

一种多通道高精度数字化传感器变换装置设计

刘书选, 马亚军, 王伟

(北京精密机电控制设备研究所, 北京 100076)

摘要: 针对现有传感器变换装置受误差及温漂等因素影响造成采集精度不高的问题, 专门设计了一种传感器变换装置; 该变换装置具有小型化、低成本、高性能的特点; 采用 C8051F 系列单片机作为主控芯片; 为了满足 8 通道双极性模拟信号采集的要求, 采用 2 片 AD 公司的 14 位、6 通道 A/D 芯片对 ± 10 V 范围的双极模拟信号进行变换; 采用前端信号放大电路、跟随滤波处理电路及微处理器的软件进行线性补偿, 达到高精度变换要求; 采用 RS-422 专用芯片完成信号的数字化传输; 实验结果表明该变换装置的变换精度能达到 0.05%, 数字信号传输稳定, 可广泛应用于军事和工业生产领域的高精度测量场合。

关键词: 传感器变换装置; 多通道; 高精度; 数字化传输

Developing a Digital Sensor Transform Device with Multi-channel and High Precision

Liu Shuxuan, Ma Yajun, Wang Wei

(Beijing Research Institute of Precise Mechanical and Electronic Control Equipment, Beijing 100076, China)

Abstract: Designed a novel sensor transform device for the existing sensor transform devices are susceptible to accidental error and temperature drift or other factor which caused the acquisition accuracy is not high. This device has the characteristics of miniaturization, low cost and high performance. Using C8051F series MCU as the main control chip, in order to meet the requirements of 8 channel bipolar analog signal acquisition, moreover taking 2 pieces 14 bit 6 channel A/D chip of AD company for transform bipolar analog signal of the range of ± 10 V. Adopting the front-end signal amplification and following filter processing circuit with software of the microprocessor to linear compensation for the requirements of high precision transformation. Taking the RS-422 chip and assembly language complete the signal digital transmission, with adjustable power conversion chip and achieved through high precision resistance regulator for precision power supply requirements of the angular can reach 0.05%, at the same time the digital signal transmission is stable which can be widely used in military and industrial production in the field of high precision measurement.

Keywords: sensor transform device; multi-channel; high precision; digital transmission

0 引言

常规飞行器一般需要较高的飞行控制精度, 为了验证和判读飞行器飞行中姿态角控制的精确性, 需在飞行器上安装高精度角位移传感器及高精度传感器变换装置对姿态角进行测量。^[1] 电位计式角位移传感器因具有精度高、耐高温、电阻值稳定性好、电流噪声小及接触可靠等优点, 被飞行器等军用产品广泛使用^[2-4]。但电位计式角位移传感器随温度变化存在明显的测量误差, 且其为模拟信号输出, 无法被数字化设备直接使用。基于此, 本文设计了一种多通道高精度数字化传感器变换装置, 该装置能够同时采集多通道数据, 以满足飞行器多舵机轴的集成测量的要求, 能够通过采集角位移传感器内温度传感器的温度值进行在线实时补偿, 并利用前端电路放大功能进行采集系统线性补偿。同时, 该装置可以高精度采集传感器双极模拟信号并能转化成数字信号高效传输。

1 总体方案

与变换装置配套的角位移传感器为电阻片分压结构, 其电阻片两端由变换装置供 ± 10 V 电源, 通过其上面的滑片的移

动来测量角位移信号; 另外该传感器内含有 1 个热敏电阻, 用于测量传感器内环境温度。角位移传感器原理图如图 1 所示。

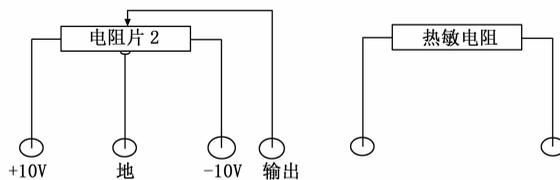


图 1 角位移传感器原理图

为完成传感器的信号处理、采集、变换及传输, 变换装置由以下 4 个部分组成: 电源变换电路、信号处理电路、信号采集电路、信号传输电路。变换装置的总方案功能如图 2 所示。

变换装置接收上级系统提供的 ± 15 V 电源, 通过电源滤波后, 经三端可调稳压器变换为 ± 10 V 电源电压为角位移传感器供电, 变换成 ± 12 V 电源为变换装置处理电路、AD 变换电路供电, 变换为 $+5$ V 电源为单片机及接口芯片供电。

四通道角位移传感器的角位移模拟信号输出先连接跟随电路进行阻抗转换和电压跟随, 再进行信号放大, 后经 RC 二阶滤波后进入 AD 转换器, 而四通道传感器的温度信号先通过分压电路转换为电压信号, 连接跟随电路后, 进入 AD 转换器。微处理器对上述八通道信号同步采集, 通过 I/O 接口送入单片机微控制器, 采集完成后, 微处理器对采集数据进行温度补

收稿日期: 2015-08-27; 修回日期: 2015-09-25。

作者简介: 刘书选(1987-), 男, 山东临清人, 工程师, 主要从事伺服电子测量方向的研究。

偿。此后微处理器通过 RS-422 协议送入中心处理器。

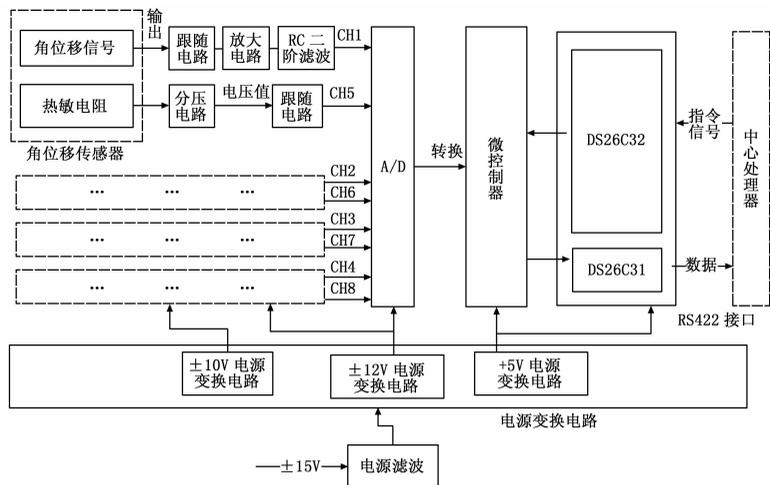


图 2 变换装置功能框图

2 系统硬件设计

按照传感器变换装置的组成, 分别对变换装置的电源变换电路、信号处理电路、信号采集电路、信号传输电路 4 大组成部分进行硬件电路设计。

2.1 电源变换电路

上级系统向传感器变换装置提供 ±15 V 的直流电源, 电源变换电路通过 DC/DC 变换提供自身所需的 ±12 V、±10 V、+5 V 电源。电源变换电路主要由电源滤波电路、三端可调稳压器电路组成。电源滤波电路采用 LC 滤波电路, 用于对系统输入电源抑制尖峰、抑制瞬态干扰, 电路如图 3 所示。三端可调稳压器电路选用 LM117/LM137 芯片, 该芯片供电电流可达到 1.5 A, 且稳压精度较高, 通过精选可调电阻, 输出变换电压范围误差小于 0.05%, 适用于为角位移传感器精确供电。以 ±12 V 变换成 ±10 V 为例, 电路如图 4 所示, 其中 R₉、R₁₀、R₁₁ 为精选的可调电阻。

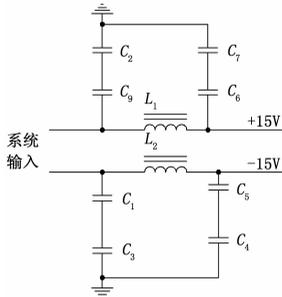


图 3 电源滤波电路

2.2 信号处理电路

角位移传感器信号处理电路包括温度信号处理电路和位移信号处理电路。

温度信号处理电路如图 5 所示, 包括电阻分压部分与电压跟随部分, 电阻分压电路使得热敏电阻的阻值信号变成电压信号输出, 跟随电路进行阻抗转换和电压跟随降低输出阻抗对信号的衰减。

位移信号处理电路如图 6 所示, 包括信号电压跟随电路、放大电路与滤波电路。跟随电路、放大电路及滤波电路的运算

放大器芯片均选用 LM124 芯片, 该芯片内含有 4 组形式完全相同的运算放大器, 除电源共用外, 四组运放相互独立, 对于多通道信号采集, 能够达到小型化的目的。

理论上采集角位移信号不需要进行放大处理, 但在产品初期设计中发现以下导致信号传输误差产生的根源: 1) 因需为四路位移传感器同时供电, 电源功耗较大, 导致电源电缆传输回路存在压降; 2) AD 电源基准存在误差; 3) AD 芯片存在失调和增益误差。基于此, 产品硬件结构上增加了放大电路部分, 可以通过调节图 6 中 R18 的电阻进行信号放大调节, 以便达到输出电压信号精确的要求。

为了防止杂波信号的干扰, 根据产品工作频率的要求, 设计了滤波电路, 该滤波电路采用 Sallen-Key 结构 RC 低通二阶有源滤波器。

按照 75 Hz 频率的要求对滤波电路中电阻阻值及容值按照公式 (1) 进行推导。Sallen-Key 结构 RC 低通滤波推导公式如下:

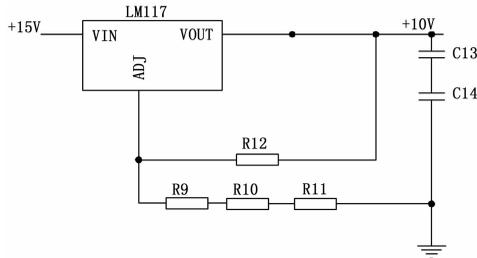


图 4 电源变换电路

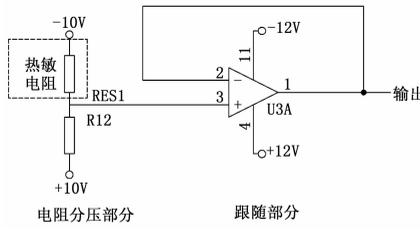


图 5 放大跟随电路

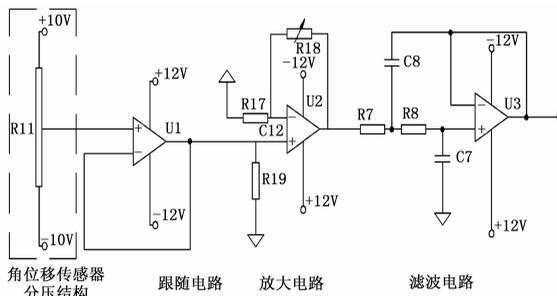


图 6 位移信号处理电路

$$A(S) = \frac{1}{1 + \omega_c C_7 (R_7 + R_8) S + \omega_c^2 R_7 R_8 C_7 C_8 S^2} \quad (1)$$

根据 3dB 切比雪夫二阶滤波器的系数表^[5], 可知: a₁ = ω_c C₇ (R₇ + R₈) = 1.0650, b₁ = ω_c² C₇ C₈ R₇ R₈ = 1.9305, A₀ = 1。可推导出 C₇、C₈、R₇、R₈ 的值。

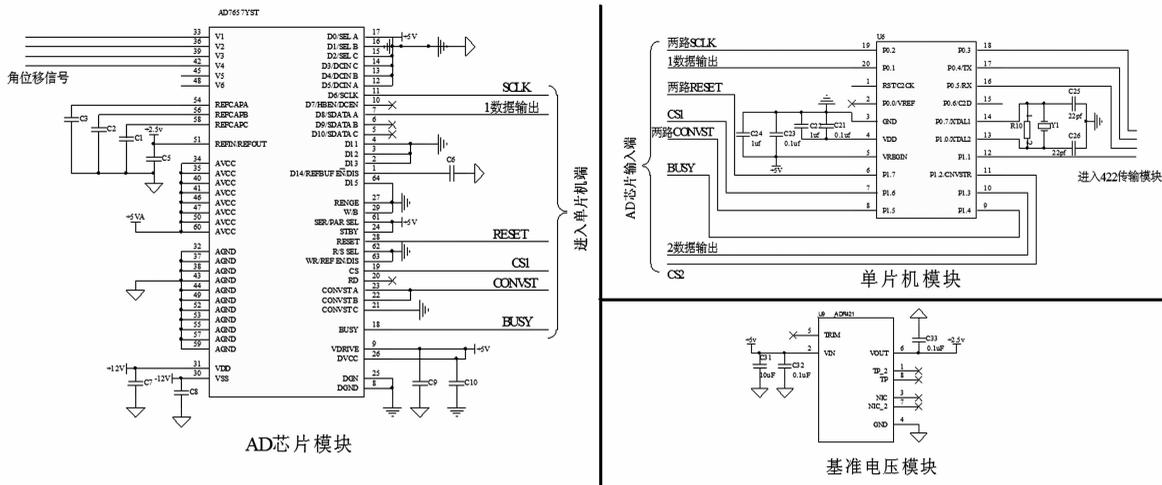


图 7 数据采集模块电路图

2.3 信号采集电路

信号采集电路以单片机微处理器为核心，以 AD 采集芯片为重要组成单元。单片机高速处理器可实现角位移传感器的信号采集及 RS-422 信号传输功能，单片机选用 C8051F 系列芯片，其内置 8K Flash 存储器，256 字节数据寄存器，该芯片具有 25 MIPS 的处理速度，是普通单片机处理速度的十倍左右，能满足时序传输要求。在设计中 AD 芯片采用 AD 公司的 AD7657 进口芯片，此芯片可实现六通道 ±10 V、14 bit 高精度数据同步采集，外围电路的规模小，提高了 AD 转换电路的可靠性，具有小型化的结构^[6]。为了两个 AD 芯片实现同步采集，设计时使用 CONVST 端口短接。通过控制两个芯片的片选 CS 端口，对采集信号分别传出。

另外，传感器需较高的采集精度，样机研制时，发现 AD 内置 2.5 V 电压基准精度较低，而电源基准电压基准源是 A/D 数模混合信号集成电路必不可少的组合部分^[7]，其性能好坏直接影响到整个电路功能的实现。为了提高采集精度，该模块的 AD 芯片额外加 2.5 V 电压基准，该芯片使用 ADR421 芯片，其输出精度能达到 2.5 V ± 1 mV。数据采集各模块电路图如图 7 所示，为描述方便图中 AD 芯片模块仅列出了位移采集的 AD 芯片，温度信号 AD 采集芯片外围电路与之相同。

2.4 信号传输电路

信号传输电路使用 DS26C31、DS26C32 芯片，芯片电路功能符合通用串行总线 RS-422 规范的差分线发射器、接收器功能。差分电路属于一种平衡通信接口，传输速率高达 10 Mb/s，在数据通信领域得到广泛应用。

3 系统软件设计

变换装置主控制芯片为 C8051F530A 单片机，为了实现精准控制时序和代码精炼，本装置采用汇编语言编程。

变换装置软件需实现 8 路信号的 AD 串行数据采集功能、4 路信号的温度线性补偿功能并完成信号传输功能。主要包含两部分：主程序、外部中断服务程序。

软件的主程序部分对所有 I/O 口进行端口初始化并对寄存器进行赋值。启用单片机内自带 24.5 MHz 的内部晶振。当所有初始化就绪后，等待上位机发送上升沿触发指令，进行数据

采集、处理并传输。

外部中断程序为信号采集及传输的重要部分，包含数据采集程序、数据温度补偿子程序等。软件设计流程如图 8 所示。

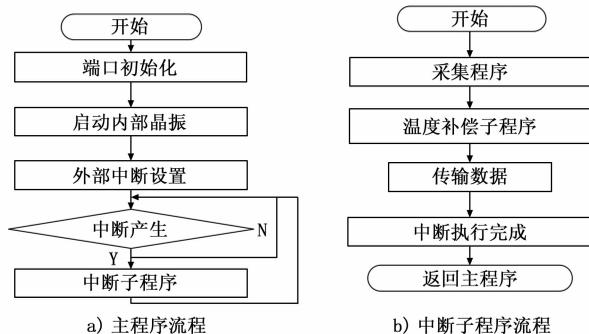


图 8 软件流程框图

3.1 数据采集编程方法

数据采集程序按照 AD 芯片手册串行读取操作方式进行汇编编程，因汇编语言严格的顺序执行能力，通过控制 I/O 口的电平控制来达到采集多路电压信号的目的，采集过程可靠可行。采集时序控制表详见相关芯片手册。传输 8 个八位字节的编程代码如下：

```

SETB CONVST ;启动转换采集，
DENG: JB BUSY,DENG ;等待芯片转换完成
SETB SCLK ;拉高时钟端
CLR CS1 ;激活芯片 1 的片选
MOV R0,#20H ;以 20H 寄存器为初始存储位置
MOV R2,#08H
WAIXUN: MOV R3,#08H ;一个字节的读取
XUNHUAN1;SETB SCLK
NOP
CLR SCLK
NOP
MOV C,DOUT1
RLC A
DJNZ R3,XUNHUAN1

```

表 1 角位移传感器位移信号线性度测试数据表

输入值	位移信号 I		位移信号 II		位移信号 III		位移信号 IV	
	输出/V	差值/mV	输出/V	差值/mV	输出/V	差值/mV	输出/V	差值/mV
9.000	9.003	3	9.000	0	8.999	1	8.998	2
6.000	6.002	2	5.999	1	5.999	1	5.997	3
3.000	2.999	1	2.998	2	2.997	3	2.998	2
0	0.001	1	0.001	1	0.001	1	0.001	1
-3.000	-2.998	2	-2.998	2	-2.997	3	-2.998	2
-6.000	-6.002	2	-6.001	1	-5.999	1	-6.000	0
-9.000	-9.004	4	-9.003	3	-9.000	0	-8.998	2
线性度:	0.044%		0.033%		0.033%		0.033%	

```
MOV @R0,A ;采集的 1 个字节存入 @R0 寄存器内
INC R0
DJNZ R2,WAIXUN ;完成 8 个字节的采集
```

3.2 温度补偿编程方法

因角位移传感器在 0℃~150℃ 范围内工作时, 传感器内电阻膜受温度影响较大, 传感器角位移误差与温度之间的关系如图 9 所示。为了使得产品测试精度满足高精度的使用要求, 通过软件对温度信号进行阶梯补偿, 尽量减少温度对采集信号带来的影响。

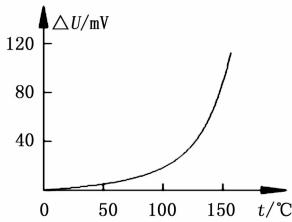


图 9 传感器角位移信号误差与温度的关系

因单片机处理计算能力有限, 为了降低系统处理难度, 对补偿方法进行简化, 具体补偿方法为将 0~150℃ 等分为 15 份, 每一个温度范围按照传感器电压信号与温度曲线关系表得出一个平均值误差, 形成一个 15 格阶梯的误差查询表。当变换装置采集角位移信号和温度信号后, 通过查表的方式查找到该温度信号对应的采集误差值。然后利用角位移信号和采集误差值进行相加, 得出角位移信号电压输出值。

4 实验结果与分析

角位移传感器变换装置性能好坏的最重要的一个指标是线性度, 下面通过实验结果对变换装置线性度指标进行实验数据采集和分析。

角位移信号输出理论值和变换装置输出的数字信号的实验

(上接第 325 页)

[2] 张衡阳, 许丹, 刘云辉, 等. 一种平滑高斯半马尔可夫传感器网络移动模型 [J]. 软件学报, 2008, 19 (7): 1707-1715.

[3] 王馨婧, 郭龙江, 段金晟. 组移动模型中基于模型特点的数据收集分簇算法 [J]. 智能计算机与应用, 2011, 1 (8): 82-85.

[4] 赵灵锴. 一种新的无线传感器网络移动模型 [J]. 学术探讨, 2012 (6): 28-29.

[5] 张生风, 徐志良, 吴晓蓓, 等. 移动无线传感器网络群组移动的连通性保证 [J]. 中国科技论文, 2013, 8 (7): 599-606.

数据见表 1。

试验结果表明: 按照绝对线性度的方法进行计算, 传感器变换装置采集精度分别为 0.044%、0.033%、0.033%、0.033%。

角位移传感器变换装置的输出误差值在 1~4 mV, 误差范围非常小, 通过对角位移信号线性度结果的分析, 产品实现了多通道采集、数字化传输的功能, 达到了预期的采集精度。

5 结论

本文介绍了一种多通道高精度数字化传感器变换装置软硬件设计, 实现了双极性多通道采集, 通过硬件补偿和软件温度补偿实现了变换装置的高精度采集需求, 完成了 RS-422 数字化传输功能, 提高了信号传输的可靠性。实验结果表明: 产品采集精度能够达到 0.05% 的需求, 并稳定的实现了多通道采集及数字化传输, 对于高精度测量装置及设备的研制具有重要的意义。

参考文献:

[1] 何刚, 高国伟, 郝嵘, 等. 提高倾角传感器精度的算法研究与实现 [J]. 传感器世界, 2015, 21 (5): 19-22.

[2] 钟伦超, 朵英贤, 王建中. 基于电位计式位移传感器的无人机电传操纵系统的设计与实现 [J]. 传感器技术学报, 2013, 26 (8): 1163-1167.

[3] 祁树胜. 传感器与检测技术 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2010.

[4] 郭爱芳. 传感器原理及应用 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2007.

[5] 远坂俊昭. 测量电子电路设计-滤波器篇 [M]. 日本: 科学出版社, 2006.

[6] 廖丹, 杨建强. AD7656 在四频差动激光陀螺信号检测系统中的应用 [J]. 电子测量技术, 2009, 32 (12): 102-109.

[7] 钟博, 宋晓贞, 段双亮, 等. 基于电流模式的分段补偿电压基准源 [J]. 微电子学, 2011, 41 (1): 66-72.

[6] 徐华, 涂亚庆, 郭斌, 等. 组移动模型中基于链路稳定性的传感器网络分簇算法 [J]. 计算机工程与科学, 2010, 32 (2): 35-37.

[7] 朱碧青, 郭龙江, 任美睿, 等. 基于组移动模型的移动传感网数据聚集算法的研究 [J]. 计算机研究与发展, 2011 (48): 231-235

[8] Han N, Lee D, Nam D. Energy efficient topology for wireless micro-sensor networks [A]. PE-WASUN '05 [C]. ACM, 2005: 25-33.