

基于 LabVIEW 的继电保护测试仪 自动检测系统设计

李艳萍, 韩春雪

(山东建筑大学 信息与电气工程学院, 济南 250101)

摘要: 针对现有的继电保护测试仪检测程序繁琐, 自动化程度低, 点对点调试效率低下等问题, 提出基于 LabVIEW 的继电保护测试仪自动检测系统; 系统硬件以 STM32F407ZGT6 为主控芯片研制了继电保护测试仪输出转换装置, 自动控制测试仪与标准器连成试验回路, 代替人工拆接线行为; 系统软件以 LabVIEW 为开发平台, 设计了仪器通信、自动检测、生成报告、强制选择测点等模块, 实现了继电保护测试仪的全自动检测; 通过对某型继电保护测试仪进行测试, 结果表明该系统工作状态稳定, 能够实现一键式全自动检测, 用户界面友好, 可以替代繁琐的人工检测方法, 具有一定的工程应用前景。

关键词: LabVIEW; 继电保护测试仪; 自动检测; 强制选择测点; 输出转换装置

Design of Automatic Detection System for Relay Protection Tester Based on LabVIEW

LI Yanping, HAN Chunxue

(College of Information and Electrical Engineering, Shandong Jianzhu University, Jinan 250101, China)

Abstract: Aiming at the problems of existing relay protection testers such as complex testing procedures, low automation, and low efficiency of point-to-point debugging, an automatic testing system of relay protection tester based on LabVIEW is proposed. As main control chip, the system hardware of STM32F407ZGT6 is chosen to develop the output conversion device of the relay protection tester, and the automatic control tester and standard apparatus are connected into test circuit instead of manual disconnecting and wiring behavior. By taking LabVIEW as a development platform, the system software is developed including the modules of instrument communication, automatic detection, report generation, compulsory selection of measuring points, etc., realizing the automatic detection of the relay protection tester. By testing a type of relay protection tester, the results show that the system runs stably, it can realize one-click automatic detection, has a friendly user interface, can replace the complex manual detection method, and has a certain engineering application prospect.

Keywords: LabVIEW; relay protection tester; automatically detect; force the selection of measurement points; output conversion device

0 引言

继电保护装置是电力系统最重要的二次设备之一, 是电力系统安全运行的保障^[1]。目前, 电力系统中对继电保护装置进行调试和定期检验的主要仪器是继电保护测试仪^[2]。继电保护测试仪的工作原理是按照既定的测试试验条件, 产生一定的测试电压、电流信号, 检测继电保护装置整定值是否满足灵敏度和选择性的要求^[3-4]。但是, 继电保护测试仪属于标准值传递设备, 使用一段时间后其自身性能会受到影响, 精度下降^[5-6]。并且由于开发能力和生产条件的不同, 各厂家的测试仪在整机性能、质量、结构、工艺等方面有较大差异, 给继电保护装置的校验造成一定的隐患^[7]。因此, 对继电保护测试仪的定期检验具有重要

意义。

目前, 国内大多数计量机构通常使用不同种类的高精度表对继电保护测试仪输出的电压、电流、频率、相位等电力参数进行准确度检定。这种检定方式需要将不同种类的高精度表依次与继电保护测试仪连成试验回路, 并且数字多用表、相位频率计等测量设备均为单相输入, 每次只能测量单相的参数^[8]。测试三相电压电流需要频繁拆接线, 同时需要人工记录测量数据。这种传统的检定方式配置繁琐, 需要人工接换线、记录原始数据, 误差点多, 测试效率低^[9-10]。随着传统继电保护测试仪检定系统的局限性越来越突出, 继电保护测试仪自动检测系统的研制已迫在眉睫。

因此, 本文基于数字信号处理技术、虚拟仪器技术、

收稿日期: 2023-07-14; 修回日期: 2023-08-07。

作者简介: 李艳萍(1967-), 女, 硕士, 教授。

引用格式: 李艳萍, 韩春雪. 基于 LabVIEW 的继电保护测试仪自动检测系统设计[J]. 计算机测量与控制, 2024, 32(7): 44-49.

串口通信技术等研制了继电保护测试仪自动检测平台, 实现了被校测试仪暂态和瞬态参数的自动检测^[11]; 设计了继电保护测试仪输出转换装置, 能够完成检测过程中测试回路的自动切换和构建, 实现了被校测试仪的自动检测、手动检测、生成报告等功能^[12]。

1 自动检测系统总体设计

自动检测系统包括硬件结构设计和软件结构设计。硬件结构设计包括自动检测系统的整体布局和输出转换装置的研制, 通过回路自动切换技术实现被校测试仪的自动测试和测试过程零拆接线。软件结构设计是搭建继电保护测试仪自动检测平台, 通过通信技术实现仪器控制、数据采集、自动测量等功能, 并能“一键式”生成标准化的测试报告^[13]。

继电保护测试仪的精度一般是 0.5 级, 所以选用测量仪器的精度需要达到 0.05 级才符合校准规范的要求^[14]。本系统选用的被校测试仪是北京博电的 PW366 和 OMICRON 公司的 CMC256Plus 继电保护测试仪, 选用的国际主流标准器包括 COM3003 三相标准功率电能表、TDS2024B 数字示波器、FLUKE8508A 数字多用表和 AT02 继电保护测试仪自动检测装置。自动检测平台框架如图 1 所示。

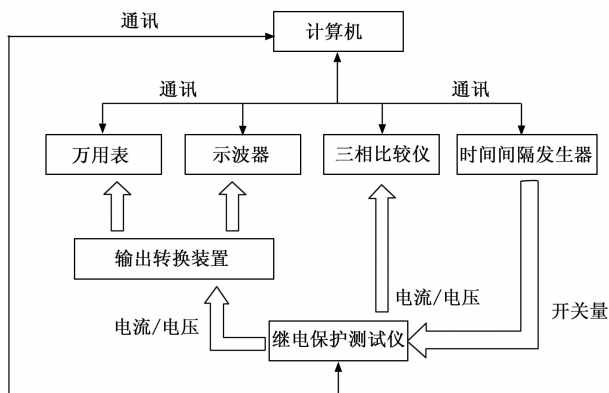


图 1 继电保护测试仪硬件组成

COM3003 三相标准功率电能表主要用于交直流电流值、移相相位、三相电源对称性等电气量的测量; TDS2024B 数字示波器主要用于交流电压电流波形的获取, 响应速度等暂态参数的测量; FLUKE8508A 主要用于交直流电压值和频率值的测量; AT02 继电保护测试仪自动检测装置作为时间检测装置, 主要用于开关量时间的测量。

继电保护测试仪输出转换装置内置多路继电器实现回路自动切换技术, 在开始测试前一次性完成所有接线, 可以实现测试过程中零拆接线^[15]。

计算机通过接口转换器与被校测试仪、输出转换装置和测量仪器相连, 控制仪器工作。

2 自动检测系统硬件设计

T/CSEE0334.1-2012《继电保护测试仪自动检测装置

第 1 部分: 模拟接口自动检测装置》对继电保护测试仪自动检测系统的技术要求、试验方法及检验规则等作了明确的规定。各通用标准器与被测继电保护测试仪通过测试线连接, 用于电压通道、电流通道和开关量通道的互连。主控计算机、各通用标准器和被测继电保护测试仪分别通信^[17-18]。主控计算机安装测试软件。自动检测系统连接如图 2 所示。

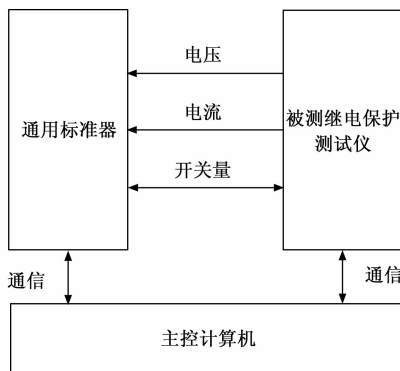


图 2 自动检测系统连接图

继电保护测试仪的输出电压/电流为三相或六相, 而万用表、示波器等标准器仅支持单相测试。测试时需要频繁拆解线, 工作效率低下, 并且不满足自动检测的要求。因此, 本文设计继电保护测试仪输出转换装置, 通过自动构建测试回路控制被校测试仪输出的电气量按照检测顺序依次传输至万用表和示波器的单相通道。为了适应电流和电压计量测试的需求, 输出转换装置应选用接触面积小且能承受大电流的继电器, 以确保测试的准确性和可靠性^[19]。系统选用的是能够实现 AC480V 100A 开关的高温支持型大容量功率继电器 G7EB 1AP1 DC12。继电器 G7EB 1AP1 DC12 的线圈工作电压是 12 V, 线圈电阻是 51 Ω , 额定电流是 235.3 mA。

2.1 继电器驱动电路

三极管驱动继电器工作原理为: 主控输出高电平给三极管的基极时, 三极管饱和导通, 继电器线圈通过电流, 继而产生磁场吸合内部的弹片, 输出回路导通; 主控输出低电平时, 三极管截止, 继电器线圈断开没有电流, 输出回路断开^[20]。

输出转换装置内部集成了 18 路继电器, 上位机软件通过串口发送继电器打开或闭合的指令, 主控接收指令后控制 IO 输出相应的高低电平, 驱动相应的继电器动作。继电器驱动电路原理图如图 3 所示。

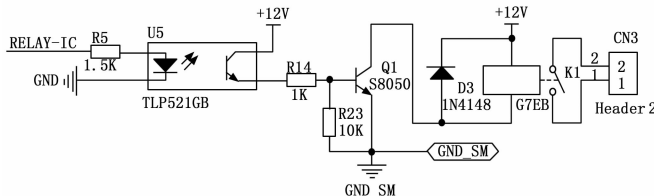


图 3 继电器驱动电路原理图

2.2 RS485 模块

继电保护测试仪输出转换装置与上位机之间的通信采用 RS485 串口通信模式。配置正确的串口参数之后，输出转换装置与上位机建立连接。上位机软件由 LabVIEW 编写，可以发送各种指令控制输出转换装置动作。输出转换装置内部集成了 18 路继电器，对应 18 路电压电流通道。上位机软件发送“ClearAll”指令，输出转换装置断开所有通道；发送“CH=0, 1, 2”指令，输出转换装置闭合相应通道。RS485 接口模块原理图如图 4 所示。

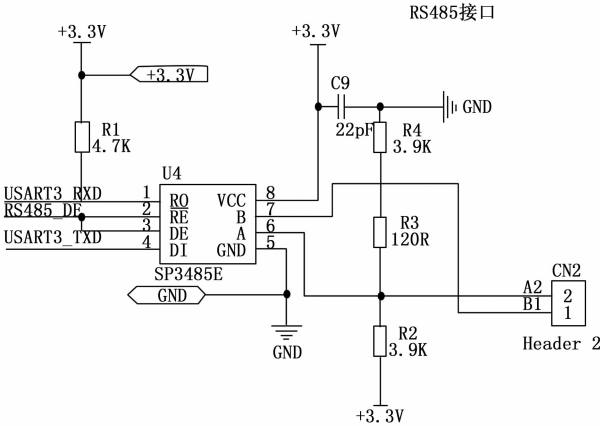


图 4 RS485 接口模块原理图

2.3 电源模块

核心板使用的是 STM32F407ZGT6，额定工作电压是 5 V。电源模块需要给继电器提供 12 V 的工作电压，给核心板提供 5 V 的工作电压，给 RS485 通信模块提供 3.3 V 的工作电压。首先使用成品 AC/DC 模块将交流电 220 V 转成直流电 12 V，再设计两路 DC/DC 电路得到稳定可靠的两路直流输出电压。5 V 供电由 12 V 经 HLK-10D1205DC/DC 电源模块转换得到，3.3 V 供电由 5 V 经 LD1117-3.3 V 降压型电源模块转换得到。电源模块原理图如图 5 所示。

继电保护测试仪输出转换装置的设计解决了继电保护

测试仪三相输出与万用表、示波器等标准设备仅支持单相输入之间的不匹配问题。这一设计避免了被校测试仪检测过程中频繁拆接线的工作，而且实现了继电保护测试仪的自动检测，显著提升了检测效率。

3 自动检测系统软件设计

3.1 软件系统总体设计方案

继电保护测试仪自动检测系统基本设计思想：LabVIEW 首先通过建立 Socket 链接与继电保护测试仪外部控制主程序相互通信，并按照通信流程的要求发送各种控制命令来控制继电保护测试仪输出电气量。然后 LabVIEW 控制继电保护测试仪输出转换装置动作，其次 LabVIEW 调用仪器驱动程序读取各标准器测量数据。最后将测量数据存储于数据库中，并将测量结果显示在用户界面。测量结束后测量数据可以通过报表生成函数保存为 Word 格式，生成报告或打印输出。自动检测系统流程图如图 6 所示。

系统运行，首先完成初始化，其次测试员通过登录界面输入账号密码进行登录。

通过登录验证后直接进入用户界面，不同测试员可以根据需要对交直流电压/电流的幅值、相位、频率等进行检测。用户界面如图 7 所示。

自动检测平台按照《继电保护测试仪校准规范》的要求将所有待校准项目编制成标准的校准模板，按照不同的校准项目设置不同的测试环境，保证测试严格按照检验规程执行。自动检测平台采用模块化编程方法，不同的校准项目定制不同的测试项目子程序。各个功能模块相互独立，具备灵活性和扩展性。

测试项目子程序是以不同校准项目为基本单元，一个基本单元包含该校准项目下的所有测试点。在自动检测平台调用该测试子程序就可以实现该校准项目所有测试点的测试。根据“手动检测”或“强制选择测点”的要求，需要实现单个校准项目下单个测试点的测试，因此需要制定测试点子程序，在进入“手动检测”模块时进行调用。

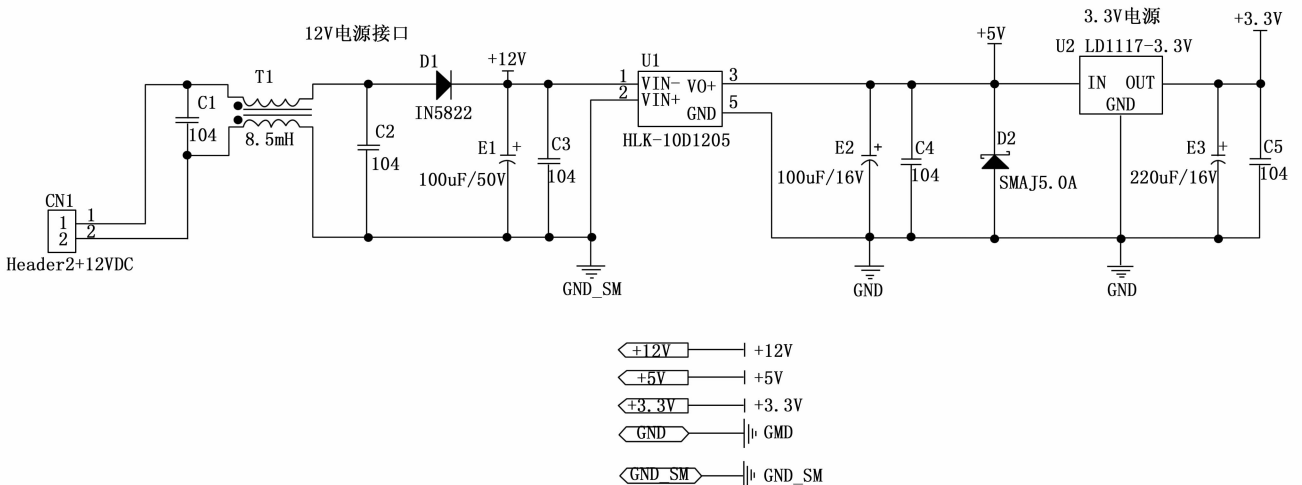


图 5 电源模块原理图

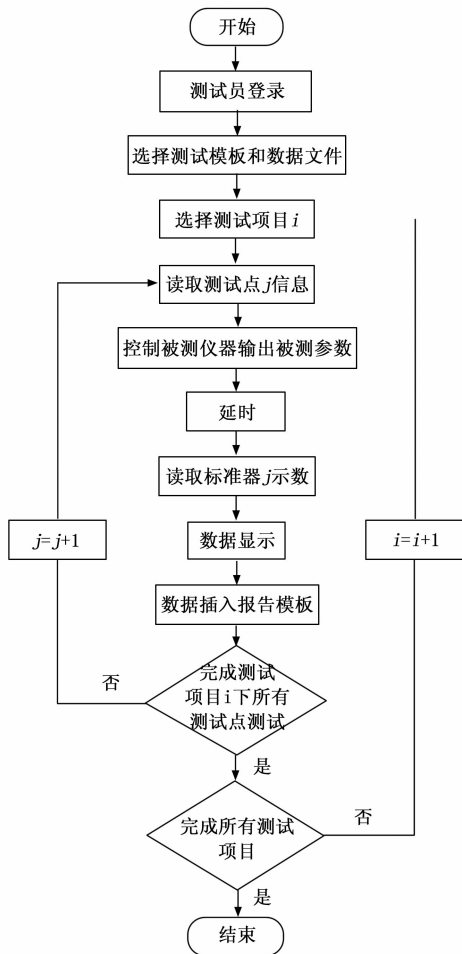


图 6 自动检测系统流程图



图 7 用户界面

继电保护测试仪自动检测平台借助 LabVIEW 软件工具开发。系统初始化完成之后, 测试员进入用户登录界面, 输入正确的账号和密码之后进入用户界面。点击用户界面上的“自动检测”按钮进入自动检测程序。程序将按照程序员设定的检测顺序对所有测试项目和测试点逐个运行。程序首先读取测试项目和测试点, 然后调用被校测试仪的接口程序控制测试仪输出相应的电气量, 电气量经输出转换装置与测量仪器连接成试验回路。经过一定时间的延时后, 控制测量仪器进行自动测量并读取测量数据, 测量数

据经数据处理后显示在用户界面。

完成所有测试项目后, 点击“手动检测”按钮, 可以强制选择任意测试项目下的任意测试点进行单独测试。

检测完成后, 点击“保存报告”按钮可以将检测结果保存到预先设定的报告模板中, 检测点结果不满足校准规范要求的用阴影标注。

3.2 仪器通信模块

本检测系统涉及的仪器较多, 仪器本身的编程接口不同, 所以计算机与各仪器之间的通信需要不同的编程工具。计算机与万用表、示波器、三相标准功率电能表之间的通信工具有所区别, 但都是串口通信方式, 使用 LabVIEW 的虚拟仪器软件架构 (Virtual Instruments Software Architecture, VISA) 函数就可以实现仪器控制。LabVIEW 通过 TCP/IP 控制模式来建立与继电保护测试仪的通信连接。继电保护测试仪的外部接口程序为 PonoVoVm.exe, 当 PonoVoVm.exe 运行起来之后, 会自动创建 TCP/IP 服务器端, 并监听“6808”端口, 用户可以通过建立 Socket 链接与接口程序相互通讯, 并按照通讯流程的要求发送各种控制命令来控制测试仪进行输出。

3.3 检测项目模块

《继电保护测试仪校准规范》要求对测试仪的十几项校准项目进行检测, 检测流程大致相同。本文以交流电压幅值校准为例简要描述。

首先进行系统初始化。测试结果需要通过表格控件进行数据显示, 因此程序一启动, 就应创建一个空的二维字符串数组作为表格控件的输入, 这样做可以覆盖掉之前的测试结果。然后进行输出转换装置子程序的初始化操作, 即断开所有连接通道。经过一段适当的延时后, 控制输出转换装置以关闭相应的通道, 从而将被校测试仪与测量仪器连接起来形成一个完整的测试回路。其次自动控制被校测试仪的外部控制程序驱动测试仪进行相应的输出, 延时后控制测量仪器选择相应的测量功能和适配量程进行自动测量并读取测量数据。当该测试点测量完成后, 发送一个结束测试命令字符串, 接着进行下一个测试点的测量。最后当完成测试项目下的所有测试点之后, 控制输出转换装置断开所有连接通道, 此时程序结束。

3.4 自动检测模块

自动检测系统可以根据测试项目和测试点的要求, 自动控制继电保护测试仪输出规定的电气量, 自动控制各通用标准器选择相应的测试功能和适配量程进行自动测试。自动检测系统采集通用标准器的测量数据, 将测量结果显示在用户界面, 并根据报告模板自动生成测试报告。

继电保护测试仪自动检测系统用户界面程序主要使用了 While 循环结构、事件结构和平铺式顺序结构。程序运行第一步是使用 LabVIEW 的“执行系统命令”函数打开继电保护测试仪的接口程序。接口程序运行起来之后会自动创建 TCP/IP 服务器端等待与客户端的连接。

点击“自动检测”按钮, 会触发事件结构, 并执行事

件分支处理的事件。程序将按照平铺式顺序结构依次执行。首先对所有表格进行初始化,然后按照交流电流示值、交流电压示值、直流电流示值、直流电压示值、移相相位示值、交流谐波示值、三相电源对称性、交流电流幅频特性、交流电压幅频特性、响应速度的顺序依次执行子程序,每个子程序之间留出 200 ms 的延时。为了解决主程序在调用子程序的过程中,采集的数据不能即时显示在主程序的问题,首先使用“VI 引用”函数,输入子程序完整路径,打开“属性节点”与“VI 引用”函数相连,选择前面板。然后使用“属性节点”与前面板相连找到控件选项,打开“属性节点”与控件选项相连找到标签,将此“属性节点”放入 While 循环结构,插入字符串,找到相应的标签后结束 While 循环。最后打开“转换为特定的类”函数,目标类选择表格,使用“属性节点”连接“转换为特定的类”函数并找到“Value”选项,右键创建显示控件,子程序的值就可以实时传递给主程序。

3.5 生成报告模块

继电保护测试仪自动检测系统的自动生成检测报告功能是指通过 LabVIEW 软件平台,当所有检测完成之后,在用户界面点击“生成报告”按钮,就可以将继电保护测试仪的各项检测数据保存到预先设计好的模板中。

在 Microsoft Word 中,书签可用于标识文档中特定的位置或文本组,可引用使用。将书签添加到文档可以有效地“标记”所选的位置或文本,并允许命名该标签。生成报告程序使用到了全局变量,全局变量可在多个 VI 之间访问和传递数据。不管是自动检测还是手动检测,检测结果都会显示在用户界面前面板的表格中。使用全局变量,表格中的检测结果可以被生成报告程序调用。在生成报告程序中,首先使用“创建报表”函数,输入报表类型和报告路径,然后使用“添加报表文本”函数输入书签字符串数组和对应的全局变量数组。

3.6 强制选择测点模块

对于需要单独或重新检测的项目,继电保护测试仪自动检测系统可采用强制选择测点。强制选择测点程序主要采用事件结构、平铺式顺序结构和循环结构进行编程。当“强制选择测点”或“手动检测”按钮鼠标按下,程序进入 While 循环结构。While 循环结构中内嵌了事件结构,当某个测点的鼠标按下,会触发事件结构,程序将按照平铺式顺序结构的顺序依次执行。执行结束之后等待下一个事件发生。当点击“停止检测”按钮鼠标按下,程序停止。

4 继电保护测试仪自动检测系统的应用与验证

自动检测系统研制完成后,对其进行系统测试。首先将继电保护测试仪、输出转换装置、标准器按照图 1 所示方式进行连接。自动检测平台能够完成 DL/T 624 2010《继电保护微机型试验装置技术条件》和 DL/T 1153 2012《继电保护测试仪校准规范》规定的功能项目,并根据规定的误差范围得出测试仪性能是否合格的结论。

4.1 交流电压幅值误差

控制被校测试仪在 50 Hz 的频率下输出交流电压,其中交流电压的校准点可以被设定为 2 V、10 V、57.74 V、100 V、120 V,用继电保护测试仪自动检测系统分别测出交流电压输出并记录。A 相交流电压测量结果如表 1 所示。

表 1 A 相交流电压测量结果

设定值/V	实测值/V	相对误差/%	频率/Hz
2	1.996 651	-0.002 675	50.100 201
10	9.974 002	-0.002 600	50.050 049
57.74	57.564 480	-0.003 040	50.050 049
100	99.707 580	-0.002 924	50.000 000
120	119.647 350	-0.002 939	50.000 000

测试结果表明,通过自动检测系统检测得到的被校测试仪的实际交流电压输出的幅值最大相对误差是 0.003%,明显低于《继电保护测试仪校准规范》要求的幅值允许误差 0.5%。以上结果表明,被校测试仪的实际输出交流电压幅值满足校准规范最大幅值允许误差的要求。

4.2 直流电压幅值误差

控制被校测试仪在 50 Hz 的频率下输出直流电压,直流电压的输出校准点可选择为 5 V、30 V、90 V、150 V、200 V、250 V,用继电保护测试仪自动检测系统分别测出直流电压输出并记录。直流电压测量结果如表 2 所示。

表 2 直流电压测量结果

设定值/V	实测值/V	相对误差/%
5	4.998 840	-0.000 232
30	30.002 130	0.000 071
90	90.027 120	0.000 301
150	150.036 970	0.000 246
200	200.034 000	0.000 170
250	250.049 100	0.000 196

测试结果表明,通过自动检测系统检测得到的被校测试仪的实际直流电压输出的幅值最大相对误差是 0.000 301%,明显低于《继电保护测试仪校准规范》要求的幅值允许误差 0.5%。以上结果表明,被校测试仪的实际输出直流电压幅值满足校准规范最大幅值允许误差的要求。

4.3 交流电压幅频特性

设置测试仪输出交流电压为 120 V,改变输出频率,使其在 (0~1 000) Hz 范围变化。测试的频率点可选择为 50 Hz、65 Hz、100 Hz、150 Hz、450 Hz、600 Hz。用继电保护测试仪自动检测系统分别测出实际的频率值并计算出相应误差,并根据在设置的不同频率下所显示出的电压值进行幅频特性测试。A 相交流电压幅频特性测量结果如表 3 所示。

根据《继电保护测试仪校准规范》要求,当输出电压幅值在 0~120 V 范围内,输出频率变化时,电压幅值在 2~120 V 范围内的基本误差应满足表 4 的要求。

由表 4 可知,当电压源输出频率范围在 10~65 Hz 时,输出频率允许偏差应不大于 0.001 Hz;当电压源输出频率

范围在 65~1 000 Hz 时,输出频率允许偏差应不大于 0.01 Hz。由表 3 可知,频率设定值为 50 Hz 和 65 Hz 时的实际输出偏差分别为 0.100 201 Hz、0.104 172 Hz,频率输出偏差明显大于允许偏差的 0.001 Hz。在频率设定值为 65~1 000 Hz 时的实际输出最大偏差是 1.263 519 Hz,明显大于《继电保护测试仪校准规范》要求的允许偏差 0.01 Hz。表明该继电保护测试仪不满足输出频率允许误差要求。

表 3 A 相交流电压幅频特性测量结果

电压设定值/V	频率设定值/Hz	电压实测值/V	频率实测值/Hz	电压误差/%	频率误差/Hz
57.74	50	57.581 080	50.100 201	-0.002 785	0.100 201
57.74	65	57.578 580	65.104 172	-0.002 795	0.104 172
57.74	100	57.249 340	100.000 000	-0.008 497	0.000 000
57.74	150	57.248 480	150.150 146	-0.008 512	0.150 146
57.74	450	57.256 720	451.263 519	-0.008 369	1.263 519
57.74	600	57.256 640	600.961 548	-0.008 371	0.961 548

表 4 误差范围

电压源输出频率范围/Hz	输出频率允许偏差/Hz	输出电压幅值基本误差/%
10~65	±0.001	不超过±0.5
65~450	±0.01	不超过±0.5
450~1 000	±0.01	不超过±1

4.4 移相相位校准

输出相电压和相电流的测量,设定相电压为 100 V,相电流为 5 A,改变输出相位。相位校准点可选取以下几点:0°、30°、60°、90°、180°、270°。用继电保护测试仪自动检测装置测量输出相位。移相相位测量结果如表 5 所示。

表 5 移相相位测量结果

设定值/(°)	A 相相位实测值/(°)	B 相相位实测值/(°)	C 相相位实测值/(°)
0	0.011 500	0.014 221	0.010 286
30	30.219 200	29.816 100	30.459 200
60	60.142 900	59.671 700	59.852 100
90	90.033 900	90.351 800	89.181 900
180	180.040 400	179.996 900	180.000 200
270	270.261 150	268.303 340	269.999 530

《继电保护测试仪校准规范》要求电流源各相之间、电压源各相之间、电流源与电压源各相之间的相位控制范围及准确度应满足移相范围为 0°~360°,最小可调步长为 0.1°,分辨力为 0.1°。基准工作条件下,允许偏差不大于±0.2°。由表 5 可知,移相相位实际输出最大偏差为 0.459 2,明显大于允许偏差 0.2°,表明该继电保护测试仪不满足移相相位允许偏差要求。

5 结束语

本文研制的继电保护测试仪自动检测系统,实现了交

直流电压、交直流电流、移相相位、总谐波畸变率、三相电源对称性、响应时间等校准项目的自动检测;设计的继电保护测试仪输出转换装置,实现了测试回路自动切换及继电保护测试仪的自动检测、手动检测、生成报告等功能。能有效解决传统继电保护测试仪检测模式下测试程序繁琐和依赖人工操作等问题,实现测试标准化、报告标准化的闭环自动检测。

参考文献:

- [1] 朱树云,吕梦妮.电力系统继电保护二次回路维护与检修对策分析[J].光源与照明,2023(5):234-236.
- [2] 侯建武,姜天岳,范瑞凝,等.一种新型继电保护测试仪设计[J].中国科技信息,2023(6):83-85.
- [3] 范晓玮,徐娟,陆寅.继电保护与自动化装置的可靠性分析[J].集成电路应用,2022,39(9):286-287.
- [4] 张冉,陈光华,陈皓帆,等.继电保护测试仪时间测量精度检测校准装置研制及性能分析[J].电力系统保护与控制,2022,50(13):163-170.
- [5] 蔡骥然.智能变电站继电保护稳定性分析[J].技术与市场,2022,29(2):121-123.
- [6] 常俊晓,杨林,杨茜,等.继电保护测试仪输出扩展装置的研制[J].电工技术,2021(21):110-114.
- [7] 张静怡.基于继电保护测试仪的网络报文回放系统研究[D].广州:华南理工大学,2020.
- [8] 王光亮,陈立栋,黄钊亮.继电保护快速定检系统设计与实现[J].电工技术,2019(6):76-77.
- [9] 时鹏,郑永康,吴润东,等.数字式继电保护自动测试仪方案设计与实现[J].电气应用,2017,36(10):93-96.
- [10] 吴志鹏.数字继电保护测试仪检测系统的数据采集装置研制[D].南昌:南昌航空大学,2016.
- [11] 李文强,李悠,杨梅,等.微型继电保护测试仪技术指标和检定方法的研究[J].电测与仪表,2016,53(7):51-56.
- [12] 卜强生,宋亮亮,吴恒福,等.光数字继电保护测试仪自动检测系统设计[J].电气应用,2015,34(11):32-35.
- [13] 谈代林.微型继电保护测试仪检定系统的设计与实现[D].南昌:南昌大学,2014.
- [14] 杨蕾.继电保护测试仪智能检测系统[J].云南电力技术,2014,42(2):72-74.
- [15] 李兆龙,王立文,曾强.浅谈继电保护测试装置的现状及发展[J].机电信息,2014(9):35-37.
- [16] 祁延寿,王志敏,王生渊,等.继电保护测试仪暂态特性检测方法探讨[J].青海电力,2013,32(4):32-35.
- [17] 李建海,赵彦敏,王晓兰,等.虚拟仪器技术在继电保护测试仪检验分析装置中的应用研究[J].工业仪表与自动化装置,2012(1):48-50.
- [18] 陈古波,杨奕.基于继电保护测试仪的数据存储设计[J].自动化应用,2011(9):10-12.
- [19] 尹寿林.继电保护测试仪检验分析装置数据管理系统的开发[D].兰州:兰州理工大学,2011.
- [20] 王磊.继电保护测试仪检定装置的研究与实现[D].南昌:南昌航空大学,2010.