

# 变压器综合试验系统的设计与实现

孙秋芹,周志成,赵科,刘洋,陶风波

(江苏省电力公司电力科学研究院,江苏南京 211103)

**摘要:** 变压器的电气试验项目繁多,现有的试验仪器大多功能单一,试验过程中需频繁变更试验设备和试验接线,工作量大,且给试验人员带来较大的安全隐患。提出了变压器绝缘电阻、短路阻抗、变比、绕组直流电阻、介质损耗、有载分接开关特性测试的一次性接线试验方法,基于C#语言开发了相应的系统软件,通过程序顺序控制,可一键操作完成变压器的电气试验,显著提高了变压器试验效率。

**关键词:** 变压器;电气试验;系统集成;软件开发

**中图分类号:** TM835

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1009-0665(2014)03-0056-03

变压器是电力系统中最重要电气设备之一,运行中一旦出现故障,将对电力系统造成严重危害<sup>[1]</sup>。变压器的电气试验项目繁多,包括绝缘电阻、电压比、绕组直流电阻、感应耐压试验、空载电流和空载损耗、短路阻抗和负载损耗、短路承受能力试验等项目<sup>[2-4]</sup>。现有的变压器电气试验仪器功能单一、单台测量设备通常只能开展特定的试验项目,试验过程中需频繁进行试验仪器和试验接线变更,工作量大,给试验人员也带来了较大的安全隐患。文中开发了一套变压器综合试验系统,对试验项目进行了高度集成,可通过一次性试验接线,程序顺序控制,一键式操作完成变压器绝缘电阻、短路阻抗、绕组直流电阻、有载分接开关过渡电阻与过渡时间、变压器变比、介质损耗的等参数的测量。

## 1 变压器综合试验系统的硬件设计

### 1.1 综合试验系统接线方式

变压器综合试验系统接线方法如图1所示。通过试验引线将被试变压器的高、中、低压侧三相及相应中性点、变压器套管末屏等与集线转换器进行连接,集线转换器与测量系统相连。为测量变压器的短路阻抗参数,引入了一种短路阻抗短接器,它与被试变压器的中压、低压侧三相及相应中性点出线相连,试验过程中可根据需要进行短接。

### 1.2 综合试验系统结构

变压器综合试验系统的组织架构如图2所示。变压器综合试验系统主要包括集成控制器、工控机、打印机、液晶显示器、集线转换器、短路阻抗短接器等。其中,集成控制器是变压器综合试验系统的核心,对各模块进行集中控制。

综合可靠性、抗干扰、扩展性、通信距离、组件资源等因素,变压器综合试验系统采用基于TCP/IP协

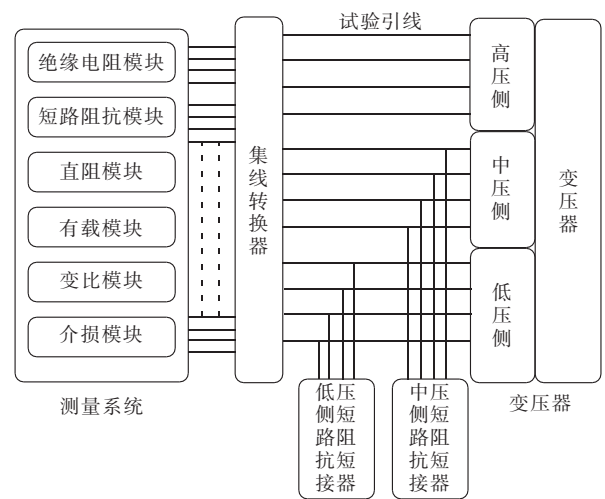


图1 变压器综合试验系统接线

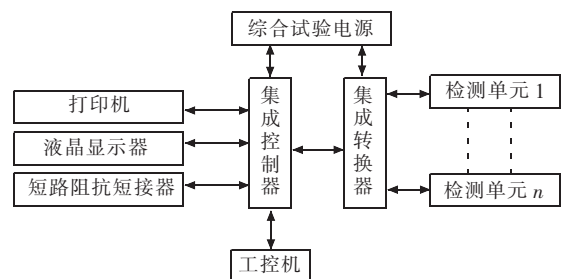


图2 变压器综合试验系统架构

议的Ethernet局域网模式,实现全程网口通信,具有很高的可靠性<sup>[5,6]</sup>。

### 1.3 综合试验电源

文中采用正弦脉宽调制技术(SPWM)和系统级的软件控制,为测量仪器提供试验电源。其中,介质损耗测试采用10 kV交流电压源、直流电阻测试采用1 A直流电流源、有载分接开关特性测试采用1 A直流电流源等,综合试验电源模块原理如图3所示。

### 1.4 试验引线

试验引线采用高压拖地电缆线,为两芯屏蔽结构,每根线里面包括有电流输出线、电压信号线、内高压屏

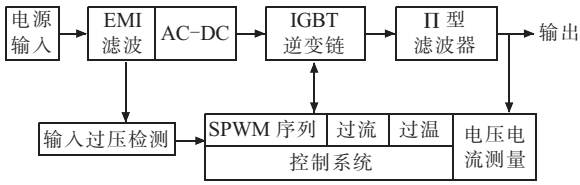


图3 综合试验电源模块原理

蔽层和外拖接大地屏蔽层,其结构如图4所示。其中,内高压屏蔽和外接地屏蔽层之间采用复合式硅胶绝缘,试验引线兼顾变压器绝缘电阻、介质损耗、绕组直流电阻、有载开关特性试验等特点。内高压屏蔽层通过增加铝箔层和半导体层,保证试验引线在试验过程中不会由于内屏蔽丝网的变稀引起屏蔽不良。

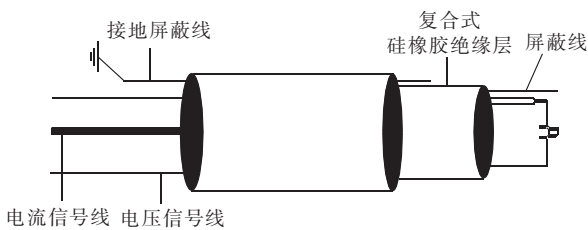


图4 一线多用试验引线

## 2 软件设计

试验系统采用C#语言进行软件开发,系统软件包括通信管理、数据管理、设备管理、流程配置、智能测试等6部分,软件程序流程图如图5所示。

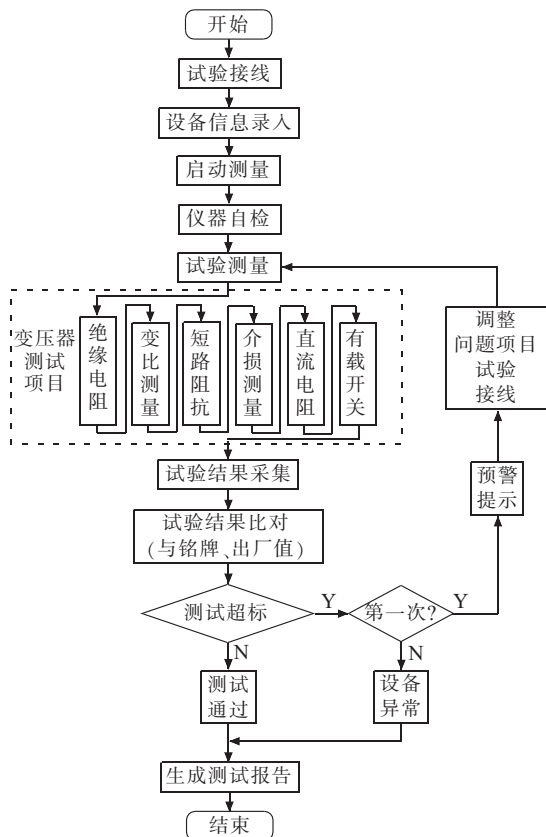


图5 软件流程

程序开始运行后,首先录入相关设备信息;通过在仪器内部设置标准电阻、标准电容等装置,对各测量模块进行自检;依次测量变压器绝缘电阻、变比、短路阻抗、介质损耗、直流电阻、有载开关特性;对试验结果进行采集,并将试验结果与铭牌、出厂值等进行比较;当测试结果超标时,进行预警提示;试验完成时,自动生成测试报告。

## 3 误差测试

为了保证变压器综合试验系统的准确性,采用标准源对各模块的功能进行了测试,以校验测量系统的误差,试验结果如表1所示。其中,变压器绝缘电阻测量模块误差最大,为1.90%;变压器变比测量模块误差最小,为0.25%。测量误差满足工程应用需求。

表1 试验系统各功能模块测量误差 %

功能模块	误差
有载分接开关过渡电阻	0.83
有载分接开关过渡时间	1.00
变比	0.09
绕组直流电阻	0.10
短路阻抗	0.23
绝缘电阻	1.9
介质损耗	0.25
电容量	0.39

## 4 工程应用

应用变压器综合试验系统对江苏某220 kV变压器进行了测试。试验项目包括有载分接开关过渡电阻、变压器有载分接开关过渡时间、变比、绕组直流电阻、短路阻抗、绝缘电阻、介质损耗、电容量等,并与传统测试仪器进行了比较。部分试验结果如表2至表4所示。

表2 变压器高压侧套管介质损耗

相别	变压器综合试验系统		传统测试仪器	
	电容量 /pF	介质损耗 /%	电容量 /pF	介质损耗 /%
A	287.1	0.375	287.0	0.374
B	285.1	0.332	285.3	0.333
C	286.3	0.348	286.5	0.347

表3 变压器高压侧绕组直流电阻 mΩ

分接位	变压器综合试验系统			传统测试仪器		
	A-O	B-O	C-O	A-O	B-O	C-O
01	459.6	459.5	461.2	459.2	459.8	460.6
02	453.3	453.9	454.9	453.1	453.7	454.6

由表2至表4可知,变压器综合试验系统可有效测量变压器高压侧套管介质损耗、绕组直流电阻、有载分接开关过渡电阻、过渡时间等参量,测量结果与传统方法偏差很小,均小于1%,可满足工程需求。在试验

表 4 变压器 A 相有载分接开关过渡电阻与过渡时间

方法	过渡电阻 / $\Omega$	过渡时间 /ms
变压器综合试验系统	2.0	44.7
传统测试仪器	2.0	44.8

效率方面,传统测试方法需要 5 h、3 人完成的试验工作量仅需 2 h、2 人即可完成相应工作。

## 5 结束语

建立了变压器综合试验系统,提出了变压器一次性试验接线方法,通过程序顺序控制,可一键式操作完成变压器绝缘电阻、短路阻抗、变压器变比、绕组直流电阻、有载分接开关测试、介质损耗等电气试验项目,该方法大大减小了试验工作量,可显著提高变压器电气试验效率。

### 参考文献:

- [1] 谢毓城. 电力变压器手册[M]. 北京:机械工业出版社,2003:2-3.  
 [2] 陈天翔,王寅仲. 电气试验[M]. 北京:中国电力出版社,2005:

19-33.

- [3] 保定天威保变电气股份有限公司. 变压器试验技术[M]. 北京:机械工业出版社,2000:4-5.  
 [4] 甘强,吉亚民,陈轩. 一起 220 kV 变压器局部放电试验异常情况分析[J]. 江苏电机工程,2013,32(3):10-12.  
 [5] 翁国庆,贾俊波. 电气试验车软件系统的设计与开发[J]. 高电压技术,2003,29(11):52-54.  
 [6] 刘志刚,贾俊波. VFP 在开发电气试验车试验界面中的应用[J]. 高电压技术,2002,28(11):44-45.

### 作者简介:

- 孙秋芹(1984),男,湖南岳阳人,博士,从事电力系统过电压及高压电气试验方面的研究工作;  
 周志成(1978),男,湖南株洲人,高级工程师,从事高电压与绝缘技术方面的研究工作;  
 赵科(1984),男,江苏无锡人,工程师,从事高压电气试验方面的研究工作;  
 刘洋(1982),男,江西景德镇人,博士,从事输变电设备外绝缘方面的研究工作;  
 陶风波(1982),男,江苏常州人,博士,从事高电压与绝缘技术方面的研究工作。

## Design and Realization of Comprehensive Electrical Test System for Transformers

SUN Qiuqin, ZHOU Zhicheng, ZHAO Ke, LIU Yang, TAO Fengbo

(Jiangsu Electric Power Company Electric Power Research Institute, Nanjing 211103, China)

**Abstract:** There are various testing items for the transformer in order to evaluate its performance. However, nowadays most of the test instrument could only measure one or two items. A comprehensive electrical test system is designed and realized in this paper, which integrated the conventional test items for the transformer including the insulation resistance, the short circuit impedance, transformer ratio, DC resistance of winding, dielectric loss, the transition resistance and transition time of on load tap changer of transformers and so on. The corresponding software is developed based on C# programming language. With the comprehensive electrical test system, a 'one-key operation' test for transformers is achieved, which improves testing efficiency largely.

**Key words:** transformer; electrical test; system integration; software development

(上接第 55 页)

### 作者简介:

汤宗亮(1973),男,安徽肥东人,工程师,从事电力设备运维检修工作;

衡思坤(1963),男,江苏邳州人,高级工程师,从事电力设备运维检修工作;

韦海荣(1977),男,江苏南京人,高级工程师,从事电力设备研究开发工作。

## A Strategy for Power Grid Equipment Maintenance

TANG Zongliang<sup>1</sup>, HENG Sikun<sup>1</sup>, WEI Hairong<sup>2</sup>

(1. Lianyungang Power Supply Company, Lianyungang 222000, China;

2. Nanjing Daonaneng Technology Co. Ltd., Nanjing 210028, China)

**Abstract:** With the improvement of manufacturing of transmission and transformer equipment and the progress of on-line monitoring technology for power grid equipment, the model of equipment maintenance is changing from periodical maintenance to status decided maintenance. An evaluating approach and maintenance strategy for the power grid including equipment and circuit is proposed. The practice of the proposed strategy is validated by engineering projects. For the views of power system and customers, it benefits the cost management of power supply enterprise and the reliability of power supply.

**Key words:** system; circuit; maintenance strategy; status evaluation