

适用于新标准的断路器机械特性测试装置

武建文¹, 白洪超¹, 张丹丹¹, 张恩学²

(1. 北京航空航天大学, 北京 100083; 2. 宝鸡宝光电气设备有限公司, 陕西 宝鸡 721006)

Circuit-breaker Mechanical Characteristics Test Device Conforming to the New GB Standard

WU Jian-wen¹, BAI Hong-chao¹, ZHANG Dan-dan¹, ZHANG En-xue²

(1. University of Beihang, Beijing 100083, China; 2. Baoguang Electric Apparatus Co. Ltd., Baoji 721006, China)

摘要: 针对新标准对断路器机械特性检测的要求提出一种断路器机械特性检测方案; 介绍了硬件系统的总体设计及关键电路; 在软件上对动作时间的确定及曲线比较给出实现算法。实验结果表明, 该测试仪方便了新标准情况下的断路器机械特性的定性和定量分析, 测试精度高达 1%。

关键词: 测试仪; 机械行程特性; 国家标准; 断路器
中图分类号: TM561 文献标识码: B

Abstracts: A way to test mechanical characteristics of circuit breakers is put forward in accordance with the requirements of the new GB standard. The whole principle and key circuits of the hardware system are introduced. In software, algorithms are provided to ascertain action time and to compare the curve. The test results show that the test device can be conveniently used in qualitative and quantitative analysis of the mechanical characteristic under new GB standard, measurement accuracy is up to 1%.

Key words: test device; mechanical travel characteristic; GB; circuit-breaker

0 引言

断路器是配电系统的核心元件, 早在 20 世纪 70 年代, 发达工业国家已经着手于断路器外部诊断技术的研究^[1], 包括获取信号、信号处理和识别。能定量分析断路器特性参数和曲线的测试仪成为高压断路器现场维护和检测的有效工具。

国家标准 GB 1984-2003^[2] 根据 IEC 62271-100:2001 标准对原国标 GB 1984-1989 作了较多的修改, 对多个试验方法提出了更为明确的规定, 其中增加了参考的机械行程特性等要求。

根据新的国家标准规定, 在断路器型式试验前后都应记录空载机械行程特性^[2], 以便于比较试品性能变化, 目前国内生产的断路器机械特性测试仪,

多数不具备参考曲线记录及曲线比较功能, 并且由于存在测试效率、连接方式、需要改变试品装配状态等问题从而限制了使用范围, 为此, 研制一种性能更优的测试仪很有必要。

1 测试仪硬件系统的构成

1.1 硬件结构框图

测试仪的基本功能包括触头开关状态、运动行程特性、时间特性、线圈电流的自动测量以及分合闸控制功能、显示功能、打印功能、存储功能。在测试仪面板上通过 LCD 液晶和触摸按键可完成参数设置, 可以单独显示参考曲线、测试曲线, 并且给出两曲线比较的最大误差值, 测试仪还具有与上位机通讯功能, 在上位机上也可以显示测试曲线、参考曲线和 2 条测试曲线的比较图。采用特殊的接插件技术及先进的行程传感器, 使得测试仪外型小巧, 便于携带和安装。图 1 为系统总体框图。

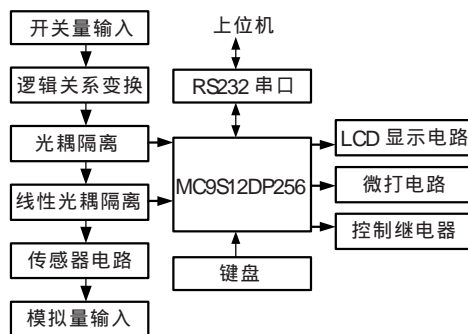


图 1 系统硬件结构框图

1.2 测试仪主要硬件电路

(1) 测试仪控制单元采用 MC9S12DP256 型高性能 16 位单片机, 该单片机具有丰富的 I/O 功能, 包括 49 个数字 I/O 通道、两路 SCI 通道、8 路 16 位

收稿日期: 2006-01-04; 修回日期: 2006-03-13

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50477002); 航空基础科学基金资助项目(05F51021)。

作者简介: 武建文(1963-), 男, 教授, 博士, 从事智能电器控制及电气系统配电自动化的研究。

定时器及两个 8 通道 10 位的 A/D 转换器等, 可完成模拟信号的输入和转换, 不需外扩电路, 有增强捕捉功能的定时器可实现精确计时, 总线频率高达 25 MHz。单片机内部有 4 kB 的 EEPROM, 256 kB 的 FLASH 和 12 kB 字节的 RAM, 可实现测试仪所需数据测试、保存、参数计算、曲线显示、打印及与上位机通讯等要求, 256 kB 的 FLASH 保存分、合闸参考曲线及多组测试曲线数据。

(2) 触头状态采集电路

测试仪的系统接线见图 2。触头的开闭状态是通过测量图中的 A-a、B-b、C-c 两端的电阻实现的。断路器的并联电阻的取值范围通常是 $10 \sim 3k$ 。测量电阻 R 小于 10 时为两个触头均闭合状态; 测量电阻 R 介于 $3k$ 和 10 之间时为主触头闭合、并联电阻触头打开状态; 测量电阻 R 大于 $3k$ 时为主触头开断状态。采用比较电路将测量电阻与 10 及 $3k$ 标准电阻比较, 可得到触头的开闭状态, 输出结果为高低电平, 通过光耦隔离作为单片机 I/O 口输入, 单片机从输入值即可得知触头状态, 同时也测得主触头与并联电阻触头配合时间。触头状态采样电路见图 3。

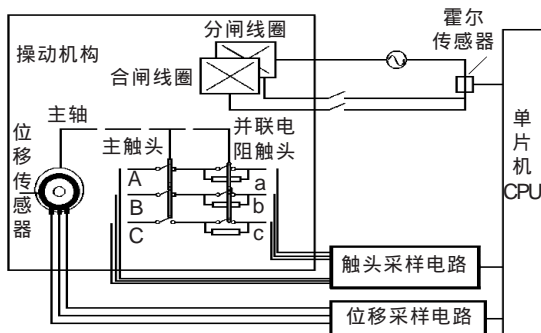


图 2 系统接线图

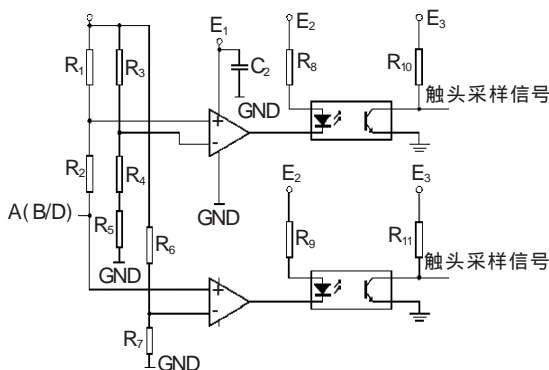


图 3 触头状态采样电路

(3) 时间特性、运动行程特性测试

测试项目包括触头开距、超行程、分/合闸时间、分/合闸同期性、自动重合闸时间, 金属短接时间, 合闸三相触头弹跳量、分闸反弹幅度、刚分/刚合速度、最大分闸速度、平均合/分闸速度等。

位移传感器要求体积小, 精度高, 易于安装, 适应性强。光栅传感器精度可达 μm 级, 但大多数光栅传感器的测量速度小于 $1 m/s$ [3]。激光三角位移传感器体积小, 频响能达到 $10 kHz$, 符合断路器测试要求, 但价格昂贵。基于以上原因, 采用电阻式位移传感器, 包括直线式和旋转式两种。直线变阻式传感器拥有线性特性, 几乎不受运动速度的限制, 线性度为 $\pm 0.2\%$, 动作寿命可达 100×10^6 次, 完全能满足使用要求, 但是多数中高压断路器由于结构关系, 直线式位移传感器安装不便, 有时要将断路器传动机构拆开使其固定在机构上, 破坏了被测装置的工艺特性, 测试完毕后恢复不当, 还会造成故障。为此本测试装置采用旋转式位置传感器, 用永磁铁经过巧妙设计固定在转轴上, 安装方便、可靠。为克服断路器动作过程中对行程测量的干扰, 对行程信号采用高精度隔离放大器进行隔离等软硬件抗电磁干扰措施。

(3) 线圈电流测试

测试仪采用霍尔电流传感器进行分合闸线圈电流的测量, 该传感器能够适用于断路器的交直流操作, 精度高、线性度好、响应快、频带宽且过载能力强。

对交流操作的断路器, 霍尔传感器输出信号为交流信号, 不能直接作为单片机 A/D 口的输入, 若将信号抬高 $2.5 V$, 将会损失精度, 于是采用绝对值电路求出电流的绝对值, 再利用符号电路获取电流的正负信息。

由于断路器的合闸线圈和分闸线圈不会在同一时刻工作, 因此采用一个霍尔传感器就可以完成对分、合闸线圈电流 I_d 和 I_c 的采集工作, 见图 4。

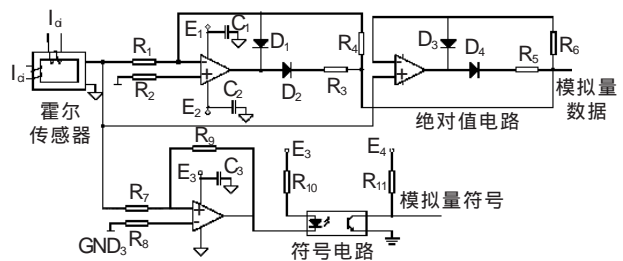


图 4 线圈电流采样电路

2 测试仪软件实现

2.1 动作时间的确定

测试仪采集的是触头开闭状态特性、位移特性, 通过数据处理确定动作时刻及各时间参数, 并计算出速度参数。

(1) 从文 [2] 中分、合闸时间的定义可以看出, 分、合闸时间的起始点就是分、合闸线圈刚带电的时刻, 因此在软件处理上需要确定启动电流的阈值, 该阈值的大小影响着计算精度, 在确定时必须综合考虑抗干扰及精度要求。分、合闸时间计算的终止点可由触头的状态变化来确定。

(2) 测试装置用触头刚分开位置与分闸终止位置之差来计算触头开距。合闸测试中用触头初始位置与刚合位置之差计算开距。触头闭合后机构继续走的行程就是断路器的超行程，实际计算中以行程最高点与刚合位置之差计算超行程。

(3) 目前，对于分闸速度的测试区段各不相同，有的规定为全开距，有的规定为从刚分到接触缓冲器前，有的规定为分后的一定区段，市场中的断路器测试仪大都采用第 2 种方式。这种测试方式的缺点是测试区段包含位移曲线的非线性段，不能真正体现线性段的平均分闸速度，合闸速度的测试与这种方式大体相同。于是选择采用第 3 种方式，规定测试区段的起始位置为上位点和下位点，并且上位点和下位点的位置是可以通程序来控制，程序中默认的上位点为行程的 90%而下位点默认为行程的 10%，这样中间的 80%区域被默认为是线性区段，对于性能特殊的断路器可以根据测的实验曲线设置不同上位点和下位点，使得测量的速度更加真实。

2.2 曲线采集和与参考曲线比较

测试仪可完成数据采集、处理、曲线比较等功能。测试仪对位移量以 10 kHz 的频率进行采样，即采样时间间隔为 0.1 ms，测试仪配置的液晶显示屏为 240 x 128 像素。以合闸操作为例，从合闸线圈得电到触头的稳定所经历的时间大约是 10 ~ 100 ms，也就是说大约有 100 ~ 1 000 个数据为有效数据，在图形显示时仅显示有效数据，同时采用图形处理的方法使有效数据均显示在屏幕上。

参考的机械行程特性可以取自于空载试验，参考特性曲线指的是分闸时的触头分离时刻和合闸时的触头接触时刻到触头行程终止时刻的运动行程曲线，包络线可以分为上包络、下包络和上、下包络 3 种情况，测试仪通过对测试曲线进行处理^[2]使得测试曲线与参考曲线在刚分或者在刚合时刻的位移量相等，通过比较刚分或者刚合时刻到稳定状态的一段曲线来计算测试曲线和参考曲线的误差值。正常的测试曲线应该在用户允许的包络范围之内，图 5 是对某真空断路器的测试特性曲线。

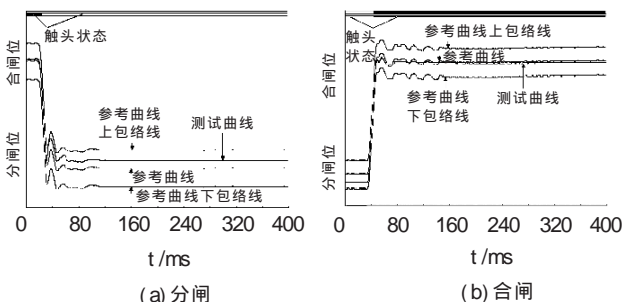
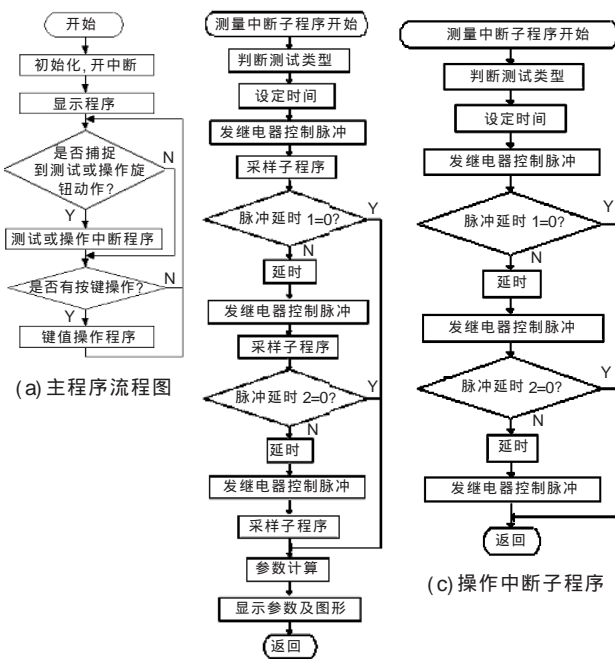


图 5 分闸与合闸操作的上位机界面

测试结果表明，此断路器的测试行程曲线是合格的，但是在分闸时测试曲线的合闸位较参考曲线的合闸位略偏高，说明测得的超行程偏大，而分闸位略偏低，说明测得的开距偏小；在合闸时测试曲线的分闸位较参考曲线的分闸位略偏低，说明测得的超行程偏大，而合闸位略偏低，说明测得的开距偏小。分、合闸的测试结果是一致的。

2.3 软件流程

程序设计和调试环境采用 CODEWARRIOR 软件，用模块化结构，由主程序、中断服务程序、数据处理程序、显示程序、打印程序和通讯程序等组成。图 6 为其程序流程图。



(a) 主程序流程图
(b) 测试中断子程序
(c) 操作中中断子程序
图 6 程序流程图

3 结语

该测试仪能够记录断路器的特性曲线和参考曲线，并显示两曲线的比对结果；其结果与多通道数据记录仪 (DL750) 的测试结果相比，误差不超过 1%；具有良好的抗干扰能力，分别通过了脉冲群、静电和浪涌的电磁兼容性实验；可方便地安装在多种型号的断路器上并成功地做了测试。该测试仪适用于断路器的现场维护及检测，可为用户提供较为精确的检测数据及判断依据。

参考文献:

[1] 黄瑜琰, 王旭昶, 王伯翰, 等. 一种高压断路器微机检测系统 [J]. 高压电器, 1995, 31(6): 58-60.
[2] GB1984-2003. 高压交流断路器[S]. 北京: 标准出版社, 2003.
[3] 魏本记. 对于高压真空断路器机械特性测试的探讨 [J]. 高压电器, 2004, 40(6): 223-225.