

10 kV分接开关测试控制系统设计与应用

陈红旭

(江苏开德电气设备制造有限公司, 江苏 苏州 215126)

摘要: 针对 10 kV 调压变压器干式真空有载分接开关性能测试要求, 使用可编程序逻辑控制器 (Programmable Logic Controller, PLC) 和触摸屏等工业自动化控制系统, 以人机交互式操控平台作为岗位的主控界面, 实现生产过程自动化, 极大地减少了岗位流程的复杂性和操作错误率, 提高了测试准确度和生产效率。

关键词: 有载分接开关; 测试系统; 可编程序控制器; 过程自动化

Research and application of 10 kV power transformer tap-changer routine test system controlling

CHEN Hongxu

(Jiangsu MR Manufacturing Co., Ltd., Suzhou 215126, China)

Abstract: In order to performance test requirements of vacuum tap changer of 10 kV transformer, industrial automation control systems of programmable logic controller (PLC) and touch panel is used to realize automation of production process, reduce process complexity and failure, the test accuracy and production efficiency are greatly improved.

Key words: on-load tap changer; test system; programmable logic controller; process automation

0 引言

有载分接开关作为调压变压器的核心组件, 其安全可靠性能显得尤为重要, 依据国际电工IEC 60214-1的标准要求, 分接开关及其控制系统在制造完成后必须进行切换例行试验, 通过相关性能测试的产品方可使用到变压器上^[1]。针对10 kV干式真空分接开关切换试验特性要求: 分接开关在额定电压、低于额定电压85%和高于额定电压110%的条件下, 在所有分接触头均能正常切换一个循环, 并且其切换时间、机械和电气性能均能满足产品的使用标准要求。基于这一特定检测标准要求, 使用可编程序逻辑控制器 (Programmable Logic Controller, PLC) 系统开发设计分接开关测试控制系统, 对实现生产过程自动化、减少生产复杂性及提高生产效率等具有较好的经济性。

1 系统概况^[2]

10 kV干式真空分接开关测试系统由分接开关切换时间采样评估系统、测试控制系统和可调电源系统三大部分构成。测试系统架构如图1所示。

采样评估系统是捕获分接开关切换分接触头时各触头断开或接通过程中机械部件运动变化的时间, 对切换时序和机械状态进行评估和判别的系统。该系统由直流电源测、采样连线、测量信号处理、瞬态记录仪、工业计算机及其显示系统和MeX测试软件组成。

测试控制系统根据测试系统要求发送分接开关切换试验脉冲触发信号, 检测分接变换位置与系统一致, 监控和保护分接开关安全可靠运行。系统由分接开关电源及控制信号连线、正反转接

触器、PLC及触摸屏等元器件组成。

可调电源系统是输出分接开关切换试验所需的电源电压，确保测试电源电压与测试系统参数匹配。其系统由PID调节器、可调变压器、电源输出和信号反馈等功能块组成。

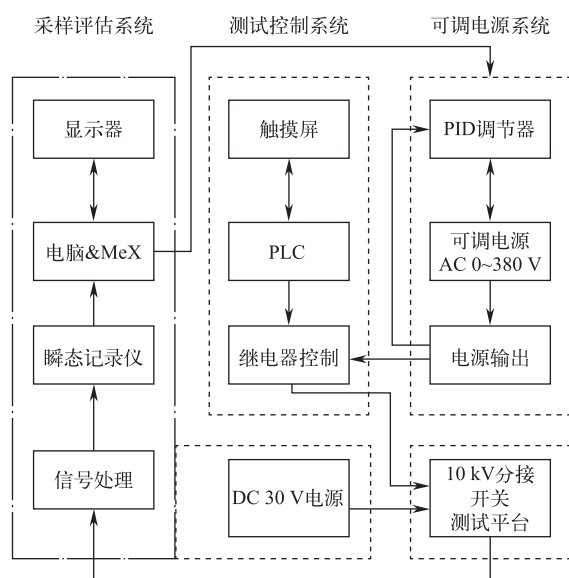


图1 测试系统架构
Fig. 1 Test system architecture

2 测试控制系统设计

2.1 设计原则

测试系统三大功能块是独立运行的系统，在产品测试时它们之间存在必要的互联性，满足以下条件时测试系统正常启动运行：

- 1) 采样系统DC 30 V仅作为分接位置测量信号电源。
- 2) MeX测试软件的分接开关分接位置设置参数与触摸屏输入参数配置一致。
- 3) 可调电源柜PID设定值由MeX软件运行状态给定。
- 4) 分接开关切换取样时，PLC每间隔15 s发启动脉冲一次；分接开关正常切换时，PLC每间隔8 s发启动脉冲一次。
- 5) 可调电源的输出受PLC程序控制。

2.2 硬件设计

10 kV干式真空分接开关的技术数据如表1

所示，依据分接开关的技术参数和可调电源的输出容量进行测试控制系统硬件设计和选型。

表1 10 kV 干式真空分接开关技术参数

Tab. 1 Technical parameters of 10kV dry vacuum tap changer

设计依据	IEC 60214-1/GB 10230
电动机功率	0.25 kW
控制系统功率	0.10 kW/0.03 kW
额定电压	AC 220 V/380 V
额定电流	0.90 A/1.55 A
电源频率	50 Hz
最大操作位置数	9
位置输出信号	数字量 1 ~ 9/ 模拟量 4 ~ 20 mA

PLC硬件设计及选型：测试控制系统PLC数字量和模拟量计算，由分接开关最大位置输入9个信号通道，1组模拟量输入信号通道和6个数字量输出信号通道，操控台控制和保护输入信号3个通道。根据编程需要使用的节点数计算PLC存储器的容量，计算公式为

$$M = K_m[10DI+5DO+100AI+(1+0.25 N)] \quad (1)$$

式中， M 为存储容量； K_m 为每接点存储器字节数； DI 为数字量输入信号； DO 为数字量输出信号； AI 为模拟量输入信号； N 为采样点数。

基于满足测试控制系统要求和经济适用原则，选用Mitsubishi第三代可编程序控制器，型号为FX3U-32MT/ES和FX3U-2AD。

触摸屏设计及选型：依据生产车间工作环境和岗位操作条件，人机界面选用昆仑通态切入式一体化触摸屏，型号为TPC1062KX，10.2英寸，内存64M，主频400 MHz，分辨率为1 024 × 1 024。

系统控制柜设计：根据测试控制系统的总体电气元件配置任务、工作原理和控制要求，控制柜选用德国威图CONTROL CABINET RAL7033 RITTAL 500 mm × 500 mm × 200 mm电控柜，机柜工业防护等级为IP55，自带内部通风系统，可将触摸屏、指示灯及按钮等电气元件集成到柜体门上，实现控制单元和操控面板一体化，既符合电气设备设计安全规范要求，又能满足生产过程的操作需要，操控面板布局如图2所示。

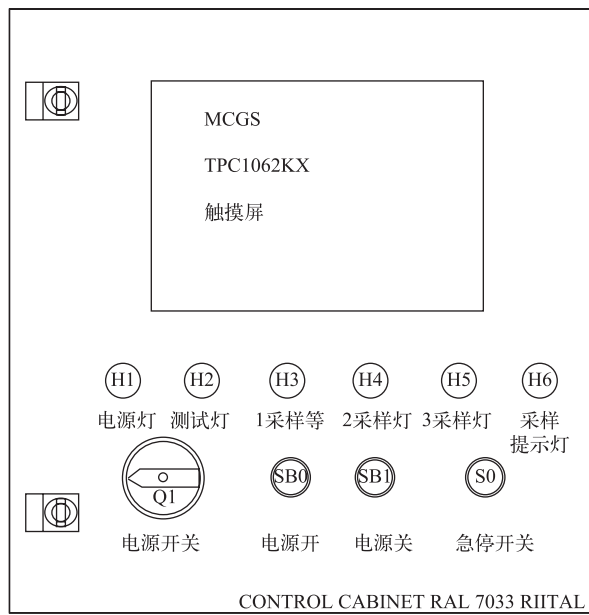


图 2 操控面板布局

Fig. 2 Control panel layout

2.3 编程设计

2.3.1 I/O 分配设计

PLC输入、输出及数据寄存器定义是编写程序的基础工作，PLC的CPU工作原理是根据用户按控制要求编写好存于用户存储器中的程序，按指令号或地址号做周期性循环扫描，并且逐条执行指令，直至程序结束，如此“顺序扫描，不断循环”^[3]。由测试控制系统与分接开关产品测试现场的信息交换，每个I/O和数据存储器所代表的现场情况如表2所示。

表 2 I/O 及数据寄存器地址分配

Tab. 2 I/O and data register address allocation

输入 / 输出元件	信号地址	地址说明
4 ~ 20 mA 模拟量	D8260	开关位置信号
KM1/KM2 脉冲	C0	系统运行计数器
S0	X000	急停开关
SB0	X001	系统启动
SB1	X002	系统停止
位置 1	X003	分接开关位置 1
位置 2	X004	分接开关位置 2
位置 3	X005	分接开关位置 3
位置 4	X006	分接开关位置 4
位置 5	X007	分接开关位置 5
位置 6	X010	分接开关位置 6

(续)

输入 / 输出元件	信号地址	地址说明
位置 7	X011	分接开关位置 7
位置 8	X012	分接开关位置 8
位置 9	X013	分接开关位置 9
H2	Y000	系统启动
H3	Y001	第一次采样
H4	Y002	第二次采样
H5	Y003	第三次采样
H6	Y004	采样提示灯
KM1	Y005	开关运行向 1
KM2	Y006	开关运行向 9

2.3.2 程序控制流程

根据系统硬件配置方案和生产过程工艺控制要求编制控制程序流程图，如图3所示。控制程序结构主要包括自动运行主程序和手动子程序。连接分接开关测试信号线缆，通过触摸屏运行模式选择手动模式，进入手动调试程序，可将分接开关运行到准备试验所需要的分接位置。自动模式是测试系统的主程序，通过启动测试按钮系统进入测试流程，分接开关自动切换总计67次循环操作，例如有9个分接位置的分接开关合计分接切换1 072次，每次采样16次，三个阶段采样合计48次。三次采样时可调电源电压输出分别为323 V、380 V和418 V。

2.3.3 PLC 程序设计

根据上述要求和控制流程图^[4]进行编程设计，编程语言使用梯形图。在触摸屏上设定有载分接开关的最大档位N，PLC内部寄存器D10储存最大档位设定值，由分接开关的型号决定所使用的程序，共有4种产品配置：9档、7档、5档和3档，设定好档位数后，程序通过数据比较和数学运算为下一步的程序设计做准备。该处的设计要点是：有载分接开关运行1个循环的切换次数等于最大档位 $(N-1) \times 2$ ，由此可以计算出取样所需的循环次数并将运算结果储存在D12~D22。根据有载分接开关档位的输入信号PLC内部继电器M0和M1自动和复位，自动完成终端限位及运行方向切换，C0为计数器储存器，通过触摸屏上的文本标签读取有载分接开关当前运行次数。

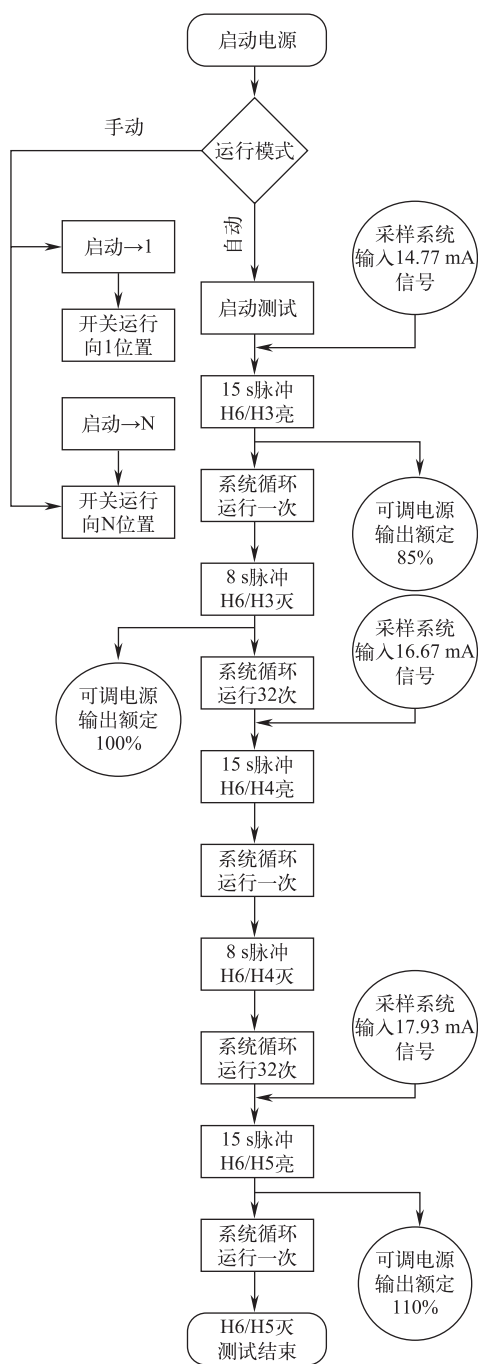


图3 控制流程图

Fig. 3 Control flow chart

2.3.4 人机界面设计

人机界面采用MCGSE嵌入式组态软件进行编程设计，可以轻松地完成触摸屏的画面设计，触摸按键与FX3U PLC内部各软件的搭接及设定。软件系统主要有开机画面、参数设定画面、手动控制画面和自动控制画面。

开机画面：启动系统时触摸屏上显示的画

面，该画面可显示系统名称和当前日期，给使用者清晰地了解系统设备信息。参数设置窗口按钮、手动控制窗口按钮和自动控制窗口按钮。

参数设置画面：参数设置窗口，是对有载分接开关的配置参数进行设定。

手动控制画面：作为手动调试有载分接开关的操作界面，画面上有手动启动按钮、档位升降按钮和档位显示框。

自动控制画面：作为自动测试有载分接开关的操作界面，画面设计有4个取样应答和阶段取样指示灯；系统启动按钮、停止按钮、取样按钮和清零按钮；档位显示和运行次数记录。

3 系统应用

在该测试控制系统上对分接开关进行IEC例行测试，测试的项目包括驱动控制单元功能测试、机械及电气限位检测、分接开关位置检测和分接触头切换试验。该系统与传统试验系统比较主要有以下优势：

- 1) 测试控制系统及操作平台安装于移动车上，操作人员移到产品测试现场，减少操控往返时间。
- 2) 产品采样及控制接线，集成到专用易拔插电缆插头，防止人为性操作错误。
- 3) 产品配置参数通过触摸屏进行设定，设定值与采样评估系统匹配，进入测试界面，确保人机性一致。
- 4) 通过修改PLC程序，调整测试脉冲时间，灵活调整产品测试时间，缩短产品生产周期，极大地提高了生产效率。

以型号AVTIII170D-12-090的分接开关IEC例行试验为例，该系统与传统试验系统生产测试工艺过程生产工时对比，如表3所示。

表3 本系统与传统系统测试工艺过程生产工时对比
Tab. 3 Comparison of production man hours between this system and traditional system test process

传统系统	人工时间 /min	135
	系统时间 /min	217
该系统	人工时间 /min	115
	系统时间 /min	180

4 结束语

10 kV干式真空有载分接开关测试控制系统设计、制作和系统投入应用,极大地改善了生产线测试工序的生产瓶颈,使得有载分接开关生产线的日常生产效率由原来的75%提高到90%。测试系统投入使用后取得了很好的检测效果和经济效益。

该控制系统的设计过程中解决了如下技术难题^[6]:

1) 具备繁琐继电器控制电路才能实现对不同档位的有载分接开关进行测试的功能,可以测试4种型号的有载分接开关,只需通过对触摸屏上的参数进行设定。

2) 控制系统的测试振荡脉冲时间也可以通过修改PLC程序来实现不同产品的工艺要求,缩短了测试工序的标准工时。

3) 运用三菱FX3U可编程序控制器强大的数学运算功能指令实现测试工艺要求过程中的人机互动。

参考文献

- [1] 分接开关-第一部分:性能与测试方法:IEC 60214-1[S].
- [2] 陈飞文,吴斌,兀鹏越,等.大型火电厂用电互

供技术方案设计与应用[J].电气技术,2020,21(11):79-81.

- [3] 蒲德教,宋无转,刘杰.关于可编程序控制器(PLC)在电气控制环节中的应用[J].科技创新与应用,2013(25):1.
- [4] 兰洲.基于PLC的消防控制系统设计[J].电气技术,2021,22(4):91-93.
- [5] 池东亮,李龙龙,束鹏飞,等.一种无线测温系统的设计与实现[J].电气技术,2021,22(6):7-11.
- [6] 蒋小辉,胡川,张官祥,等.自适应式智能树干涂刷装置系统的研制与开发[J].电气技术,2019,20(9):65-68.
- [7] 严智.测量控制系统平台架构设计与应用[J].指挥信息系统与技术,2012,3(1):4.
- [8] 高国威,任宝胜.工作台控制器的测试系统设计与应用[J].吉林化工学院学报,2011,28(9):3.

作者简介

陈红旭(1978—),男,硕士,工程师,主要从事电力变压器有载分接开关及其控制器的生产技术和管理工作。

(收稿日期:2021-10-30)