

高压真空断路器机械特性在线监测系统研制

赵 洋, 刘汉宇, 曾庆军

(江苏科技大学电子信息学院, 江苏 镇江 212003)

摘要: 介绍了一种基于 DSP 和 LabVIEW 的高压真空断路器机械特性在线监测系统的开发新方案。以 DSP 作为下位机数据采集系统的核心, 上位机管理系统软件以 LabVIEW 作为开发平台, 采用 CAN 总线将 DSP 采集的数据传至上位机进行分析处理。研制开发的高压真空断路器机械特性在线监测系统具有界面友好、操作简单、功能齐全和扩展方便等特点。

关键词: 高压真空断路器; 机械特性; 在线监测

中图分类号: TM561

文献标志码: A

文章编号: 1001-1609(2009)06-0091-05

Study on On-line Monitoring for Mechanical Characteristics of High Voltage Vacuum Circuit Breaker

ZHAO Yang, LIU Han-yu, ZENG Qing-jun

(School of Electronics and Information, Jiangsu University of Science and Technology, Zhenjiang 212003, China)

Abstract: A new development program of on-line monitoring system for mechanical characteristics of high voltage vacuum circuit breaker based on DSP and LabVIEW is introduced. It takes DSP as the core of data acquisition system and LabVIEW as developing platform of the management software. The data acquired by DSP are transmitted to host PC through CAN-bus for further analysis and processing. The designed on-line monitoring system is friendly to use, simple to operate, complete in function and easy to expand.

Key words: high voltage vacuum circuit breaker; mechanical characteristics; on-line monitoring

0 引言

高压断路器是开关电器中最为重要的一种电器, 在电力系统中肩负着控制和保护设备的双重作用。其运行的可靠性直接关系到电力系统的安全运行。国际大电网会议(CIGRE)对高压断路器可靠性所做的两次世界范围的调查, 以及国家电力科学研究院对高压开关事故的统计分析表明^[1], 80%的高压断路器故障是由于机械特性不良造成的, 且大多数故障是操动机构的问题。加强高压断路器机械特性的在线监测对保证高压断路器的安全运行具有重要的现实意义^[2-4]。近年来, 高压真空断路器因其适合频繁操作, 灭弧能力强、电气寿命长、检修维护工作量小、运行可靠性高等优点在实际中得到了广泛的应用。因而对于高压真空断路器机械特性的研究尤为重要。近十几年来, 国内一些单位和厂家开展了断路器机械特性监测和故障诊断方面的工作。1992

年, 吉林电业局曾立项“断路器机械特性的监测”; 1994年, 中国电力科学研究院研制成功KZC-1型高压断路器在线监测仪, 并且在现场经试运行通过考核; 1995年, 清华大学高压教研室研制了CBA-1型高压断路器机械参数测量分析系统, 该系统可以监测分、合闸线圈电流、行程—时间特性曲线及振动信号。此时的研究工作主要是围绕着断路器状态检修进行的。随着研究的深入, 先后生产了一些高压断路器机械特性在线监测装置, 不过都存在只能对其中的一个或几个机械特性参量进行监测的问题, 检测结果的适用性和部分功能的检测方法仍然不够理想。目前国内还没有完善的针对断路器机械特性的状态监测系统^[5]。

笔者以BPC-12/1250-31.5型配永磁操动机构的高压真空断路器为研究对象, 介绍一种新型的基于DSP和LabVIEW的高压真空断路器机械特征在线监测系统。

收稿日期: 2009-07-12

基金项目: 江苏省科技攻关计划项目(BE2006086)。

作者简介: 赵洋(1981), 男, 硕士研究生, 研究方向为智能控制与智能系统。

1 高压真空断路器机械特性在线监测系统总体结构

高压真空断路器机械特性在线监测系统的总体结构见图1。该系统主要由上位机、下位机和传感器等3大部分组成。其中上位机管理系统软件由LabVIEW开发,主要完成高压真空断路器机械特性参数的显示和信号分析处理功能,下位机硬件平台采用TMS320F2812DSP,其外围由硬件电路组成,用于对高压真空断路器机械特性参数、分、合闸电流信号和振动信号进行采集。下位机将从传感器采集到的数据通过CAN总线传输给上位机进行显示和分析处理。

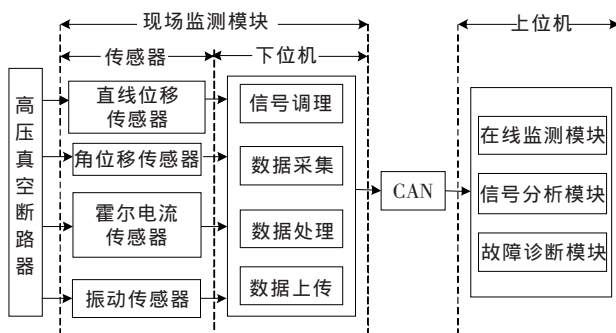


图1 高压真空断路器机械特性在线监测系统总体结构

2 传感器的选型

根据一般在线监测系统的监测目标和内容^[6],结合目前掌握的技术水平,综合考虑工程可实现性和技术经济指标,确定高压真空断路器机械特性在线监测系统的监测项目主要包括3方面:动触头行程-时间特性、分、合闸线圈电流信号和操作振动信号。

动触头行程-时间特性采用电阻式位移传感器进行测量。其基本原理是:通过测量电阻的电流或电阻两端电压的变化来判断断路器动触头的运动过程。根据测量方式的不同,电阻传感器又可分为直线位移传感器和角位移传感器两种。直线位移传感器体积较大,常常受到安装空间和安装位置的限制。由于断路器在分、合闸过程中,动触头的行程与主轴转动角度之间有一定的对应关系,通过测量主轴的角位移曲线,可间接获得动触头的直线位移曲线^[7]。

有文献指出^[8,9],通过同时使用直线位移传感器和角位移传感器的对比测量(直线位移传感器安装在断路器动触头绝缘拉杆的底部,角位移传感器安装在断路器的主轴上)发现,主轴角位移和动触头直线位移的关系保持良好,即利用角位移曲线能够很好地反映直线位移的变化情况。

电阻式位移传感器具有精度高、寿命长、线性度

好等优点。尤其对于角位移传感器,由于其体积小,有效地解决了安装困难的问题。基于以上原理,综合采用直线位移传感器和角传感器进行行程-时间特性的测量。其中直线位移传感器选用WDL-25-2直滑式导电塑料电位器。角位移传感器选用WDD35D-4型角位移传感器。这两种传感器具有机械寿命长、抗冲击能力强、价格低廉等优点,完全满足断路器机械特性在线监测的要求。

配永磁操动机构的高压真空断路器一般使用直流电磁铁作为操作的第一级控制元件。当线圈中通过电流时,动铁心受磁力吸引,使断路器分闸或合闸。分、合闸线圈的电流中含有可作为诊断机械故障使用的丰富信息,它可以反映的状态有铁心行程、铁心卡滞等。通过对分、合闸操作线圈动作电流的监测,可以大致了解断路器二次控制回路的工作情况及机械操动机构状况等,为检修提供一个辅助判据。因此,分、合闸线圈的电流也是断路器状态监测的一个重要内容。

通常选用霍尔电流传感器监测电流信号。霍尔传感器精度高,线性度好,动态性能和电气性能也较好,而且体积小,分、合闸电磁铁线圈引线穿芯而过,不会对高压断路器的主系统的正常运行造成影响。采用YDG-HSD型霍尔传感器,其工作原理是基于磁场平衡的原理,即被测电流在聚磁环所产生的磁场,通过一个次级线圈的电流产生的磁场进行补偿,使霍尔器件处于检测零磁通的工作状态。YDG-HSD型霍尔电流传感器具有精度高、线性度好、动态性能好、工作频带宽、抗过电压瞬时过流能力强和可以测量任意波形的电流等优点。采用该传感器完全可以满足高压真空断路器分、合闸线圈电流波形测量的要求。

高压真空断路器操作过程中,机械零部件间的碰撞或摩擦会引起振动。高压真空断路器的机械振动信号是一个包含丰富信息的载体,它含有大量的设备信息状态。其时域和频域响应特性,揭示了各个较大的振动过程与断路器内部主要机械部件运动冲击的对应关系,各个振动事件出现的顺序是不变的。断路器机械状态的改变将导致振动信号的变化,这是利用振动信号作为故障诊断依据的理论基础。通过对振动信号进行处理,可以识别振动事件,从而找出故障源。具体做法是在断路器适当部位,如具有较大的振动强度,较大的信噪比的部分,安装振动传感器,当断路器进行分、合闸操作时,采集振动信号经处理后作为故障诊断的根据。

振动信号的获取一般通过振动传感器获得。常

用的振动传感器主要有压电式振动传感器和磁阻式振动传感器等。与普通压电式振动传感器相比,磁阻式振动传感器的分辨率和灵敏度更高,频率响应宽,寿命长,并且对环境的要求低。其原理是当振动体在传感器敏感的测量方向上振动时,传感器的敏感元件产生相应的强制振动。振动产生的信号使磁敏元件产生电阻变化,导致输出电压产生相应的变化。经电路处理放大后,输出与振动相似的(频率和幅度大小)电压变化的波形信号。笔者选用 ZD24T 型磁阻式振动传感器,该传感器采用高性能的磁敏电阻作为敏感原件,体积小,频率响应宽,寿命长,具有高分辨率和高灵敏度。工作电压为直流 12 V,无振动时输出为近似 4 V 直流电压,有振动时,输出是叠加在直流电压上的交流信号。

3 系统硬件设计

本系统下位机硬件平台采用美国 TI 公司的高性能数字信号处理器 TMS320F2812 作为核心处理单元,扩展外围功能电路,主要包括:模拟量输入调理电路、JTAG 接口电路、时钟模块、电源模块、液晶模块、存储器扩展模块以及 CAN 通信接口等。

3.1 模拟量输入调理电路

TMS320F2812DSP 片内的 ADC 模块是一个 12 位的、具有流水线结构的模数转换器。此转换电路的模拟电路包括:前端模拟多路复用器、采样保持电路、转换核、电压调节器以及其他模拟支持电路。数字电路包括:可编程转换序列发生器、转换结果寄存器、模拟电路接口、设备外围总线接口以及其他片上模块接口等。ADC 模块有 16 个通道,可配置为两个独立的 8 通道模块以便为事件管理器 A 和 B 服务。两个独立的 8 通道模块可以级联成一个 16 通道模块。本系统设计采用 3 通道输入,分别采集高压真空断路器的行程—时间曲线,分、合闸电流线圈波形和振动波形。片上 ADC 模块的模拟输入的电压范围为 0~3 V,引脚最大输入电压范围是-0.3~4.6 V,而传感器传送过来的信号并不满足此要求,因此需要对 3 路模拟输入的信号进行调理,以调整到 TMS320F2812DSP 芯片允许的范围之内,然后再输入到 TMS320F2812DSP 的片内 ADC 模块中。

3.2 电源模块

在电子装置中,可靠的电源电路设计关系到整个系统的正常工作,同时影响 AD 转换的精度,所以为了保证本控制单元可靠工作,在设计中采用如下 3 组电源冗余工作方式,只要有一路电源能正常工作,整个系统就能正常工作。

(1)采用速饱和电流互感器直接从线路上感应能量,经过整流、滤波电路以及冗余能量释放电路产生一组工作电源;

(2)采用变压器供电,经过整流、滤波以及稳压电路产生工作电源;

(3)直接外接直流 24 V 辅助电源,则在断路器分断后,智能控制器仍可正常工作。

为了防止电源引入的串扰,在电路中加入了 DC-DC 隔离电路,另外采用高精度的稳压芯片单独为 AD 转换提供参考电压。

3.3 时钟电路

DSP 工作是以时钟为基准,如果时钟质量不高,那么系统的可靠性、稳定性就很难保证。在 TMS320F2812 上,有基于 PLL 时钟模块,为器件及各种外设提供时钟信号。锁相环有 4 位倍频设置位,可以为处理器提供各种速度的时钟信号。时钟模块提供两种操作模式:

(1)晶体工作模式,该模式允许通过外部晶体为芯片提供时钟基准;

(2)外部时钟源工作模式,此模式下内部的振荡器将旁路。芯片设备的时钟由外部时钟源从 XTAL1/CLKIN 引脚上输入。在这种情况下,XTAL1/CLKIN 引脚将与外部晶体振荡电路相连。

本系统用 20M 外部晶体给 DSP 提供时钟,并使用 F2812 片上 PLL 电路。PLL 倍频系数由 PLL 控制寄存器 PLLCR 的低 4 位控制,可由软件动态地修改。

3.4 液晶模块

在现代显示器件发展中,液晶显示器件(Liquid Crystal Display)以其功耗低、体积小、色调柔和、可与 CMOS 电路直接匹配和易于实现大规模集成化生产等一系列优点而被广泛应用。本设计中采用了内藏 T6963C 控制驱动器图形液晶显示模块 MGL(S)-12864T 来实现特定的汉字显示。

3.5 存储器扩展模块

为方便调试和使用方便,设计扩展一个外部数据存储,采用 ISSI 公司的 ISLV6416 芯片。ISLV6416 是一片 64 kx16b 的高速静态 RAM,采用 3.3 V 电源供电,本设计中 3.3 V 电压信号由电源转换芯片 TPS75733 转换实现,该芯片可将 5 V 电压转换成 3.3 V,可供 DSP 工作。

4 下位机软件设计

下位机软件采用 C 语言与汇编语言混合编写。系统主程序流程图见图 2。系统上电后先进行各个模块的初始化,然后开中断等待中断事件。当断路

器进行分、合闸动作时,A/D 通道通过中断的方式开始采集断路器动触头行程,分、合闸电流信号和振动信号的数据,然后执行数据处理程序,最后将数据送液晶就地显示并通过 CAN 总线上传给上位机作进一步的处理。AD 中断程序的流程图见图 3。CAN 总线通讯子程序的发送子程序的流程图见图 4。

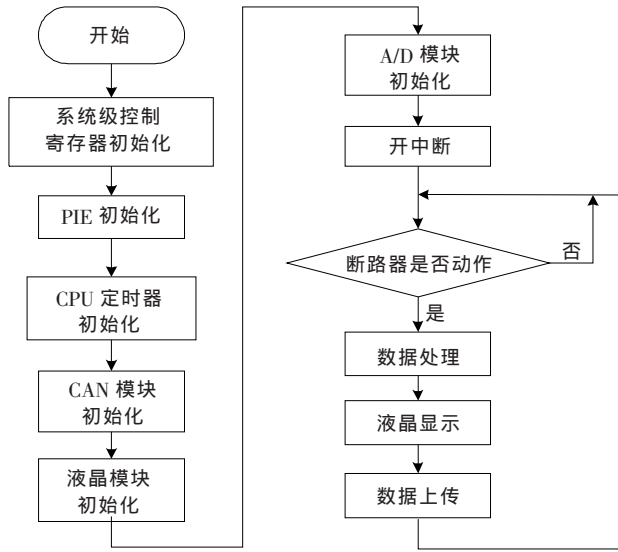


图 2 下位机主程序流程图

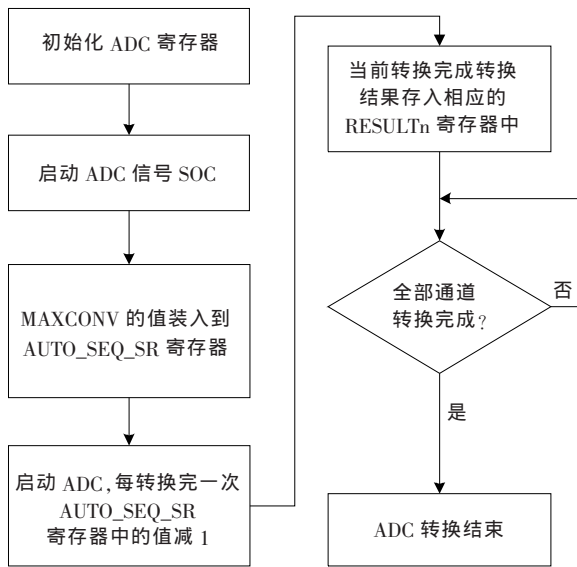


图 3 AD 中断程序流程图

5 上位机管理系统软件设计

上位机管理系统软件的总体设计方案见图 5。该系统包含一个主界面,在主界面中选择不同的功能,可以调用不同的界面来完成相应的操作。其中在线监测界面主要完成的功能是对高压真空断路器机械特性参数;分、合闸电流信号和振动信号的显示;信号分析界面主要是对采集到的信号采用滤波、功

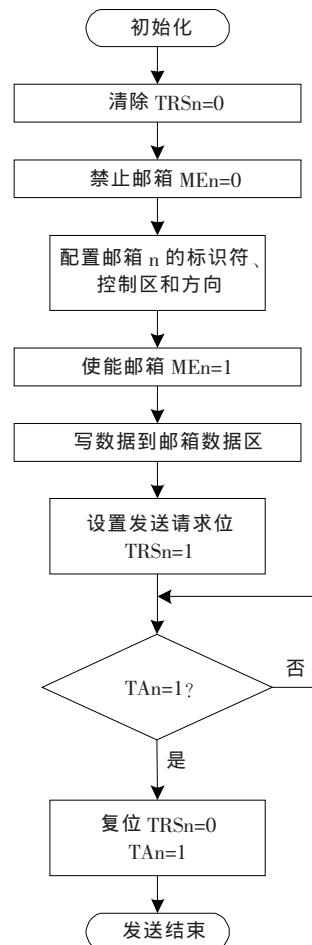


图 4 发送子程序流程图

率谱分析、小波分析等方法进行分析处理;故障诊断界面是根据振动信号的特征对高压真空断路器的运行状态是否有故障进行判断并给出诊断结果。上位机在线监测界面和信号处理界面分别见图 6、7。

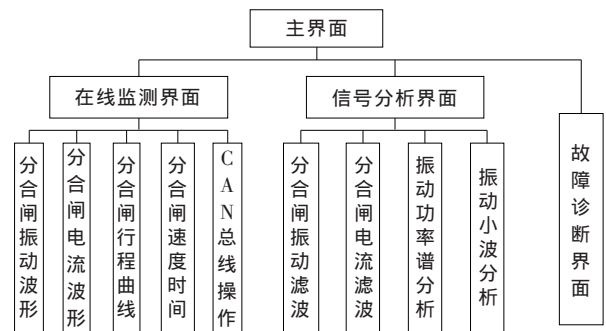


图 5 上位机总体设计方案

6 实验结果及结论

将本系统应用于镇江市诚翔电器有限责任公司生产的 BPC-12/1250-31.5 型配永磁操动机构高压真空断路器(主回路未加电压)上进行现场试验测试。通过对高压真空断路器进行多次的分合闸试验,将本系统的测试结果同高压断路器机械特性仪

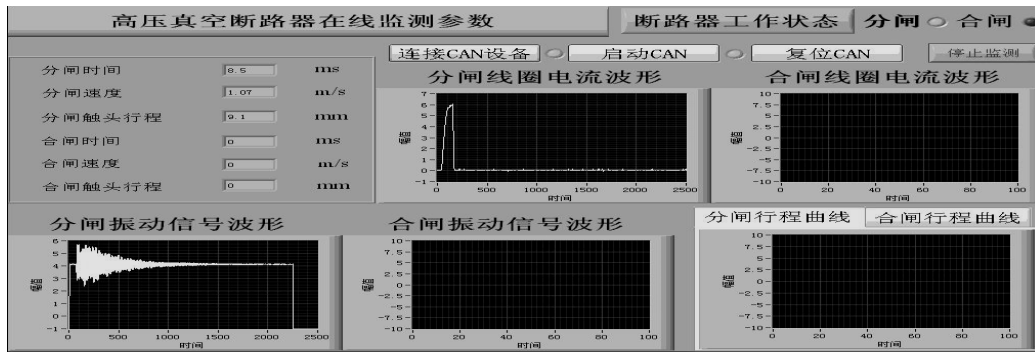


图6 上位机在线监测界面图

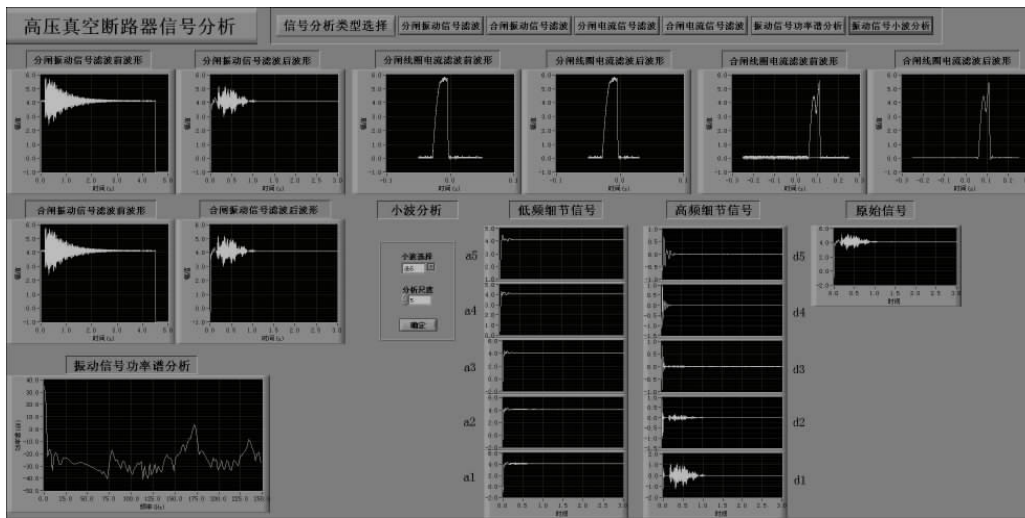


图7 上位机信号分析界面图

实际测得的数据相对照,数据见表1和表2。表1是连续进行的5组合闸试验数据,表2是连续进行5组的分闸试验数据。超程给定1.2 mm,试验结果中只列出开距。

表1 合闸时的机械特性参数

实测值			仪器测量值		
开距/mm	时间/ms	速度/(m·s ⁻¹)	开距/mm	时间/ms	速度/(m·s ⁻¹)
8.54	15.4	0.55	8.64	15.8	0.54
8.82	15.2	0.58	8.62	15.2	0.56
8.66	14.8	0.59	8.62	15.1	0.57
8.88	15.1	0.59	8.68	15.4	0.56
8.92	15.2	0.59	8.66	15.0	0.58

表2 分闸时的机械特性参数

实测值			仪器测量值		
开距/mm	时间/ms	速度/(m·s ⁻¹)	开距/mm	时间/ms	速度/(m·s ⁻¹)
9.82	10.2	0.96	9.66	10.2	0.95
9.88	10.4	0.95	9.68	10.3	0.94
9.66	10.0	0.97	9.62	10.1	0.95
9.82	10.2	0.96	9.64	10.1	0.95
9.54	9.8	0.97	9.66	10.0	0.97

实验结果表明,在机械特性测试仪测量相对准确的前提下,本装置的测试结果与实际相差不大,基本能反映真空断路器的机械特性及机构运行状态。

提出了一种基于DSP和LabVIEW的高压真空断路器在线监测与信号分析系统的开发方案。该方案采用高性能数字信号处理器TMS320F2812作为下位机在线监测单元的核心模块;采用LabVIEW进行上位机管理系统的开发,通过在LabVIEW中调用Matlab工具箱函数实现了对高压真空断路器各机械参数进行复杂的数据分析处理功能;上下位机之间采用CAN总线进行通讯。

本系统充分吸收和消化了虚拟仪器的设计思想和在线监测系统实时处理硬件平台要求,具有数据采集、信号分析、结果显示和数据保存等丰富功能。通过对采集到的数据进行功率谱和小波分析,可以提取出正常状态下的特征向量,与故障信号相比较,即可判断出是否有故障发生,并且通过对大量数据的积累和分析,可以建立专家系统,这将对高压真空断路器实现智能化的在线监测和故障诊断成为可

(下转第101页)

控制下,系统具有较大的直流分量;同时,在电源电压负半周,电源电流波动很大,系统的控制效果明显不如正半周。而双桥单周控制明显改善了这些缺点。

两种不同控制策略下的仿真结果见表1,可以看出在经典单周控制策略下,电源电流的直流分量在15%~23%之间,THD值在10%~35%之间,功率因数在0.75~0.91之间,并且存在在负半周不稳定的情况,特别是在轻载情况下,直流分量、谐波分量都大幅增加;在采用双桥控制后,经检测其THD在0.22%~0.28%之间,功率因数在0.9958~0.9965之间,直流分量在3.1%~3.4%之间,没有发生轻载时系统控制效果不良的情况,并且实现了正负半周的控制效果一致。同时保持了经典控制APF结构简单、响应迅速的特点。

表1 两种不同控制策略下的仿真结果

Style	R/ Ω	谐波畸变率 THD/(%)	直流分量/(%)	功率因数	次谐波分量/%					
					3rd	5th	7th	9th	11th	13th
经典单周控制 APF	80	28.47	19.37	0.777 8	24.07	9.04	7.95	5.28	4.25	3.61
双桥逆变单周控制 APF	500	11.02	16.88	0.900 5	6.98	5.68	4.02	3.09	1.85	1.29
双桥逆变单周控制 APF	80	0.26	3.17	0.996 0	0.32	0.14	0.12	0.09	0.07	0.05
双桥逆变单周控制 APF	500	0.27	3.28	0.996 1	0.30	0.15	0.11	0.09	0.07	0.06

4 结语

在经典单周控制有源电力滤波器的基础上,提出了双桥单周控制有源电力滤波器,有效地消除了电流直流分量,而且使单周控制有源滤波器达到了全局稳定,并有效地抑制了低频次谐波。在 Matlab/SimPowerSystem 中建立了模型,通过仿真对比与分析,验证了双桥单周控制策略的有效性。

参考文献:

- [1] 钱挺,吕征宇.基于单周控制的有源滤波器双环控制策略[J].中国电机工程学报,2003,23(3):34-37.
- [2] 杜雄,周维,谢品芳,等.一种改进的单周控制直流侧有源电力滤波器及其稳态和动态研究[J].中国电机工程学报,2003,23(7):12-17.
- [3] 陈国柱,吕征宇,钱照明.有源电力滤波器的一般原理及应用[J].中国电机工程学报,2000,20(9):17-21.
- [4] QIAO Chong-ming,KEYUE Ma SMEDLEY.Three-phase Bipolar

Mode Active Power Filter[J].IEEE Transactions on Industry Applications,2002,38(1):149-158.

- [5] AKAGI H.Active Harmonic Filters[J].Proceedings of the IEEE.2005,93(12):2128-2141.
- [6] 许智榜,石晓英.Buck 变换器单周期控制分析[J].微计算机信息,2008(2):293-295.
- [7] 孟凡宇.基于数字滤波器的电力系统频率测量方法[J].微计算机信息,2008,3-1:28-29.
- [8] 范影乐,杨胜天,李铁.MATLAB 仿真应用详解[M].北京:人民邮电出版社,2001.
- [9] 郝瑞祥,程志光,游小杰.一种新型有源滤波器谐波提取方法和控制策略[J].电力系统自动化,2004,28(19):56-60.
- [10] CHENG P T,BHATTACHARYA S.Control of Square-wave Inverters in High Power Hybrid Active Filter Systems[J].IEEE Trans. on Ind. Application. 1998;34(1):458-472.
- [11] 徐万方,罗安,王丽娜,等.采用智能控制器的混合型有源电力滤波系统[J].电力系统自动化,2003,27(10):49-52.

(上接第95页)

能^[10]。此外,其人机界面友好,操作简单,交互能力强的特点也使系统的应用具有广阔的前景。

参考文献:

- [1] 刘亚芳.高压断路器事故调查[J].国际电力,1997,1(3):12-15.
- [2] HEISING C R,JANSSEN A L,LANZ W,et al.Summary of CIGRE 13.06 Working Group World Wide Reliability Data and Maintenance Cost Data on High Voltage Circuit Breakers Above 63 kV [C]//Industry Applications Society Annual Meeting.Conference Record of IEEE,1994.
- [3] 杜彦明,顾霓鸿.中国电力系统配电开关设备现状及事故情况[J].高压电器,2001,37(3):1-5.
- [4] IEEE Std. C37.10-1995.IEEE Guide for Diagnostics and

Failure Investigation of Power Circuit Breakers[S].

- [5] 徐建源,朗福成,林华.高压断路器机械特性在线监测技术的现状与发展趋势[J].华通技术,2005(2):17-22.
- [6] 徐国政,张节容,钱家骊,等.高压断路器原理和应用[M].北京:清华大学出版社,2000.
- [7] 叶琦娅,戴文进,韩秀清,等.高压断路器机械性能的检测[J].江西电力,2001,25(1):9-11,26.
- [8] 孟永鹏,贾申利,荣命哲.真空断路器机械特征的在线监测方法[J].高压电器,2006,42(1):31-34.
- [9] 张蓬鹤,王殊,王宇,等.真空断路器的速度特性测量方法[J].低压电器,2005(3):55-57.
- [10] 谢勃,卫志农,陈斌.基于 LabVIEW DSP 模块的手持式电力谐波分析仪[J].电力自动化设备,2007,27(3):89-93.