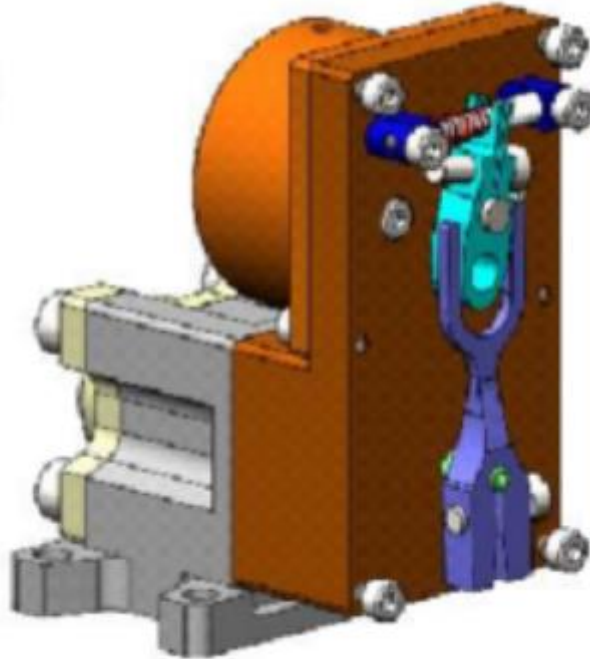


2D 数字伺服阀控制器的设计中基于 ACS712 (AH910) 电流采样模块的设计

一、引言

流量、频响和精度是评价电液伺服系统好坏的重要指标。如何提高性能，满足各种应用场合，已经成为电液伺服系统研究中亟待突破的重要课题。电液伺服阀是电液伺服系统的核心控制元件，其性能在很大程度上决定了整个系统的性能。数字控制技术的不断发展，推动了数字阀的出现，如 2D 数字伺服阀。由于 2D 数字伺服阀将导控级和功率级集成在阀芯上，具有结构简单、体积小、响应速度快、精度高、抗污染能力好等优点，使其在军工领域得到了较好的应用。2D 数字伺服阀以步进电机作为电-机械转换器，其性能在很大程度上决定了 2D 数字伺服阀的性能。



2D 数字伺服阀的控制原理

2D 数字伺服阀的机械部分主要由阀芯和阀体组成，名称由来是因为阀芯可以在阀体内完成水平和旋转两种运动。2D 数字伺服阀运用伺服螺旋机构，将功率级和先导级集成在阀芯上。通过改变控制信号，经过控制器内部算法的调整，使电-机械转换器(步进电机)两相绕组的电流发生变化，改变电-机械转换

器的旋转角度，经过拨杆拨叉机构，带动阀芯做旋转运动，具体的结构参考参考文献 3。在阀芯旋转的同时，由于敏感腔压力的变化，使阀芯同时作直线运动，改变阀口的开口量，实现对流量的调节。

2D 数字伺服阀是以混合式步进电机作为电—机械转换器。传统上步进电动机是以步进的方式工作的，使得阀的分辨率较低。虽然采用细分的方式可以增加模拟极对数，提高分辨率，但却降低了阀的响应速度，存在着分辨率和响应速度之间的矛盾。实际上，混合式步进电动机本质上可以看成多极永磁感应子式同步电机，当电机两相绕组分别通相位相差 90° 的电流时，在电机内部会产生一个旋转磁场，在此旋转磁场的作用下，电机转子产生转动，当两相电流变化一周，旋转磁场在电机内部旋转一周，电机转子转过一个齿距角，因此，通过对两相电流的控制，可以旋转磁场的旋转运动从而驱动转子在任意位置快速定位。根据上述思想，这里提出了步进电动机电流和位置双闭环控制方式，如图 1 所示。图 1 中，电流闭环的目的就是产生驱动电机转子快速在任意位置定位的恒定幅值的旋转磁场。图 1 中的位置闭环的目的就是实现转子无失步地位置控制，克服步进电动机传统控制下不可避免的失步缺点。通过电流和位置双闭环控制，使得 2D 数字伺服阀电—机械转换器兼具高响应速度和分辨率。

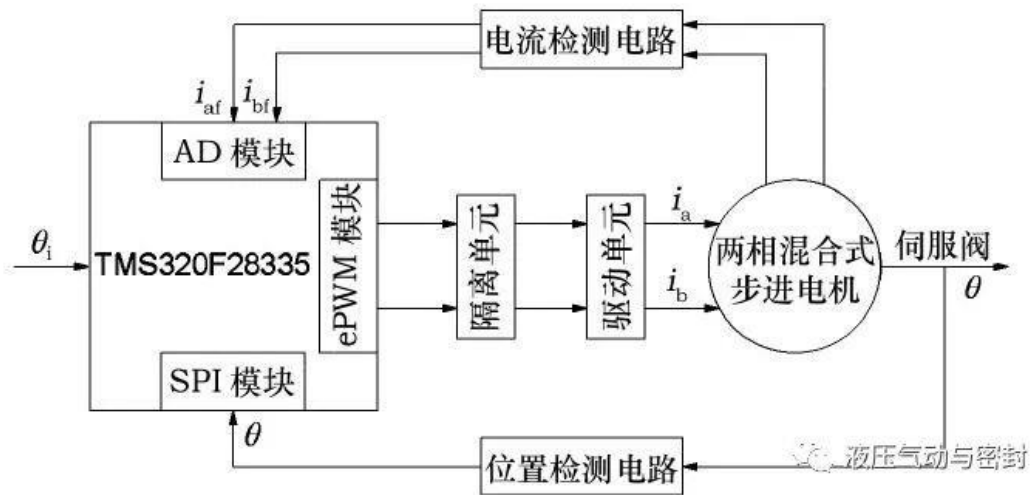


图 1 2D 数字阀电-机械转换器的控制原理

控制器的软硬件设计

3.1 控制器的硬件设计

1) 主控单元的设计

在电-机械转换器的控制中采用模糊PID控制算法，实现PID参数的实时调节，达到提高动静态特性的目的。设计选择的主控芯片是TMS320F28335DSP芯片。这款芯片是可以计算32位乘加运算的浮点数字信号处理芯片，主频最高可达150MHz，可以用来控制电机和各种电力设备。主控芯片主要完成对两相电流的采样值和位移传感器的角位移值的处理，实现PID控制和相位补偿等算法。主控电路示意图如图2所示。

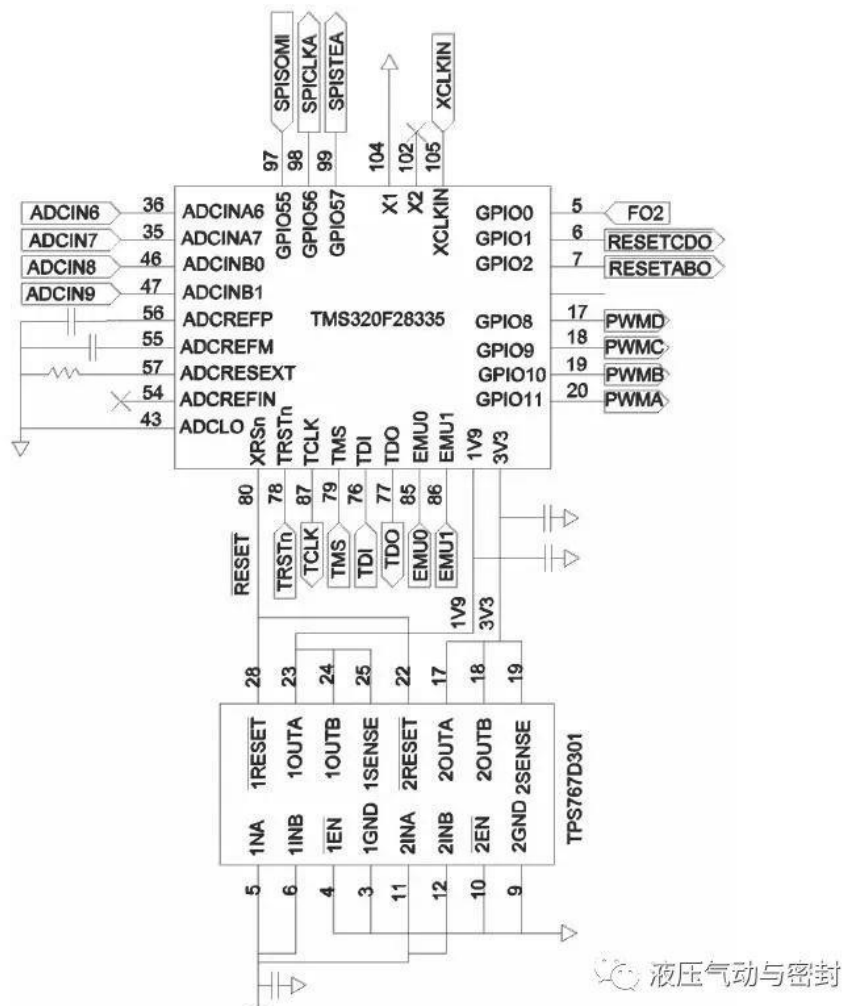


图2 主控电路示意图

2) 驱动模块的设计

电-机械转换器选用的是两相混合式步进电机，它的控制需要两个H桥单元。每个H桥单元都由4个MOSFET管以及其他的电阻、电容、二极管等器件组成。这

样造成控制器的体积较大，不利于和阀体集成在一起。为了解决这个问题，本次设计采用的 A5988: 四路 DMOS 全桥式 PWM 电机驱动器驱动芯片。A5988 是一种四路 DMOS 全桥式驱动器 IC，最多可以驱动两台步进电机或四台直流机每个全桥输出的额定值为 1.6 A 和 40 V。A5988 包括固定停机时间脉宽调制 (PWM) 电流稳压器和 2 位非线性 DAC (数字-模拟转换器)，DAC 可以以全步进、半步进、四分之一或八分之一步进模式控制步进电机，并可以以向前、反转和滑行模式控制直流电机 PWM 电流稳压器使用 Allegro™ 专利混合衰减模式来减少可闻电机噪音、增加步进精确度并减少功率耗散。提供的内部同步整流控制电路可以改善 PWM 操作过程中的功耗。保护功能包括滞后过热关机、欠电压锁定 (UVLO) 及交叉电流保护。不需要特别的加电排序。驱动电路图如图 3 所示。

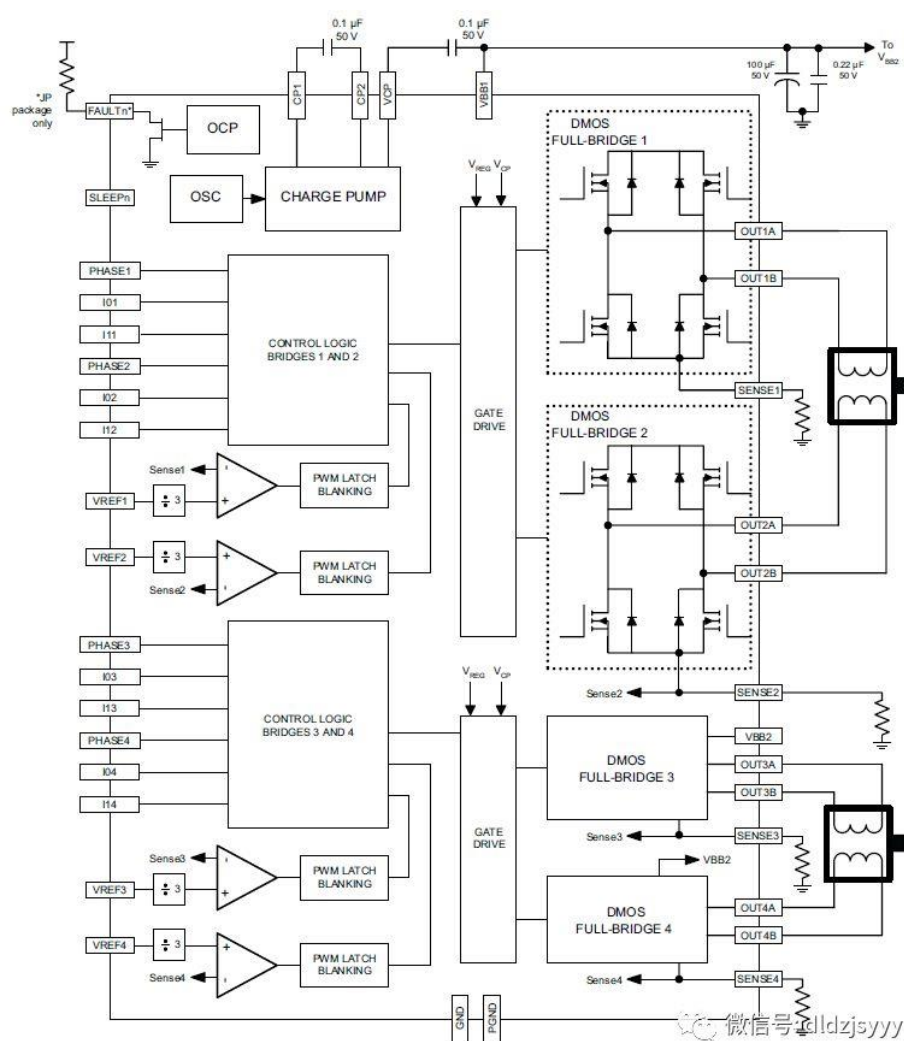


图 3 驱动模块设计

3) 电流采样模块设计

电流采样一般采用的是在回路中串入电阻，利用安培定理，检测电阻上的压降来得到流过电阻的电流。采样电阻比较精密，并且阻值比较小，一般为 $0.01 \sim 0.1 \Omega$ 左右。由于被检测的电流的幅值较大，所以所需要的采样电阻的功率也较大，体积也较大。为了减小控制器的体积，本次设计采用的是 ACS712(或国产芯片 AH91X) 线性霍尔电流传感器。传感器的内部集成有一个高精度、低偏置和线性的霍尔传感器。当霍尔传感器检测到由于铜导路径电流流过而产生的磁场时，将其转化为成比例的电压。此传感器可以流过的电流最大为 5A，内部铜导路径的阻抗为 $1.2m\Omega$ ，所以功率损失比较小。传感器在没有电流流过时，输出端口的电压为供电电压的 50%，精度为 $0.185V/A$ 。采样得到的输出电压，需要经过放大器的变换，输入到 DSP 的 AD 模块。电流采样模块主要用来实现对步进电机两相电流的采样，从而构成电流闭环，提高控制的精度和响应速度。具体的设计电路如图 4 所示。

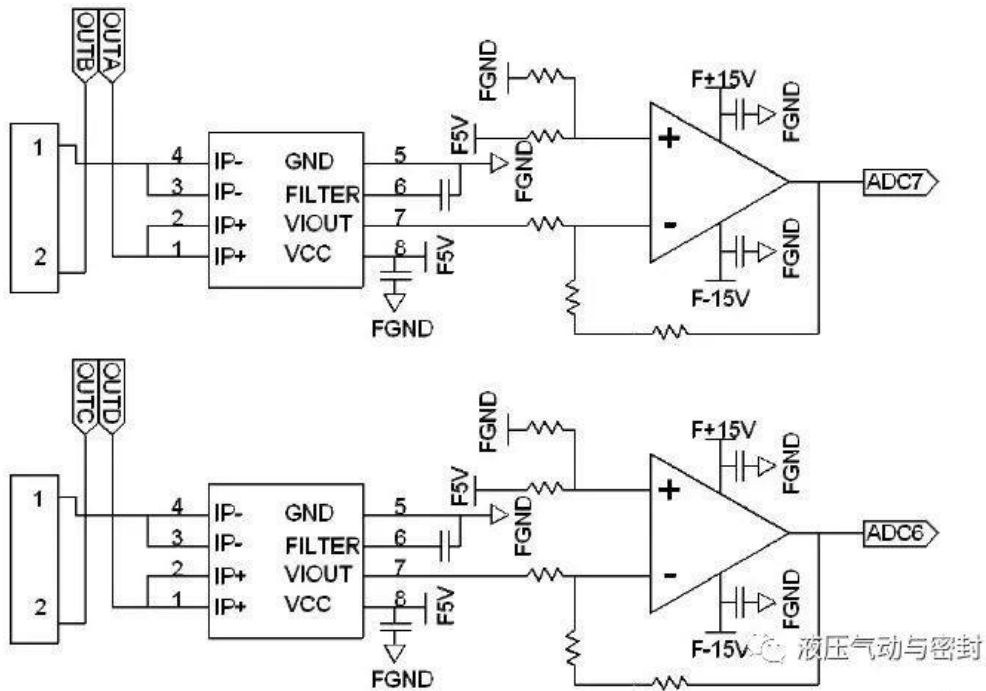


图 4 电流采样电路

3.2 控制器的软件设计

软件主要是为了实现电流和位置双闭环，以及相位补偿等。通过算法调整输出 PWM 波的占空比，改变两相绕组的电流大小。系统程序流程图如图 5。软件设计主要分为 ePWM、SPI 和 AD 等模块的中断程序设计。

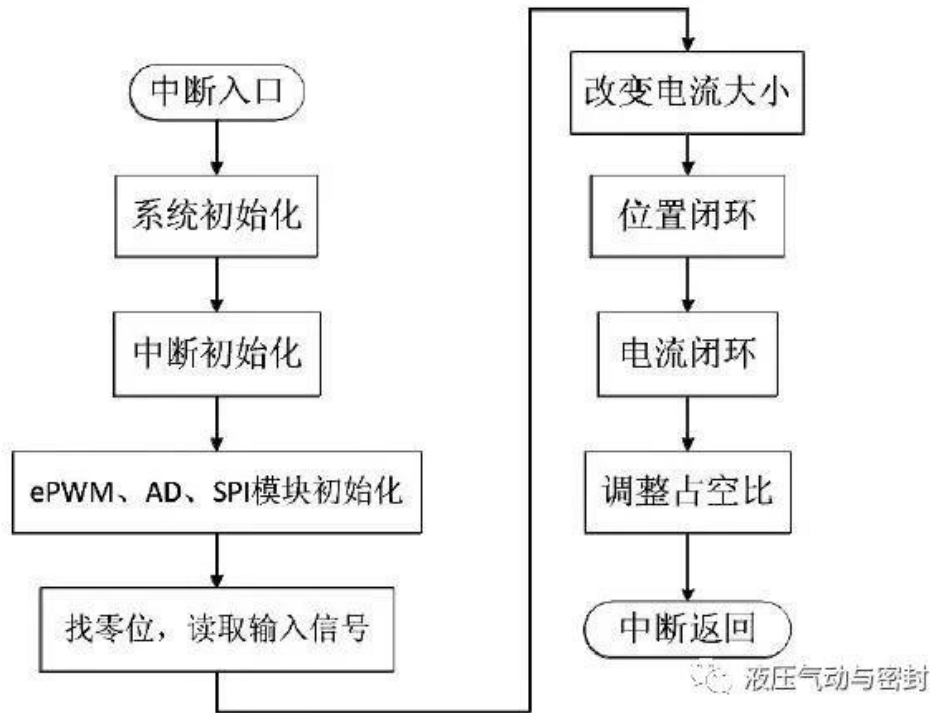


图 5 程序流程图

1) ePWM 中断子程序

ePWM 中断子程序主要根据输入信号和由角位移传感器检测到的角位移信号以及电流传感器检测到的两相电流来实现电流环和位置环双闭环。通过 PID 以及相位补偿算法进一步提高控制的精度和动静态特性。同时子程序还完成上电后零位的查找。

2) SPI 中断子程序

SPI 中断子程序主要用来接收角位移传感器输出的电-机械转换器（步进电机）的转子的旋转角度，并对其进行处理。为了提高角位移信号的精度，对三次采样的角位移值进行排序，然后取中间值作为当前的角位移值。

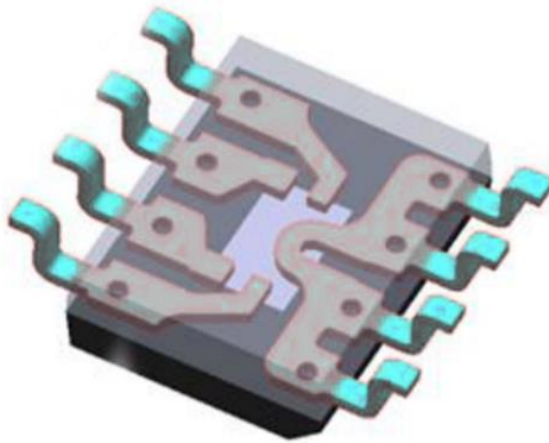
3) AD 中断子程序

输入信号和两相电流的采样值都要经过 AD 采样后，再进行平均，作为输入信号和电流采样值输入到 DSP 中。F28335 的 AD 模块有 16 路采样电路，可以对输入信号和电流采样信号进行多次采样，然后对采样值进行排序，去掉大、小两个极值进行平均运算，得出采样电流和输入信号。

结论

以 AH91X 为电流检测芯片芯片，改变电流检测的方式和电-机械转换器的驱动方式，不仅利于阀体和控制器的集成，还提高了伺服阀的动静态特性。通过试验可以得知，在设计的控制器的控制下，2D 数字伺服阀的频宽为 180Hz 左右，阶跃上升时间为 6.5ms，提升了伺服阀的整体性能。

AH91X 霍尔电流传感器 IC，是工业、汽车、商业和通信系统中交流或直流电流传感的经济而精确的解决方案。小封装是空间受限应用的理想选择，同时由于减少了电路板面积而节省了成本。典型应用包括电机控制、负载检测和管理、开关电源和过电流故障保护，可以检测到 40A 峰值的电流。



本例中提到的 AH91X 芯片是西安中科阿尔法电子科技有限公司推出隔离集成式电流传感器芯片。

AH91X 产品特点：

1. 1.2mohm 初级导体电阻，用于低功率损耗和高浪涌电流耐受能力；
2. 集成屏蔽实际上消除了从电流导体到芯片的电容耦合，极大地抑制了由于高 dv/dt 瞬态而产生的输出噪声；
3. 行业领先的噪声性能，通过专有的放大器和滤波器设计技术大大提高了带宽，在控制应用中响应时间更快

4. 隔离电压 1200V
5. 工作范围内稳定度：1.6%@25°C ~125°C；2.5%@-40°C ~25°C
6. 静态共模输出点为 2.5V 或者 50% VCC
7. 抗干扰能力强,抗机械应力强，磁场参数不受外界压力而偏移
8. 通过 RoHS 认证：（EU）2015/863；

产品应用：

电机控制； 负荷检测与管理； 开关电源； 过电流故障保护； 逆变器电流检测； 电机相位电流检测（电机控制）； 光伏逆变器； 蓄电池负载检测系统； 电流互感器； 开关电源； 过载保护装置；