

高精度全自动变压器变比组别测试仪检定装置

吴宏斌, 李原, 邓德勇, 魏华

(国网电力科学研究院 武汉南瑞有限责任公司, 武汉 430074)

摘要:针对目前变压器变比组别测试仪的检定工作中存在的问题,如变比检测时,预置变比值数量少,且检测小变比值时精度达不到要求,同时存在操作复杂,工作效率低等诸多不足之处,本文介绍一种高精度全自动变压器变比组别测试仪检定装置。装置内部采用双级电压互感器,整体精度达到0.01%,在国内同类产品中处于领先水平;变比检测时的预置变比值为1~10000,满足JJG970-2002变压比电桥检定规程要求;控制部分采用C8051F023单片机+CPLD平台,操作显示部分采用当下流行的触摸屏设计,且电气回路通过继电器自动切换,大幅度提高了检测效率。

关键词:变比;单片机;CPLD;触摸屏;互感器

中图分类号:TM938.4

文献标识码:B

文章编号:1001-1390(2011)11-0033-04

High Accuracy Automatic Verification Device for Turn Ratio and Group Transformer Tester

WU Hong-bin, LI Yuan, DENG De-yong, WEI Hua

(Wuhan Nari Limited Liability Company of State Grid Electric Power Research Institute, Wuhan 430074, China)

Abstract: A higher accuracy and automatic transformer's turn ratio group tester verification equipment has been introduced. It can solve the problems of little number variable ratio, the accuracy can not reach the requirements in turn ratio detection, complex operation and the low work efficiency. In this equipment, a dual core structure internal voltage transformer is applied, the precision of measurement has achieved 0.01%, which is the leading level of similar products; the instrument can provide 1 to 10000 variable ratios in verification, meeting JJG970-2002 Verification Regulation of Transformers Turn Ratio Test Sets; the control part use C8051F023 and CPLD as platform, a kind of popular touch screen design is also used in display, and the electrical circuit uses relays for automatic switch over, which improves the efficiency of detection greatly.

Key words: turn ratio, MCU, CPLD, touch screen, transformer

0 引言

根据国家有关规定:变压器生产过程中的半成品和成品,以及新安装和检修后即将投入的变压器都必须进行变比测试。在《电力设备交接和预防性试验规程》中也要求对运行的变压器定期进行变比测量。通过对变压器的变比测试,就可以发现变压器的线圈短路、回路开路、连接错误、调压开关以及变压器中的内部故障或接触故障等,对高压大容量变压器乃至整个电网的安全稳定运行都具有重大意义。变压器变比组别测试仪用来检定变压器的变比及组别连接的正确性,其性能是否合格直接决定检定结果的正确性,因此对变压器变比组别测试仪的检定非常重要。

目前对变压器变比组别测试仪的检定,主要采用

感应分压器为标准,通过比较测差法来检定变比测试时的变比精度,同时可检定分辨率;此外采用三台单独的高精度电压互感器模拟变压器的各种组别连接,从而检定组别测试时组别连接的正确性。然而在实际检定工作中,发现上述方法存在诸多的不足:感应分压器存在带负载能力差,随着被测变比值的减小感应分压器误差明显增大(尤其变比值为1时),精度达不到要求;检测中改变变比值、分辨率或组别连接都要手动切换多个机械开关,工作效率低,且容易出错;同时目前市场上该类产品可预置变比值数量少,不能满足JJG970-2002变压比电桥检定规程要求^[1-2]。

本文介绍一种以C8051F023单片机+CPLD平台为

核心的变压器变比组别测试仪检定装置,可同时变压器变比组别测试仪进行多个项目的检定:检定其变比测试时的变比精度;检定其组别测试时的变比精度及组别连接的正确性(包括Z形组别),此外还可以检定分辨率。它具有精度高,可预置变比值数量多,全自动操作等特点,可以解决变压器变比组别测试仪检定工作中存在的问题。

1 原理及功能概述

变压器变比组别测试仪检定装置由液晶触摸屏、控制板、切换板、变比电压互感器、分辨率电压互感器、组别电压互感器及电源模块等部分组成,系统结构见图1。

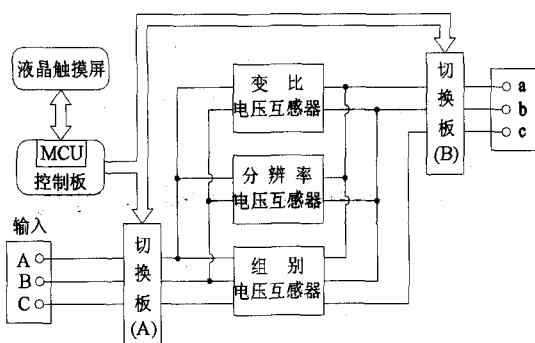


图1 系统结构框图

Fig.1 System structure diagram

由于单级电压互感器在小变比值时准确度等级较低,为保证系统整体检测精度,变比电压互感器和组别电压互感器采用双级电压互感器结构,见图2^[3]。图中 N_{1s} 为一次励磁绕组, N_1 和 N_2 分别为一次和二次比例绕组。 N_{1s} 和 N_1 的匝数相等,即 $N_{1s}=N_1$ 。铁心 S_1 为辅助铁心,采用硅钢片绕制而成, S_2 为主铁心,采用导磁性能优良的坡莫合金材料。在 S_1 上绕好 N_{1s} 后,双铁心叠在一起绕 N_1 和 N_2 。

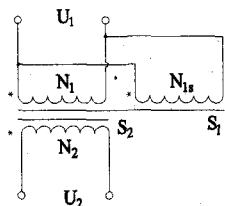


图2 双级电压互感器结构

Fig.2 Dual core structure voltage transformer

图2中,第一级是由铁心 S_1 与初、次级绕组 N_{1s} 和 N_2 所组成,第二级是由铁心 S_1 与 S_2 及绕组 N_1 和 N_2 所组成。在空载条件下,第一级电压互感器的空载误差为:

$$\varepsilon_1 = -\frac{I_{01}Z_{11}}{U_1} = -\frac{Z_{11}}{Z_{m1}} \quad (1)$$

式中 Z_{11} 、 Z_{m1} 分别为 N_{1s} 绕组的漏阻抗和激磁阻抗; I_{01} 为第一级电压互感器的激磁电流。

由于第一级电压互感器在铁心 S_1 中建立了磁通,故在 N_1 绕组中感应产生电动势 E_1 ,从而第二级电压互感器 N_1 输入端的施加电压为 U_1+E_1 。但由于 U_1 与 E_1 是方向相反的,故第二级电压互感器的空载误差为:

$$\varepsilon_2 = -\frac{I_{02}Z_1}{(U_1-E)} = -\frac{Z_1}{Z_{m2}} \quad (2)$$

式中 Z_1 、 Z_{m2} 分别为 N_1 绕组的漏阻抗和激磁阻抗; I_{02} 为第二级电压互感器的激磁电流。

由两级电压互感器复合之后的空载误差为:

$$\varepsilon_k = -\frac{I_{02}Z_1}{U_1} = -\varepsilon_1\varepsilon_2 = -\frac{Z_{11}Z_1}{Z_{m1}Z_{m2}} \quad (3)$$

由此可知,由 N_1 与 N_2 绕组构成的比例绕组,其空载误差远小于单级电压互感器的空载误差。

变压器变比组别测试仪二次输入端内接100 kΩ电阻,二次接负载后,双级电压互感器的负载误差如下:

$$\varepsilon_f = -\frac{I_2'(Z_1+Z_2')}{U_1} = -\frac{I_2}{k} \frac{(Z_1+Z_2')}{U_1} = -\frac{1}{k^2} Y_2 (Z_1+Z_2') \quad (4)$$

式中 I_2' 为折算到一次的二次绕组电流; Z_2' 为折算到一次的二次绕组漏阻抗; I_2 为二次绕组电流; $k=U_1/U_2$,即双级电压互感器变比值; Y_2 为二次负载导纳。

双级电压互感器带负载后的总体误差如下:

$$\varepsilon_{\Sigma} = \varepsilon_k + \varepsilon_f \quad (5)$$

感应分压器的负载误差计算公式与双级电压互感器相同,由公式可知, $\varepsilon_f \propto 1/k^2$,当 $k=1$ 时, ε_f 最大。同时由于感应分压器不考虑带负载问题,绕组线径小, Z_1 较大, ε_f 非常大,从而导致在检测小变比值时,感应分压器精度达不到要求。本系统中双级电压互感器设计充分考虑带负载情况,绕组线径大, ε_f 较小,从而保证整体精度达到0.01%。

变压器变比组别测试仪检定装置有变比测试、分辨率测试、组别测试等功能,各功能原理及技术参数分述如下。

1.1 变比测试

原理图见图3,系统自动切换控制板上的继电器J、K,改变变比电压互感器的一、二次绕组匝数,从而改变 U_{AB}/U_{ab} 的比值。系统预置1、2、...、10、20、...、100、200、...、1000、2000、...、10000共37个变比值,整体精度达到0.01%。

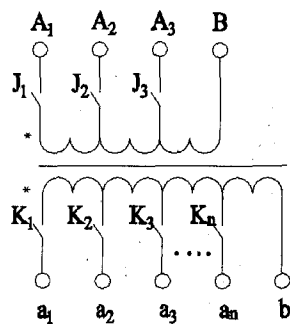


图3 变比测试原理图

Fig.3 Ratio test principle diagram

1.2 分辨率测试

原理与变比测试相同，提供10.001、10.002、...、10.099共99个变比值。

1.3 组别测试

系统自动切换控制板上的继电器，改变组别电压互感器的一次绕组及二次绕组连接方式，从而提供相应组别连接的标准输出电压信号。系统预置10、100、1000变比值及 D/d_0 (2、4、6、8、10)、 Y/y_0 (2、4、6、8、10)、 D/y_1 (3、5、7、9、11)、 Y/d_1 (3、5、7、9、11)、 D/z_0 (2、4、6、8、10)、 Y/z_1 (5、7、11)共34种组别测试，整体精度达到0.01%。

2 系统硬件设计

控制板核心采用C8051F023单片机和CPLD相结合平台^[4-6]，两者间通过数据线 $A_0 \sim A_8$ （单片机的P3.0~P3.7引脚）及地址线 $D_0 \sim D_4$ （单片机的P2.0~P2.3引脚）连接。经CPLD译码后的输出信号采用光耦隔离芯片TLP521-4，减小外部信号对系统的干扰，原理框图见图4。C8051F02X系列嵌入式控制器采用流水线技术，执行速度大大提高，兼容MCS-51的指令系统，支持JTAG调试与下载功能，片内集成大量接口，具有较强扩展功能。CPLD编程采用Verilog Hdl硬件描述语言，它以文本形式来描述数字系统硬件的结构和行为，可以表示逻辑电路图、逻辑表达式，还可以表示数字逻辑系统所完成的逻辑功能。

为提高系统的抗干扰能力，控制板采用四层电路

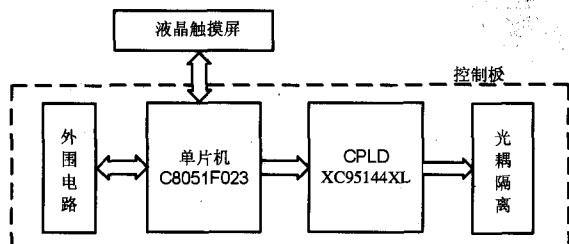


图4 控制板原理框图

Fig.4 Control board principle diagram

板结构，同时采取以下抗干扰措施：

(1)布线时尽量减小回路环面积，以降低感应噪声。电源线和地线尽量粗，减小线路压降，同时降低耦合噪声；

(2)单片机闲置I/O口，通过电阻接电源或地，避免悬空。其它芯片闲置端在不改变系统逻辑的情况下接地或接电源；

(3)单片机采用电源监控及看门狗电路。

切换板共有98个继电器，继电器切换采用ULN2803芯片驱动，芯片内部为8个NPN达林顿晶体管，工作电压高，工作电流大，其灌电流可达500mA，带负载能力强。原理见图5，当P1端口为高电平时，经ULN2803芯片反向输出低电平，J1线圈通电后继电器吸合。为降低电压互感器二次回路压降，保证整体精度，电路板上走线尽量加粗。

单片机通过串口与液晶触摸屏通信，该液晶触摸屏采用DYM800核心板，为多层电路板设计，安全可靠。该核心板可以用来驱动所有TTL接口的真彩液晶屏，支持最大分辨率为1024*708，最多支持24位色。内置有中英文字库，显示预置的位图，支持JPG和BMP格式。

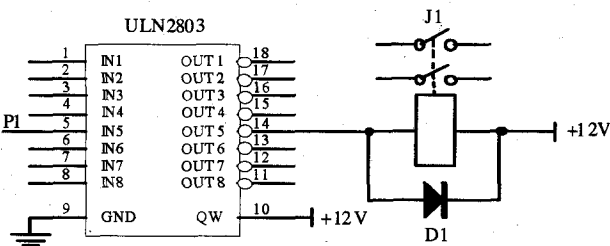


图5 继电器驱动原理图

Fig.5 Relay driver principle diagram

3 系统软件设计

软件模块主要是程序采用串口通信协议接收来自液晶触摸屏的操作指令后，发出相应的显示命令，并根据接收的操作指令，将数据线和地址线相应位置高、低电平，经CPLD芯片译码，通过继电器驱动电路使相应继电器吸合，软件流程见图6。变比测试及分辨率测试时，液晶触摸屏主要显示变比值或分辨率值等文字信息，被选中变比值或分辨率值闪烁。组别测试时，液晶触摸屏不仅显示组别连接方式、输入输出电压比值等文字信息，同时显示装置内部组别电压互感器接线图、输入电压及输出电压矢量图等图片内容。

4 测试数据

变压器变比组别测试仪检定装置已研制完成，并顺利通过国家高电压计量站检定，部分检测数据见表1。根据数据分析可知：变比电压互感器在二次绕组带

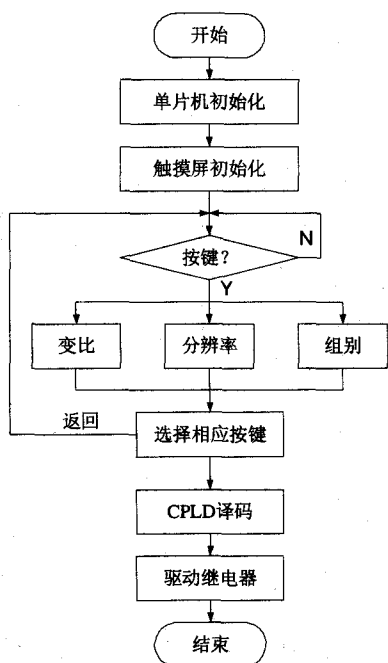


图6 软件流程图

Fig.6 Software flowchart diagram

负载 $100\text{ k}\Omega$ ，功率因素为1的条件下，变比值在1~10000范围内整体精度达到0.01%；在同样测试条件下，组别电压互感器在变比值为10、100、1000时，整体精度满足0.01%要求。

表1 检测数据

Tab.1 The detecting data

变比值		误差	80	100	120	二次负荷	
						kΩ	cos φ
变 比 电 压 互 感 器	1	<i>f</i> (%)	-0.006	-0.006	-0.006	100	1
		<i>δ</i> /(′)	-0.05	-0.06	-0.06		
	10	<i>f</i> (%)	-0.003	-0.003	-0.004	100	1
		<i>δ</i> /(′)	-0.03	-0.05	-0.06		
	100	<i>f</i> (%)	-0.001	-0.001	-0.001	100	1
		<i>δ</i> /(′)	-0.01	-0.01	-0.02		
	1000	<i>f</i> (%)	-0.001	-0.001	-0.001	100	1
		<i>δ</i> /(′)	-0.03	-0.03	-0.05		
	10000	<i>f</i> (%)	-0.001	-0.001	-0.001	100	1
		<i>δ</i> /(′)	-0.01	-0.01	-0.01		
组 别 电 压 互 感 器	10	<i>f</i> (%)	-0.004	-0.005	-0.005	100	1
		<i>δ</i> /(′)	-0.04	-0.04	-0.05		
	100	<i>f</i> (%)	-0.002	-0.002	-0.002	100	1
		<i>δ</i> /(′)	-0.01	-0.01	-0.02		
	1000	<i>f</i> (%)	-0.001	-0.001	-0.001	100	1
		<i>δ</i> /(′)	-0.05	-0.06	-0.06		

5 结束语

与目前市场上同类产品相比，变压器变比组别测试仪检定装置有以下几个创新点：

- (1)集变比测试、组别测试、分辨率测试于一体，采用触摸屏操作显示，使用方便；
- (2)提高变比电压互感器和组别电压互感器准确度等级，整体检测精度达0.01%；
- (3)可检变比值数量达37个，满足规程要求；
- (4)用继电器替代传统机械开关，实现自动控制，提高检测效率，降低劳动强度。

参考文献

- [1] JJG 970-2002, 变压比电桥检定规程[S].
- [2] JJG 314-2010, 测量用电压互感器[S].
- [3] 赵修民. 高压双级电压互感器的研究[J]. 电测与仪表, 1993, 30(2).
- SAO Xiu-min. The Research of High Voltage Dual Core Structure Voltage Transformer[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 1993, 30(2).
- [4] 晁阳. 单片机MCS-51原理及应用开发教程[M]. 北京:清华大学出版社, 2007.
- [5] 张迎新. 单片机初级教程 [M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2000.
- [6] 潘琢金, 施国君. 单片机MCS-51原理及应用开发教程[M]. 北京:清华大学出版社, 2007.

作者简介:



吴宏斌(1967-),男,本科,湖北武汉人,大学本科,主要从事精密互感器设计工作。Email:hb_wu@126.com

李原(1981-),男,本科,湖南岳阳人,大学本科,主要从事仪器仪表设计工作。

邓德勇(1978-),男,本科,湖北仙桃人,大学本科,主要从事仪器仪表设计工作。

魏华(1979-),男,本科,湖北监利人,大专,主要从事精密互感器调试工作。

收稿日期:2011-06-02

(杨长江 编发)