

# 基于 ADuC7061 的智能力矩变送模块<sup>①</sup>

刘兆峰, 魏 松, 孔 群, 贾广根

(山东建筑大学 信息与电气工程学院, 济南 250101)

**摘 要:** 针对目前力矩采集模块普遍存在的低精度、通用性差、功能单一等不足, 设计了一种以具有 ARM 内核的 ADuC7061 芯片为核心的智能力矩变送模块, 文中给出了模块中各主要器件的设计电路及设计特点. 在模块工作过程中, 每个采样周期 ADuC7061 芯片独立完成传感器输入模拟信号的调制、转换, 所测数据经最小二乘法补偿后确定为该周期力矩采样值, 并给出了试验具体数据及校正效果图. 该模块具备量程自动转换、零点自动校准以及 RS-485 通讯的功能. 整个系统设计简洁、稳定性好, 实现了 ADuC7061 的一片多能, 降低了成本.

**关键词:** 智能力矩模块; ADuC7061; 电路设计与特点; 最小二乘法; 通讯

## Intelligent Torque Transmitting Module Based on ADuC7061

LIU Zhao-Feng, WEI Song, KONG Qun, JIA Guang-Gen

(School of Information and Electrical Engineering, Shandong Jianzhu University, Jinan 250101, China)

**Abstract:** An intelligent torque transmitting module based on ADuC7061 chip which own the ARM kernel was designed, which is aiming at solving the series of problems existed in the current torque module, such as low accuracy, poor universality, single function etc. This paper presented circuit and characteristics of the major components of the module. This module not only can realize range automatic switching and zero automatic calibration, but also can communicate via RS-485. In the working process of the module, each sampling period of the input analog signal could be independently modulated and converted by the ADuC7061 chip. The measured data by least-squares method determines the compensated sampled value for the torque cycle. The paper also gave the test specific data and correction effect diagram. Design of the whole system was concise, performance stability, only use such ADuC7061 a chip can complete the above a variety of functions, greatly reduce the cost.

**Key words:** intelligent torque modules; ADuC7061; circuit design and features; least squares method; communication

力矩测控模块就是利用压力传感器作为探测元件, 微控制器作为主控单元设计而成的. 现在市场上广泛流行的力矩变送系统主要是以“力矩传感器+单独的 A/D 模块+单片机+单独的 D/A 模块”<sup>[1]</sup>这种形式设计而成的, 而且在高精度测量中多以高精度的传感器及其他硬件作为误差的弥补手段, 软件设计相对不足, 所以采用倚重硬件的设计手段电路设计相对复杂, PCB 板规格也相对较大, 不利于降低成本和节约资源.

文中介绍的“力矩传感器+ADuC7061”模式的力矩变送模块, 不仅降低了硬件设计成本, 充分利用了 ADuC7061 芯片的片内资源加入了 RS-485 远程通讯的

功能, 还将最小二乘法<sup>[2]</sup>这一逻辑算法融入到了 CPU 的控制程序当中. 算法方面应用基于最小二乘法的数据补偿, 并给出了最简推导公式.

## 1 系统总体设计方案

智能力矩变送模块是现代自动化仪表检测领域的重要组成部分, 以微控制器为核心, 以力矩传感器为探测元件以及其他相关的外围电路组成的一个全电子工艺的小型嵌入式系统. 模块中采用传感器与微控制器分别独立供电的设计, 提高了整个系统的稳定性. 系统运行过程中力矩传感器可以将外界所施加的力转

① 收稿时间:2013-12-06;收到修改稿时间:2014-01-14

换成差分信号,经首端滤波,通过MCU控制通道的通断,各输入信号被分时选通,再经片内的ADC转换通道进行A/D转换,MCU以查询方式采集ADC转换通道内的数据信号,然后进行数据处理、线性化补偿以及CPU内部软件校正<sup>[3]</sup>和诊断后,再经片内DAC通道进行数据的数/模转换,实现标准直流电信号输出,最终送到显示以及完成与上位机的远程通讯.智能力矩变送模块的系统整体控制框图如图1.

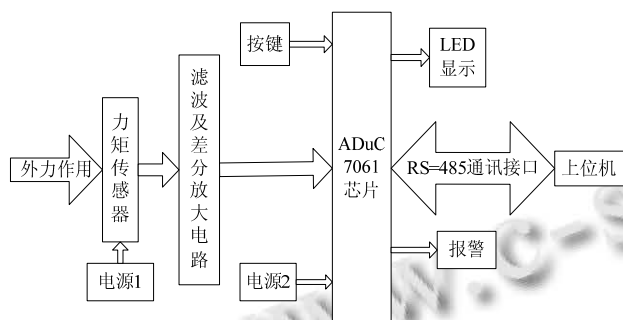


图1 系统整体控制框图

## 2 系统硬件设计

为适应现在工业生产及建筑行业的智能化、低功耗、低成本苛刻设计要求条件,在开发设计时采用了便于更换和扩展的模块化设计理念.下文具体介绍了智能力矩变送模块的各个硬件组成及工作原理.

### 2.1 传感器及其供电模块

在该模块中主要包括传感器和对传感器供电的电源电路两部分.为体现整个力矩变送系统的多功能性和量程的可变性,在电路板中不但设计了四根插孔便于四线制的传感器因量程或使用过程中损坏等问题而替换,而且电源电路也分别设计了5V、10V两个电源档位以供选择.

系统调试过程中采用四线制的电阻应变片为核心构造的力矩传感器.由于应变片电阻丝的温度系数、电阻丝材料与试件材料的线膨胀系数不同,应变片的阻值会随周围环境温度变化而变化产生温度误差,从而影响应变片的测量精度<sup>[4]</sup>.为弥补温度误差,在传感器设计时采用了惠斯登电桥温度补偿<sup>[5]</sup>方法帮助提高末端软件非线性校正的准确度,该设计具有结构简单、体积小、重量轻、使用寿命长等优点.

电桥转换电路如图2-1:当 $R_L = \infty$ 时,电桥输出电压为:

$$U_0 = U_{ab} = \frac{(R_1 R_4 - R_2 R_3)}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)} U \quad (1)$$

当时,有:

$$U_0 = 0, \quad R_1 R_4 - R_2 R_3 = 0 \quad \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} \quad (2)$$

为了解决传感器因量程及工作电压不同的问题,分别设计了5V、10V的电源接口,部分电源电路如图3.

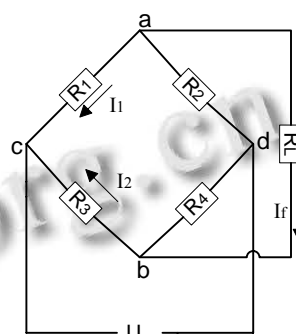


图2 电桥转换电路

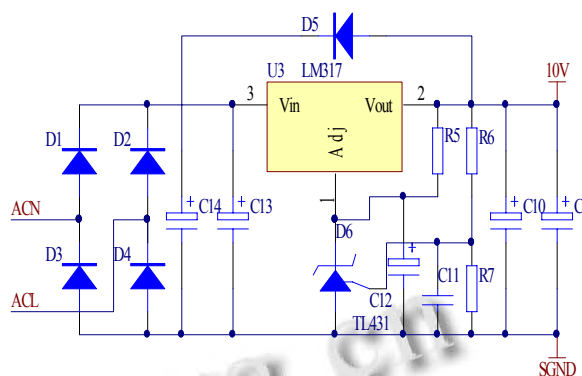


图3 传感器电源电路

### 2.2 单片机微控制器板模块

该模块主要包含了具备数据采集信号滤波、放大和控制转换功能的单片机最小系统电路和单片机电源电路两大部分,其中单片机最小系统接线图如图2-3.

单片机最小系统的核心是由AD公司推出的ADuC7061<sup>[6]</sup>芯片,该芯片集成了8K的SPS、高精度的24位双通道的 $\Sigma$ - $\Delta$ 模数转换器(ADC),同时它还内嵌了一个32位的ARM7内核的CPU;片内集成4KB的SRAM和32KB的非易失性Flash/E2PROM存储器.它由内置两个差分对或四个单端通道的主ADC和内置七个通道的辅助ADC组成,可以工作在单端模式或差分输入模式下,它可编程在4Hz至8kHz范围的ADC输出速率.片内集成一个14位的单通道缓冲电压输出DAC,通过编程可以将DAC输

出范围设置为四种电压范围之一,片内精密基准电压源的温度误差为 $\pm 10 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ ,可以满足高精度的要求。ADuC7061 还内置一个高级中断控制器,可以为每个中断分配一个优先级,并且最高可支持 16 级嵌套中断。芯片采用 2.375V 至 2.625V 电源供电, AVDD/DVDD 额定电压 2.5V( $\pm 5\%$ )体现了低功耗的特点,该芯片还具备在 $-40^\circ\text{C}$ 至 $+125^\circ\text{C}$ 工业现场工作的温度范围。综上所述,ADuC7061 芯片集成度高、功能强大、技术指标先进,作为控制核心体现了检测系统设计的新器件原则,达到了简化硬件系统结构、提高硬件电路整体的电气性能、工艺性能、可靠性和可维护性,同时降低硬件电路成本的目的。

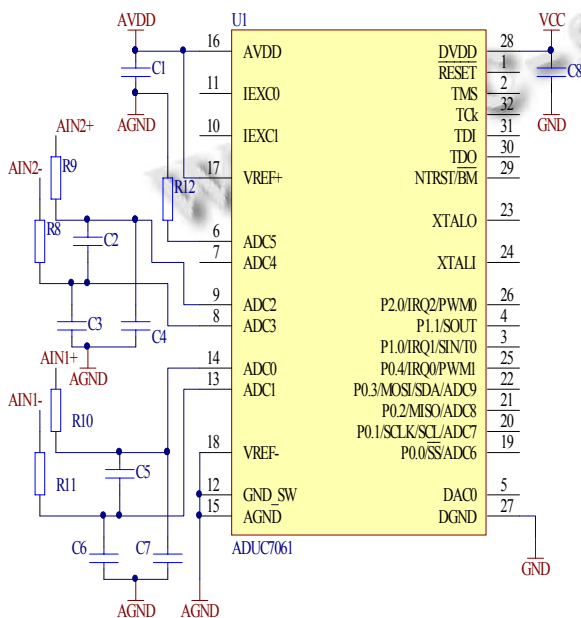


图 4 单片机最小系统接线图

单片机最小系统的首端滤波电路中,为了提高精度及稳定性,首端滤波电路中的阻容元件通常需要选择低温度系数的电子器件,而且最好采用金属膜电阻和聚苯乙烯或聚丙烯电容器<sup>[7]</sup>,并且像 C10 这种滤波电容的选择,一般取在 0.01~0.1 $\mu\text{F}$ ,在滤波效果较好的情况下,C10 等采用 0.1 $\mu\text{F}$  的电容。ADuC7061 具有双通道的 ADC,所以在设计时对其均进行了引脚引出如图 4 中的 AIN1+、AIN1-、AIN2+、AIN2-,便于传感器的插接和替换操作。

在信号采集方面 ADuC7061 能直接将来自传感器的不同范围内的信号放大到片内 ADC 转换器的 A/D 转换的电压量程内,实现 24 位数据无误传输。有时

ADC 通道的精度因外界干扰达不到 24 位的理论要求,为了能够采集到高精度的检测数据,不但在硬件上需要采取系统版中所设计的一些抗干扰以及提高精度的措施,还应当对供电电源适当的采取稳压处理,为此,模块中自行设计了稳压电源电路。同时软件程序的优化也非常关键,适当的利用软件算法能进一步提高非线性的拟合程度,提高数据模块的采集性能,只要硬件电路和软件算法设计得当,理论上模/数转换完全可以达到 24 位精度,但是实际情况要比它略小<sup>[8]</sup>。因此,该芯片非常适用于仪器和仪表的测量以及工业自动化控制等相关领域。

最小系统板的电源设计并非像其他单片机芯片一样采用+5V 或+3.3V 电源供电,而是采用了更低能耗的+2.5V 电源供电。其电源电路中使用 ADP3330-2.5V 稳压芯片,该芯片是属于精密低压差稳压器,具有较宽的电压输入范围(+2.9V~+12V),最大负载电流可达 200mA。输出值为 2.5V 的稳定电压,可以为后级模块提供稳定的电源电压<sup>[9]</sup>。该器件采用专利设计、新颖的架构和改良的工艺,比传统 LDO 性能更出色,输出电流也更高。整个电源模块的设计凸显低功耗、高稳定性的特点。

### 2.3 按键和显示模块

因 ADuC7061 内部嵌入了 ARM7 内核,所以设计时要充分利用片内资源,并且考虑到器件数量、成本等因素,在该模块中只设计了三个按键和一个五位一体的数码管显示。其中按键部分包括一个电源开关按键和两个用户功能调整按键。在显示驱动方面采用 74HC595 芯片,该芯片是具有 8 位串行输入/输出或者并行输出的移位寄存器和一个存储器,具备三态输出功能。移位寄存器有一个串行移位输入引脚,一个串行输出引脚,和一个异步的低电平复位引脚;对应的存储器有一个具备三态总线输出功能的并行 8 位的存储寄存器,当使能引脚为低电平时,存储寄存器的数据将会输出到总线。例如在实际应用中,可以将一组串行输入的 8 位数字信号,转变为一组并行输出的 8 位数字信号,当控制一个 8 位数码管时,数码管将不会有闪烁。

### 2.4 下载接口及通信接口

为便于力矩模块程序的下载调试,利用 PL2303HX 芯片专门设计了下载接口,该接口只需一根 USB 转串口线就能方便的完成程序的下载功能,通

用性强. PL2303HX 是 Prolific 公司推出的 RS-232 转 USB 接口的转换芯片. 可提供一个 RS-232 全双工异步串行<sup>[10]</sup>通信装置与 USB 功能接口便利联接的解决方案. 在工作模式和休眠模式时都具有很低的功耗, 是嵌入式系统设备的理想选择. 在模块的通讯方面考虑到 RS-485 相较于 RS-232 所具有的接口电平更低、传输速率与距离、抗噪声干扰性好、便于组网等优势, 最终选择了 SP3485 芯片来实现 RS-485 的远距离通讯功能. 同样 SP3485 利用 DC3.3V 供电, 符合低功耗的设计理念.

### 3 系统软件设计

#### 3.1 编译工具

Keil uVision4 开发环境具有灵活的窗口管理功能, 能够让程序开发人员方便地进行编程操作. 该用户界面可以有效地组织多个窗口来利用有限的屏幕空间, 为程序员提供了一个整洁、高效的程序开发环境. 该版本除了支持更多最新的 ARM 芯片, 还添加了一些其他新功能. 因本模块的 MCU 就是基于 ARM 内核的, 所以 uVision4 完全可以满足软件的开发要求.

#### 3.2 设计方案

智能力矩变送模块的软件设计是依据以上所完成的硬件系统编写的 ARM 单片机程序, 软件流程图如图 3-1. 该程序主要有主程序、SPI 接口程序、按键显示程序、最小二乘法校正程序、中断及电源控制程序等组成. 系统上电后模块内各部分均进行初始化, 包括传感器单元初始化、单片机设定参数复位、内置的看门狗定时器关闭、各模块内所用晶振初始化、LED 显示归零及 RS-485 通讯模块的初始化等; 进行传感器送来的压力信号的模/数转换, 其中包括 ADC 采样频率 (fs) 的设定、电源电压值的选择、片内 ADC 转换通道的选择设定、对采样数据进行差分放大等; 对采样放大后的力矩信号值分段利用最小二乘法进行非线性校正; 把校正后的力矩信号经片内的 DAC 通道输出, 送到后面的显示模块及 RS-485 通讯模块.

#### 3.3 最小二乘法

力矩传感器作用曲线经最小二乘法拟合后的直线方程<sup>[11]</sup>为:

$$\hat{Y} = \hat{a} + \hat{b} \cdot F \tag{3}$$

其中式中  $\hat{a}$  为截距, 计算公式为:

$$\hat{a} = \frac{\sum_{i=1}^n F_i^2 \sum_{i=1}^n \bar{y}_i^2 - \sum_{i=1}^n F_i \sum_{i=1}^n \bar{y}_i F_i}{n \sum_{i=1}^n F_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n F_i \right)^2} \tag{4}$$

斜率  $\hat{b}$  用表示, 其计算公式为:

$$\hat{b} = \frac{n \sum_{i=1}^n \bar{y}_i F_i - \sum_{i=1}^n F_i \sum_{i=1}^n \bar{y}_i}{n \sum_{i=1}^n F_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n F_i \right)^2} \tag{5}$$

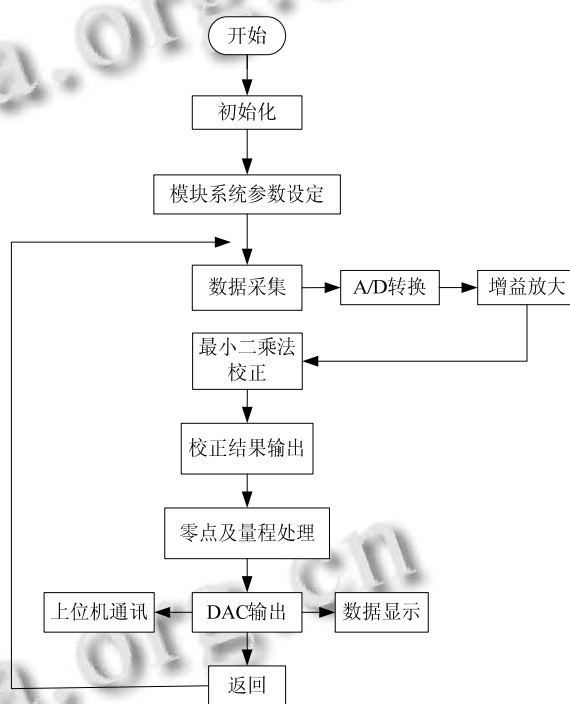


图 5 软件流程图

其余的式中:  $n$  表示采样值,  $\bar{y}_i$  表示滤波后输出的平均值,  $F_i$  表示所受的力值.

为体现最小二乘法在次力矩变送模块中应用的可行性, 在山东建筑大学工程训练中心特别做了一组对照试验. 试验中选用量程是 0~200Nm 的力矩传感器进行了现场测试. 具体步骤: 利用压力计设定 10 个压力采样点(包括正向和方向两组), 即  $n=10$ ; 每个采样点进行 5 次采集并记录每次校正之前的数据, 得到  $y$  的平均值; 最后将所得数据代入由上述公式编写的校正算法得到校正后的输出结果<sup>[12]</sup>. 表 1 同时记录了市场中普通测量装置(未采用最小二乘法)测量的和具有最

小二乘法测量模块测量的前后对比数据(均为 5 次的平均值), 并且通过计算可知在此量程里本模块校正的最大偏移量在 0.2Nm 之内, 即精度可限定在 0.1%以内. 为更加直观地表示最小二乘法的校正效果, 所以, 采

用曲线图表示出来, 如图 6. 从图中可明显看出该智能力矩变送模块利用最小二乘法对采集数据进行非线性度校正后性能明显优于市场中普遍使用的未采用此算法力矩测量模块的测量效果.

表 1 数据记录表

标准力矩/NM	正向校正前 /NM	正向校正后 /NM	反向校正前 /NM	反向校正后 /NM	整体校正前平 均值/NM	整体校正后平 均值/NM
0	0.04	0	0.08	0	0.06	0
20	20.21	20.07	20.27	20.07	20.24	20.07
40	40.38	40.11	40.40	40.13	40.39	40.12
60	60.54	60.13	60.78	60.15	60.66	60.14
80	80.47	80.09	80.97	80.10	80.72	80.095
100	100.33	100.08	100.44	100.09	100.385	100.085
120	120.58	120.15	120.48	120.11	120.53	120.13
140	140.57	140.10	140.66	140.17	140.615	140.135
160	160.51	160.17	160.55	160.18	160.545	160.175
180	180.77	180.07	180.61	180.20	180.69	180.135
200	200.62	200.12	200.79	200.12	200.705	200.12

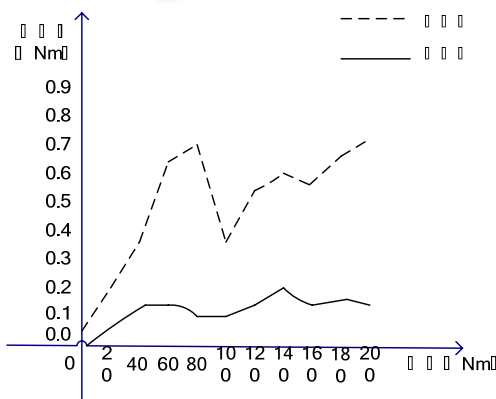


图 6 校正效果对比图

(注: 图 6 中横坐标表示力矩理论值; 纵坐标表示力矩实际测量值与理论值的差值, 称为偏移量.)

#### 4 结语

文中介绍了基于 ADuC7061 的智能力矩变送模块的设计, 其中涉及到各主要硬件的设计以及最小二乘法在软件校正方面的应用. 该模块解决了其他类似模块通用性差、精度不高、功耗偏大、远程组网能力差等问题, 整体达到了智能化、精度高、成本低和稳定性好的特点, 适于在工业仪表及自动化行业大力推广应用.

#### 参考文献

- 徐军, 李欣. 基于 PIC16F887 的新型二线制变送器. 仪器仪表学报, 2003, 24(4): 154-156.
- 刘沁, 周东旭. 电容式压力传感器的线性化校正与温度补偿. 仪表技术与传感器, 2010(11): 1-2, 6.
- Yamadani T. A switched-capacitor interface for capacitive pressure sensors. IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement, 1992, 41(1): 81-86.
- 孙杰. 智能桥式传感器仪表电路的设计. 测控技术, 2002, (3): 35-39.
- 张建军, 李硕, 丁明东. 基于 MSP430 单片机的高精度压力变送器. 仪表技术与传感器, 2010(1): 32-35.
- 高海涛. 基于 ADuC7060 的多功能过程信号校验仪. 传感器世界, 2011, (8): 34-36.
- 绍祥, 胡爱华. 基于单片机控制的数字气压计设计与实现. 国外电子元器件, 2004(7): 66-69.
- 庄坤领. 基于 ADuC845 数据采集系统的研究与设计[硕士学位论文]. 青岛: 中国海洋大学, 2009.
- 张美鑫. 片上 3.3V-2.5V DC-DC 转换器的设计[硕士学位论文]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2007.
- 李文涛, 杨小新. 基于 STC89C52 的智能温度变送器的设计. 仪表技术与传感器, 2012(11): 67-70.
- 张家田, 董秀莲. 非线性传感器的校正方法. 计量技术, 2001, 18(16): 28.
- 陈经明. 扭矩扳手检定仪研究[硕士学位论文]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2002.