

基于 DSP 的断路器机械特性检测装置

赵怀军¹, 马鹏², 傅卫平², 程远贵³

(1. 西北工业大学, 陕西 西安 710072; 2. 西安理工大学, 陕西 西安 710048;
3. 中国电子科技集团公司第48研究所, 湖南 长沙 410111)

Detection Device for Mechanical Characteristics of Circuit Breaker Based on DSP

ZHAO Huai-jun¹, MA Peng², FU Wei-ping², CHENG Yuan-gui³

(1. Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China; 2. Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China;
3. 48th Research Institute of China Electronic Technology Group Corporation, Changsha 410111, China)

摘要:介绍了所研制的断路器机械特性检测装置,选用工控机、数字信号处理器(DSP)、振动传感器等设计了一套数据采集、处理系统,完成对其分合闸机械特性参数、过程曲线的自动测量、显示、存储查询及打印功能,检测功能全、速度快、精度高,可以将断路器诸多机械特性的测量集于一体,简化了测量过程。最后对其测量结果及适用性作了分析和评议。

关键词:断路器;机械特性;DSP

中图分类号:TP273.5

文献标识码:B

Abstract: This paper presents a detection device for mechanical parameter and characteristic of circuit breaker. With selecting industry computer, DSP, as well as vibration sensor etc., the data acquiring and processing system are designed. The functions of automatic surveying, displaying, saving and printing are accomplished for parameters and the process curve of circuit breaker. The device has many advantages, such as multifunction, high speed and high precision. The measurement of many mechanical parameters and characteristics of circuit breaker are integrated into one device, it simplifies the measurement process. Finally, the measuring results and the suitability of the device are analyzed.

Key words: circuit breaker; mechanical characteristic; DSP

0 引言

作为电网主要保护和控制设备的断路器,其动作可靠性是极为重要的^[1]。与断路器所保护的设备如发电机、变压器相比,单台断路器的价格要低得多。但是因断路器故障造成的损失,如引起其它电力设备(电容器、变压器等)的损坏或电力系统的停电,都远远超过断路器本身的价值,因此其工作可靠性对电力系统的安全运行具有十分重要的意义。而断路器的可靠性在很大程度上取决于其机械操作机构的可靠性。统计表明,实际运行中的故障(诸如拒

分、拒合、误分、误合等)大部分是机械操作机构故障,出厂成品的机械特性检验成为断路器质量保证的重要手段之一。

针对 VB2-12/1250-31.5 型真空断路器,采用 TMS320F2812DSP(简称 DSP2812)设计了一个断路器机械特性检测装置,利用 DSP2812 的高速运算能力,实现了以下功能:

(1)检测断路器动触头的时间-行程曲线,对多次测量所得结果进行最小二乘法曲线拟合,以此作为测试依据对断路器进行分析,计算出触头开距、刚合速度、刚分速度、固分时间以及全开断时间等。

(2)断路器的操动次数统计;与分合闸线圈有关的项目:线圈通路、线圈电流、线圈电压信息采集;真空断路器的真空度检测等。

1 系统设计

1.1 检测装置拓扑结构

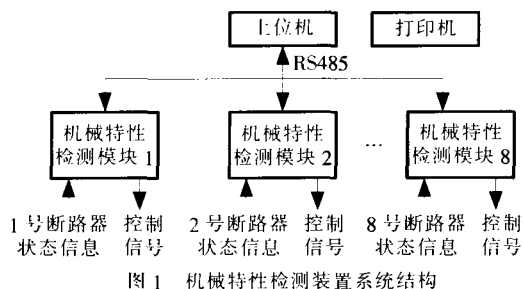
本检测装置分为上位机与下位机两部分,可同时完成 8 路断路器的测试,系统拓扑结构见图 1。上位机采用 DELL 工控机作为整个系统的高层管理设备,通过 VB 编程软件编制的上位机程序,结合 SQL Server 2000 数据库管理软件,完成对断路器检测过程的监视和管理,实现诸如报表打印,数据存储、查询,系统的启动、停止以及故障报警等任务,系统管理员也可以修改其他操作人员的操作权限,防止出现越权操作。下位机是独立设计的一个以 DSP2812 为核心处理器的断路器机械特性综合检测仪器,上位机与下位机之间的物理标准采用 RS485 接口,通信协议采用 Modbus,传输方式为 RTU 模式。

断路器状态信息(例如分合闸线圈电流特性,试验电压等级信号等)经下位机处理后上传给上位机以备工作人员监视、查询;同时工作人员也可以通过上位机对检测模块发出控制或者修改设置的指令,

收稿日期:2006-07-11; 修回日期:2006-08-01

作者简介:赵怀军(1969-),男,博士,主要从事过程检测及自动化方面的研究。

从而选择被试断路器的型号以及断路器试验的电压等级、检测内容等,并通过检测模块发出相应的控制信号完成检测。



1.2 主要传感器选取

针对断路器机械特性的检测^[2-5],需要测量的参量有3个,即动触头的行程-时间曲线、分闸线圈电流和合闸线圈电流。测量动触头的行程-时间曲线,最直接的方法是在动触头下或触头的绝缘拉杆下安装直线位移传感器。但是对于40.5 kV及以下电压等级的中压设备,其结构非常紧凑,在动触头和绝缘拉杆附近可以用来安装传感器的空间非常有限。而且传感器如装在动触头处还存在高电位隔离问题。考虑到断路器的动触头在分合闸过程中,其运动行程规律与主轴连动杆运动行程规律之间有着固定的联系,因而可以通过在主轴上安装角位移传感器测量断路器主轴的分合闸角位移-时间曲线,来间接得到动触头的直线位移-时间曲线。选用的角位移传感器型号为WDD35D-4,输出平滑性小于0.1%。

测量分、合闸线圈电流采用的是JT5-B型霍尔磁平衡式电流传感器,它的失调电流小于0.4 mA,响应时间小于1 μs,线性度达到0.1%,传感器安装于断路器分合闸操作回路之中,电流传感器的输出由信号调理电路转换为0~3 V电压信号输入DSP。

1.3 检测模块硬件设计

该检测模块分为主控板和接口板两部分,这种结构是为了系统的运用尽可能的灵活,仅需更换接口板和改变主控板的程序即可使装置适用于不同的测量要求,提高了系统的性价比。

检测模块主控板结构见图2,它是一个以DSP2812(自带16个A/D通道,片内Flash, RAM)为核心处理器的最简系统,其中模拟量调理电路部分共设计有6路电压调理电路,包括角位移传感器信号,直线位移传感器信号,三相线圈电压信号,断路器温度传感器电压信号;7路电流调理电路包括三相分闸、合闸线圈电流信号,断路器开断电流信号;1路频率测量调理电路,负责振动传感器信号的采集。电压、电流调理电路均有冗余设计,并且各个电压调理电路以及电流调理电路的功能均可以通过软件重新定义,因此当某一路调理电路出现故障时,可以用多余的调理电路来实现该电路的功能,当增加断路器的传感器时(例如温度信号传感器或者六氟化硫密度继电器),也可以将多余的调理电路或开关量接口定义为相对应的功能,增加了系统配置的灵

活性,所以对于其它型号的部分断路器,本装置依然适用。键盘利用电阻组合分压电路来实现,通过将不同的按键导通产生的相应分压值送进一个A/D转换通道来实现按键识别。数字量输入输出通道均通过光电耦合器隔离以防止干扰。

利用RS485接口,可以满足上位机与多台检测装置间的高速通讯要求。另外模块设计有CAN总线接口(见图2),所以检测装置作为断路器在线监测装置使用时可以通过CAN总线很方便地将多台检测装置组合为现场监控网络,软件设置同图1所示系统一样,对每一个检测装置均要设置站号且不能重复,在上位机软件中也要将对应的输入信息规定不同的站号。对于上传至上位机中包含有开关量信息的数据字节,在进行取位运算后,再根据该数据字节前的站号信息将该数据位的状态反映到监视画面对应的显示位置上;对于包含有模拟量信息的数据字节,上位机将字节中的数据位取出并进行数/模转换,然后显示到相同站号的对应位置上。

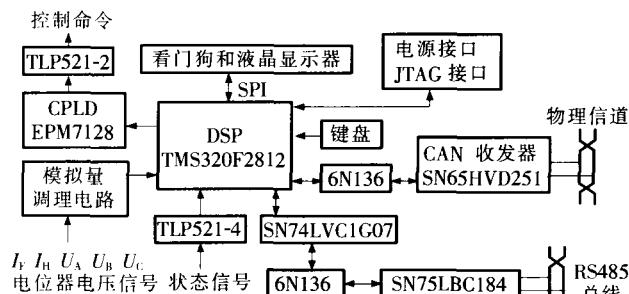


图2 检测装置下位机主板硬件结构

2 信号处理算法

2.1 角位移-时间拟合曲线确定

断路器在投入运行后,由于高压断路器的执行机构长时间使用,其连接机构会出现老化等问题,例如连接螺丝等的松动等,导致触头的运动变形,此时的拟合曲线就会产生偏移,因此本装置利用断路器出厂离线检测的拟合曲线作为断路器后期在线运行时的检测基准。

在离线状态下,采用FX15型差动变压器式传感器来确定与断路器动触头相连并且同步的绝缘拉杆的直线位移,同时采集角位移传感器的信号,通过两者的对比测量得到直线位移和角位移的对应关系,对多次测量的结果 $(x_i, y_i), i=0, 1, \dots, m$,采用最小二乘法进行拟合,得拟合多项式(1):

$$\varphi^*(x) = c_0^* \varphi_0(x) + c_1^* \varphi_1(x) + \dots + c_n^* \varphi_n(x) \quad (1)$$

用式(1)的系数 c_i^* 作为表达式的量化值存储到下位机检测装置中DSP内置的Flash存储器中,过程如下,令:

$$I(c_0, c_1, \dots, c_n) = \sum_{i=0}^m [\varphi(x_i) - y_i]^2 = \sum_{i=0}^m \left[\sum_{j=0}^n c_j \varphi_j(x_i) - y_i \right]^2 \quad (2)$$

由 $\partial I / \partial c_k = 0, k=0, 1, \dots, n$ 得:

$$\begin{bmatrix} (\varphi_0, \varphi_0) & (\varphi_0, \varphi_1) & \dots & (\varphi_0, \varphi_n) \\ (\varphi_1, \varphi_0) & (\varphi_1, \varphi_1) & \dots & (\varphi_1, \varphi_n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ (\varphi_n, \varphi_0) & (\varphi_n, \varphi_1) & \dots & (\varphi_n, \varphi_n) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_0 \\ c_1 \\ \vdots \\ c_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (f, \varphi_0) \\ (f, \varphi_1) \\ \vdots \\ (f, \varphi_n) \end{bmatrix} \quad (3)$$

式(3)中:

$$(\varphi_j, \varphi_k) = \sum_{i=0}^m \varphi_j(x_i) \varphi_k(x_i)$$

$$(f, \varphi_k) = \sum_{i=0}^m y_i \varphi_k(x_i)$$

当 $\varphi_0, \varphi_1, \dots, \varphi_n$ 线性无关, 即 $n < m$ 时, c_0, c_1, \dots, c_n 有唯一解: $c_j = c_j^*$ ($j=0, 1, \dots, n$), 从而得到拟合系数。在试验过程中发现, 增加 m 可以提高曲线拟合的精度, 但同时也增加了计算的复杂度。实际情况表明, 当 $m=20$ 时, 拟合曲线足以反映对应关系的局部细节情况, 但是为了进一步提高系统精度, 同时也考虑到所选用 DSP2812 快速的数据处理能力, 实际设置 $m=25$ 。

由动触头的直线位移曲线可以算出触头开距、合闸速度、分闸速度等机械特性参数。通常情况下, 分合闸速度用某一行程区间内动触头的平均速度来表征。对于不同型号的断路器, 所选取的行程区间也不相同, 因此为了增加装置的通用性, 程序设计为可以人工设定此处的行程区间大小。

2.2 触头刚分/刚合时刻确定

在角位移-时间曲线中并不包含触头刚分/刚合时刻的信息, 但是触头刚分/刚合时刻对断路器分合闸速度、分合闸时间和触头行程的计算都至关重要。考虑到断路器分合闸时刻会产生较强的振动信号, 因此在离动触头较近的绝缘拉杆底部安装一个振动传感器来提取断路器分合闸时刻的振动信号。

振动信号形式上和声音信号相同, 但是断路器的振动信号属于瞬态的非平稳信号, 因此无法直接从中提取断路器刚分/刚合时刻的信息, 参考语音信号处理中常用的时域分析方法——短时能量法^[6], 在系统所采用的 DSP2812 处理器高速数据处理能力的基础上, 设计了一个全新的分析方法——长短时能量法。即仍然采用能量积分的方法, 选取合适的窗函数对断路器振动信号进行短时能量分析, 但是当只用一个窗函数进行分析的时候, 增加窗长可以提高短时能量分析结果的幅值, 但同时也降低了提取事件起始时刻的精度。因此为了提高装置的检测精度, 本处采用的长短时能量法用一个短窗长的窗函数来提取断路器分合闸起始时刻, 由此带来的问题就是可能将随机的一些干扰也误认为是断路器的开合信号, 为了区别这种情况, 在用短窗进行能量分析的同时再用一个长窗的窗函数进行能量分析, 当长窗函数分析所得结果的能量幅值满足要求时, 则可以认为由短窗函数分析所得的开合时刻有效, 否则认为是干扰信号。振动信号的短时能量可表示为:

$$E_n = \sum_{m=-\infty}^{\infty} [x(m)w(n-m)]^2 = \sum_{m=n-N+1}^n [x(m)w(n-m)]^2$$

其中: N 为窗长; $w(n-m)$ 为窗函数, 由于汉明窗具有较大带宽和较快带外衰减速度, 且对输入信号的失真也小, 所以利用汉明窗对振动信号进行能量分析, 其形式为:

$$w(n) = \begin{cases} 0.54 - 0.46 \cos\left(2\pi \frac{n}{N-1}\right) & 0 \leq n < N \\ 0 & \text{其它} \end{cases}$$

断路器振动信号接入检测装置的频率信号输入口中, 经频率调理电路处理后同时输入 DSP2812 的两个采样保持器中。程序设置 DSP2812 的 A/D 转换模块的采样模式为同步采样模式^[7], 使采样保持器 A 和采样保持器 B 同时对输入信号在对应的窗长范围内进行采样, 然后分别对两组采样数据进行处理。试验发现, 由于振动信号的频率成分主要是低频分量, 在 ADC 时钟配置为 40 kHz, 短窗长取为 20, 长窗长取为 100 时, 能够有效地分辨出合分闸信号和随机干扰信号 (此处干扰信号采用轻击断路器的方式提供)。相对合闸信号来说, 分闸信号由于没有触头碰撞, 所以分闸振动的幅值要比合闸碰撞产生的振动小, 但是对 DSP 的有效配置保证了对这些信号的采集, 同时由于采用长短汉明窗的短时能量积分法, 有效地避免了随机信号的干扰。

3 结语

断路器的机械特性直接影响其开断与关合性能以及使用寿命, 是其重要的技术参数。在设计、安装及维修调试中, 均要对这些参数进行测试。通过采用一些新型的器件和合理的软件设计思想, 开发出一套实用的系统, 在断路器多参量综合检测方面做了有益的探索和尝试。本装置利用下位机模块优异的数据处理能力完成对断路器机械特性的检测, 不论是动态响应特性还是测试精度都较传统的测试装置有很大的提高; 通过上位机, 本装置完成了对测试数据的显示、纪录以及查询等功能, 并且能够与下位机一起完成自动测试以及控制的功能, 具有较好的应用前景。

参考文献:

- [1] 苑 舜. 真空断路器操作机构的设计与优化 [M]. 北京: 中国电力出版社, 1997.
- [2] 陈 勇. 断路器机械特性及参数检测装置 [J]. 组合机床与自动化加工技术, 2005(11): 47-49.
- [3] 沈 力, 黄瑜珑, 钱家骊. 高压断路器机械状态监测的研究 [J]. 中国电机工程学报, 1997, 17(2): 113-117.
- [4] 黄瑜珑, 钱家骊. 高压断路器机械状态的监测 [J]. 清华大学学报, 1998, 38(4): 75-81.
- [5] 陈建宏. 高压断路器分合过程采集和处理系统的研究 [D]. 武汉: 华中科技大学, 1998.
- [6] 张雄伟, 陈 亮, 杨吉斌. 现代语音处理技术及应用 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.
- [7] 苏奎峰. TMS320F2812 原理与开发 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.