

XTCS 系统压力传感器信号调理电路设计

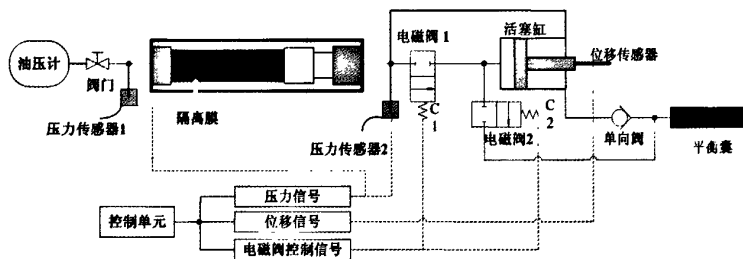
Design of Signal-Modulated Circuit for Pressure Sensor in XTCS System

■ 西安石油大学井下测控研究所 李星 袁红芳

引言

旋转导向闭环钻井技术是 20 世纪末发展起来的一项尖端自动化钻井技术,它将计算机控制技术揉合于钻井工具,代表了当今世界钻井技术发展的最高水平。对于旋转导向钻井系统的理论研究,国外从 80 年代末期就开始了,钻井科学家研制一些遥控型导向工具,如可变径稳定器、可变弯接头、可调角度弯外壳等。

在国内,西安石油大学井下测控研究所自 1993 年起,一直致力于井下闭环旋转导向智能钻井系统的研究,系统被命名为 XTCS,即西安轨迹控制系统,它于 2006 年 1 月 5 日通过国家 863 计划项目验收,成为国内在旋转导向系统研究方面取得的第一个标志性成果,评价为达到 90 年代国际先进水平。I 型、II 型可控偏心器已研制出,目前正在进行 III 型可控偏心器的设计与试验研究。定位总成也历经两代,从 I 型可控偏心器的定位总成到 II 型可控偏心器定位总成,均可实现对翼肋伸出量的控制,但只能控制翼肋的伸出,而不能控制其返回。翼肋的收回主要依靠翼肋



►► 图 1 定位总成模拟实验装置图

与不旋转套之间的翼肋复位弹簧,以及钻柱钻动过程中井壁对翼肋的撞击。现在正在进行的定位总成的模型装置实验研究,以实现对其位移和压力的双向控制。

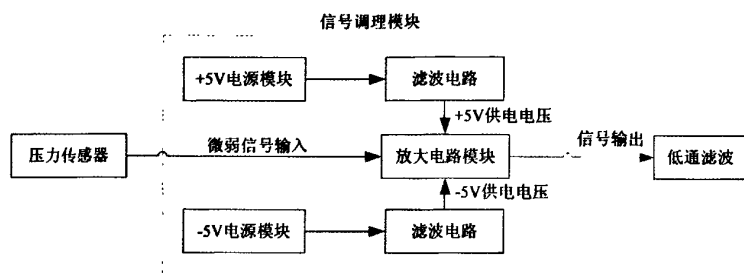
针对研制出的 I 型、II 型可控偏心器 XTCS 样机的定位总成来说,通过实验数据的分析发现信号调理放大电路的输出不太稳定,干扰噪声信号比较大,会造成相关信号测量不精确,从而导致控制的不准确,影响定位总成对压力和位移的控制;相同的传感器用不同的电路板采集时零点值不一致;温度对采集的信号有一定的影响。因而需要对现有的压力传感器信号调理电路进行改进以实现

控制,并做成可用于工程实践的标准产品。

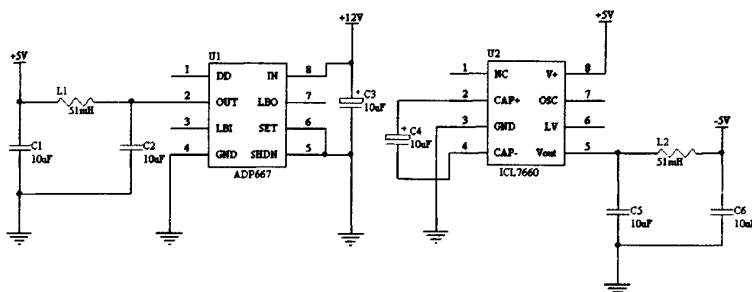
定位总成双向控制系统结构

定位总成是可控偏心器定位控制系统最为重要的组成部分,其工作性能的稳定性和可靠性及定位精度直接关系到可控偏心器工作性能的优劣,对实现定位总成压力和位移的稳定准确的控制具有重要意义。

定位总成模拟实验装置图如图 1 所示,图中实线代表液压油路,虚线代表电气连接线。可见,定位总成双向液压控制系统是一个集机、电、液于一体的控制系统,通过电路控制部分对电磁阀的控制来实现液压油



►► 图2 系统硬件设计总体框图



►► 图3 电源模块原理图

的压力传递,实现对定位缸活塞的位移控制。

压力传感器实时监测系统压力的变化,输出压力信号直接或间接地反映系统的压力,即泥浆和液压油的压力变化。通过微控制单元对其输出量进行采集,并将采集结果在单片微控制器中进行处理。

定位总成系统所采用的压力传感器均是美国 Honeywell 公司生产的,它结构简单,安装使用方便,测量较精确,输出为模拟电压信号。在很多情况下,传感器输出的信号往往是从抗干扰和达到一定的传输距离等角度来加以调制的,它的信号通常不能被控制单元直接接收,因此信号调理电路就成为控制系统中必不可少的一部分。

压力传感器属于电桥式线性压力传感器,一个微应变桥路输出只有2mV左右,即使在满载情况下,压力传感器的最大输出也只有数十毫伏,

这就要求信号调理电路具有高增益、高精度、低噪声、低漂移等特点。本文提出了一种高精度信号调理电路,它主要完成对压力传感器信号进行共模抑制、放大、滤波等功能。

系统硬件设计

本系统主要由压力传感器、信号调理模块及滤波电路模块组成,其中信号调理模块由+12V转+5V和+5V转-5V电源模块、滤波电路及放大电路等器件组成。经测试表明,该系统具有一定的稳定性、耐高温性和抗震性。系统硬件设计总体框图如图2所示。

电源模块

由于AD8230的典型供电电压为 $\pm 5V$,因此采用了高精度的电压转换芯片ADP667AR及ICL7660,分别为AD8230YR提供+5V和-5V的精准供电电压(原理图见图3)。

经实验表明,压力传感器供电电压的变化对其输出有很大影响,故在采用ADP667和ICL7660为压力传感器和AD8230YR提供精准供电电压的基础上,分别在+5V和-5V电压的输出端设计了滤除电源纹波常用的 Π 型滤波电路。而该滤波电路中需要采用两个100 μF 的电容,该电容的封装形式使其体积太大,为控制放大电路板的体积,故采用较小容量的钽电容代替铝电容,其封装为1206,不但更好地实现了滤波功能,且满足了本实验的要求之一。

放大电路模块

一般集成运算放大器都是利用参数补偿原理的直接耦合或者阻容耦合方式,它们的初始失调参数并不等于零,而是用调零电位器或精密修正技术进行失调参数的补偿。这使得直接耦合放大器在放大信号的同时也放大了温漂,而阻容耦合放大器虽能抑制温漂,但不能用来放大微弱的直流信号或缓慢变化的信号,它会将这种信号作为温漂抑制掉。使用自动稳零技术的精密仪表放大器AD8230,可在很好地抑制温漂的同时又放大微弱直流信号,以满足精密压力传感器数据采集系统的设计要求。

AD8230是ADI公司的一款利用动态校零技术、采用超小型SOIC工艺制作的稳零式精密仪表放大器,具有108 Ω 的高输入阻抗,能有效抑制信号源与传输网络阻抗不对称引起的误差;在 $-40^{\circ}C \sim +125^{\circ}C$ 的工作温度范围内,输入失调电压为10 μV 、失调电压温度漂移只有50nV/ $^{\circ}C$,共模抑制比高达140dB,能有效抑制共模干扰引入的误差,提高系统信噪比和对温度影响的抵抗能力;输入/输出摆幅可达电源限($-V_{S-} \sim +V_{S+}$),以适应信号源电平的较宽范围,具有较高的增

益及较宽的增益调节范围 ($G = 2 \sim 1000$), 其典型增益误差为 $\pm 0.01\%$, 增益非线性误差仅为 20ppm , 有效保障了系统的测量精度。放大电路模块原理图见图 4。

滤波电路模块

为了进一步滤除干扰信号与集成芯片工作时产生的高频噪声, 在对压力传感器信号进行放大之后, 再用无源低通滤波器对高频干扰信号进行滤波, 针对噪声所在的频带, 该低通滤波器的截止频率为 160Hz 。

信号调理电路在压力传感器中的应用

该放大电路在压力传感器中主要用于共模抑制、信号放大、输出滤波等, 有效提高了实验数据的测量精度及可靠性。

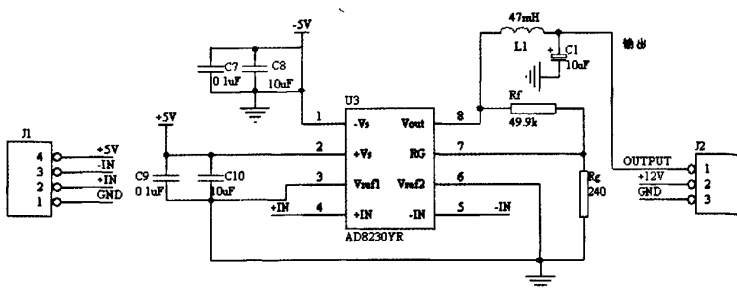
因压力传感器输出电压很弱, 信号传输大多采用屏蔽电缆。在远距离测量时, 信号线与电缆屏蔽层之间存在不容忽视的分布电容, 若将屏蔽层直接接地, 则当两个输入端各自对电容不等时, 将使系统的共模抑制能力下降, 影响后级测量精度, 而该电路可以极大地改善微弱信号传输中的问题。

在实际工程使用中, 要使用压力传感器必须首先对其进行标定, 标定系统框图如图 5 所示。

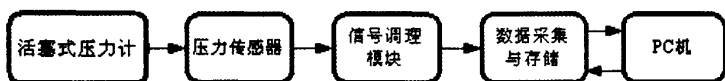
系统测试与结论

该测试系统采用活塞式压力计给压力传感器施加 ($0 \sim 50\text{MPa}$) 的压力, 压力传感器的输出送入信号调理电路板。信号调理电路板将压力传感器输入的微弱信号进行放大并调理, 再利用数据采集系统进行数据的采集存储, 并利用软件加以分析和处理。测试结果如图 6。

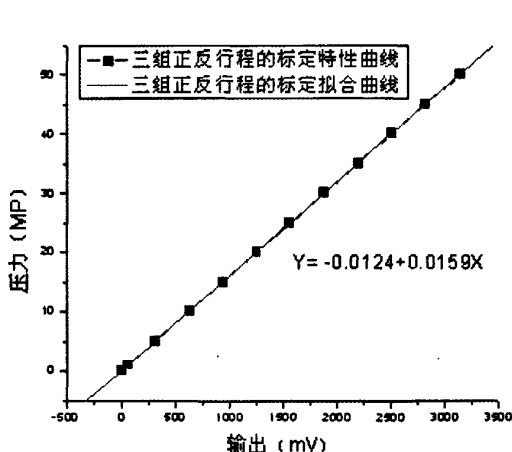
从传感器输出测试数据及特性



► 图 4 放大电路模块原理图



► 图 5 压力传感器标定框图



► 图 6 信号调理电路测试结果

曲线可见, 该传感器输出电压经放大电路放大 420 倍后, 线性度良好, 经正反行程 3 次采集, 三组特性曲线的斜率均相等, 且截距的误差精确 0.01, 说明该电路板应用于压力传感器时, 稳定性较高且压力传感器的零点漂移也较小。

以上结果也说明了该信号调理电路板解决了相同的传感器用不同的电路板采集时零点值不一致, 且温度对采集的信号有影响的问题。一个压力传感器用其配套的信号调

理电路板只需标定一次即可用于不同的实验及位置, 具有一定的灵活性。

结语

本系统经过硬件设计与制作、硬件标定和软件测试及制成标准化产品等一系列过程, 达到了预期的精度高、稳定性强、体积小、灵活性好等要求, 可用作低功耗仪表放大器、电桥应变测量放大器、传感器接口及低功耗数据采集系统中。GEC