须满足通信的可靠性、实时性、双向性。GPRS 是配网自动化系统的重要环节<sup>[9,10]</sup>,其重要性不言而喻。GPRS 模块基本上会采用专业公司开发的独立硬件模块,一般通过 9 针串口与 FTU 进行数据通信,保护厂家仅开发 FTU 装置的核心保护功能。因此可能存在的潜在问题是:(1) FTU 装置的 CPU 板卡到背板 RS232 的 9 针串口连接电路是否畅通无阻;(2) GPRS 模块能否收到装置的通信报文;(3) 装置能否正确发报文给 GPRS;(4) GPRS 模块能否将通信报文正确发给主站;(5) 主站能否将报文正确发给 GPRS 模块。

自动化测试逻辑设计。关键点之一为设计 GPRS 数据中心服务器,并在公网上运行,可以接收到 SIM 卡发送的数据,实现真实运行环境测试。首先将可用的 SIM 卡插入 GPRS 模块,装置上电后,如果 GPRS 模块正常,将发送登录数据到 GPRS 数据服务器,GPRS 数据服务器模拟主站按照 IEC 101 规约格式,根据终端登录号码 ID(唯一身份识别)下发复位帧报文给 GPRS 模块,模块再通过串口将数据转给罩式 FTU,装置收到报文,并回复报文给主站。最后测试仪去读取罩式 FTU 装置的通信状态,如果为“1”,则说明整个通信链路正常;如果为“0”,则需要测试工程师手动排查问题所在,具体流程图如图 4 所示。

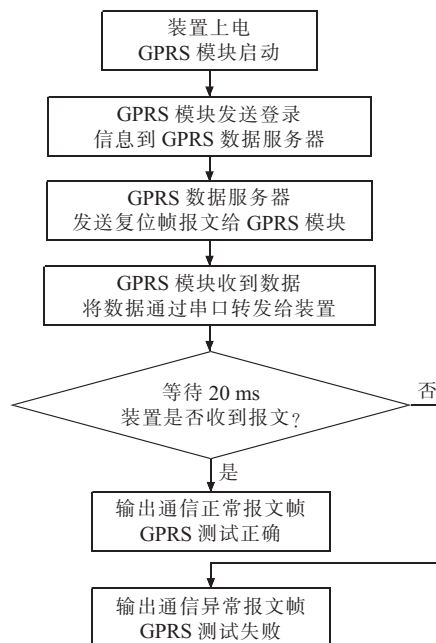


图4 GPRS 通信测试流程图

### 2.2.3 把手位置功能测试问题

把手有分位、合位、自动 3 个位置。系统潜在的错误是 3 个位置存在接错线的可能性,必须验证测试。而把手必须手动置位,才能判断,但装置没有液晶,必须借助后台工具,通过报文一一对应,才能判别。这样做效率低,且不容易判断。

自动化测试逻辑设计:设置把手默认位置为分位,

然后按照顺序执行,将把手从分到自动位置再到合位,然后再将把手从合位搬到自动位置再到分位。通过收集装置上送的报文,根据时间进行排序,对每个位置的变化给出 2 个评价指标:(1) 时间指标,是否符合时间顺序;(2) 是动作值指标,也就是变位情况。这样即可实现手动操作,自动判断。

#### 2.2.4 开入开出功能测试问题

罩式 FTU 开入开出接点相对较少,测试也较容易。一般通过相应保护逻辑功能或保护接点动作传动功能等方法对硬接点均能进行检测。本测试仪对装置开入实现自动加量,通过软报文实时识别,实现自动判断;对开出接点,通过传动使其动作,通过硬接点监视回路实现对接点的实时监视,实现自动判断。

### 3 系统应用及分析

罩式 FTU 装置的自身构成决定了该装置在大批量生产测试方面测试十分困难,测试效率低下;同时在查找问题,排除问题方面也十分不易。只有从测试方法和测试技术上解决罩式 FTU 装置的整机自动测试问题,才能在保证产品质量前提下,有效提高该装置的大生产测试效率。

系统应用方面,测试工程师首先选择测试装置型号,扫描测试工程师工号,测试装置条码等测试属性。按确定键后,系统将按照图 5 所示进行自动测试。测试完后,形成测试报告,上传到数据库备案,同时输出测试简报,供测试工程师进行问题分析及处理等。

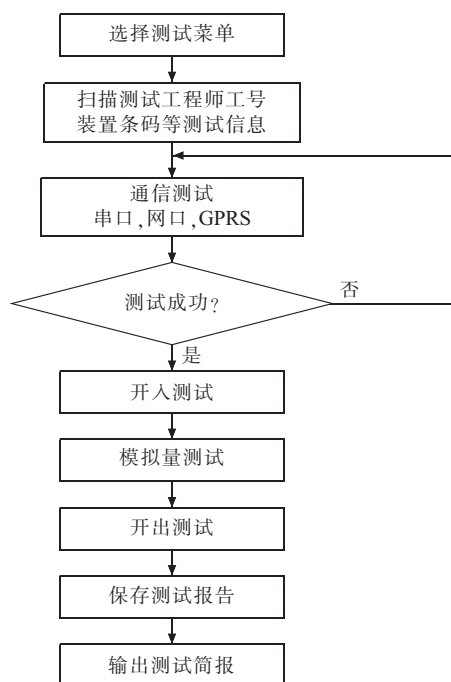


图 5 整机测试系统流程图

以本产品初次试生产 750 台样本为例,来了解罩式 FTU 在自动测试中发现的测试问题。本产品在生产

初期就启用测试问题反馈机制,通过对问题的梳理,针对前期产品问题制定可行方案,这样有效降低了产品在组装后出现的各种产品质量问题,提高了产品整机一次性生产合格率。自动测试系统发现的问题如表 1 所示。

表 1 自动测试系统发现的问题

序号	类别	描述
1	网口通信	接线错,未插紧等
2	串口通信	无
3	GPRS 通信	模块坏,接线错,总线错等
4	WIFI 通信	模块接线,未插紧等
5	开入接点	接线错误等
6	开出接点	接线错误等
7	手动把手	接线错误等
8	指示灯	红绿灯装反或坏掉等
9	装置上电	接线错误等
10	电源模块	电源模块坏掉

从表 1 统计的 10 个整机测试指标可以看出罩式 FTU 装置在大批量试生产中容易出现的产品质量问题:接线错误,电子元器件本身问题,器件未插紧 3 类问题较多。通过对测试统计问题的大数据实时分析,找到解决问题的方案。(1) 对新产品的试生产,对一线员工强化培训,了解产品细节,做到有的放矢;(2) 对能用机器插装的,尽量用机器插装并减少人为干预;(3) 加强元器件的自动检测。(4) 加强整机的自动测试。

通过建立产品质量反馈处理机制,建立更加稳定的产品生产线,以此提高产品生产的一次性合格率,从而大幅度提高产品质量。罩式 FTU 装置整机自动化测试系统与人工测试相比,在测试时间上每台缩短了 10 min,同时测试更加规范。测试报告有效保证了测试的正确性与可信度,有效提高了大批量装置的试制生产效率和规范化程度。

### 4 结束语

目前,国内配网自动化建设正处于一个快速发展的黄金时期,作为配网自动化的控制终端之一,罩式 FTU 保护装置的用量很大,作用更是举足轻重,产品质量的好坏直接关系到配网自动化技术的顺利推广。因此深入探讨配网终端罩式 FTU 装置的整机自动测试具有十分重要的意义。本文对罩式 FTU 装置的生产整机自动测试进行了具体分析,设计了一套有效的自动测试系统,并且在实际生产中得到了推广使用。实际测试的数据表明该方法无论在生产测试效率的提升上,还是在测试深度、广度和规范性上都具有手动测试不可比拟的优越性。且该方案具有一定的行业推广应用价值。



**参考文献:**

- [1] 张忠,刘冠骞,陈淳,等.基于 FTU 馈线自动化系统构成的探讨[J].电子测试,2014(9):68-69.
- [2] 张延辉,郑栋梁,熊伟.10 kV 馈线自动化解决方案探讨[J].电力系统保护与控制,2010,38(16):150-156.
- [3] 杨东海.配网自动化发展模式探讨[J].云南电力技术,2014,42(S):26-28.
- [4] 周羽生,周有庆,戴正志.基于 FTU 的配电网故障区段判断算法[J].电力自动化设备,2000,20(4):25-27.
- [5] 刘会家,李宁.一种基于 FTU 的馈线故障定位优化算法[J].继电器,2004,32(10):40-43.
- [6] 谢志远,贡振岗,杨星,等.基于 ARM 的中压 FTU 检测平台的设计[J].微型机与应用,2012,31(16):16-19.
- [7] 朱剑峰,张慧娟.馈线自动化终端用蓄电池的故障检测方法[J].自动化与信息工程,2014,35(2):41-44.
- [8] 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,2013,38(19):180-189.
- [9] 吴洪勋,程法民,王伟,等.智能型馈线自动化实现方式的比较分析[J].山东电力技术,2011,181(3):26-29.
- [10] 吴国沛,刘育权.智能配电网技术支持系统的研究与应用[J].电力系统保护与控制,2010,38(21):162-172.

**作者简介:**

王治国(1978),男,河南周口人,高级工程师,从事电力系统智能测试开发与研究工作;

陆静(1986),女,江苏海门人,工程师,从事电力系统自动化测试开发与研究工作;

于哲(1979),男,山西运城人,工程师,从事电力系统继电保护及自动化测试工作;

张延冬(1978),男,河北保定人,高级工程师,从事电力系统继电保护工作;

笃峻(1975),男,江苏南京人,高级工程师,从事电力系统自动化研究和管理工作。

## Research on Development and Application of Smart Distribution Grid FTU Automation Testing Scheme

WANG Zhiguo, LU Jing, YU Zhe, ZHANG Yadong, DU Jun

(Nanjing NARI-Relays Electric Co.Ltd., Nanjing 211102, China)

**Abstract:** This paper analyzes the characteristics and manual testing difficulties of FTU. Based on modular hardware design, an automatic testing solution to FTU is proposed. The solution is effective to test FTU devices' binary input channel, binary output channel, AO channel and communication contacts, which ensures the correctness of each channel. At the same time, through analyzing the large-scale and automated produced testing data and using the quality feedback controlled scheme, the production qualification rate and production testing efficiency are improved. The solution effectively solves the problems existing in actual testing of FTU, and the applications show that it has a certain promotion value.

**Key words:** FTU; automatic testing; testing equipment; modularization

(上接第 59 页)

28(10):83-87.

- [3] 李国伟.智能电网调度主站 D5000 系统的应用研究[D].北京:华北电力大学,2014.

陆路(1984),男,江苏泰州人,工程师,从事电网调控技术研究工作;

徐林菊(1962),女,江苏启东人,工程师,从事电力系统自动化研究及科技期刊编辑工作;

王今(1995),男,江苏盱眙人,本科,研究方向为电力工程。

作者简介:

## Optimized Solution of Monitoring Information Verification in Dispatching and Control Integration

LU Lu<sup>1</sup>, XU Linju<sup>2</sup>, WANG Xi<sup>3</sup>

(1.State Grid Taizhou Power Supply Company, Taizhou 225300, China;

2.State Grid Jiangsu Electric Power Company Electric Power Research Institute, Nanjing 211103, China;

3.State Grid Huaian Power Supply Company, Huaian 223001, China)

**Abstract:** Taking the construction transition period of the power dispatch supporting system of Taizhou' smart grid (D5000) as the background, in the view of the deficiency of traditional verification methods, this paper proposes some reasonable optimization suggestions to safety measurements and remote control testing, etc. Through the application of the power dispatch supporting system in some substations in Taizhou power grid, the monitoring information transmission efficiency is improved, the integration of construction control system is accelerated, and the quality of monitoring information transmission is guaranteed.

**Key words:** integration of dispatching and control; monitoring information; certification process