

压电陶瓷式电子电压互感器的信号处理方法

许韦华, 鲍海, 杨以涵, 魏孝铭

(华北电力大学(北京)电气与电子工程学院, 北京 102206)

摘要: 为了提高压电陶瓷式电子电压互感器的静态和暂态稳定性, 针对其非接触测量方式的特点, 提出一种基于恒光强控制电路的光/电转换方案并开发了与之对应的动态误差补偿系统, 编写了数字化程序, 解析了信号处理过程中的相关问题, 最终提供数字量和模拟量两类输出信号。利用该方法对 10 kV 压电陶瓷式电压互感器样机进行数据采集, 数据表明, 该信号处理装置性能稳定, 能有效提高压电陶瓷式电压互感器的动态稳定性, 从而提高电压互感器的精确度。

关键词: 压电陶瓷式电子电压互感器; 信号处理; 光强度控制; 数据采集

Signal processing methods of piezoelectric ceramic electronic voltage transformer

XU Wei-hua, BAO Hai, YANG Yi-han, WEI Xiao-ming

(School of Electric Engineering, North China Electric Power University, Beijing 102206, China)

Abstract: To improve static and transient stability of the piezoelectric ceramic voltage transformer electronic, for its characteristics of non-contact measurement, the paper presents the light / electricity conversion program based on constant light intensity control circuit and the development of the corresponding dynamic error compensation system, writes the digital procedure, and resolves related problems of signal processing, to ultimately provide two types of digital and analog output signals. Using this method, it collects the data of 10 kV piezoelectric ceramic voltage transformer prototype. The data shows that the signal processing device performance is stable, can improve the dynamic stability of piezoelectric ceramic voltage transformer, and thus can enhance the accuracy degree of the voltage transformer.

Key words: piezoelectric ceramic electronic voltage transformer; signal processing; light intensity control; data acquisition

中图分类号: TM452.2 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)10-0048-04

0 引言

电压互感器在电力系统中有着重要的作用, 它是电力系统监测不可缺少的基本测试设备。目前大量使用的是传统的电磁感应式或电容分压式电压互感器, 随着电力需求的增长, 对电能质量的要求越来越高, 电力系统向着超高压、大容量的趋势发展, 传统的电压互感器在电力系统的安全运行、提高电能测量的精度和提高电力系统自动化程度方面日益显出了它的缺点: 体积庞大、重量惊人、绝缘结构复杂, 存在铁磁饱和和铁磁谐振现象以及爆炸危险^[1-2]。另一方面, 由于光电技术和计算机技术的迅速发展, 电子电压互感器日益显现出富有魅力的前景和强大的生命力^[3-8]。

针对传统电压互感器的两个问题: 铁磁饱和和复杂绝缘结构问题, 应用高介电强度压电材料和反射式光纤位移传感技术开发成功了基于压电陶瓷逆压电效应的电子式电压互感器^[9], 本文在此基础上

研制出了压电陶瓷式电子电压互感器的信号处理系统。运行数据表明, 该信号处理装置性能稳定, 可同时输出模拟量和数字量, 具备优良的暂态和稳态测量能力和抗干扰能力。

1 压电陶瓷式电子电压互感器原理

压电陶瓷是一种将电能转换成机械能或其逆过程的功能陶瓷材料, 这是一种具有逆压电效应的特殊材料。对于一个边缘固定的薄片型压电陶瓷, 当有电压加到其两极时, 根据其逆压电特性, 将会产生一个垂直方向的微小位移量, 这个位移量在一定范围内与加在其两端的电压成线性关系^[10-12]:

$$\Delta S = k \dot{U} \quad (1)$$

其中: \dot{U} 为加到压电陶瓷两端的电压; ΔS 为压电陶瓷片垂直方向的位移矢量; k 为电压 \dot{U} 与位移矢量 ΔS 的线性比例系数。

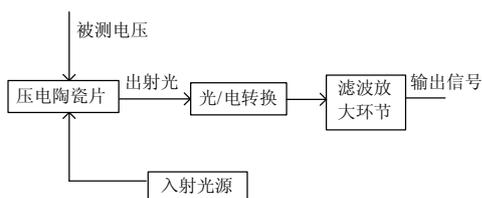


图 1 压电陶瓷式电压互感器测量结构

Fig.1 Measurement structure of the new voltage transformer

通过反射式光纤位移传感器的非接触式测量把该薄片型压电陶瓷片逆压电效应产生的振动量转换为相应的出射光纤内光强度的实时变化量, 经光/电转换后将光强度信号转化为相应的交变电压信号, 则该输出电压信号与被测电压向量成线性关系。

2 模拟信号处理方法

反射式光纤位移传感器输出的原始信号是个连续的光强度信号。该光强度信号通过光纤传递到反射式光纤位移传感器的信号处理单元转化为相应输出电压信号, 以此来正确反映一次电压的大小和方向, 从而完成了一次电压模拟参量测量。

压电陶瓷式电子电压互感器的模拟信号处理单元主要包括基于恒光强控制的光/电转换单元、放大滤波、误差补偿几个环节。

2.1 基于恒光强控制的光/电转换单元

反射式光纤位移传感器稳定运行的关键技术在于光强度的调制, 若要保证光纤位移传感器的测量精度, 其静态时输出信号应该是恒定不变的。为了使静态输出信号稳定, 选择两个光电转换环节 A、B 同时接受发光管的光强度信号, 如图 2 所示。

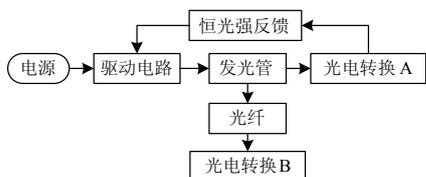


图 2 光强控制框图

Fig.2 Light intensity control block diagram

根据发光管的额定电压, 设定驱动电路送给发光管的基准直流电压为 U_s , 将发光管的静态光强度信号经光电转换环节 A 后的电压 U_d 与基准电压 U_s 进行比较, 如若不相等, 则根据动态反馈回路对 U_d 进行修正, 使得 $U_d = U_s$, 达到恒光强控制的目的, 动态反馈回路电路如图 3 所示。

对发光管进行恒光强控制后, 发光管所发出光

强度依次通过入射光纤、反射光纤输送给光电转换环节 B 作为反射式光纤位移传感器内的原始输出信号。

通过动态反馈环节的设计, 使得反射式光纤位移传感器的静态直流输出电压为一可控的定值, 保证精确测量的同时也提高了互感器的温度稳定性和抗干扰能力。

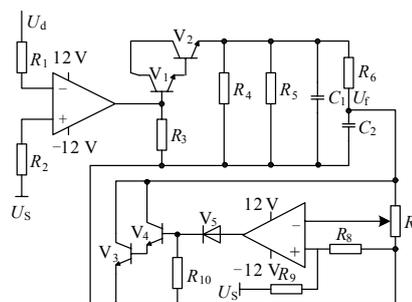


图 3 恒光强反馈电路

Fig.3 Constant light intensity feedback circuit

2.2 滤波、放大环节

电压互感器运行时, 压电陶瓷片随着一次电压的交变产生有规律的振动, 出射光纤输出的光强度随之产生相应规律的变化。光电转换完成后得到的信号是一个连续的交变电压信号和一个恒定直流电压信号的叠加量, 信号处理系统通过滤掉直流电压的方式得到交流电压信号。

将交直流混合信号通入到一个截止频率为 1 Hz 的低通滤波器后得到直流电压量, 再用混合信号通过一个减法器将该直流电压减掉, 得到交流电压信号, 过程如图 4 所示。

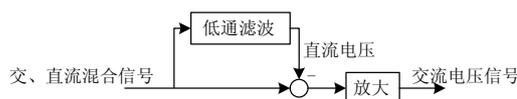


图 4 滤波放大过程

Fig.4 Process of filtering to enlarge

将该交流电压信号进行放大后就得到电压互感器输出。

2.3 误差补偿

根据电子式电压互感器的国家标准 GB/T20840.7-2007, 电子式电压互感器关于误差的补偿包括比差和角差两部分^[12-13]。

压电陶瓷式电子电压互感器的比差校正放在滤波放大环节进行。

对于角差的校正, 由于电路中存在传输延迟、放大、滤波等环节, 必然会产生相位移动, 对相位进行校正来达到规定的标准是压电陶瓷式电子电压

互感器模拟输出重要的环节。对这种相位的校正可采用滤波器、选频网络等方法，最终的目的是改变获得信号的相位，尽可能实现和被测量信号一致。本文选用典型的二阶滤波器实现互感器输出信号的相位调节。电路如图 5 所示。

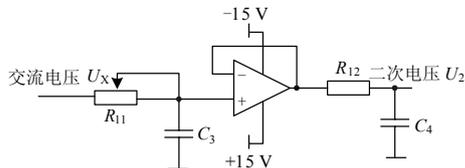


图 5 误差补偿电路

Fig.5 Error compensation circuit

2.4 模拟信号处理过程中的有关问题

1) 光源的选择

压电陶瓷式电子电压互感器的发光管的选择主要需要遵循以下原则：低相干长度；耦合效率高；工作波长与光纤相匹配；工作功率小。

2) 基准直流电压电源的要求

作为提供基准直流电压的装置，控制光强度的标准，对其精确度比较高，要求能长期稳定运行。

3 数字信号处理方法

压电陶瓷式电子电压互感器的数字信号处理系统需对交流电压信号采集，并根据采集数据计算幅值、相位等计算量，以及考虑谐波影响，提供谐波分析等功能。

因此，本文采用基于 DSP 与快速 A/D 相结合的技术，以便实现每周期 128 点频率跟踪采样与快速傅里叶 (FFT) 计算，公司的 DSP56F807 芯片是一款将 DSP 与快速 A/D 较好地相结合的混合型处理器，它不仅具有 DSP 的计算优势，还具有 MCU 的逻辑控制优势。它的内部 A/D 具有如下特点：

- 1) 16 路 A/D 转换输入通道，每组有各自的采样保持电路和 A/D 转换器；
- 2) A/D 转换分辨率为 12 位，转换器将各自结果存储在数字输出寄存器中，等待内部操作；
- 3) 输出数据可设为有符号或无符号数据，可设置预置偏移量校正输出数据；
- 4) 可设过零点中断功能；
- 5) 可设为单边输入和差分输入，也可以混合使用；
- 6) 有同时和顺序 2 种采样模式，具有 6 种扫描方式；
- 7) ADC 最大时钟频率为 5 MHz，在每次同时扫描时转换速度最快仅需 5.3 μs。

信号处理单元的逻辑结构如图 6 所示。

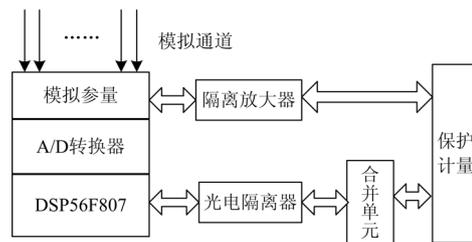


图 6 信号处理单元逻辑结构

Fig.6 Signal processing unit logical structure

3.1 程序框图

程序框图如图 7 所示。

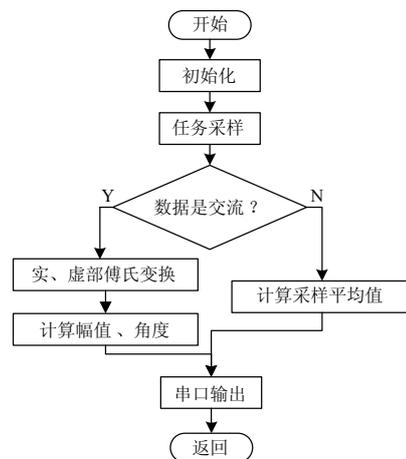


图 7 程序框图

Fig.7 Block diagram of the program

3.2 数字信号处理过程中的有关问题

1) 时钟的同步

取一个频率为 3.3 MHz 的贴片晶振作为时钟基准，来保证数据的同步。

2) 数据输出的连续性

数据在进行计算后，立即存储于 EPROM 中，并且每次保持最新值。这样，即使出现系统复位也可以保证数据的连续性。

4 结论

运行数据表明，该信号处理装置性能稳定，具备优良的暂态和稳态测量能力，达到了性能和精度要求。

(1) 恒光强补偿单元能很好地动态地控制光源的光强度，作为基准的直流电压能长期稳定运行，保证了反射式光纤位移传感器的测量精度，提高了电压互感器的抗干扰能力。

(2) 数字化过程迅速，能快速反应暂态测量过程。

(3) 数据输出两种形态: 模拟量和数字量。使压电陶瓷式电子电压互感器具有广泛的适用性。

参考文献

- [1] 刘丰, 毕卫红, 王健. 光学高压电压互感器传感头结构的研究[J]. 电工技术学报, 2008, 23(5): 43-47.
LIU Feng, BI Wei-hong, WANG Jian. Structure of sensor head for optical high voltage transducer[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2008, 23(5): 43-47.
- [2] 叶罕罕, 许平, 宗洪良, 等. 数字化变电站的电压互感器配置和电压切换[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(24): 93-95.
YE Han-han, XU Ping, ZONG Hong-liang, et al. The configuration and switch-over of voltage transformer in digital substation[J]. Automation of Electric Power systems, 2008, 32(24): 93-95.
- [3] Turner G R, Hofsjager I W. Rogowski coils for short duration pulsed current measurement[C]. //IEEE Industry Applications Conference. African: 1999. 759-764.
- [4] Ray W F, Hewson C R. High performance rogowski current transducers[C]. //IEEE Industry Applications Conference. 2000.3083-3090.
- [5] 王鹏, 罗承沐, 张贵新. 基于低功率电流互感器的电子式电流互感器[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(4): 98-101.
WANG Peng, LUO Cheng-mu, ZHANG Gui-xin. Electronic current transformer based on low-power current transformer[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(4): 98-101.
- [6] 申烛, 罗承沐. 电子式电流互感器的新进展[J]. 电力系统自动化, 2001, 25(22): 59-63.
SHEN Zhu, LUO Cheng-mu. Electronic current transformer new progress[J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25(22): 59-63.
- [7] 柴雄良, 陈邦栋. 新型光电混合式电流互感器设计[J]. 激光技术, 2003(5):390-395.
CHAI Xiong-liang, CHEN Bang-dong. Design of a novel electrooptical hybrid current transducer[J]. Laser Technology, 2003(5): 390-395.
- [8] 余春雨, 叶国雄, 王晓琪, 等. 电子式互感器的校准方法与技术[J]. 高电压技术, 2004, 30(4):20-24.
YU Chun-yu, YE Guo-xiong, WANG Xiao-qi, et al. Calibration technique of electronic instrument transducers[J]. High Voltage Engineering, 2004, 30(4): 20-24.
- [9] 邱红辉, 李立伟, 段雄英, 等. 用于激光供能电流互感器的低功耗光纤传输系统[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(20): 72-76.
QIU Hong-hui, LI Li-wei, DUAN Xiong-ying, et al. Opt-electric transmission system of low power consumption for optically powered electronic current transformer[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(20): 72-76.
- [10] Culshaw B, Dakin J. 光纤传感器[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1997.
- [11] 陶红艳, 余成波. 传感器与现代检测技术[M]. 北京: 清华大学出版社, 2008.
- [12] 曲远方. 功能陶瓷的物理性能[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007.

收稿日期: 2009-12-16; 修回日期: 2010-02-11

作者简介:

许韦华 (1983-), 女, 博士研究生, 主要研究方向为电子式互感器; E-mail:woshihuahua@126.com

鲍海 (1968-), 男, 教授, 主要研究方向为电力系统运行、分析与控制;

杨以涵 (1927-), 男, 教授, 主要研究方向为电力系统运行、分析与控制。

(上接第38页 continued from page 38)

- [20] Singh C, Mitra J. Composite system reliability evaluation using state space pruning[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1997, 12(1): 471-479.
- [21] 姚春球. 发电厂电气部分[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.
YAO Chun-qiu. Electrical section of power plant engineering[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2004.

作者简介:

何剑 (1983-), 男, 博士研究生, 主要研究方向为电力系统可靠性、电力系统分析与控制; E-mail: j-he@mails.tsinghua.edu.cn

程林 (1973-), 男, 博士, 副教授, 主要从事电力系统可靠性、电力系统分析与控制等方面的教学和研究;

孙元章 (1954-), 男, 教授, 博士生导师, 长江学者特聘教授, 主要从事 FACTS、电力系统非线性控制、电力系统稳定性和电力系统可靠性等方面的教学和研究。

收稿日期: 2009-06-11; 修回日期: 2009-07-15