



微课视频

第5章

CHAPTER 5

计算机控制系统中的

过程通道

一个控制系统本质上也是一个信息系统,信息的获取和使用是信息系统与外界联系的重要过程。一个与外部联系的信息节点,可以包含多个数据的输入和输出,并且还可能需要进行一系列的数据处理,这些数据处理通常是基于电信号完成的。

在计算机控制系统中,控制对象运行的状态信息需要通过传感器转换为电信号才能输入给计算机,计算机处理后的信息也需转换为合适的电信号输出到执行器,由执行器对控制对象实施控制作用。传感器与执行器也是最接近控制现场的部件,它们对控制系统有着举足轻重的影响。具有多种信号处理功能及数字接口的传感器和执行器常称为智能传感器和智能执行器,也可看作智能变换器。

在计算机控制系统中实现控制对象与计算机之间信号传递和交换的装置称之为过程通道。过程通道解决两类基本问题:一是将外部传感器信号转换成计算机能接收的数字信号;二是将计算机输出的数字信号转换为外部执行器能接收的信号。由此,过程通道可分为输入通道和输出通道,输入通道又称为前向通道,主要用于采集来自传感器的各种数据;输出通道又称后向通道,主要用于驱动各种执行器。

过程通道主要由多种信号处理电路组成。根据处理信号类型的不同,输入通道可分为数字量输入通道和模拟量输入通道;输出通道可分为数字量输出通道和模拟量输出通道。基于现场总线的控制系统通常将过程通道的功能融合到传感器与执行器中。

本章主要介绍控制系统中的传感器与执行器、信号及其处理方式、过程通道结构和原理。

5.1 传感器与执行器

5.1.1 传感器和变送器

1. 传感器

传感器(sensor)是能感受规定的被测量并按照一定的规律转换成可用信号的器件或装置,通常由敏感元件和转换元件组成。传感器是计算机控制系统中获取外部信息的重要装置。

传感器的种类非常多,检测的物理量也非常广,但输出的信号以电量参数的形式为多,如电压、电流、电阻、电感、电容、频率等。

在控制系统中,对输出信号为开关信号、脉冲信号和数字量的传感器的处理比较方便,

而对输出信号为模拟量的传感器, 希望有规范的信号标准, 一种做法是制定传感器的标准, 另一种做法是通过专门的部件进行信号转换。前者典型的例子是热电阻和热电偶的工业标准; 后者的实例就是采用变送器, 将来自传感器的信号转换为标准信号输出, 以便各种仪表和计算机统一处理。

2. 变送器

变送器(transmitter)是从传感器发展而来的, 凡能输出标准信号的传感器通常称为变送器。

通用的标准信号为直流电流 $4\sim 20\text{mA}$ 或直流电压 $1\sim 5\text{V}$ 等。无论被测变量是哪种物理量, 也不论测量范围如何, 经过变送器之后都转换为标准信号。 $4\sim 20\text{mA}$ 电流型信号可克服传输导线电阻的影响, 抑制干扰, 适于远距离传输。但大部分的 A/D 转换器要求输入电压信号, 通过简单的电流—电压信号转换电路就可将其转换成 $1\sim 5\text{V}$ 电压型信号。

有了统一的信号形式和数值范围, 就便于把各种变送器和其他仪表组成检测系统或调节系统。无论什么仪表或装置, 只要有同样标准的接口电路, 就可以从各种变送器获得被测变量的信息, 这样, 兼容性和互换性大为提高。在过程控制系统中, 如条件许可, 应尽量使用能输出标准信号的变送器。

变送器信号传输的连接方式通常有四线制传输、三线制传输和两线制传输, 如图 5-1 所示。

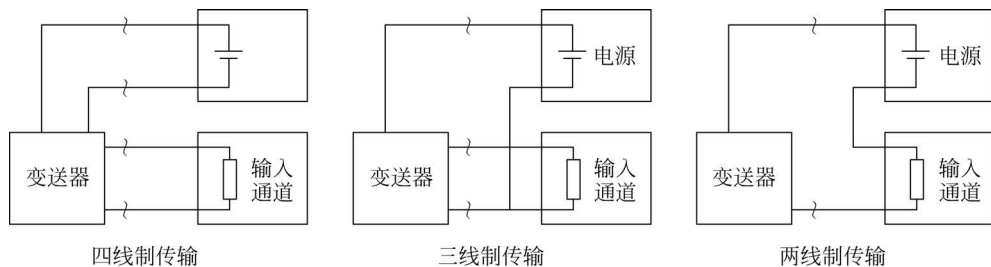


图 5-1 信号传输的连接方式

四线制传输方式中供电电源和输出信号分别用两对导线传输, 适用于信号处理电路比较复杂, 且有较大功耗的场合。

三线制传输方式与四制线的不同之处是信号与电源装置的负端相连, 这样可省去一根连线, 但对多个传感器或变送器之间的共地连接可能会产生一定的干扰, 故三线制的变送器使用不多。

两线制传输方式仅用两根导线传输, 这两根导线既是电源线, 又是信号线。采用两线制变送器不仅可节省大量电缆线和安装费用, 而且有利于安全防爆。因此这种变送器得到了较快的发展。对采用现场总线的智能变送器在这两根传输线上还可同时传输数字信号。在两线制传输方式下, 对变送器的功耗有较高的要求, 至少能在 4mA 工作电流情况下工作, 功耗过大, 势必要求提高工作电压才能正常工作。

3. 智能传感器

随着微处理器技术与传感器技术的结合, 出现了所谓智能型的传感器。与传统的传感器相比它具有多种数据处理功能, 如自动补偿、在线校准、自动诊断、数字滤波、统计处理、数据存储以及提供数字信号的输出接口, 使得传感器的各项指标有了较大幅度的提高。

智能传感器(smart sensor)也称灵巧式传感器,是现代传感器技术的一个重要发展方向。虽然智能传感器至今尚无明确的定义,但通常认为,智能传感器应当是包含“传感器和计算机系统”的芯片级装置。它通常集信号探测、变换处理、逻辑判断、功能计算、双向通信和实现自检、自校、自补偿、自诊断等多种功能于一体。智能传感器输出的也是标准信号,除了模拟的 4~20mA DC 外,通常还在其上叠加了数字信号(如现场总线 HART),因此许多智能传感器产品常称为智能变送器。

智能传感器利用微处理器对测试的信号进行标度换算、数字调零、非线性补偿、温度补偿、数字滤波等诸多处理,从而能获得较精确的测量结果,可根本解决传感器的温度漂移和非线性问题。智能传感器可在线测量传感器工作状态,并能进行自检和自校,根据使用时间和利用存在 EPROM 内的计量特性数据进行校对,实现在线校正。还有许多智能传感器采用了无线传输技术,使应用更为灵活。

在基于现场总线的控制系统中,传统的过程通道所完成的任务都可在智能传感器中实现,智能传感器通过数据接口连接现场总线与外部进行信息交换。智能传感器将会给计算机控制系统带来一场革命。

5.1.2 IEEE 1451 智能变换器标准

1. IEEE 1451 简介

IEEE 1451 是一个关于智能变换器(smart transducer)的接口标准系列,这一标准系列描述了一组用于智能变换器与微处理器、仪表系统和控制网络相连接的、开放的、通用的、独立于网络的通信接口。

智能变换器可以是一种传感器或检测器,也可以是一种执行器(actuator),或者是两种的组合,它可以作为信息系统与外界联系的一个信息节点。但 IEEE 1451 标准定义的智能变换器习惯上也被称为“智能传感器”,因为它与传统意义上的传感器或早期的智能传感器已有所不同。

IEEE 1451 标准的目标是定义一组变换器与系统或网络之间有线/无线的公共接口,通过这些接口可以很容易地访问变换器中的数据。使智能变换器与网络或其他设备的连接更为简便,使得智能变换器设计制造更为容易,这些变换器能够融合现有的和未来的网络技术。

IEEE 1451 标准由多个工作组来制订不同领域的接口标准。其中,IEEE 1451.1 定义了智能变换器的公共对象模型和相应模型的接口;IEEE 1451.2 定义了连接变换器——微处理器——网络节点的接口模型;IEEE 1451.3 定义了点分布式系统的数字通信接口;IEEE 1451.4 定义了基于模拟量变换器基础上的一个混合模式智能变换器的接口。

2. IEEE 1451.1

IEEE 1451.1 定义的信息模型中智能变换器通过称为 NCAP(network capable applications processors,网络适配处理器)的接口与不同类型的网络连接。NCAP 到网络协议的映射由标准的应用程序编程接口完成,并以可选的方式支持多种接口模型的通信方式(如 IEEE 1451.2、1451.3、1451.4 标准提供)。IEEE 1451.1 定义的模型如图 5-2 所示。

3. IEEE 1451.2

IEEE 1451.2 定义的接口模型包括智能变换器接口模块 STIM(smart transducer

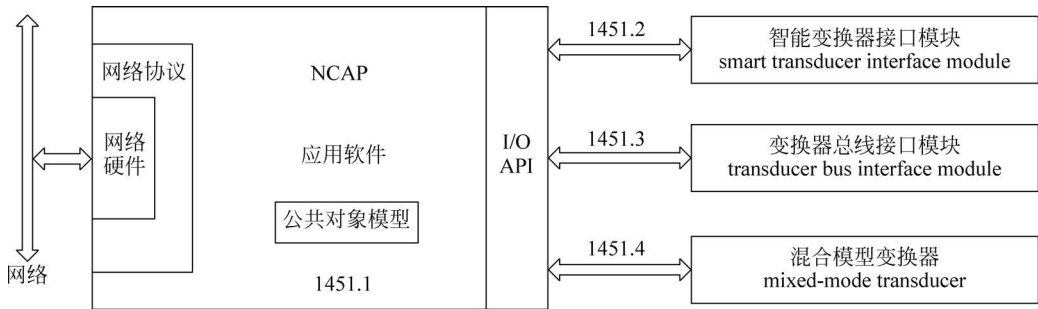


图 5-2 IEEE 1451.1 定义的模型

interface module) 及其连接到 NCAP 的 10 线标准接口 TII (transducer independent interface)。STIM 包括检测器、执行器、A/D 和 D/A 转换、信号调理、寻址逻辑以及电子数据表单 TEDS(transducer electronic data sheet)。其中 TEDS 是这个标准的重要内容。TEDS 存放在与变换器相关的存储装置中,它记录了变换器的标识、标度、校正数据和制造商相关的信息。基于 SPI 的通信层,以及为流控制和定时设置的硬件连线。后来修订增加了两个通用的串行接口: UART 和 USB。

TII 基于 SPI 的串行通信方式实现 STIM 与 NCAP 间的连接,使用户可以方便地把变换器应用到多种网络中,并体现了变换器与网络的无关性。IEEE 1451.2 定义的模型如图 5-3 所示。接口 TII 的信号定义如表 5-1 所示。

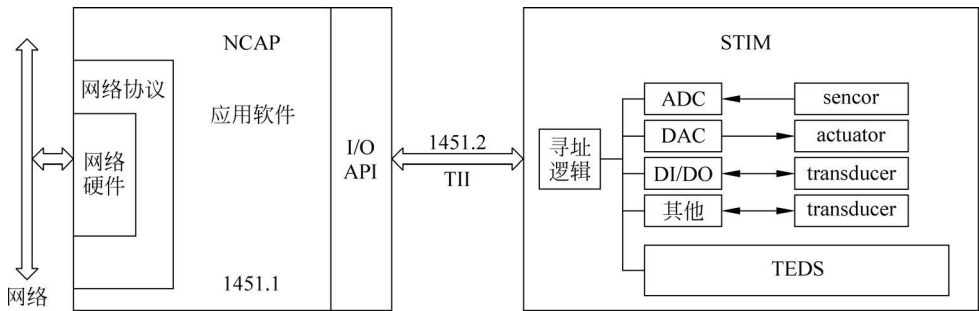


图 5-3 IEEE 1451.2 定义的模型

表 5-1 接口 TII 的信号定义

脚号	信号名称	驱动来自	颜色	逻辑	功 能
1	DCLK	NCAP→STIM	棕	正沿	正沿锁存 DIN 和 DOUT 数据
2	DIN	NCAP→STIM	红	正逻辑	NCAP 传送到 STIM 的地址和数据
3	DOUT	NCAP←STIM	橙	正逻辑	STIM 传送到 NCAP 的数据
4	NACK	NCAP←STIM	黄	负沿	有两个功能: 触发响应和数据传送响应
5	COMMON	NCAP→STIM	绿	N/A	信号公共端或接地
6	NIOE	NCAP→STIM	蓝	低电平	表示数据传送中和区划数据传送帧结构的信号
7	NINT	NCAP←STIM	紫	负沿	STIM 用来请求 NCAP 服务
8	NTRIG	NCAP→STIM	灰	负沿	执行启动功能
9	POWER	NCAP→STIM	白	N/A	电源(+5VDC)
10	NSDET	NCAP←STIM	黑	低电平	NCAP 用来侦探 STIM 的存在

4. IEEE 1451.3

IEEE 1451.3 定义了多节点变换器总线 (multi-drop transducer bus) 到网络节点的接口。在有些情况下,很难把 TEDS 嵌入变换器中,此时可通过变换器总线接口模块 TBIM (transducer bus interface module)在公共的传输介质——多节点变换器总线上传输多路数字信号,由于 TBIM 规模较小更容易嵌入变换器中,通过多节点网络可进行大量的数据转换和传输,最后通过含有 TBC(transducer bus controller)的 NCAP 与最终的网络相连。IEEE 1451.3 定义的模型如图 5-4 所示。

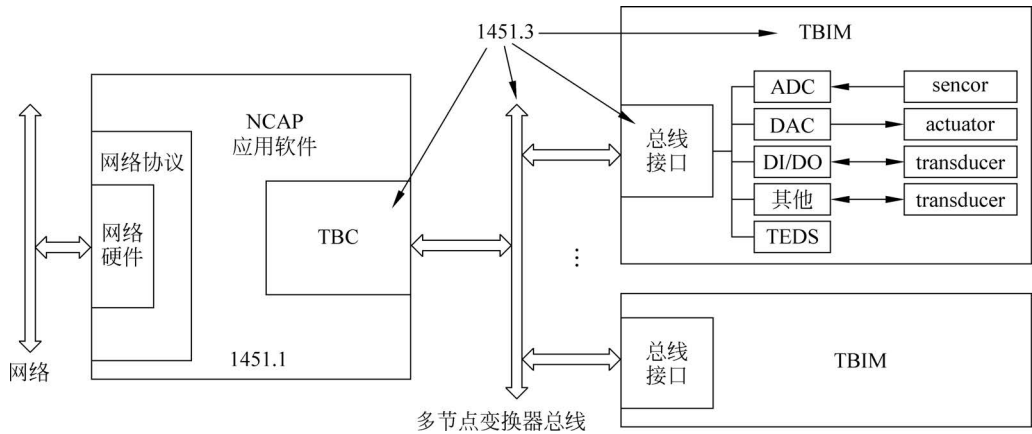


图 5-4 IEEE 1451.3 定义的模型

5. IEEE 1451.4

IEEE 1451.4 定义了允许模拟量传感器以数字或混合模式通信的标准。包括一个基于现有模拟量传感器基础上提出的混合模式接口 MMI 和 TEDS,其定义的模型如图 5-5 所示。

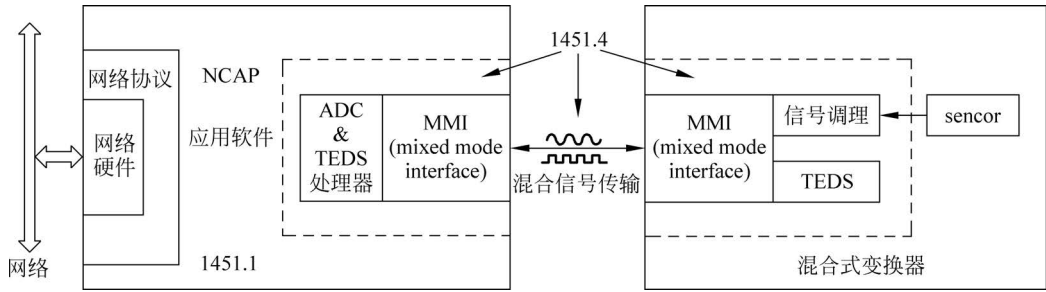


图 5-5 IEEE 1451.4 定义的模型

IEEE 1451.4 标准支持廉价和传统的模拟量传感器,它既可以通过现有电缆远距离传输模拟信号,也为具有智能特点的模拟量传感器连接到智能系统提供了 TEDS 格式,使传感器能进行自识别和自设置。TEDS 可以包括如下信息:

- (1) 识别参数。如生产厂家、模块代码、序列号、版本号和数据代码;
- (2) 设备参数。如传感器类型、灵敏度、传输带宽、单位和精度;
- (3) 标定参数。如最后的标定日期、校正引擎系数;
- (4) 应用参数。如通道识别、通道分组、传感器位置和方向。

5.1.3 执行器及其分类

1. 执行器的定义

控制系统中的执行器(actuator)通常又称为驱动器、激励器、调节器等,它是驱动、传动、拖动、操纵等装置、机构或元器件的总称。

如把控制系统看作是一个信息系统,则传感器完成信息获取任务,计算机担当信息处理功能,执行器完成的是信息施效。执行器将控制信号转换为相应的物理量,如产生动力、改变阀门或其他机械装置位移、改变能量或物料输送量。执行器也是影响控制系统质量的重要部件。

2. 执行器的分类

执行器按组成要素可分为结构型执行器和物性型执行器。

结构型执行器也称构造型执行器,这类执行器是通过物体的结构要素实现对目的物的驱动和操作,并可进一步按其采用的动力源分为液动执行器、气动执行器和电动执行器。

(1) 液动执行器的动力源由液压马达提供,其特点是推力大、防爆性能好,但缺点是体积和重量大。

(2) 气动执行器的动力源由压缩空气提供,其特点是结构简单、体积小、安全防爆,但控制精度低、噪声大。

(3) 电动执行器的动力源由电动机或电磁机构提供,其特点是控制灵活、精度高,但有电磁干扰。

物性型执行器主要是利用物体的物性效应(包括物理效应、化学效应、生物效应等)实现对目的物的驱动与操作。例如,利用逆压电效应的压电执行器;利用静电效应的静电执行器;利用电致与磁致伸缩效应的电与磁执行器;利用光化学效应的光化学执行器;利用金属的形状记忆效应的仿生执行器等。

执行器常见的执行机构有阀、泵、角度调节机构、位置调节机构和加热装置的功率调节机构,利用执行器可实现对执行机构的开关控制、速度控制、角度和位置控制、力矩和扭矩控制、功率控制等。

执行器离不开动力源,最常见的动力源是电动机,其中伺服电机、步进电机在控制系统中得到了广泛的应用。

5.1.4 伺服电机和步进电机

控制电机是一类用于信号检测、变换和传递的小型功率电机,既可作信号元件也可作执行元件,前者如测速电机;后者如伺服电机和步进电机。在控制系统中,控制电机也是电动执行器的重要组成部分。下面重点介绍伺服电机和步进电机。

1. 伺服电机

伺服电机(servo motor)又称执行电机,作为执行元件,可把电信号转换成电机轴上的角位移或角速度输出,实现对速度、位置的控制。伺服一词含有跟随、服从含义,由伺服电机作为执行器的伺服系统可跟随人们所期望的位置、速度和力矩要求进行运动。伺服电机与普通动力驱动用电机相比,具有惯性小、控制精度高的特点。

伺服电机通常需要与伺服驱动器构成一个伺服控制系统。伺服驱动器根据给定的输入

电压或脉冲信号控制伺服电机,以达到要求的转速、转向和位置。

伺服电机有直流伺服电机和交流伺服电机之分。直流伺服电机又分为有刷和无刷。

有刷直流伺服电机成本低、结构简单、启动转矩大、调速范围宽、容易控制,但碳刷易磨损,需要维护,会产生电磁干扰,噪音较大。

无刷直流伺服电机体积小、重量轻、寿命长、响应快、速度高、惯量小、转动平滑,但控制电路复杂,成本高。

交流伺服电机也是无刷电机,分为同步和异步电机,在运动控制中一般都用同步电机。在相同功率条件下,交流伺服电机有更小的体积和重量,随着交流伺服驱动技术的不断完善和发展,其控制精度和质量不断提高,因而在工业上得到越来越广泛的应用。

在对控制指标要求不高、功率输出较小的场合,可使用简单的直流伺服电机,相应的驱动电路比较简单。对交流伺服电机,通常需要选用商品化的驱动器产品。

交流伺服电机与驱动器的连接如图 5-6 所示。其中驱动器可通过连接本地的控制器、计算机控制,也可通过通信接口由远程上位控制器控制,伺服电机的位置通过编码器输入给驱动器。根据需要还可配置外部制动电源,实现快速制动。另外,为安全和防止干扰,还需要配置断路器、噪音滤波器和电抗器等。控制系统可通过驱动器监控交流伺服电机的运行。

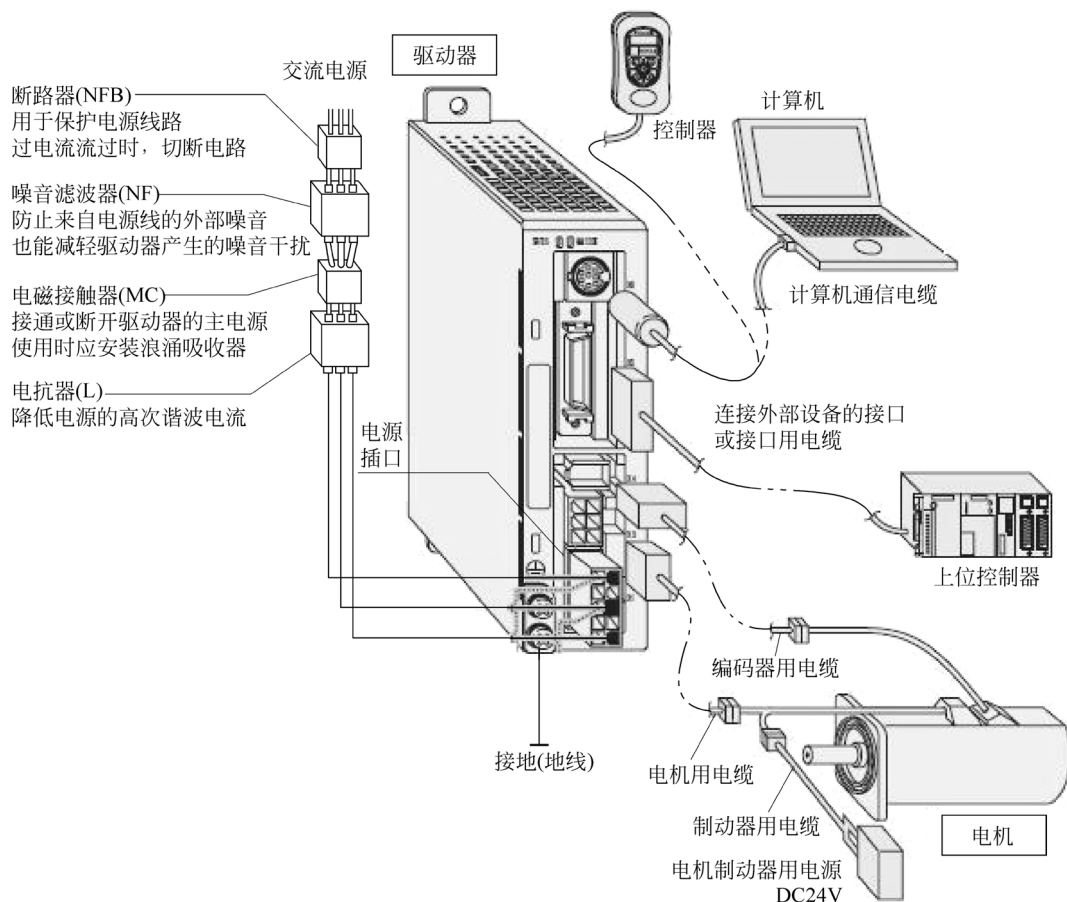


图 5-6 交流伺服电机与驱动器的连接

2. 步进电机

步进电机(step motor)是将电脉冲信号转变为角位移的电机。步进电机的输入是脉冲序列,输出则为相应的增量位移或步进运动。在正常工作情况下,步进电机在输入脉冲信号控制下,以固定的角度(称为步距角或步进角)一步一步转动。通常步进驱动器接收到一个脉冲信号,它就驱动步进电机按设定的方向转动一个或半个步距角。可以通过控制脉冲个数控制电机的角位移量,通过控制脉冲频率控制电机转动的速度和加速度,从而达到准确定位和定速的目的。由于步进电机没有积累误差,更适用于对位置的开环控制。步进电机在数控机床、自动送料、磁盘驱动器、打印机和绘图仪等装置中有广泛的应用。

步进电机有三种构造:永磁式(permanent magnet, PM)、反应式(variable reluctance, VR)和混合式(hybrid, HB),示意图分别如图 5-7(a)、(b)和(c)所示。

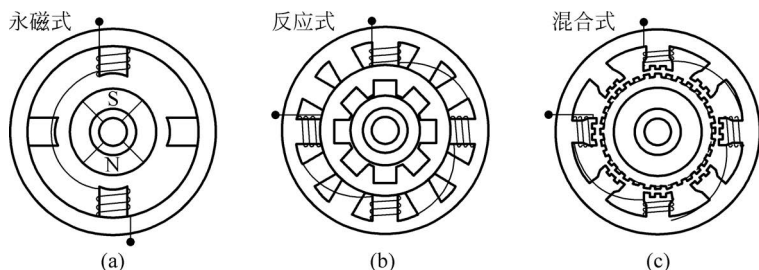


图 5-7 步进电机的构造示意图

(1) 永磁式步进电机转子是永磁体,定子是激磁绕组,在定子和转子之间的排斥力和吸引力的作用下转动,步距角一般为 $7.5^\circ \sim 90^\circ$ 。

(2) 反应式步进电机转子是齿状的铁芯,定子是激磁绕组。在定子磁场中,转子始终转向磁阻最小的位置,步距角一般为 $0.9^\circ \sim 15^\circ$ 。

(3) 混合式步进电机是永磁式和反应式的复合形式。在转子和定子的表面上加工出许多轴向齿槽,产生转矩的原理与永磁式相同,转子和定子的形状与反应式相似,步距角一般为 $0.9^\circ \sim 15^\circ$ 。

反应式步进电机结构简单、生产成本低、步距角小,但动态性能差;永磁式步进电机出力大、动态性能好,但步距角大;混合式步进电机也称为永磁感应子式步进电机,它综合了反应式、永磁式步进电机两者的优点,它的步距角小、出力大、动态性能好,应用最为广泛。

根据电机激磁绕组的对数,步进电机有二相电机、三相电机、四相电机、五相电机之分。通过驱动激磁绕组通电的次序可控制电机的转动。

市场上也有许多商品化的步进电机驱动器,普通型步进电机驱动器通常提供时钟脉冲、方向选择、使能控制等输入信号,这些信号由上位计算机控制,同时还提供细分选择和电流选择开关,根据需求和所用电机规格进行手工设置。对智能型步进电机驱动器,内部含有微处理器,并提供通信接口(如 RS-232、RS-485、CAN 总线等)和控制面板。步进电机驱动器的结构示意图如图 5-8 所示。

3. 伺服电机和步进电机的比较

伺服电机和步进电机作为控制电机,有不少相似之处,但也有许多不同,在应用过程中需要合理选用。

1) 结构和工作原理

无论是直流还是交流伺服电机,在驱动信号作用下都是连续运动的,而步进电机是在驱动脉冲作用下,按步进离散运动的。

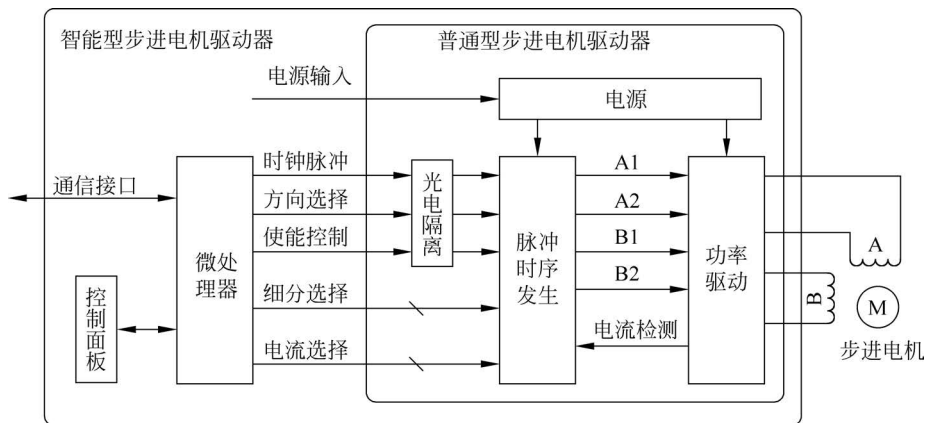


图 5-8 步进电机驱动器的结构示意图

2) 控制精度

伺服电机的控制精度需要通过闭环的伺服系统保证,而步进电机是开环控制,在不失步情况下可以保证规定的精度。步进电机利用细分技术,在开环情况下可实现较高的控制精度;伺服电机安装数字旋转编码器后,闭环的伺服系统根据编码器的反馈信号可实现更高的控制精度,内部可构成位置环和速度环,控制性能更好,当然成本也会提高。

3) 矩频特性

伺服电机输出力矩相对较大,转速较高,范围较宽,有较好加速性能,能适应快速启停的控制。步进电机的输出力矩随转速升高而下降,且在较高转速时会急剧下降,最高工作转速也较低,一般不超过 1000r/min。

4) 过载能力

伺服电机具有较强的过载能力,可用于克服惯性负载在启动瞬间的惯性力矩;步进电机一般不具有过载能力,过载后容易失步。

5) 成本

伺服电机本身结构简单,在相同驱动功率的情况下,比步进电机的成本低,但为了保证控制精度和质量,需要配置数字式闭环伺服控制器,构成的伺服控制系统其成本会较高。

综上所述,伺服电机及其构成的伺服系统,特别是交流伺服系统在许多性能方面都优于步进电机,在控制性能要求不是很高的场合可选用步进电机;而对控制精度不高,成本更低的场合,可选择伺服电机及其简单的开环控制驱动器。

值得指出,有一种新型的一体化步进伺服驱动系统是在数字步进驱动基础上融合了伺服控制技术,采用位置、速度、电流闭环控制,兼容步进和伺服的双重优点。对步进电机结构进行改造,安装位置编码器,采用矢量控制技术,从根本上解决了传统步进电机失步的问题。具有低发热、高效率、平滑精确、高速响应、大力矩、高速度等优点。

5.1.5 变频器与电动执行器

1. 变频器

伺服电机和步进电机作为控制系统中的执行器,通常关注的是控制的灵活性和精度,其

输出的功率一般不会很大。在生产过程中,大量的动力拖动用电动机作为驱动装置,驱动用电机是工业领域重要的动力设备,常需要对其速度进行控制。驱动用电机有直流电机和交流电机之分,直流电机是出现最早的电机,虽有较好的控制特性,但由于在结构、价格、维护方面存在问题,其应用远不如交流电机。

异步交流电机是应用最为广泛的电力驱动电机,它广泛应用于驱动机床、水泵、鼓风机、压缩机、起重设备、机械加工等设备。

异步交流电机的速度控制曾经是非常困难的事,以至于不得不使用直流电机进行速度控制。随着变频技术的发展成熟,变频器成了异步交流电机调速最常用的控制装置。因此在越来越多的控制系统中,变频器也作为一种常见的执行器被应用。

变频器是一种利用电力半导体器件的通断作用将工频电源变换为另一频率的电能控制装置,以实现电机的变速运行。用于异步交流电机调速的变频器提供了多种接口,可通过标准的仪表信号(4~20mA)、开关信号、控制面板以及通信接口与外部相连,可方便地控制异步交流电机的转速。变频器能实现对输出功率很大的交流电机进行调速,但控制的精度远不如交流伺服系统。

用于交流电机调速的变频器通常会提供人机操作界面,用于设置参数,并提供一些输入/输出控制和检测信号,如正转、反转、速度挡位等开关量输入信号;频率设定的模拟量输入信号;报警、状态开关量输出信号;当前频率设定的模拟量输出信号。另外,变频器还提供数字通信接口,实现上位机的远程控制。一个典型的变频器连接示意图如图 5-9 所示。

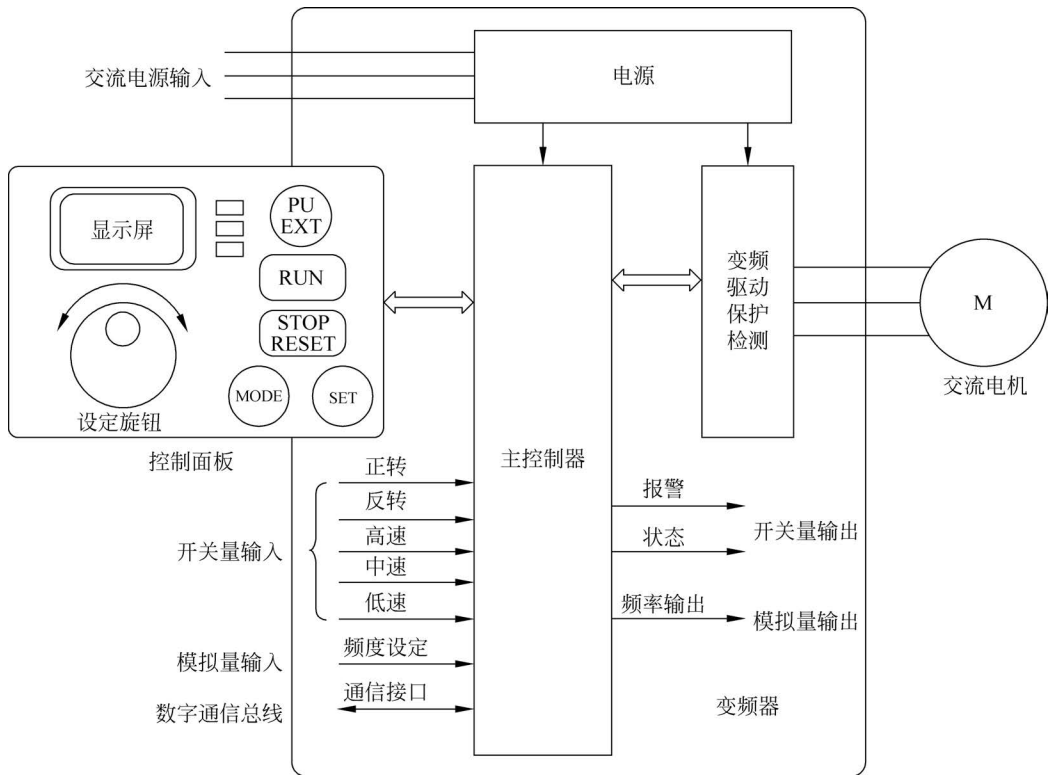


图 5-9 一个典型的变频器连接示意图

2. 电动执行器

电动执行器(也称电动力执行机构)是工业控制中常见的执行器。它接收来自调节器、工控机、DCS、计算机等仪表系统的控制信号,变成位移推力或转角力矩,完成调节的机械动作,如直行程和角行程阀门开度的调节。

电动执行器根据输入的标准仪表信号(4~20mA)或开关信号,来调节行程位置,并可将当前的行程位置反馈给上位机。对阀门可以调节开度,此时的电动执行器常称为电动调节阀;也可以是简单的打开和关闭动作,此时的电动执行器即为电磁阀。

电动执行器也可将限位报警等其他状态信号反馈给外部,还可提供通信接口与外部通信。电动执行器的连接示意图如图 5-10 所示。

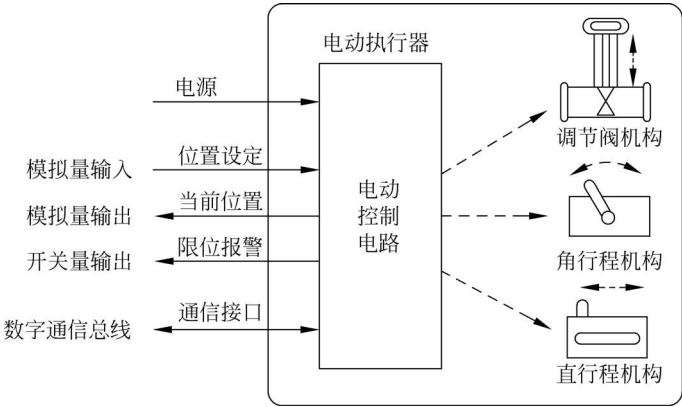


图 5-10 电动执行器的连接示意图

5.2 输入通道

5.2.1 控制系统中的信号种类及特点

要对生产过程实现自动控制,就必须对它的运行状态进行检测。生产过程中的开关信号、脉冲信号、数字编码信号等,可通过数字量输入通道输入计算机。生产过程中还有许多信号(诸如压力、流量、温度、液面高度等)是随着时间连续变化的模拟信号,由传感器和变送器把它们转换为模拟的电流或电压信号,这些信号需通过模拟量输入通道转换为数字信号,才能被送入计算机。不同的信号有着各自的特征和处理要求,如表 5-2 所示。

表 5-2 信号类型和处理要求

信号类型	信号特征	表示信息	处理要求
开关信号	只有两种不同的取值。需要关心信号频率变化范围和幅度	开关和按键状态、位置状态、通断状态等	限幅、整形、消抖、隔离、电平转换、锁存等
脉冲信号	脉冲的边沿表示信号的有无,需要关心脉冲的间隔、脉冲的宽度和频率	频率、时间、计数、报警触发、中断请求等	限幅、电平转换、隔离、计数、锁存等
数字信号	通常为二进制或 BCD 信号,每位只有“0”和“1”两种取值。需要关心数制、位数	数码开关输入的参数和量程,数字传感器检测到的温度、压力、流量、位移、速度、重量等	隔离、电平转换、锁存、校验、纠错、串/并转换等



微课视频

续表

信号类型	信号特征	表示信息	处理要求
模拟信号	在时间和幅度上是连续的,通常需关注信号频度范围和精度	模拟传感器检测到的温度、压力、流量、位移、速度、重量、电压、电流、功率等	放大、隔离、滤波、采样保持、V/F转换、A/D转换、非线性变换、标度变换等

根据处理信号类型的不同,输入通道可分为数字量输入通道和模拟量输入通道。数字量输入通道以处理开关信号、脉冲信号和数字信号为主;模拟量输入通道以处理模拟信号为主。输入通道也称前向通道。

输入通道对信号的处理实际上完成的是信号调理。所谓信号调理(signal conditioning)是指将敏感元件检测到的各种信号转换为规范标准信号。数字量输入通道中的信号调理主要包括消抖、滤波、保护、电平转换、隔离等。模拟量输入通道的调理内容有电流-电压信号转换、电阻-电压信号转换、电压放大以及隔离等,调理后的信号通常为一定大小的电压信号,然后由 A/D 转换器变为数字信号。

图 5-11 给出了以处理数字信号为主的前向通道结构示意图。感应开关、(机械式)行程开关产生的信号经电平转换电路变为接口电路能接收的开关信号(通常为 TTL 电平);转速传感器产生的信号经整形电路成为边沿较好的脉冲信号,利用计数器(计数电路)记录收到的脉冲数;V/F(电压/频率)转换器输出的是频率信号,可经计数器或直接送往接口电路;角度编码器输出的数字信号需经相位鉴别和锁存后,再送往计算机。传感器输出的数

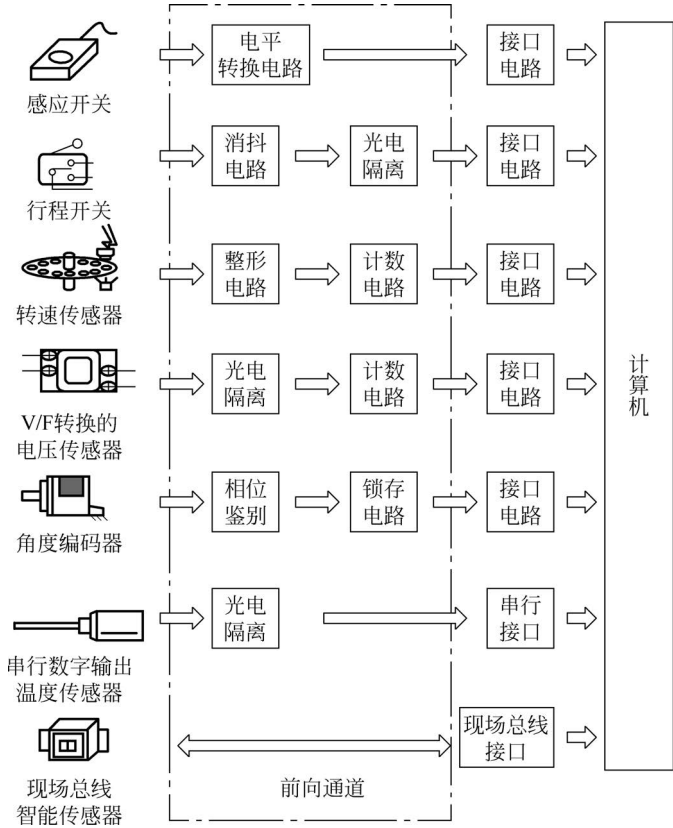


图 5-11 以处理数字信号为主的前向通道结构示意图

字信号通常需要经光电隔离后送往计算机接口电路。许多智能化传感器有串行数字输出功能,可经隔离电路送往串行接口;具有现场总线的传感器,已将过程通道的功能集成在传感器内部,因此,可直接与现场总线相连。

图 5-12 是以处理模拟信号为主的前向通道结构示意图。热(敏)电阻通过电桥将电阻阻值的变化量转换为电压信号;热电偶把温度信号转换为电势信号输出。这些信号经放大、线性化处理、A/D 转换后送入计算机接口电路。大电流信号需要分流衰减,大电压信号需要分压衰减,高速变化的信号需要采样保持后,才能进行 A/D 转换;对输出电流信号的传感器,需要将电流信号转换为电压信号,才能进行 A/D 转换;为防止现场对计算机系统的干扰,在前向通道中,通常还要有光电或变压器隔离措施。

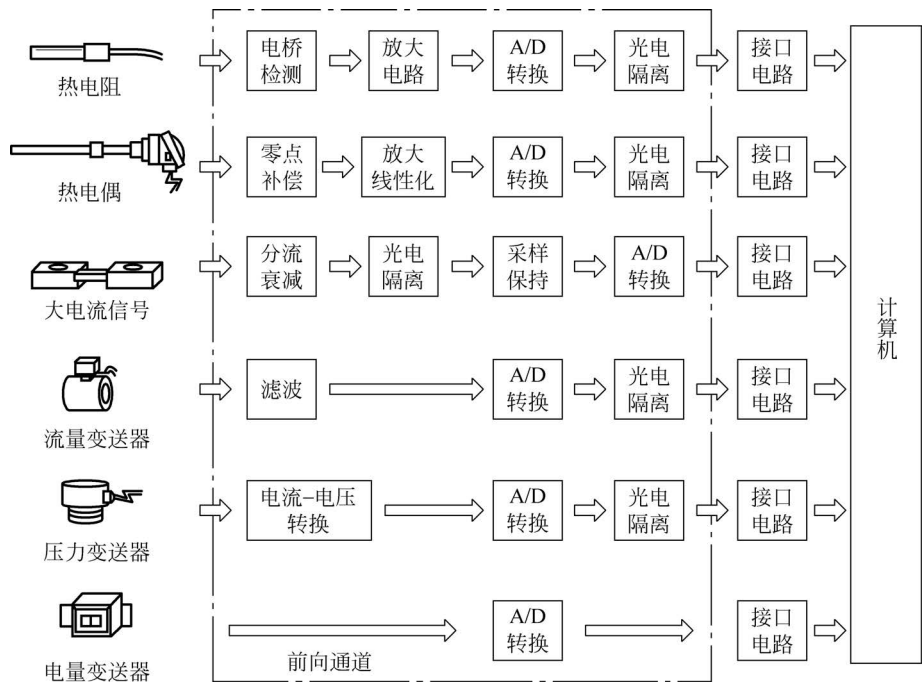


图 5-12 以处理模拟信号为主的前向通道结构示意图

5.2.2 数字量信号处理方式

1. 开关量信号处理

对于输入的开关信号可能会引入过电压、过电流、电压瞬态尖峰和反极性等于扰信号，这些信号必须在输入通道中加以抑制。图 5-13 给出了消除这些干扰信号的典型调理电路。该电路具有过压、过流、反压保护和 RC 滤波等功能，串联二极管 V1 防止反向电压输入，由

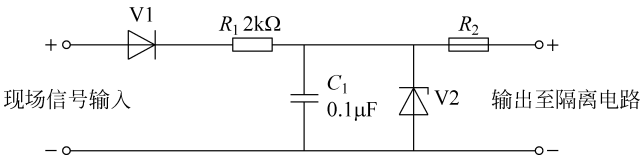


图 5-13 输入信号的调理电路

R_1 、 C_1 构成滤波器,电阻 R_1 也是输入限流电阻,稳压管 V_2 把过压或瞬态尖峰电压钳位在安全电压上, R_2 为过流熔断保护电阻。

现场开关与计算机输入接口之间,一般较长的传输线路,这就容易引入各种干扰,甚至包括强电干扰。采用光电隔离技术,可起到安全保护和抗干扰的双重作用。

另外,在开关或继电器闭合与断开时,还存在抖动问题,这是由机械触点的弹性作用导致。解决这类问题的方法很多,常用 RC 吸收电路、双稳态电路和施密特触发器消除。

开关量信号的最终处理目标是把来自控制过程的开关通断信号、高低电平信号等转换为计算机能够接受的逻辑电平信号,如 TTL 电平、CMOS 电平。开关信号只有两种逻辑状态“ON”和“OFF”或数字信号“1”和“0”,但是其电平不一定与计算机逻辑电平相同,计算机的接口主要考虑逻辑电平的变换以及噪声隔离的问题,一个具体的机械式开关信号输入处理电路如图 5-14 所示。

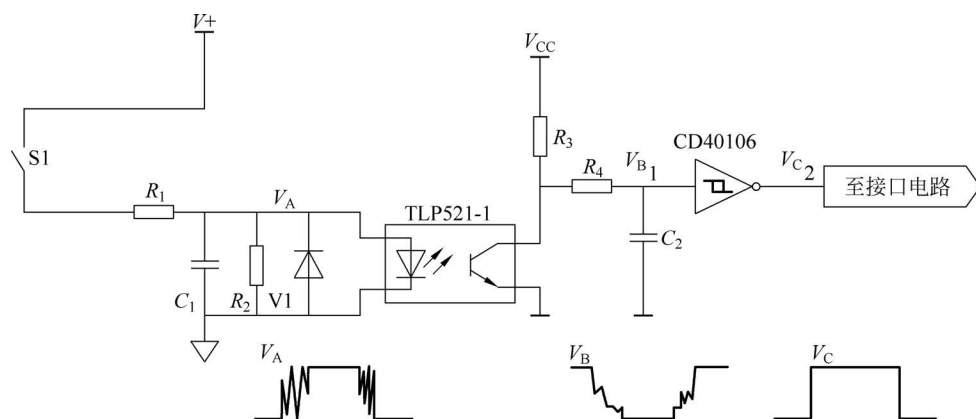


图 5-14 机械式开关信号的输入处理电路

下面叙述一下图中各元件的作用和选取原则。

- (1) R_1 为限流电阻,以提供光电耦合器发光二极管正常范围内的正向电流 I_f 。
- (2) R_2 为分流电阻,一方面可防止高电压输入时,产生大电流而损坏发光二极管;另一方面还提供 C_1 的放电回路。 R_2 一般取几千欧。
- (3) C_1 为滤波电容,以吸收尖刺脉冲。
- (4) V_1 为防击穿二极管,当输入端误接入反向电压,则可提供通路,以免反向击穿光电耦合器中的发光二极管。
- (5) R_3 为上拉电阻,当光电耦合器输出截止时,提供高电平。
- (6) R_4 和 C_2 组成 RC 低通滤波器,以进一步消除脉冲干扰。 C_2 的充电时间常数为 $(R_3 + R_4) \times C_2$,放电时间常数为 $R_4 \times C_2$ 。这些时间常数应远小于正常信号的脉冲宽度,并大于干扰脉冲的宽度。
- (7) CD40106 为施密特触发器,以产生整形后的开关信号。

对电子开关的输入信号,在采用光电隔离时需要考虑极性和驱动能力。当输入的开关信号频率较高(大于几百千赫兹)时,要采用高速光电耦合器,信号整形也不能采用简单的 RC 滤波电路,此时的开关信号应视作高速脉冲信号来处理。

对一些有源的开关型传感器,可直接驱动光电耦合器,为连接方便,不必区分正负极,可选用双向光电耦合器,具体的输入处理电路如图 5-15 所示。

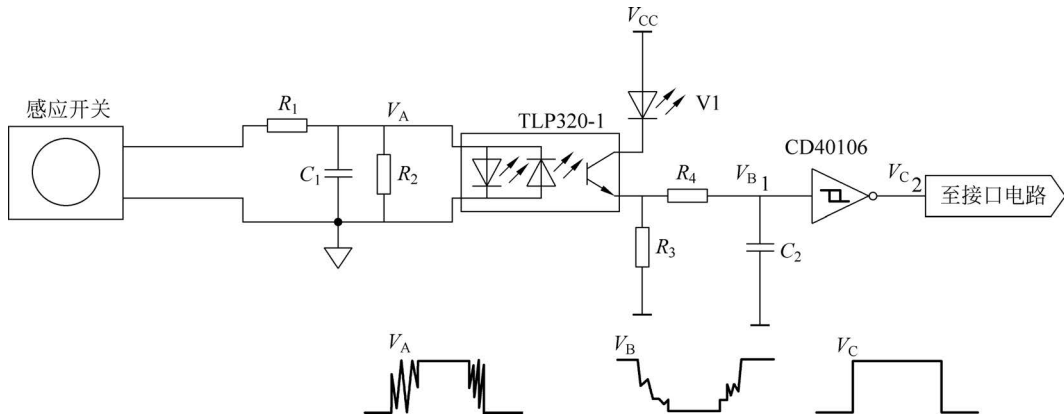


图 5-15 有源开关信号的输入处理电路

2. 脉冲量信号处理

脉冲信号实质上也是开关信号,但受关注的是信号的变化,即上升沿和下降沿,以及相邻间隔的时间。一个高速脉冲信号的输入电路如图 5-16 所示,图中 H11L1 为含有施密特整形电路的高速光电耦合器,74LS393 为双 4 位二进制计数器,MR 端为计数器的清零端,计数器的输出和 MR 端与接口电路相连。计算机通过接口电路两次读取计数器数据的间隔内,允许有不超过 256 个脉冲输入。

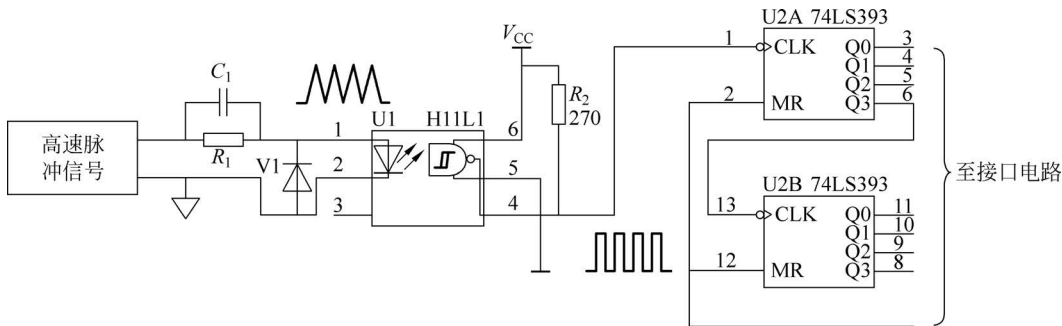


图 5-16 一个高速脉冲信号的输入电路

有些脉冲信号不仅需要记录数量,还要考虑多脉冲信号之间的相位关系,典型的例子是角度编码两相脉冲。下面以 KOYO 增量型旋转编码器 TRD-S/SH 系列为例介绍其工作原理和相应的输入电路。

旋转编码器是检测旋转角度的传感器,利用它也可以检测转速、位移和长度。其外形和内部结构如图 5-17 所示。

KOYO 旋转编码器的主要特点和性能如表 5-3 所示。TRD-S/SH 的输出信号形式为增量型 AB 二相+Z 相,其中 A 相和 B 相信号表示旋转角度,Z 相用来表示原点位置,负脉冲输出。输出驱动形式为 NPN 开路集电极输出(另有 V 型为符合 RS-422 标准的差分驱动输出),利用 A、B 相脉冲信号的边沿就可区分正转和反转,如图 5-18 所示。

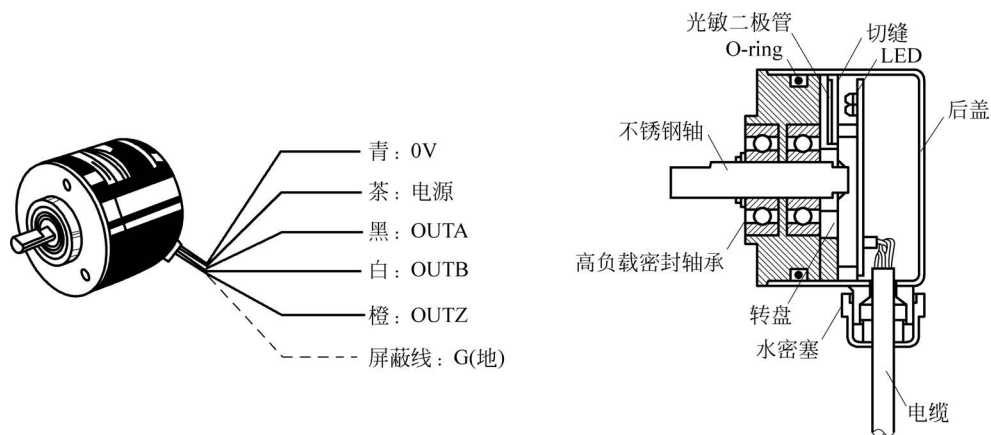


图 5-17 旋转编码器的外形和内部结构

表 5-3 KOYO 旋转编码器的主要特点和性能

性 能	指 标
基本特点	体积小,外径 $\Phi 38\text{mm}$ /长度 30mm ; 高速应答(最高响应频率为 200kHz); 分辨率范围宽($10\sim 2500$ 脉冲/转); 防尘
输出信号形式	增量型 AB 二相+Z 相(负脉冲)
电源电压	A 型: $5\sim 12\text{VDC}\pm 10\%$; B 型: $12\sim 24\text{VDC}\pm 10\%$
电源允许波纹	$3\%\text{rms}$ 以下
电源消耗电流	50mA 以下
输出驱动形式	NPN 开路集电极输出,低电平时小于 0.4V
负载灌电流	30mA 以下
负载电压	30VDC 以下
输出脉冲占空比	$50\pm 25\%$
输出脉冲差宽度	$25\pm 12.5\%$
输出原点信号宽度	$100\pm 50\%$ (负逻辑)
输出上升/下降沿时间	$1\mu\text{s}$ 以下(电缆长度为 1m 时)
机械荷重	径向 20N /轴向 10N
起动转矩	$0.001\text{N}\cdot\text{m}$ 以下
机械可承受的最高转速	6000r/min
使用环境温度	$-10^{\circ}\text{C}\sim +70^{\circ}\text{C}$

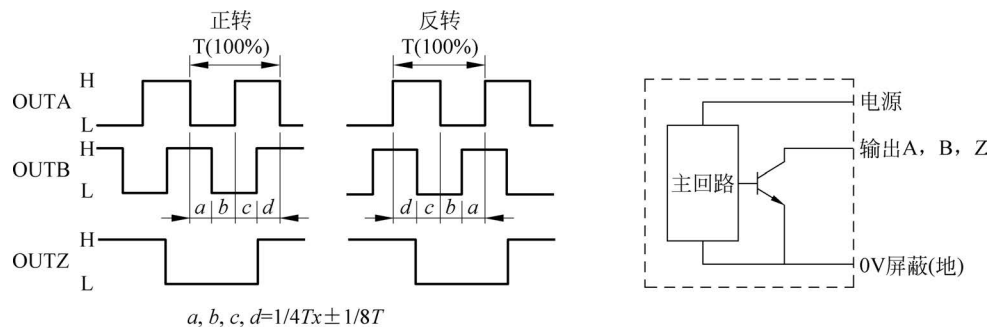


图 5-18 增量型旋转编码器输出信号和驱动形式

一个检测 A、B 两相脉冲的输入通道电路如图 5-19 所示。电路中，A、B 两相脉冲经光电耦合器送入二输入端的异或门 74LS136，利用 74LS136 集电极开路的线与功能，将两个异或输出连至 AT89C51 单片机的外部中断 $\overline{\text{INT0}}$ 。A 相和 B 相脉冲分别由 AT89C51 的 P1.2 和 P1.3 检测，AT89C51 的 P1.0 跟踪 A 相脉冲，P1.1 跟踪 B 相脉冲，使得 P1.0、P1.1 与 A、B 相反，则异或输出为 1，若 A 或 B 相与 P1.0、P1.2 不同步，如 P1.0 与 A 不同步，则相应的异或输出为 0，从而有一个中断信号送至 $\overline{\text{INT0}}$ 。单片机响应中断后，在中断服务程序中重新使 P1.0、P1.1 与 A、B 相同步（即使异或输出为 1），以撤销中断信号。通过对 A、B 两相的状态变化，可确定是正转还是反转，或者是没有变化还是异常，如表 5-4 所示。

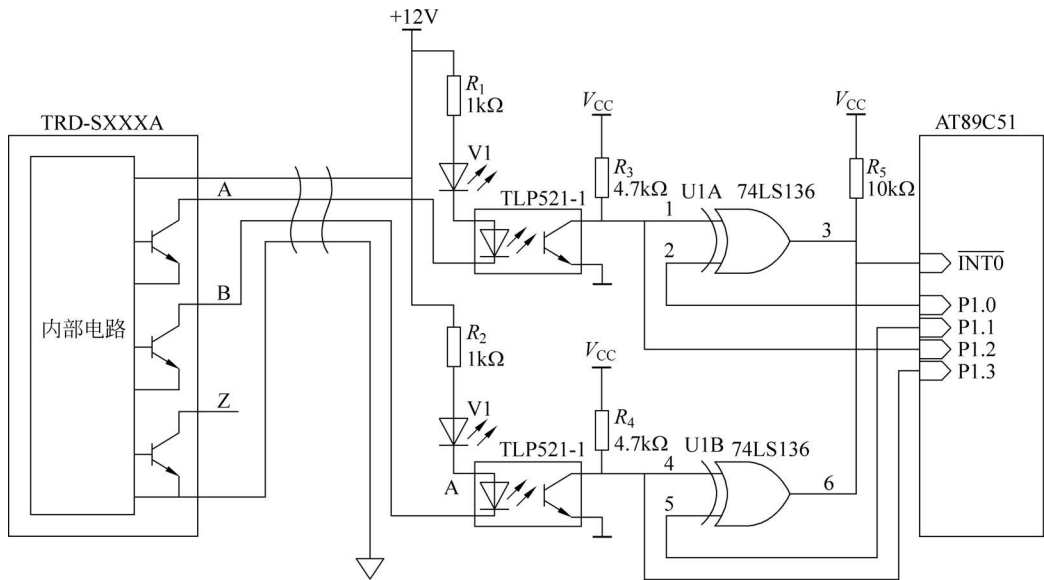


图 5-19 A、B 两相脉冲的输入通道电路

表 5-4 A、B 两相的状态变化与旋转方向

编号	上次状态		当前状态		旋转	说明
	B 相	A 相	B 相	A 相		
0	L	L	L	L	不变	两相没有变化
1	L	L	L	H	正转	
2	L	L	H	L	反转	
3	L	L	H	H	异常	两相同时变化
4	L	H	L	L	反转	
5	L	H	L	H	不变	两相没有变化
6	L	H	H	L	异常	两相同时变化
7	L	H	H	H	正转	
8	H	L	L	L	正转	
9	H	L	L	H	异常	两相同时变化
10	H	L	H	L	不变	两相没有变化
11	H	L	H	H	反转	
12	H	H	L	L	异常	两相同时变化

续表

编号	上次状态		当前状态		旋转	说明
	B相	A相	B相	A相		
13	H	H	L	H	反转	
14	H	H	H	L	正转	
15	H	H	H	H	不变	两相没有变化

3. 数字量信号处理

对非二进制编码的数字信号,可以通过硬件或软件转换为二进制数字。下面以OMRON 绝对值旋转编码器 E6C2-A 为例,介绍非二进制数字编码信号的输入电路。

OMRON 绝对值旋转编码器 E6C2-A 的输出驱动形式也是集电极开路,但输出信号形式为格雷(Gray)码,其特点是数值上大小相邻的编码,在逻辑上也相邻。逻辑上相邻的编码仅有 1 位不同,这样可保证按数值大小递增/递减变化时,输出逻辑上相邻的编码,不会出现多于 1 位的码同时变化,这样可避免由于编码递增或递减变化时造成的干扰。如二进制编码 011 变化到 100 时,3 位都需要变化,如变化在时间上有先后,假设最高位先变化,则在变化期间会产生 111 的编码。

E6C2-A 输出的格雷码波形如图 5-20 所示。

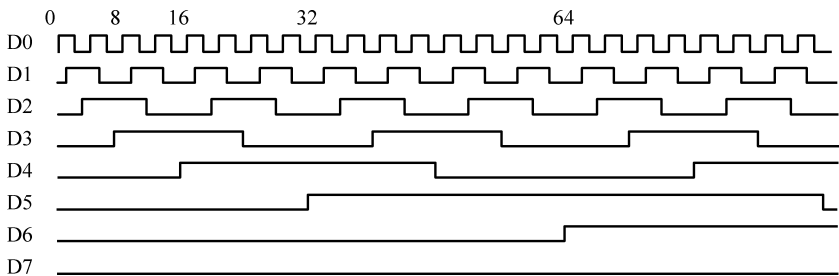


图 5-20 E6C2-A 输出的格雷码波形

图 5-21 为格雷码-二进制编码的转换电路,E6C2-A 输出经 8 位反相器 74LS240 送至 8 个异或门,74LS240 有一定的驱动能力,可接 LED 指示器,如采用光电耦合器则可省去 74LS240。8 个异或门构成了格雷码-二进制编码的转换器,S 端可用来控制输出二进制编码的极性,S=0 时输出为正常的二进制编码;S=1 时则输出反相的十进制编码,如不需控制极性,则该位对应的异或门可省略。74LS373 为输入缓冲器,存放 8 位二进制编码。

5.2.3 模拟量信号处理方式

在计算机控制系统中,模拟量输入通道的任务是把检测到的模拟信号转换为二进制数字信号,经接口送往计算机。输入通道处理的模拟信号通常有来自变送器的标准电流信号 4~20mA 或 0~10mA、来自标准热电阻的信号、来自标准热电偶的温差电势信号和其他传感器的非标准模拟信号。

对这些模拟信号需要进行电流-电压信号转换、电阻-电压信号转换、电压放大、电压-电流转换以及隔离调理等,调理后的信号通常为几伏大小的电压信号,然后由 A/D 转换器变为数字信号。模拟量输入通道一般由信号调理、采样保持器、A/D 转换器、接口及控制逻辑等组成。

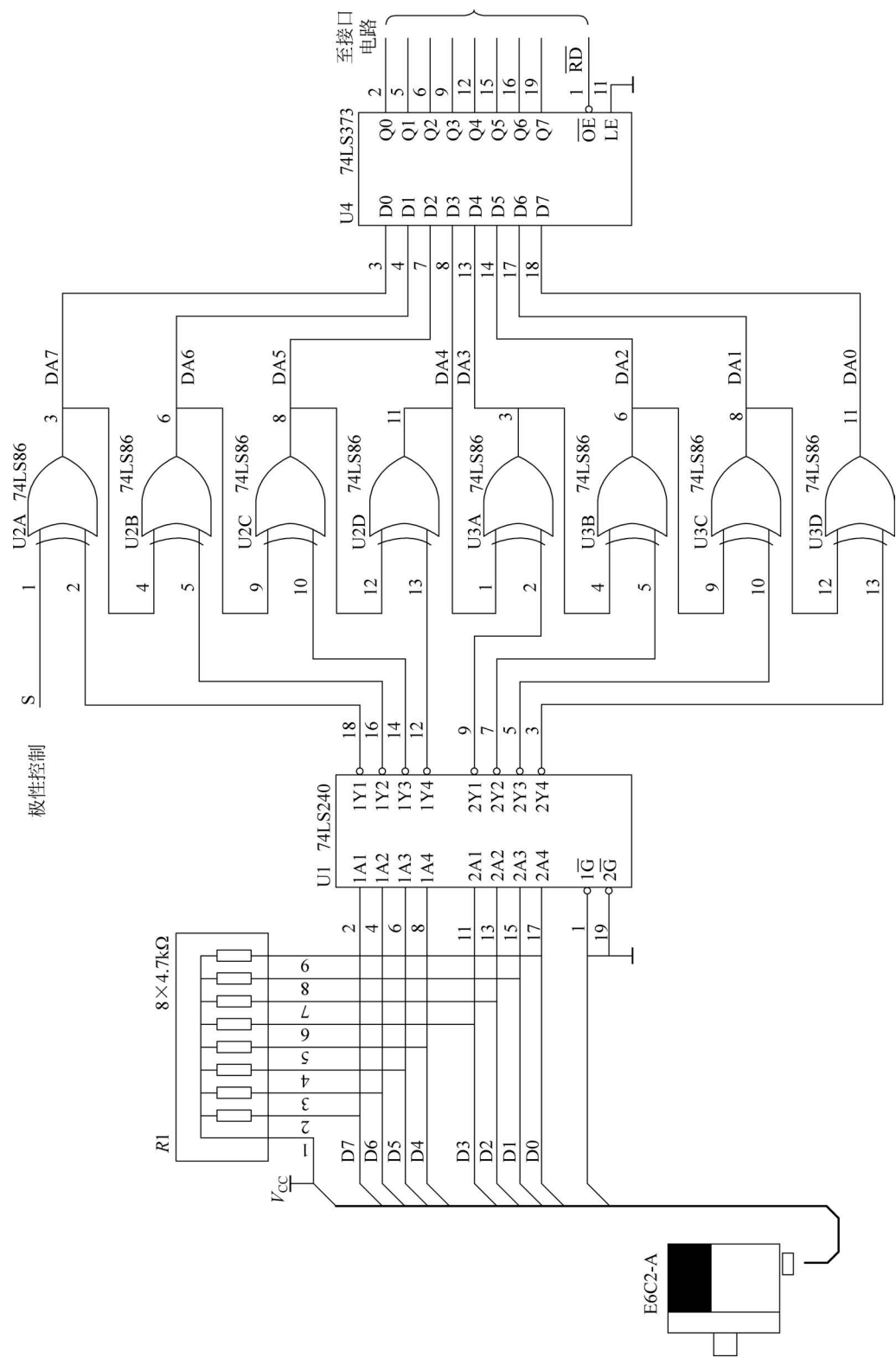


图 5-21 格雷码-二进制编码的转换电路

1. 电流-电压信号转换

信号转换电路有电流-电压信号转换、电阻-电压信号转换。图 5-22 给出了一个电流-电压信号转换电路,它可把标准 4~20mA 电流信号通过串接 1 个 250Ω 的电阻转换成 1~5V 的电压信号。图中的 R_2 、 C_1 是对输入信号的滤波, R_3 、 R_4 、 V_1 、 V_2 组成过压保护。

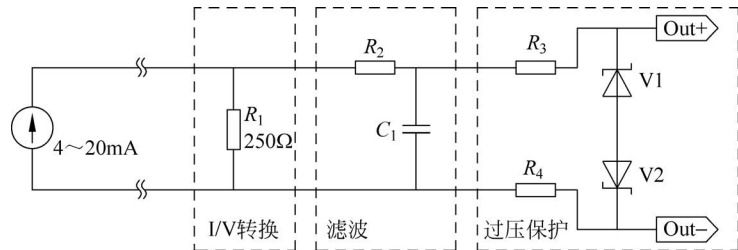


图 5-22 电流-电压信号转换电路

2. 电阻-电压信号转换

电阻-电压信号转换主要用于标准热电阻,即将热电阻受温度影响而引起的电阻变化转换为电压信号。常见的方法有两种:电桥法和恒电流法。具体电路如图 5-23 所示。

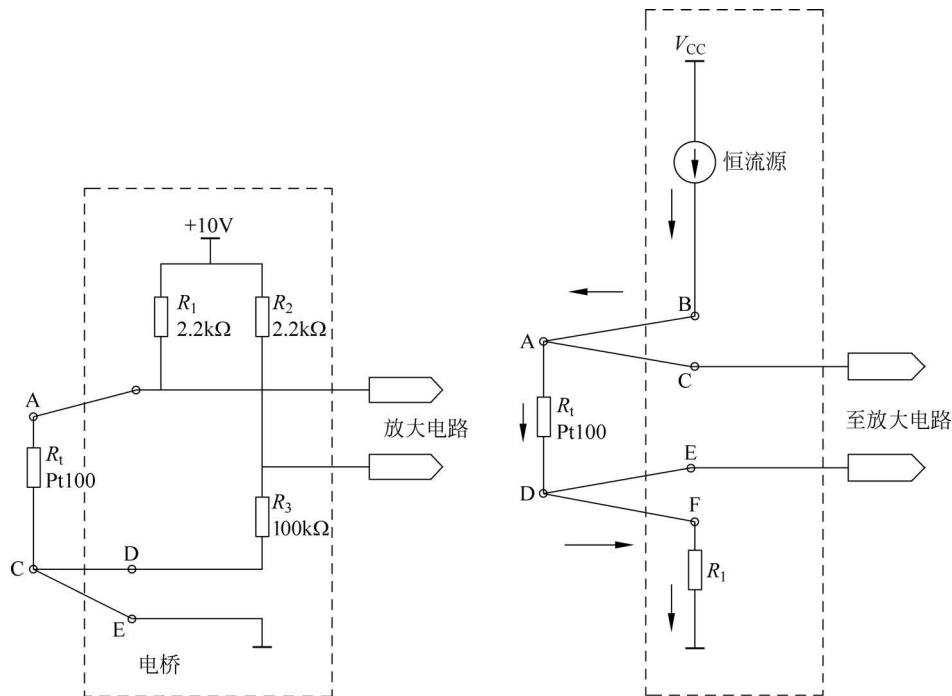


图 5-23 电阻-电压信号转换电路

电桥法的特点是电路简单,能有效地抑制电源电压波动的影响,并且可用三线连接方法减弱长距离连接导线引入的误差。三线连接图中,AB 引线的电阻与 CD 引线的电阻相等,而 CE 可折算到电源中。所以,只要 AB 和 CD 的长度一样,电阻也相同,由此引起的误差就可大大减小。

恒电流法的特点是精度高,可使用四线连接方法减弱长距离连接导线引入的误差。四线连接图中,只要 AC、DE 引线中的电流为零,则 AD 间的电压与 CE 间的电压也一样。所

以,不管 AB、AC、DE、DF 的长度如何,都不会由此引起测量误差。

这两种方法设计时都要考虑选择合适的电流,电流太小,产生的电压也小,容易受干扰;电流太大,则电阻会发热,并会影响测温的精度。一般取电流为几毫安(mA),热电阻每℃引起的电阻变化在 1Ω 以下,所以在几毫安(mA)电流下至多会产生几毫伏(mV)的变化电压,这些电压信号需经电压放大才能送至 A/D 转换器。

3. 信号的放大

大部分传感器产生的信号都比较微弱,需经过放大才能满足 A/D 输入信号的幅度要求。要完成这类信号放大功能的放大器必须是低噪声、低漂移、高增益、高输入阻抗和高共模抑制比的直流放大器,这类放大器常用的是测量放大器。

1) 测量放大器基本原理

测量放大器又称仪表放大器,一般采用多运放平衡输入电路,图 5-24 是最基本的原理电路。由图可知,该电路是由 3 个运算放大器 N1、N2、N3 组成。其中 N1 和 N2 组成具有对称结构的同相并联差动输入/输出级,其作用是阻抗变换(高输入阻抗)和增益调整;N3 为单位增益差动放大器,它将 N1、N2 的差动输入双端输出信号转换为单端输出信号,且提高共模抑制比 CMRR 的值。在 N1 和 N2 部分可由电阻 R_G 调整增益,此时 R_G 的改变不影响整个电路的平衡。而 N3 的共模抑制精度取决于 4 个电阻 R_B 的匹配精度。

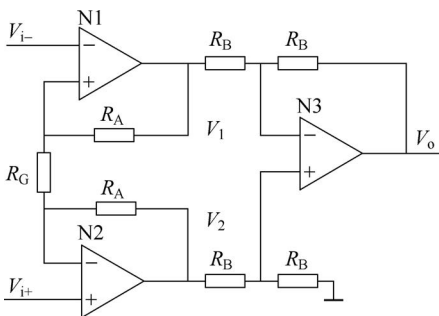


图 5-24 测量放大器的基本电路

根据叠加原理可以分析得到

$$V_1 = + \left[1 + \frac{R_A}{R_B} \right] \times V_{i-} - \frac{R_A}{R_B} \times V_{i+}; \quad V_2 = + \left(1 + \frac{R_A}{R_G} \right) \times V_{i+} - \frac{R_A}{R_G} \times V_{i-}$$

则测量放大器输出电压为

$$V_o = V_2 - V_1 = \left(1 + 2 \times \frac{R_A}{R_G} \right) \times (V_{i+} - V_{i-}) \quad (5-1)$$

其增益为

$$G = 1 + 2 \times \frac{R_A}{R_G} \quad (5-2)$$

由于对两个输入信号的差动作用,漂移减少,且具有高输入阻抗、低失调电压、低输出阻抗和高共模抑制比以及线性度较好的高增益。

目前有许多性能优异的测量放大器集成电路:有低功耗、高速、高精度、高阻抗的测量放大器;还有可编程和隔离的测量放大器,用户可根据需求选用。

2) AD620 仪表放大器

AD620 是一款低漂移、低功耗、高精度仪表放大器,只需要一个外部电阻设置增益,增益范围为 1~10 000。AD620 采用 8 引脚 SOIC 和双列直插封装。

AD620 的电压范围较宽,为 $\pm 2.3 \sim \pm 18V$,最大电源电流为 1.3mA,共模抑制比为 100dB(最小值, $G=10$ 时),带宽为 120kHz($G=100$)。

AD620 的内部结构和引脚图如图 5-25 所示。其中 4、7 脚之间为电源端;2、3 脚之间为

信号输入端；6 脚为输出端；5 脚为参考电位端；1、8 脚之间连接一个用来设置增益的外部电阻。电阻 R_G 与增益 G 的关系如下：

$$R_G = \frac{49.4\text{k}\Omega}{G-1} \quad \text{或} \quad G = \frac{49.4\text{k}\Omega}{R_G} + 1 \quad (5-3)$$

当电阻 R_G 断开时, $G=1$; $R_G=1\text{k}\Omega$ 时, $G=50.4$; $R_G=499\Omega$ 时, $G=100$; $R_G=100\Omega$ 时, $G=495$ 。

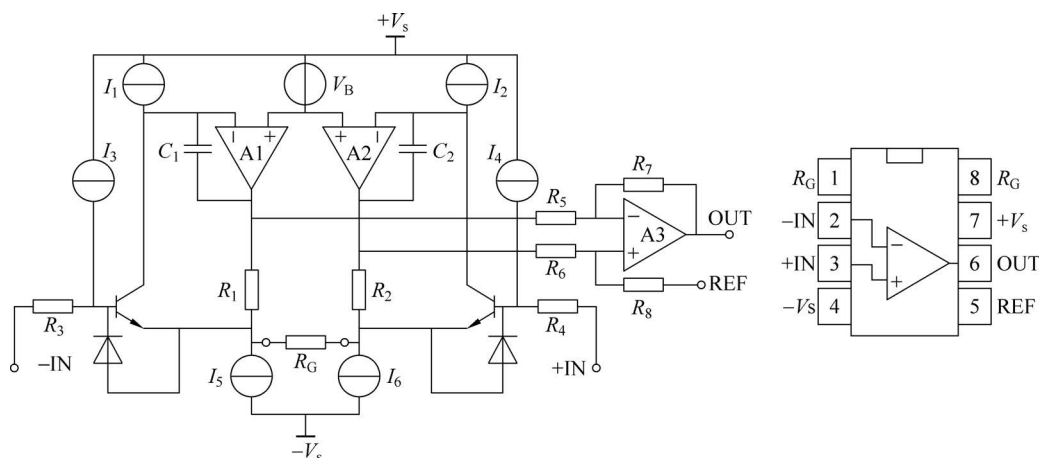


图 5-25 AD620 的内部结构和引脚图

AD620 的一个应用实例如图 5-26 所示。AD620 放大电阻电桥的信号, 增益为 100, 输出信号的幅度范围约为 $1.1\text{V}(-V_s+1.1\text{V}) \sim 3.8\text{V}(+V_s-1.2\text{V})$, 输出的基准参考电位为 2V , 由运放 AD705 提供。AD620 放大后的电压信号送给后面的 ADC 芯片。

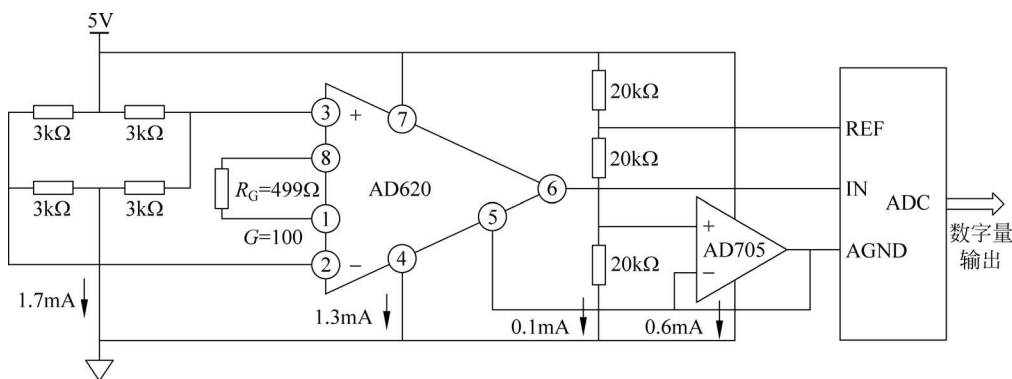


图 5-26 AD620 的一个应用实例

4. 电压-电流转换

传感器输出的电压信号常需要转换成标准电流 $4 \sim 20\text{mA}$ 传送到远处的接口电路, 这就需要使用电压-电流转换电路。

XTR115/XTR116 是一款 $4 \sim 20\text{mA}$ 电流环发送电路, 它的引脚和原理框图如图 5-27 所示。

XTR115/XTR116 将输入的电压信号 V_{IN} 转换为电流 I_{O} 输出, 转换公式为

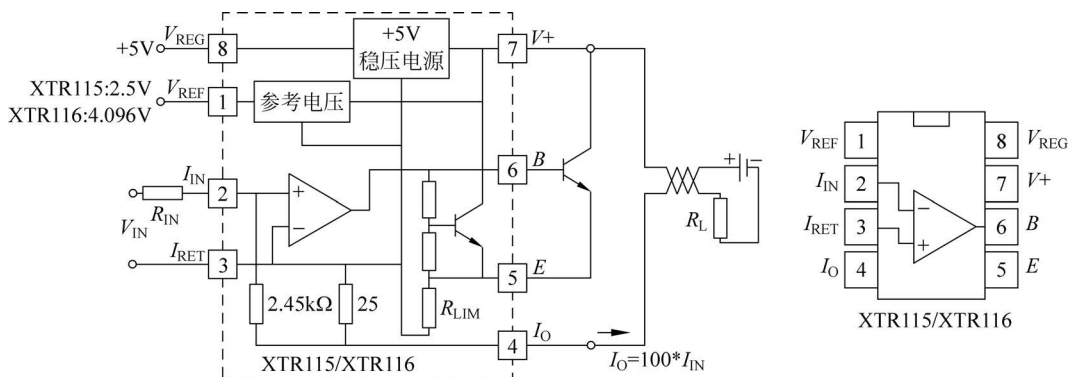


图 5-27 XTR115/XTR116 引脚和原理框图

$$I_O = \frac{100V_{IN}}{R_{IN}} \quad (5-4)$$

XTR115/XTR116 也可作为一个电流放大器,输出电流 I_O 是 I_{IN} 的 100 倍。

XTR115/XTR116 从 $V+$ 获得电源,稳压到 5V 由 V_{REG} 输出,在 V_{REF} 输出基准电压(对 XTR115 为 5.25V,对 XTR116 为 4.096V),可供前面信号处理电路使用。XTR115/XTR116 正常工作时的电源电压范围为 7.5~36V,静态工作电流只有 200 μ A。

5. 模拟信号的隔离技术

在输入通道中,模拟信号的隔离可采用隔离放大器。隔离放大器适用于以下三种情况:消除由于信号源接地网络的干扰所引起的测量误差;测量处于高共模电压下的低电平信号;保护应用系统电路不至于因输入端或输出端大的共模电压造成损坏。

根据耦合的不同,隔离放大器可分为变压器耦合隔离放大器、电容耦合隔离放大器和光耦合隔离放大器。

1) AD202/AD204 隔离放大器

AD202/AD204 是由变压器耦合的隔离放大器,它具有精度高、功耗低、共模性能好、体积小等特点。AD202/AD204 由放大器、调制器、解调器、整流和滤波、电源变换器等组成,通过两个变压器耦合,对信号和电源进行隔离。由于直流和低频信号不能通过变压器,所以要将输入信号进行调制和解调处理,载波信号的频率为 25kHz,放大器的带宽小于 5kHz,输出满幅度为 $\pm 5V$ 。

AD202 和 AD204 的内部结构基本相同,主要区别在于供电方式,AD202 是由 +15VDC 电源直接供电(由引脚 31 端接入);而 AD204 是由外部时钟源(15V_{PP}/25kHz)供电(由引脚 33 端接入)。AD202/AD204 有单列直插和双列直插封装,其内部结构和单列直插封装的引脚排列如图 5-28 所示。AD202/AD204 的一个应用电路如图 5-29 所示,该电路能进行增益调整和失调电压调整。

2) ISO124 隔离放大器

ISO124 是一款电容耦合的隔离放大器,它有两种封装: DIP-16 和 SO-28,其原理框图和引脚排列如图 5-30 所示。

ISO124 输入端有 V_{in} 、GND1 和电源 $+V_{s1}$ 、 $-V_{s1}$; 输出端有 V_{out} 、GND2 和电源 $+V_{s2}$ 、 $-V_{s2}$; 两部分之间通过电容耦合,能隔离 1500V/60Hz 的高压。ISO124 的增益为 1。

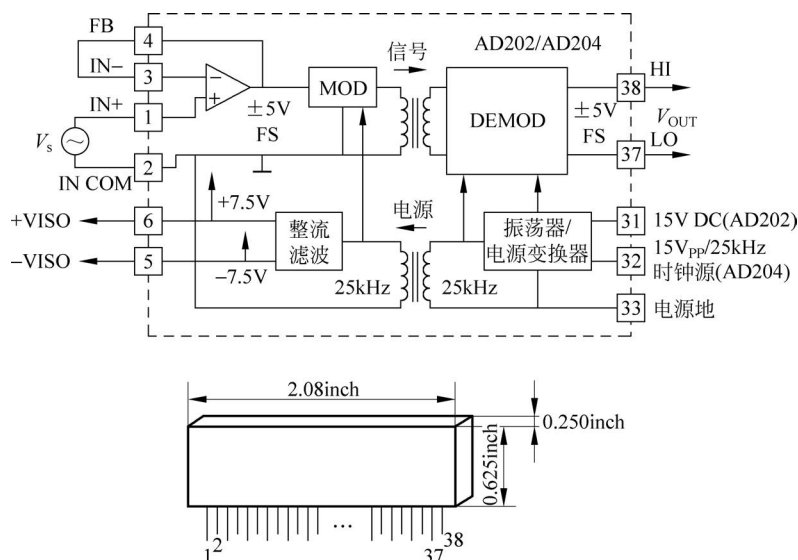


图 5-28 AD202/AD204 的内部结构和单列直插封装的引脚排列

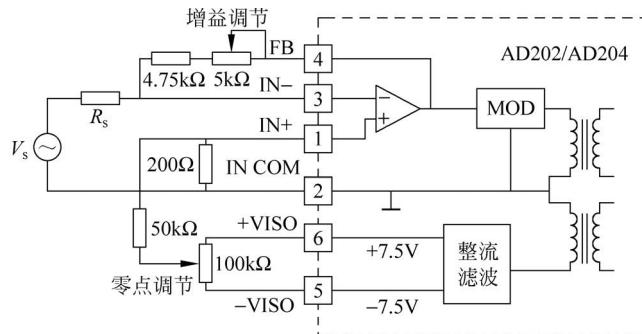


图 5-29 AD202/AD204 的应用电路

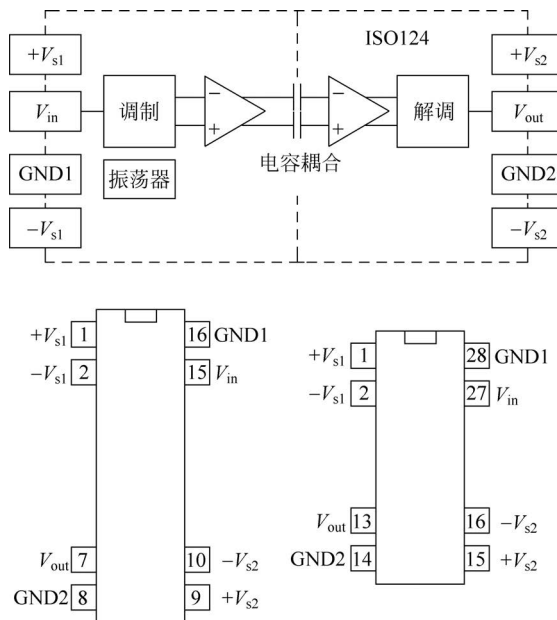


图 5-30 ISO124 的原理框图和引脚排列

6. A/D 转换器及其性能指标

A/D 转换器简称 ADC,其输入是一定范围内的模拟量信号,通常为模拟电压信号;其输出是某种形式的数字信号。不同种类和型号的 ADC 有不同的性能指标,在选用 ADC 时,首先应对其性能指标有所了解,确定其性能是否能够满足应用要求,以及在价格上是否合理。ADC 的性能指标主要有以下几个:

1) 接口特性(interfacing)

接口特性主要涉及 ADC 如何与应用电路连接,包括 ADC 的启动、数字输出的形式以及输出时序等。有些 ADC 带有多路模拟开关,还要涉及如何选择输入通道。现在有不少 ADC 具有串行输出接口,大大简化了接口电路。

ADC 的输出数字信号主要有二进制数字信号、BCD 码信号和频率信号。输出二进制数字信号的 ADC 常用输出位数称呼,如 8 位 ADC(或 8 Bit ADC)、16 位 ADC(或 16 Bit ADC)等;输出 BCD 码数字信号的 ADC 常用输出十进制位数称呼,如 3 位半 ADC(也称 $3\frac{1}{2}$ ADC、3.5 Digit ADC);输出频率信号的 ADC 常称为压频转换器(VFC)。

2) 量程(range)

量程指 ADC 能够转换的模拟信号范围,一般用电压表示,如 $-5\text{V}\sim+5\text{V}$ 、 $0\sim2\text{V}$ 、 $0\sim10\text{V}$ 等,ADC 的量程通常与外接或内部的基准电源有关。

3) 分辨率(resolution)

分辨率用来表示 ADC 对于输入模拟信号的分辨能力,也即 ADC 输出的数字编码能够反映多么微小的模拟信号变化。ADC 的分辨率定义为满量程电压与最小有效位(LSB)之比值。例如具有 12 位分辨率的 ADC 能够分辨出满量程的 $1/2^{12}=1/4096$,对于 10V 的满量程能够分辨输入模拟电压变化的最小值约为 2.5mV。对 3 位半 ADC,满量程数据为 $1999\approx 2000$,其分辨率为 $1/2000$ 。显然,ADC 数字编码的位数越多,其分辨率越高。

4) 误差和精度(error&accuracy)

误差包括量化误差、偏移误差、线性度等。量化误差是由于 ADC 的有限分辨率所引起的误差。偏移误差是指输入信号为 0 时,输出信号不为 0 的值,所以有时又称为零值误差。线性度有时也称为非线性度,它是指 ADC 实际的输入/输出特性曲线与理想直线的最大偏差。

精度通常也称转换精度,有绝对精度和相对精度之分。绝对精度是指为了产生某个数字码,所对应的模拟信号值与实际值之差的最大值,它包括所有的误差。相对精度是绝对精度与满量程输入信号的百分比,它通常不包括能够被用户消除的刻度误差。对于线性编码的 ADC,相对精度就是非线性度,其典型值为 $\pm 1/2\text{LSB}$ 。

精度通常与分辨率密切相关,高精度的前提必须有高分辨率,当然单有高分辨率还不一定就可达到高精度。

5) 转换速率(conversion rate)

ADC 的转换速率就是能够重复进行数据转换的速度,即每秒转换的次数。有时也用完成一次 A/D 转换所需要的时间表示,称为转换时间。转换时间也就是转换速率的倒数。不同转换方式的 ADC,其转换速率有很大不同。低的只有 1 次/秒,高的可达百万次/秒。

6) A/D 转换的方法

A/D 转换实现的方法有多种,随着大规模集成电路技术的飞速发展,新型设计思想的 ADC 也在不断涌现。表 5-5 给出了不同方法实现的 ADC 及其性能。

表 5-5 各种 ADC 转换方法比较

方 法	分辨率	速度	特 点	应 用 场 合
并行式 ADC	低	最高	速度快,分辨率难以做高	高速频采样
逐次比较式 ADC	较高	高	速度和分辨率能满足大部分要求,但常态干扰的抑制能力较差	能适应大量的应用场合,如温度、压力、流量、语音、电量等信号的采样
双积分式 ADC	高	低	分辨率和精度高,速度低,有较强的抗常态干扰能力	常用于数字电压表、温度测量等低速场合
$\Sigma\text{-}\Delta\text{ADC}$	高	较高	分辨率和精度与双积分式 ADC 相当,速度高于双积分,但仍不如逐次比较式	低频、小信号的高精度测量
VFC	在牺牲速度的条件下可以较高	在牺牲精度的条件下可以较高	分辨率和精度可以互补,抗干扰能力强,输出信号可以远传	能适用于速度不是太高的数据采集系统,如温度、压力、流量等

7. ADC 芯片举例

ADC 芯片种类繁多,性能各异,使用时应根据需求选用。现在还有许多单片机(如 C8051F)及采用 ARM 内核的 MCU 内置了多种 A/D 和 D/A 转换芯片,使用非常方便,性价比也比较高。而独立的 ADC 芯片选择范围更宽,掌握一些典型芯片的使用方法,可以举一反三,提高数据采集的驾驭能力。

现在越来越多的 ADC 芯片具有串行输出接口,接口电路非常简单,但相应的时序比较复杂,需要认真理解。下面介绍两款典型的 ADC 芯片。

1) ADC083X 系列 ADC

ADC083X 系列为 8 位高速串行接口 ADC,具有多路选择、基准电压源、跟踪保持功能。ADC083X 有 4 个品种: ADC0831/ADC0832/ADC0834/ADC0838,它们分别有 1、2、4、8 路单端模拟量输入通道,也可作为 1、2、4 路差分模拟输入通道。

主要性能指标如下: 在单电源 5V 情况下,输入量程为 0~5V; 转换时间在最高时钟频率 1MHz 情况下,为 8 μ s; 误差为 $\pm 1/2\text{LSB} \sim \pm 1\text{LSB}$; 输入/输出逻辑电平与 TTL/CMOS 兼容; 功耗为 15mW。

ADC0831/ADC0832/ADC0834/ADC0838 引脚图如图 5-31 所示。

与 ADC0838 有关的引脚说明如表 5-6 所示。

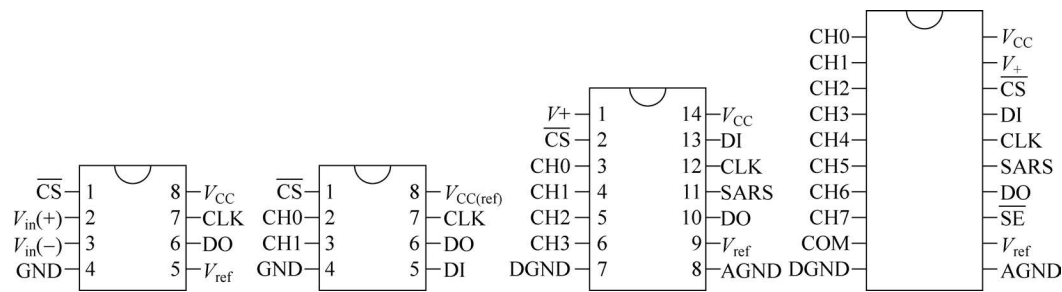


图 5-31 ADC083X 系列引脚图

表 5-6 ADC0838 引脚说明

引 脚	名 称	说 明
1~8	CH0~CH7	模拟量输入端
9	COM	模拟量输入的公共端
10	DGND	数字地
11	AGND	模拟地
12	V _{ref}	外部基准电源输入端
13	SE	移位使能控制端
14	DO	串行输出数据端
15	SARS	SAR(逐次逼近寄存器)状态输出
16	CLK	时钟输入端
17	DI	串行数据输入端
18	CS	片选端,低电平有效
19	V ₊	内部基准电源输出端
20	V _{CC}	电源

ADC0838 工作从 CS 变为低电平开始,在 CLK 时钟信号的上升沿同步下,由 DI 输入启动命令位(START BIT,用“1”表示),随后为单端/差分控制位(SGL/DIF)、奇/符号位(ODD/SIGN)、选择 1(SEL1)和选择 0(SEL0)位(对 ADC0834 不需要 SEL0 位,对 ADC0832 不需要 SEL1 和 SEL0 位,而对 ADC0831 没有 DI 端,则 CS 变为低电平的时就启动了 A/D 转换)。

在输入上述各位后 ADC0838 进行逐位转换,一边转换一边输出数据,在 CLK 时钟信号的下降沿同步下,数据从 DO 端输出。ADC0838 的工作时序如图 5-32 所示。

ADC0838 属于逐次逼近 ADC,因此转换速度不会因串行输出而降低。另外在保持器作用下,待转换的模拟量保持不变,转换精度得到了保证,这也是串行逐次逼近 A/D 转换技术的奇妙之处。

紧跟在 START BIT 之后的 SGL/DIF、ODD/SIGN、SEL1 和 SEL0 控制选择位主要用于选择输入通道,决定是单端输入还是差分输入,ADC0838 单端输入时的寻址如表 5-7 所示,ADC0838 差分输入时的寻址如表 5-8 所示。

ADC083X 以 SPI 接口形式与外部连接,图 5-33 为 ADC0838 与 8051 单片机的连接示意图。

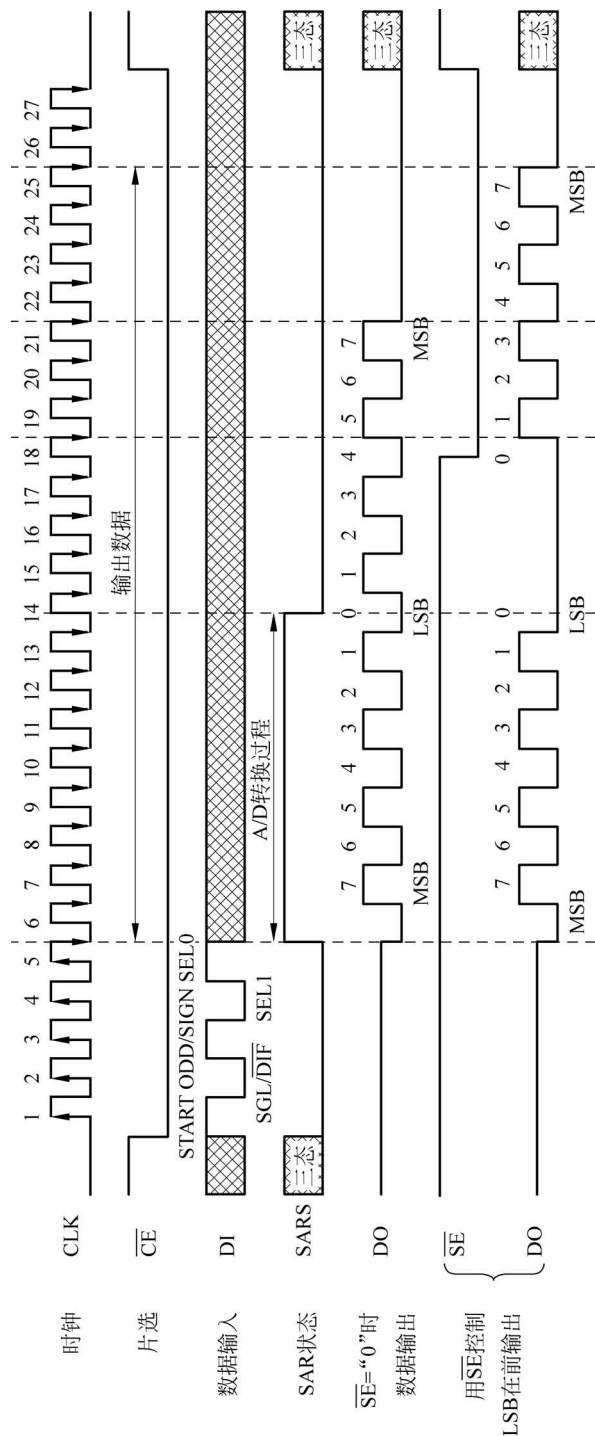


图 5-32 ADC0838 的工作时序

表 5-7 ADC0838 单端输入时的寻址

MUX 地址			模拟量单端输入								
SGL/DIF	ODD/SIGN	SEL(1 0)	0	1	2	3	4	5	6	7	COM
1	0	00	+								—
1	0	01			+						—
1	0	10					+				—
1	0	11							+		—
1	1	00		+							—
1	1	01				+					—
1	1	10						+			—
1	1	11								+	—

表 5-8 ADC0838 差分输入时的寻址

MUX 地址			模拟量差分输入							
SGL/DIF	ODD/SIGN	SEL(1 0)	0		1		2		3	
			0	1	2	3	4	5	6	7
0	0	00	+	—						
0	0	01			+	—				
0	0	10					+	—		
0	0	11							+	—
0	1	00	—	+						
0	1	01			—	+				
0	1	10					—	+		
0	1	11							—	+

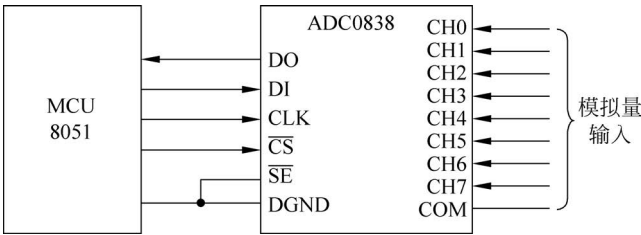


图 5-33 ADC0838 与 8051 单片机的连接

2) AD7699

AD7699 是一款低功耗、8 通道、16 位新型逐次逼近型 ADC，转换速率达 500Ksps，采用单电源供电，支持单端输入和差分输入，采用 SPI 串行接口输出和小型 20 脚 LFSCP 封装，图 5-34 为 AD7699 的引脚排列和功能框图。AD7699 内部有温度传感器，测到的数据可用于对基准电源进行温度补偿，以提高转换的精度。AD7699 的引脚说明如表 5-9 所示。

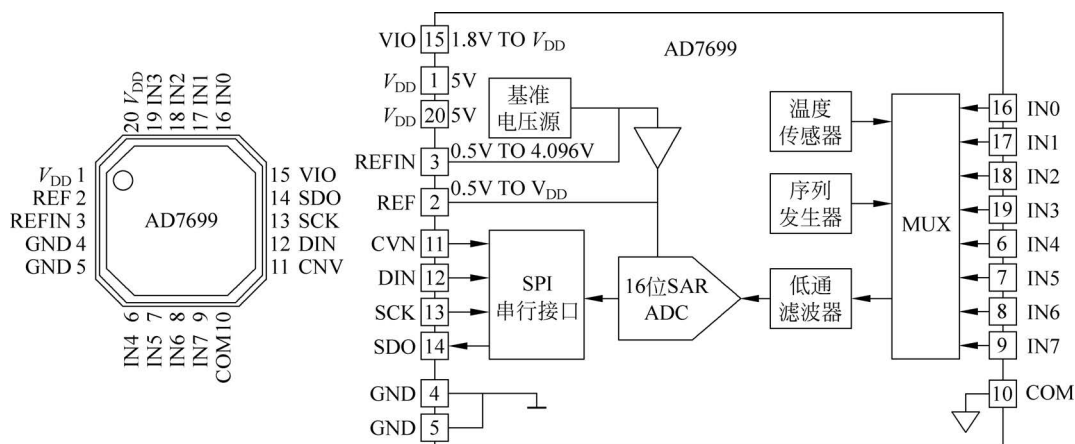


图 5-34 AD7699 的引脚排列和功能框图

表 5-9 AD7699 的引脚说明

引脚编号	符号	说 明
1、20	V_{DD}	电源,通常为 4.5~5.5V,应并联 10 μ F 和 100nF 退耦电容
2	REF	基准电源输入/输出,在允许使用内部基准时,输出 4.096V;在关闭内部基准且允许使用缓冲器时,输出由 REFIN 确定的缓冲器基准电压。该引脚应并联 10 μ F 退耦电容
3	REFIN	内部基准电源输出或基准电源缓冲器的输入
4、5	GND	电源地
16-19、 6~9	IN0~IN3、 IN4~IN7	模拟量输入通道
10	COM	模拟量输入通道的公共端
11	CVN	转换启动输入端(上升沿有效),转换过程中,如 CVN 保持高电平,则“忙”标志处于有效状态,可用于中断机制
12	DIN	串行接口数据输入,用于写入 14 位配置寄存器的数据
13	SCK	串行接口时钟输入,配合 DIN、SDO 进行数据传送,传送时最高有效位 MSB 在前
14	SDO	串行接口时钟输出,在无极性模式下,输出转换后的二进制原码数据;在有极性模式下,输出转换后的二进制补码数据
15	VIO	输入/输出接口的数字信号电源,应取主机接口的标称电压(如 1.8V、2.5V、3V 或 5V)

AD7699 与上位机的连接采用 SPI 接口,没使用中断机制的连接如图 5-35 所示,此时 SPI 传输采用 SPI0(时钟相位 CKPHA=0,时钟极性 CKPOL=0)方式,即 SCK 平时为低电

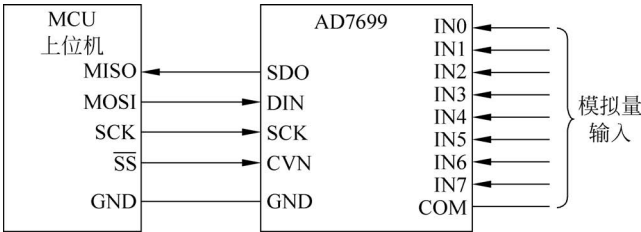


图 5-35 AD7699 与上位机的连接

平,利用 SCK 上升沿接收数据。AD7699 的工作方式由一个 14 位的配置寄存器确定,配置寄存器的数据由 DIN 串行写入,转换后得到的数据和配置寄存器的数据可由 SDO 串行读取。14 位的配置(CFG)寄存器的说明如表 5-10 所示。

表 5-10 AD7699 的配置寄存器说明

位编号	名称	说 明
[13]	CFG	配置更新位。CFG=0,表示保持当前配置;CFG=1,表示重写寄存器内容
[12:10]	INCC	通道输入配置位。确定输入是单极性、双极性、差分对,还是内部温度传感器。 INCC=00X,表示双极性差分输入,参考电位为 $V_{REF}/2$; INCC=010,表示双极性输入,参考电位为 $COM = V_{REF}/2$; INCC=011,表示输入为内部温度传感器; INCC=10X,表示单极性差分输入,参考电位为 GND; INCC=110,表示单极性差分输入,IN0~IN7 的参考电位 $COM = GND$; INCC=111,表示单极性输入,IN0~IN7 的参考电位为 GND
[9:7]	IN _x	输入通道选择位。IN _x =000~111,分别表示选择 IN0~IN7
[6]	BW	低通滤波器带宽选择位。BW=0,表示 1/4 带宽; BW=1,表示全带宽
[5:3]	REF	基准源与缓冲器选择位。REF=001,表示选择内部基准,REF 为 4.096V; REF=010,表示选择外部基准,内部温度传感器有效; REF=011,表示选择外部基准,内部缓冲器和内部温度传感器有效; REF=110,表示选择外部基准,内部温度传感器无效; REF=111,表示选择外部基准,内部缓冲器和内部温度传感器无效
[2:1]	SEQ	通道序列发生器控制位。SEQ=00,表示关闭序列发生器; SEQ=01,表示在序列发生期间更新配置; SEQ=10,表示依次转换 IN0~IN _x (其中#由输入通道选择位 IN _x 确定),然后内部温度传感器; SEQ=11,表示依次转换 IN0~IN _x (其中#由输入通道选择位 IN _x 确定)
[0]	RB	回读配置寄存器位。RB=0,表示在读取转换数据后,接着回读当前配置寄存器内容; RB=1,表示不回读当前配置寄存器内容

通道输入配置示意图如图 5-36 所示。图 5-36(a)为单端输入,对应配置寄存器中的 INCC=111,参考电位为 GND。图 5-36(b)为带有公共参考点 COM 的输入,双极性时,COM 可取 $V_{REF}/2$,对应配置寄存器中的 INCC=010;单极性时,COM 接至 GND,对应配置寄存器中的 INCC=110。图 5-36(c)为无公共参考点的输入,双极性输入时,IN_x 可取 $V_{REF}/2$,对应配置寄存器中的 INCC=00X;单极性时,IN_x 可接至 GND,对应配置寄存器中的 INCC=10X;在此配置情况下,IN_x 可由配置寄存器[9:7]确定。图 5-36(d)为组合型配置,可通过动态配置分别实现。

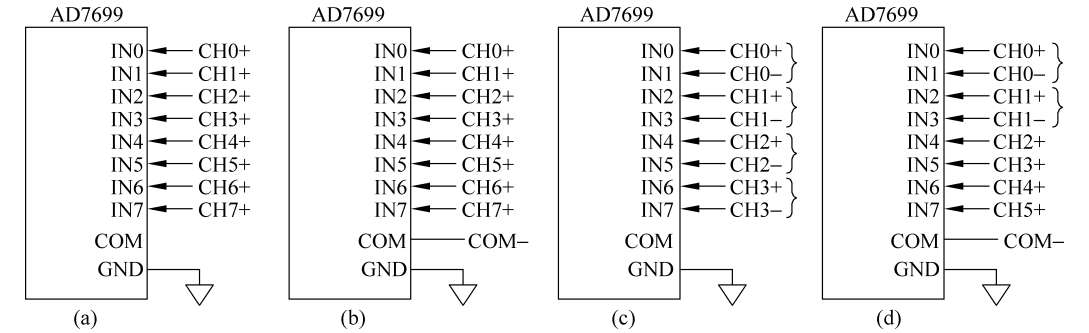


图 5-36 AD7699 的输入配置示意图

AD7699 的读写可在 A/D 转换后进行,也可在 A/D 转换期间进行,后者适用于与高速的主机连接。

AD7699 在 A/D 转换后进行的读写时序(没使用中断机制)如图 5-37 所示,从图中可看出,在第 n 个采样周期,读取的是第 $n-1$ 个采样周期的转换数据,写入配置寄存器的内容要在第 $n+1$ 个采样周期生效。在不回读配置寄存器内容时,只读取 16 位数据,在有回读配置寄存器内容情况下,需要读取 $16+14=30$ 位数据。写入 AD7699 配置寄存器的内容有 14 位。

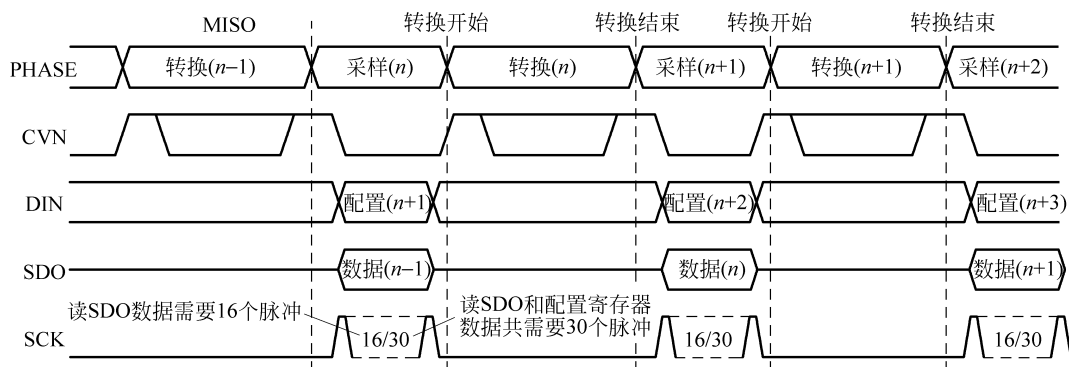


图 5-37 AD7699 在 A/D 转换后进行的读/写时序

5.2.4 数据采集的原理和实现

数据采集的任务就是把生产现场的工艺参数采集后以数字量的形式进行存储、处理、传输、显示或打印。

对数字信号,采样周期(或时间间隔)只要小于待采样信号的变化周期就能正确检测和输入;对模拟信号,考虑的问题就要多一些,这些问题包括采样周期、滤波、采样保持和量化精度。

1. 采样过程

模拟信号的采样过程本质上就是将时间上连续的信号 $x(t)$ 转换为时间上离散的信号 $x_s(t)$, $x_s(t)$ 又称采样信号,其在时间上是离散的,但在幅值上仍然是连续的。在数据采样过程中,还需对 $x_s(t)$ 进行量化,也就是经 A/D 转换为数字信号 $x_d(t)$ 。通常采样的时间间隔为固定值,用采样周期 T_s 表示,相应的采样频率为 f_s ,采样过程中的信号变化如图 5-38 所示。实际的采样脉冲有一定的宽度,该宽度相应于 A/D 转换时间 $t_{A/D}$ 。采样频率 f_s 和 A/D 转换时间 $t_{A/D}$ 对采样效果都有一定的影响。

2. 采样保持和孔径误差

理想的采样信号由冲激序列组成,脉冲宽度趋于 0,而实际的采样信号由一定宽度的脉冲序列组成,这个脉冲宽度在数值上相当于 A/D 转换时间 $t_{A/D}$,这一时间也称孔径时间,由此会产生孔径误差。

在孔径时间 $t_{A/D}$ 内,由输入信号 $x(t)$ 的变化所引起的误差称为孔径误差 δ 。

设 $x(t) = U_m \sin \omega t = U_m \sin 2\pi f t$, 在 $t_{A/D}$ 期间 $x(t)$ 的变化量为

$$\Delta U \approx \frac{dx(t)}{dt} \cdot t_{A/D} = U_m 2\pi f \cos \omega t \cdot t_{A/D} \quad (5-5)$$

其最大值在 $t=0$ 处,即 $\Delta U \approx U_m 2\pi f \cdot t_{A/D}$,如图 5-39 所示。

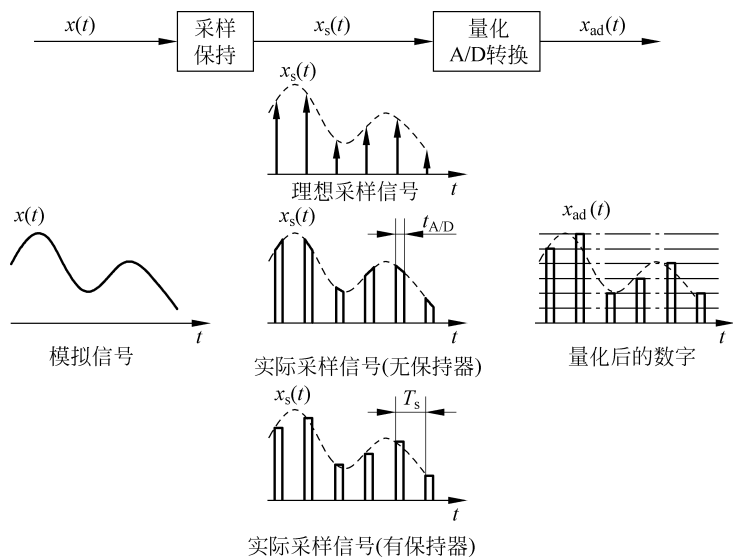
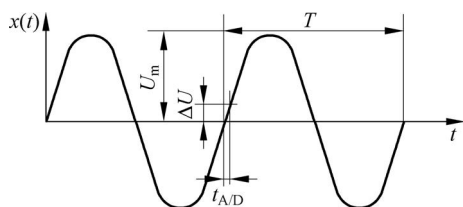


图 5-38 采样过程中的信号变化

图 5-39 由 $t_{A/D}$ 引起的误差

最大的孔径误差 δ 为

$$\begin{aligned}\delta &\approx \frac{\Delta U}{U_m} \times 100\% \\ &= 2\pi f \cdot t_{A/D} \times 100\% \end{aligned} \quad (5-6)$$

对 $t_{A/D} = 10\mu\text{s}$ 的 10 位 ADC 芯片, 为保证其量化精度 $\frac{1}{2^{10}} = \frac{1}{1024} \approx 0.1\%$, 则输入信号允许的最大频率为

$$f \approx \frac{0.1\%}{2\pi \cdot t_{A/D} \times 100\%} = \frac{0.1\%}{2\pi \times 10 \times 10^{-6} \times 100\%} \text{Hz} \approx 15.9 \text{Hz}$$

这与该 ADC 芯片能达到的最大采样频率 $f_{\text{sMAX}} = \frac{1}{t_{A/D}} = 100\text{kHz}$ 相比, 要相差 6250 倍! 也就是说由于 ADC 的 $t_{A/D}$ 影响, 为保证精度, 不得不大大降低采样频率。为了消除 $t_{A/D}$ 的影响, 有效的办法是使用采样保持器。

采样保持器的作用就是在 A/D 转换期间使待转换的模拟信号保持不变, 这样可有效地提高输入信号的频率范围。

需说明的是: 对频率较高的输入信号和采用逐次逼近方式的 ADC, 应使用采样保持器; 而对频率较低的输入信号或采用双积分方式的 ADC, 不一定需要采样保持器。目前越来越多的逐次逼近 ADC 芯片中已内置了采样保持器。

3. 数据选择与多路开关

由采样定理可知,对每路输入信号只需按一定的时间间隔采样就能得到其包含的所有信息,这样就允许一路信号通道依次处理多路信号输入,为此,就需要通过多路开关实现数据的多路选择。对数字信号和模拟信号通常采用不同的多路选择电路结构。

1) 数字信号的多路选择

图 5-40 所示的是数字信号的多路选择, $N \times 8$ 位数字电平(如 TTL 电平或 CMOS 电平)送往多路开关组成的数据选择器,选择控制信号决定其中 1 路 8 位数据经光电隔离后存放到数据寄存器中,再由接口电路将采集到的数字信号送到计算机。当地址线为 8 位时, N 最多可达 $2^8 = 256$ 路。如不采用数据选择方案,则用于数据的光电隔离器和寄存器就将多达 256 路!

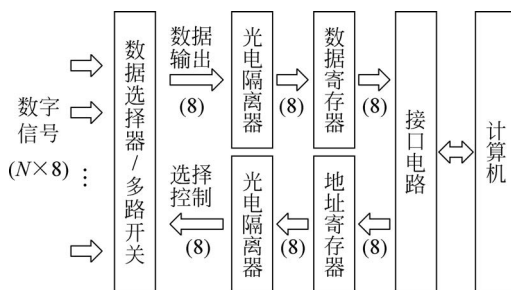


图 5-40 数字信号的多路选择

2) 模拟信号的多路选择

图 5-41 所示的是模拟信号的多路选择, N 路模拟电压信号(如 1~5V)送往多路模拟开关组成的模拟数据选择器,选择控制信号决定其中一路模拟数据经滤波、采样保持、隔离放大、A/D 转换,变为 M 位十进制数据,存放到数据寄存器中,再由接口电路将转换后的数字信号送到计算机。当地址线为 8 位时, N 最多可达 $2^8 = 256$ 路。如不采用数据选择方案,则所需隔离放大器、ADC 也将多达 256 个。

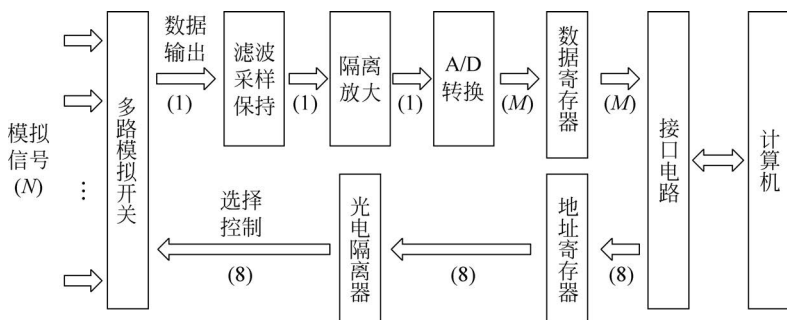


图 5-41 模拟信号的多路选择

3) 多路开关的原理

多路开关(multiplexer)是切换数字信号和模拟信号的器件,也称多路转换器、多路复用器,记为 MUX。只能切换数字信号的多路开关也称数据选择和数据分配器,能切换模拟信号的多路开关也称多路模拟开关(analog multiplexer),模拟开关当然也能切换数字信号。典型的多路开关有 4 双通道多路开关($4 \times 2:1\text{MUX}$)、双 4 通道多路开关($2 \times 4:1\text{MUX}$)、单 8 通道多路开关($1 \times 8:1\text{MUX}$)、双 8 通道多路开关($2 \times 8:1\text{MUX}$)、单 16 通道多路开关($1 \times 16:1\text{MUX}$)等,其中 $1 \times 8:1\text{MUX}$ 和 $2 \times 4:1\text{MUX}$ 典型产品为 CD4051 和 CD4052,但它们是早期 CMOS 标准产品,性能已不能满足目前控制系统的许多要求。AD 公司的 ADG658/659 是 CD4051/4052 的改进型,双列直插封装的引脚与其兼容。现以 ADG658/659 为例介绍其结构和功能,ADG658/659 引脚图和内部结构如图 5-42 所示,功能表如表 5-11 和表 5-12 所示。

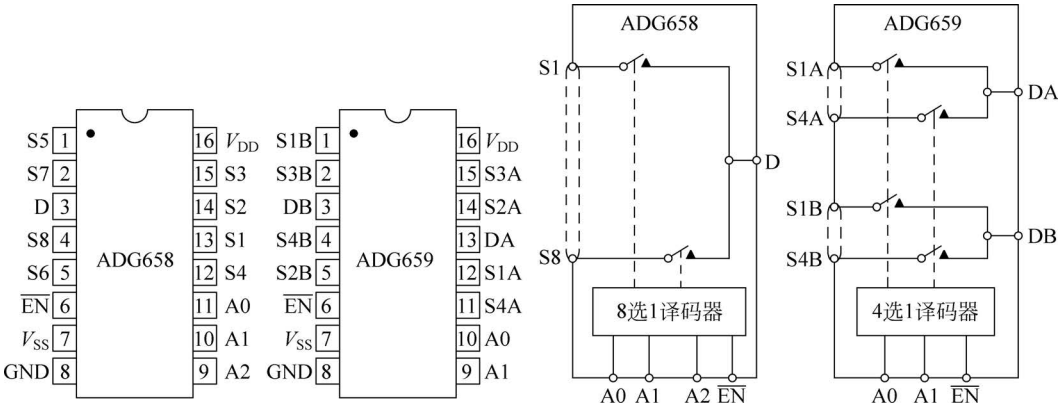


图 5-42 ADG658/659 引脚图和内部结构

表 5-11 ADG658 功能表

A2	A1	A0	$\overline{\text{EN}}$	输出 D
X	X	X	1	与输入断开
0	0	0	0	S1
0	0	1	0	S2
0	1	0	0	S3
0	1	1	0	S4
1	0	0	0	S5
1	0	1	0	S6
1	1	0	0	S7
1	1	1	0	S8

表 5-12 ADG659 功能表

A1	A0	$\overline{\text{EN}}$	输出 DA	输出 DB
X	X	1	与输入断开	与输入断开
0	0	0	S1A	S1B
0	1	0	S2A	S2B
1	0	0	S3A	S3B
1	1	0	S4A	S4B

ADG658 有 1 个使能端 $\overline{\text{EN}}$ 和 3 个选择/分配控制端 A2、A1、A0，S1~S8 和 D 分别为多路开关引出端，S1~S8 既可作输入，也可作输出；S1~S8 作输入时，D 为输出。当把 ADG658 视为 8 选 1 数据选择器时，A2、A1、A0 为选择控制端，S1~S8 作输出，D 为输入；当把 ADG658 视为 1~8 数据分配器时，A2、A1、A0 为分配控制端，使能端 $\overline{\text{EN}}=1$ 时，S1~S8 与 D 之间断开。 $\overline{\text{EN}}$ 和 A2、A1、A0 为逻辑信号输入端，S1~S8 与 D 之间可传输模拟信号。

ADG659 有 1 个使能端 $\overline{\text{EN}}$ 和 2 个选择/分配控制端 A1、A0，S1A~S4A 和 DA、S1B~S4B 和 DB 分别构成 4:1MUX，它们同时受 $\overline{\text{EN}}$ 、A1、A0 控制。

多路开关的主要指标有工作电压、工作温度范围、导通电阻 R_{on} 、导通电阻的差值 ΔR_{on} 、导通时间 t_{on} 和关闭时间 t_{off} 。这些参数可查阅相应的产品手册。

5.3 输出通道

5.3.1 输出通道的基本结构

输出通道分为数字量输出通道和模拟量输出通道,如图 5-43 所示。

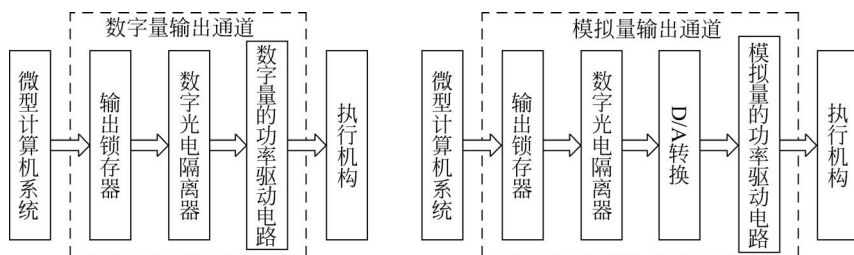


图 5-43 输出通道的结构

数字量输出通道主要由输出锁存器、数字光电隔离器和数字量的功率驱动电路等组成。在计算机控制的生产过程中,开关的闭合、电磁阀的打开等二值状态执行器的控制信号都来自数字量输出通道。这些控制命令从计算机送出后,首先要保持控制状态,直到下次给出新的值为止,这就需要锁存。常见的锁存器件有 74LS273、74LS373 等,它们能对 8 位输出状态信号实现锁存。采用隔离电路的目的在于将计算机与被控对象隔离开,以防止来自现场的干扰或强电侵入,通常采用的隔离器件是光电耦合器。

模拟量输出通道主要由输出锁存器、数字光电隔离器、D/A 转换和模拟量的功率驱动电路等组成。另外,隔离器也可放置在 D/A 转换之后,此时需要模拟的隔离电路。在计算机控制的生产过程中,诸如开度连续调节的阀门、速度连续变化的电机和导通角连续调节的晶闸管等控制信号都来自模拟量输出通道。

许多智能执行器都含有通信接口与微型计算机相连接,其中的输出通道已融合到执行器内部,如图 5-44 所示。通信接口可以是标准模拟量信号(如 4~20mA),也可以是数字信号,通常为标准的通信总线。

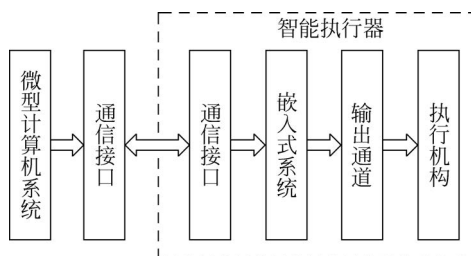


图 5-44 智能执行器中的输出通道

5.3.2 输出通道中的开关信号驱动

输出通道接收的是来自计算机的数字逻辑信号,通常不需要消抖、整形等处理,但仍需要进行锁存、隔离、放大等处理,这些与输入通道中的信号处理类似。但输出通道输出到执行机构(包括电气开关的控制、电磁阀的驱动和电机的控制)需要有信号的驱动电路。信号的驱动电路有开关量的功率驱动和模拟量的功率驱动。

从微处理器输出的数字逻辑一般为 TTL 电平或 CMOS 电平,驱动在 5V 以下,驱动电流一般不大于 10mA,内部集成驱动电路的 MCU 其输出电流也不大于 100mA,不能直接驱动许多输出设备。开关量的功率驱动可以由晶体管、场效应管或集电极开路的 TTL 电路、漏极开路的 MOS 电路、电磁式继电器、固态继电器、可控硅等功率器件组成。



微课视频

1. 小功率开关信号的驱动

对驱动功率不大的单个部件可采用小功率晶体管,加以适当的偏置电阻、限流电阻就可以直接驱动。若驱动的负载数目较多时,可采用专用驱动集成电路。ULN2803 是一款高耐压、大电流专用驱动集成电路,它由 8 个达林顿管组成,采用集电极开路输出,输入接收 TTL 和 CMOS(5V 电源时)逻辑电平,反向输出灌电流可达 500mA,并能在关态时承受 50V 的电压,每个输出端设有钳位二极管,以抑制电感型负载产生的瞬态反向高压。ULN2803 可驱动小型电磁阀、继电器等负载,ULN2803 采用 DIP-20 或 SOP-20 封装,其内部原理图和引脚图如图 5-45 所示。

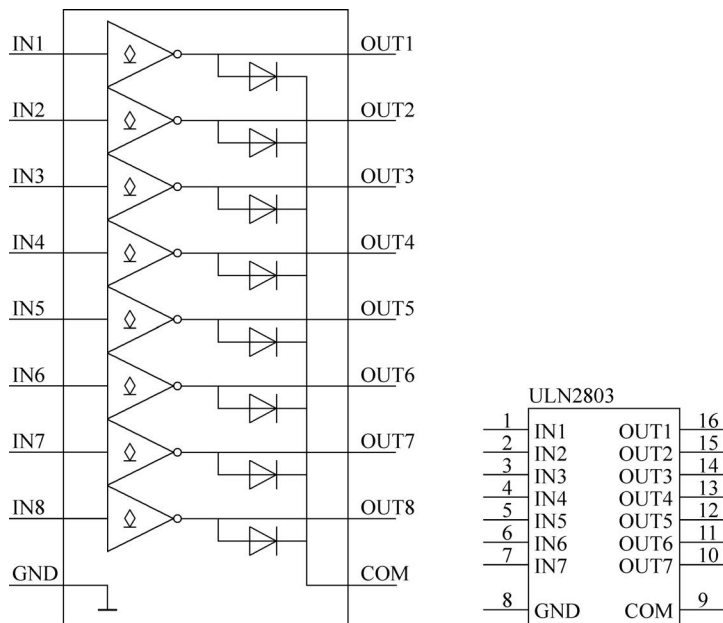


图 5-45 ULN2803 驱动电路原理图和引脚图

对于功率较大的负载(驱动电流大于 1A),诸如继电器、电动机和电磁阀等,可以利用功率场效应管驱动。功率场效应管也称为功率 MOSFET,与双极型晶体管相比,它有以下几个特点:

- (1) 功率场效应管是单极型器件,利用多数载流子导电,不存在少数载流子的储存效应,从而有较高的开关速度;
- (2) 功率场效应管具有较宽的安全工作区而不易产生热点,同时,由于它是一种具有正温度系数的器件,所以可并联使用;
- (3) 功率场效应管具有较强的过载能力,短时过载能力通常为额定值的 4 倍;
- (4) 功率场效应管具有较高的开启电压,即阈值电压,通常阈值电压为 2~6V,因此具有较高的噪声容限和抗干扰能力;
- (5) 功率场效应管是电压控制器件,具有较高的输入阻抗,对驱动电路要求较低。

另外,由于 TTL 的高电平大约是 3.6V,而功率场效应管的导通门槛电压是 2~4V,为使功率场效应管迅速且充分导通,一般需在栅极加 9~12V 的电压,因而常需要利用晶体管或集电极开路的 TTL 集成电路来驱动功率场效应管。

利用晶体管驱动功率场效应管的电路如图 5-46(a)所示。用集电极开路的 TTL 集成电路构成的驱动电路中,一般将上拉电阻接至 $+10\sim+15\text{V}$ 的电源上,以确保功率场效应管充分导通,有时为提高开关速度,可以采用多个门并联驱动的方式,如图 5-46(b)所示。

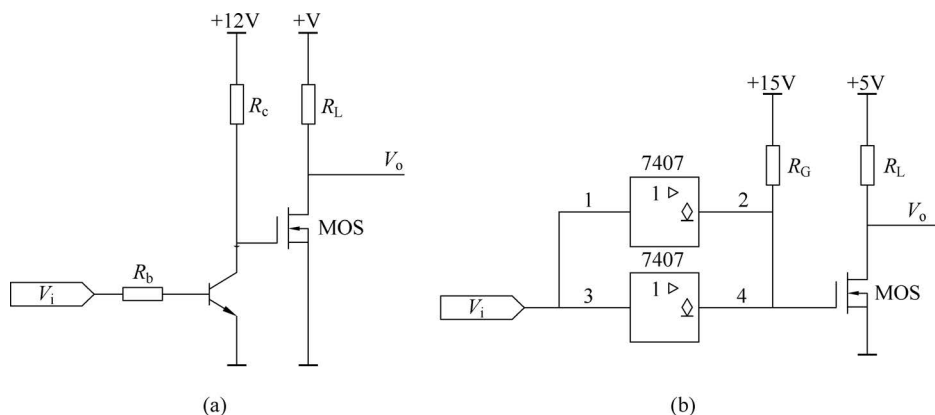


图 5-46 功率场效应管的驱动电路

2. 电磁式继电器的驱动

继电器是电气控制中最常用的器件之一,它利用改变金属触点位置实现闭合或分开,具有接触电阻小、耐压高等优点,特别适用于大电流、高电压的场合。但电磁式继电器触点切换时往往伴随着电弧或火花,会产生电磨损和干扰,使用寿命有限,有噪声,速度不快。

电磁式继电器一般由线圈和触头组成。当线圈有电流通过时,由于磁场的作用,使开关触点闭合(或断开)。它有常开和常闭触头,当线圈无电流通过时,常开触头断开、常闭触头闭合;当线圈有电流通过时则相反。线圈所加电压有交流和直流两种,直流电压常有 5V 、 6V 、 9V 、 12V 、 24V 等类型;交流电压有 220V 或 380V ,线圈使用交流电源的继电器也称交流接触器。交流接触器还不能通过小功率开关信号直接驱动,一般要通过中间继电器才能驱动,中间继电器是控制电路中用于增加触点数量和容量、传递中间信号的继电器。

常用的继电器驱动电路如图 5-47 所示,图中的二极管 1N4148 起续流或钳位作用,当线圈切断电流时产生的感生电动势可以通过二极管泄放,将三极管集电极电位钳位至电源电压。另外,采用继电器驱动电路时,为防止感生电动势的干扰,通常需要有光电耦合措施。

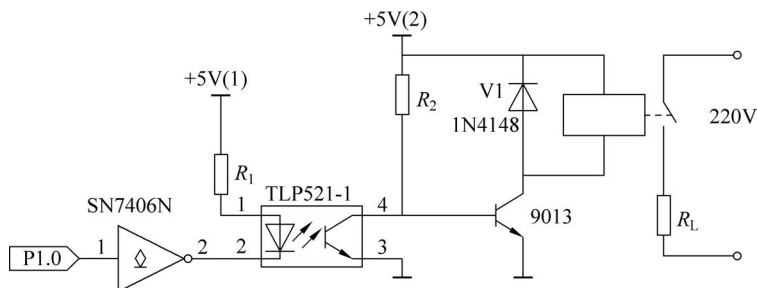


图 5-47 驱动继电器的电路

干簧继电器是另一类继电器,图 5-48 是其结构图。它由密封在玻璃管壳内的一对玻璃合金簧片及绕在管壳外的励磁线圈组成,簧片具有高磁导率和低矫顽力,其末端覆有黄金触点,用以保证接触时极低的接触电阻,玻璃壳内充氮气以防触点氧化。当励磁线圈充电时,

线圈产生轴向磁场,簧片被磁化并互相吸合,从而使触点闭合;当线圈断电后,簧片由于弹性而恢复它原先的位置。

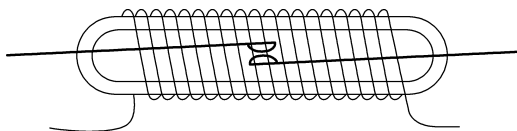


图 5-48 干簧继电器结构图

干簧继电器触点闭合时,导通电阻很低,一般小于 0.1Ω ;触点断开时,其分断电阻很高,一般大于 $1000M\Omega$ 。干簧继电器的工作频率可达 $10\sim 40$ 次/秒,吸合、释放时间约 $1ms$ 。继电器的触点间、触点和励磁线圈间的击穿电压值超过数百伏,其工作寿命可达 10^8 次。干簧继电器在数字控制系统中已有很长的使用历史了。

3. 可控硅输出接口

可控硅(简称 SCR,也称晶闸管)是一种功率半导体器件。可分为单向可控硅和双向可控硅,在微机控制系统中,可作为功率驱动器件。它具有控制功率小、无触点,寿命长等优点,在交流电路的开关控制、调功调速等场合有着广泛的应用。但可控硅容易产生谐波干扰,并且一般不太适合于直流驱动场合。

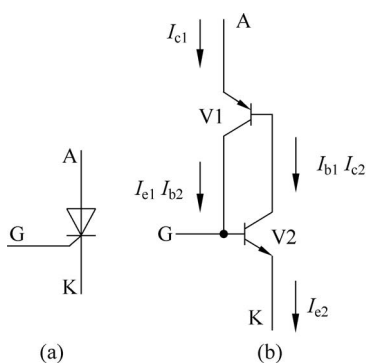


图 5-49 单向可控硅的内部结构及符号表示

1) 单向可控硅

单向可控硅有三个引脚,其符号标示如图 5-49(a)所示。其中 A 极为阳极, K 极为阴极, G 极为控制极或称触发极、门控极。其内部结构如图 5-49(b)所示。

从其内部结构可以看出,当在其 A、K 两端加上正向电压,而在其控制极 G 端不加电压时,单向可控硅不导通,正向电流极小,处于截止状态。如果在控制极上加上正向电压,则单向可控硅导通,由于三极管 V1、V2 处于深度饱和状态,所以正向导通压降很小,且此时即使撤去控制电压,仍能保持导通状态。因此利用切断控制电流的方法不能切断负载电流。只有当阳极电流降至足够小的定值以下时,负载回路中的电流才能被切断。若将单向可控硅用于交流回路中作整流器件时,电压过零进入负半周时,能自动关断单向可控硅。但在下一个正半周时,必须在控制极上再加上控制电压,单向可控硅才能导通。单向可控硅可作为一个无触点开关来接通或断开直流电或作为交流场合的受控整流器件。

由于单向可控硅能通过大电流,因此大功率单向可控硅的 A、K 极引脚较粗,更大功率的单向可控硅器件采用平板式,并采用风冷散热或水冷散热。

2) 双向可控硅

双向可控硅也称三极双向可控硅,它相当于两个单向可控硅反向并联。它和单向可控硅的区别是:它在触发之后是双向导通;在控制极上不管是加正还是负的触发信号,一般都可以使双向可控硅导通。所以双向可控硅特别适合作为交流无触点开关。双向可控硅的符号表示如图 5-50 所示。但需要特别注意的是,当双向可控硅接通感性负载时,由于电压与电流存在相位差,即电压的相位超过电流一定相位。因此,当电流为零时,存在一个反向

电压,且超过转折电压,使管子反向导通,故必须使双向可控硅能承受这种反向电压。一般在双向可控硅 T1、T2 两极间并联一个 RC 网络,以吸收这种反向电压。

由于双向可控硅接通的一般都是一些功率较大的用电器,且连接在强电网中,所以双向可控硅触发电路的抗干扰问题,显得尤为重要,通常都是通过光电耦合器将微机控制系统中的触发信号加载至双向可控硅的控制极 G。由于双向可控硅的广泛使用,与之配套的光电耦合器已有系列产品,这种产品称为光电耦合双向可控硅驱动器,与一般的光耦器件不同之处在于其输出部分是一个光敏双向可控硅,一般还带有过零触发检测器,以保证电压接近零时触发可控硅,这对抑制干扰非常有效。

采用 MOC3011、MOC3041 驱动双向可控硅的电路分别如图 5-51(a)、图 5-51(b)所示。其中 MOC3011 用于交流 110V, MOC3041 用于交流 220V,并带有过零触发检测器。

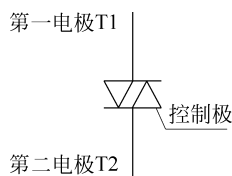


图 5-50 双向可控硅符号表示

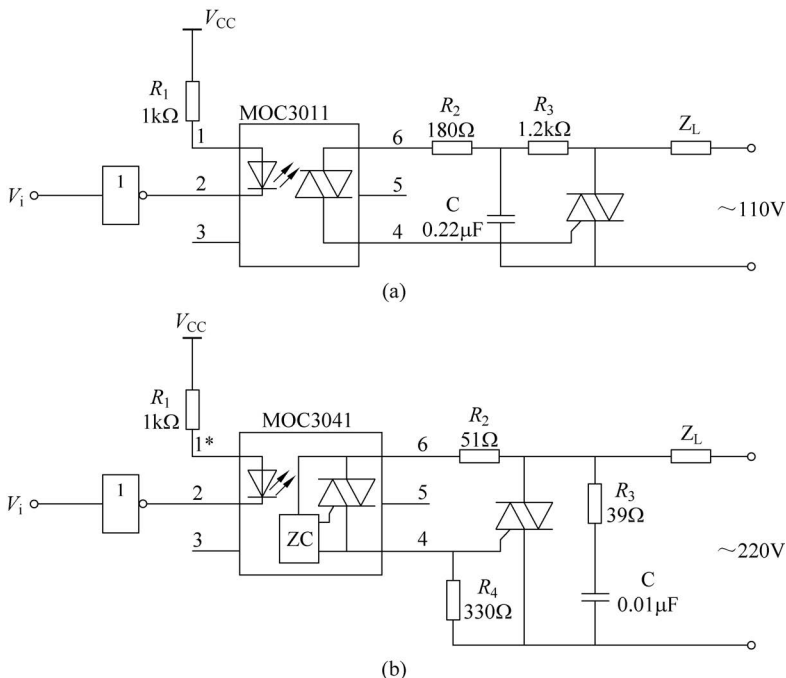


图 5-51 MOC3011、MOC3041 驱动双向可控硅电路图

对不同的光耦,其输入的驱动电流也不同,如 MOC3041 为 15mA,而 MOC3011 仅为 5mA,所以可通过调节输入回路中的 R 来满足其电流要求。

4. 固态继电器输出接口

固态继电器(SSR)是一种新型电子继电器,它用晶体管或可控硅代替常规继电器的触点开关,而在输入级则把光电耦合器融为一体。因此,SSR 实际上是一种带光电耦合器的无触点开关。根据使用的场合,SSR 分为直流 SSR 和交流 SSR。SSR 一个很重要的特点是输入控制电流小,用 TTL、CMOS 等集成电路的输出可以直接驱动,因此特别适合于在微机控制系统中用作控制器件。与普通的机械电磁式继电器相比,它具有无机械噪声、无抖动和回跳、开关速度快、寿命长、工作可靠、使用方便等特点,特别适合在易燃、易爆等危险场所中

驱动执行机构。但它也增加了一定的封装成本。

1) 直流 SSR

直流 SSR 主要用于控制直流大功率的场合。其原理图如图 5-52 所示,其输入端为一光电耦合器,可用 TTL 电平的 OC 门驱动,驱动电流根据各种型号的额定值而略有不同,一般不超过 15mA,控制端的电压范围为 4~32V。中间部分为整形放大电路,输出级为一只大功率的晶体管,二极管起保护作用,对反向电压起续流作用。直流 SSR 广泛应用于各种直流负载场合,如直流电机和电磁阀控制等。

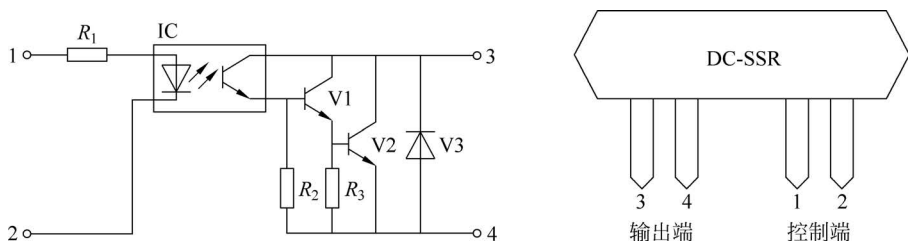


图 5-52 直流 SSR 原理及引脚图

2) 交流 SSR

交流 SSR 采用双向可控硅作为开关器件,用于交流大功率驱动场合,其基本结构原理如图 5-53 所示。对交流过零 SSR 必须在电源电压接近零且控制端输入信号有效时,输出端负载电源才接通,而当控制端的输入信号撤去后,流过双向可控硅的负载电流为零时才关断,这样可有效地抑制谐波干扰的产生。

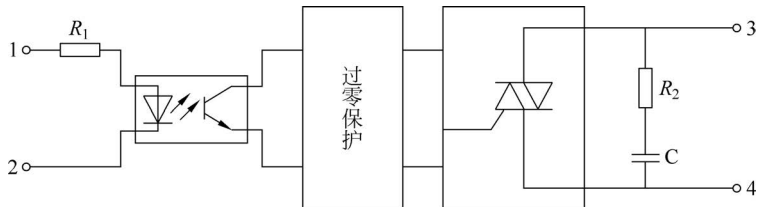


图 5-53 交流过零 SSR 基本结构原理图

对于交流 SSR,控制端的输入电压为 4~32V,输入电流小于 500mA,因此其控制端可加接一只晶体管直接驱动。输出端的工作电压为交流,可用于 220V、380V 等常用市电场合,输出断态电流一般小于 10mA。

5.3.3 输出通道中的模拟信号驱动

微机控制系统中的被控对象经常需要用模拟量对其进行驱动,以达到控制的目的。它一般由接口电路、D/A 转换器、V/I 变换和功率驱动等组成。D/A 转换器(DAC)是一种把数字信号转换成模拟信号的器件,F/V 转换器也是将数字信号转换成模拟信号的器件。不管是 DAC 还是 F/V 转换器,其输出端的带载能力都较弱,需要用线性功率驱动接口器件进行驱动。下面重点讨论 DAC、线性功率驱动电路等。

1. DAC 及其性能指标

实现 D/A 变换的方法有多种,最为常用的是电阻网络转换法。它的实质是根据数字量不同位的权重,对各位数字量的输出进行求和,构成相应的模拟量输出。DAC 的性能指标

主要有以下几个:

1) 分辨率

这是 DAC 最重要的性能指标。它表示 DAC 输出模拟量的分辨能力,通常用最小非零输出电压与最大输出电压的比值表示。例如,对于 10 位 DAC,其最小非零输出电压为 $V_{\text{ref}}/(2^{10}-1)$,最大输出电压为 $1 \times V_{\text{ref}}$,则分辨率为

$$\frac{V_{\text{ref}}/(2^{10}-1)}{V_{\text{ref}}} = \frac{1}{2^{10}-1} \approx 0.001$$

分辨率越高,DAC 就越灵敏。分辨率与 DAC 的位数有着直接的关系,因此有时也用有效输入数字信号的位数表示分辨率。

2) 线性度

通常用非线性误差的大小表示 DAC 的线性度,并且把理想的输入/输出特性的偏差与满刻度 FSR(full scale range)输出之比的百分数,定义为非线性误差。

3) 转换精度

转换精度以最大的静态转换误差的形式给出。该转换误差是包含非线性误差、比例系数误差以及漂移误差等在内的综合误差。但是有的产品手册中只分别给出各项误差,而不给出综合误差。

应该注意,精度和分辨率是两个不同的概念。精度是指转换后所得到的实际值对于理想值的误差或接近程度;而分辨率则是指能够对转换结果发生影响的最小输入量。分辨率很高的 DAC 不一定具有很高的精度,分辨率不高的 DAC 则肯定不会有高的精度。

4) 建立时间

由于 DAC 中有电容、电感和开关电路,它们都会造成电路的时间延迟,当输入数据从零变化到满量程时,其输出模拟信号不能立即达到满量程刻度值。转换器的时延大小用建立时间来衡量,通常电流输出的 DAC 建立时间是很短的,电压输出的 DAC 的建立时间则主要取决于相应的运算放大器。

5) 温度系数

温度系数反映了 DAC 的输出随温度变化的情况。其定义为在满量程刻度输出的条件下,输出变化相对于温度每升高 1°C 的 ppm(FSR/ $^{\circ}\text{C}$)值($1\text{ppm}=1 \times 10^{-6}$)。

6) 电源抑制比

对于高质量的 DAC,要求开关电路以及运算放大器所用的电源电压发生变化时,对输出电压的影响要小。通常把满量程输出电压变化的百分数与电源电压变化的百分数之比称为电源抑制比。

7) 输入形式

DAC 的数字量输入形式通常为二进制码。早期多采用并行输入的 DAC,很多新型的 DAC 都采用串行输入,因为串行输入可以节省引脚。

为了便于使用,大多数 DAC 都带有输入锁存器。但是也有少数产品不带锁存器,在使用时要加以注意。

8) 输出形式

按照 DAC 输出信号形式可以分为电流输出型和电压输出型,电流输出型的 DAC 需要使用外部运放电路转换为电压输出。按照输出通道的数量可以分为单路输出型和多路输出型。多路输出型的 DAC 有双路、四路和八路输出等。

2. DAC 与单片机的接口

许多 MCU 芯片都带有 DAC,也可利用 PWM 将数字量转换为模拟量。但有些场合仍然需要外接 DAC,下面以 12 位串行 DAC AD7543 为例介绍 DAC 与单片机的接口。

AD7543 是专为串行接口应用设计的高精度 12 位 DAC,是美国模拟器件公司 AD(Analog Devices,Inc.)的产品,属于特殊用途的 DAC。AD7943 是 AD7543 的改进型产品,其引脚与 AD7543 兼容。AD7543 的内部结构以及它与 51 系列单片机的硬件接口及接口软件程序都很有特色,以下予以介绍。

1) AD7543 应用特性与引脚功能

AD7543 的主要应用特性如下:

- (1) 分辨率为 12 位;
- (2) 非线性为 $\pm 1/2\text{LSB}$;
- (3) 提供异步清除信号输入;
- (4) +5V 供电;
- (5) 低功耗,最大功耗为 40mW。

AD7543 的内部结构和引脚分布如图 5-54 所示。

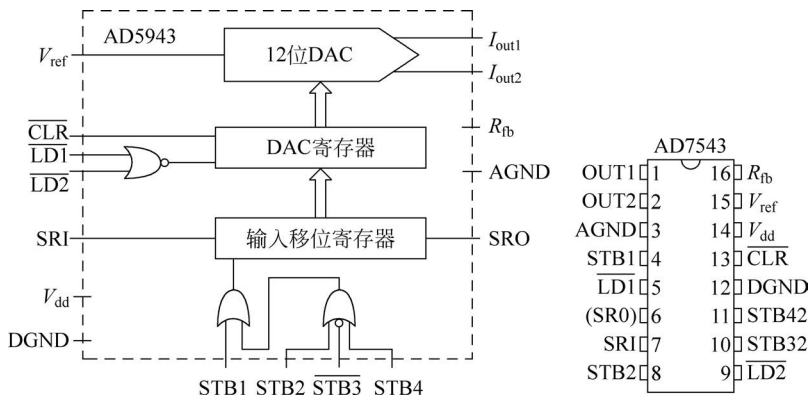


图 5-54 AD7543 的内部结构和引脚图

AD7543 的逻辑电路由 12 位串行输入及并行输出移位寄存器(寄存器 A)和 12 位 DAC 输入寄存器(寄存器 B)组成。在选通输入信号的前沿或后沿(由用户选择)定时地把 SRI 引脚上的串行数据装入寄存器 A,一旦寄存器 A 装满,在加载脉冲的控制下,寄存器 A 的数据便装入寄存器 B。AD7543 为 16 引脚双列直插封装,其引脚功能说明如表 5-13 所示。

表 5-13 AD7543 引脚功能说明

引脚	名称	说 明
1,2	OUT1、OUT2	DAC 电流输出引脚 1 和 2
3	AGND	模拟地
4	STB1	寄存器 A 选通 1 输入
5	$\overline{\text{LD1}}$	DAC 寄存器 B 加载 1 输入。当 $\overline{\text{LD1}}$ 和 $\overline{\text{LD2}}$ 为低时,寄存器 A 的内容送到寄存器 B
6	SRO	输入移位寄存器(寄存器 A)的输出端
7	SRI	输入寄存器 A 的串行数据输入引脚

续表

引脚	名称	说 明
8	STB2	寄存器 A 选通 2 输入
9	$\overline{\text{LD2}}$	DAC 寄存器 B 加载 2 输入
10	$\overline{\text{STB3}}$	寄存器 A 选通 3 输入
11	STB4	寄存器 A 选通 4 输入
12	DGND	数字地
13	$\overline{\text{CLR}}$	寄存器 B 清除输入(低有效),用于异步地将寄存器 B 复位至 000000000000
14	V_{dd}	+5V 电压
15	V_{ref}	基准电压输入
16	R_{fb}	DAC 反馈输入引脚

出现在 AD7543 的 SRI 引脚上的串行数据在 STB1、STB2 和 STB4 的上升沿或 $\overline{\text{STB3}}$ 的下降沿定时地加到移位寄存器 A 中,表 5-14 详细说明了寄存器 A 和 B 各控制输入端所要求的各种逻辑状态。

表 5-14 AD7543 的逻辑真值表

AD7543 逻辑输入							AD7543 操作
寄存器 A 控制输入				寄存器 B 控制输入			
STB4	$\overline{\text{STB3}}$	STB2	STB1	$\overline{\text{CLR}}$	$\overline{\text{LD2}}$	$\overline{\text{LD1}}$	将 SRI 输入端的数据移入寄存器 A
0	1	0	↑	×	×	×	
0	1	↑	0	×	×	×	
0	↓	0	0	×	×	×	
↑	1	0	0	×	×	×	寄存器 A 无操作
1	×	×	×				
×	0	×	×				
×	×	1	×				
×	×	×	1				
				0	×	×	清除寄存器 B 使其为 000H(非同步)
				1	1	×	寄存器 B 无操作
				1	×	1	
				1	0	0	寄存器 A 的内容装入寄存器 B

AD7543 与 8031 单片机的接口电路如图 5-55 所示。

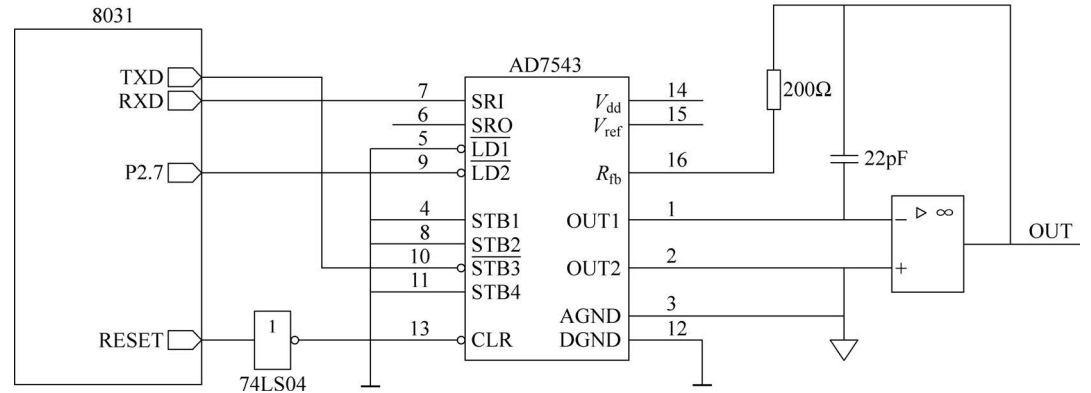


图 5-55 AD7543 与 8031 单片机的接口电路

图中 8031 的串行口直接与 AD7543 相连,8031 的串行口选用方式为 0(移位寄存器方式),其 TXD 端移位脉冲的负跳变将 RXD 输出的位数据移入 AD7543,利用地址译码器的输出信号产生 $\overline{\text{LD2}}$,从而将 AD7543 移位寄存器 A 中的内容输入寄存器 B 中,并启动 D/A 转换。

由于 AD7543 的 12 位数据是由高位至低位串行输入的,而 8031 单片机串行口工作方式 0 时,其数据是由低位至高位串行输出的,因此,在数据输出到 AD7543 之前必须重新装配。

2) DAC 使用时的注意问题

(1) 关于零点和满度的调节。

当数字输入信号全为“0”时,DAC 输出的模拟电压应该为 0V。但是由于运算放大器的偏差,模拟输出可能不为 0V,调零就是使此时 DAC 的输出电压尽可能接近 0V。同理,当输入数字信号全为“1”时,DAC 输出的模拟电压应该为满量程,而实际的输出可能会有偏差。

具有零点和满度调节功能的 DAC 应用电路如图 5-56 所示。通过电位器 R_2 可以调整零点;而通过电位器 R_1 则可以调整满度。

(2) 关于 DAC 的输出范围与极性。

通常 DAC 的输出电压范围不仅与运算放大器的接法有关,还与参考电压有关。所有 DAC 的输出模拟电压 V_{out} 都可以表示为输入数字量 D 和模拟参考电压 V_{ref} 的乘积,即有

$$V_{\text{out}} = -V_{\text{ref}} \times D / (2^n) \quad (5-7)$$

二进制代码 D 可以表示为

$$D = d_0 \times 2^0 + d_1 \times 2^1 + d_2 \times 2^2 + \cdots + d_{n-1} \times 2^{n-1} \quad (5-8)$$

上式中 n 为二进制位数, d_i 为二进制数字, d_0 为最低有效位, d_{n-1} 为最高有效位。

当参考电压的极性不变时,要想获得双极性的模拟电压输出,就必须采用四象限工作的 D/A 转换电路。此时的模拟输出电压可以表示为

$$V_{\text{out}} = V_{\text{ref}} \times (D - 2^{n-1}) / 2^{n-1} \quad (5-9)$$

在这种情况下,无论参考电压的极性如何,都可以获得双极性的模拟电压输出。在参考电压不变的情况下,输出模拟电压的极性取决于输入数字量二进制码的最高位(MSB)。这样一来,对应于 MSB 的 0 或 1 和参考电压的正或负,模拟输出电压可以有四种组合方式,因此称为四象限工作方式转换电路。显然,数字量每变化一个 LSB,所对应的双极性模拟量输出比单极性模拟量输出要大一倍。图 5-57 是获得双极性模拟量输出的 D/A 转换电路。

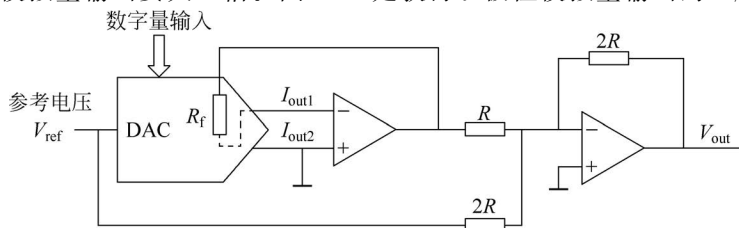


图 5-56 具有零点和满度调节功能的 D/A 转换电路

图 5-57 能够获得双极性输出的 D/A 转换电路

3. 电流驱动与线性功率驱动

控制系统中的有许多执行器需要使用标准 $4\sim 20\text{mA}$ 电流信号驱动,利用电流放大器或电压-电流转换电路(如 XTR115/XTR116 电流环发送电路,如图 5-27 所示)可将 DAC 的输出转换为标准 $4\sim 20\text{mA}$ 电流信号。

DAC 输出的信号带载能力是较弱的,有时为了提高其功率驱动能力,需要选用线性功率驱动电路,此时需要注意以下几个问题:

(1) 输出功率。为了获得较大的输出功率,要求功放电路输出电压有足够大的幅度,并能承载较大的负载,即负载电阻能获得较大的电流。

(2) 效率。由于输出功率大,因此直流电源消耗的功率也大。将交流输出功率与直流输入功率之比称为功率放大器的效率,要求这个比值越大越好。

(3) 频度响应。根据驱动对象的特性,线性功率驱动电路必须要有足够的频带宽度。

(4) 非线性失真。功率放大电路是在大信号下工作,所以不可避免地会产生非线性失真,而且同一功放管输出功率越大,非线性失真就越大。对于不同的系统,对非线性失真的要求不同。例如,在测量系统和电声设备中,对非线性失真要求较高;而在某些工业控制系统中,则主要以输出功率为目的,对非线性失真要求就不太高。

(5) 散热问题。在功率放大器中,有相当大的功率消耗在功放管上,使得结温和管壳温度升高,因此功放管必须有良好的散热。低频功率放大器的电路形式主要有两类:一类是通过变压器与负载耦合,这类功率放大器的效率高,可实现阻抗变换,但是变压器笨重,频率特性差,且无法集成;另一类无输出变压器,这类功率放大器体积小、重量轻、频率特性好,非常容易集成,所以目前的功率放大器绝大多数均采用无输出变压器的方法。

(6) 线性集成电路的选用。随着线性集成电路的发展,集成功率放大器的应用越来越广泛,在控制系统中一般可采用现成的集成功率放大器产品。

5.3.4 电机控制

在控制系统中,电机是常见的执行器。对控制指标要求高,且电机功率较大的场合,可以选用商品化的专用电机驱动器;对控制指标要求不高,且电机功率较小的场合,可使用简单的直流伺服电机和步进电机,与此相配需要设计一定的驱动电路,这也可看作输出通道的组成部分。下面分别介绍直流伺服电机和步进电机驱动电路的设计。

1. 直流伺服电机驱动

图 5-58 是一个直流伺服电机的桥式控制原理电路。其中 $V_1\sim V_4$ 为开关晶体管, $V_5\sim V_8$ 为续流二极管, R_s 既可用于限流,也可用于电流取样。由于直流伺服电机为感性负载,当电流突变时,会有很大的感应电势出现,所以要在 $V_1\sim V_4$ 开关元件上并联 $V_5\sim V_8$ 续流二极管。当 V_1 、 V_4 导通, V_2 、 V_3 截止,则电机正转,如图 5-58(a) 所示;当 V_2 、 V_3 导通, V_1 、 V_4 截止,则电机反转,如图 5-58(b) 所示。

电机正转时,如关闭 V_1 、 V_4 ,则电机中的电流经 V_6 、 V_7 逐渐衰减,电机逐渐停止转动,如图 5-58(c) 所示;如仅关闭 V_1 ,则电机中的电流经 V_6 、 V_4 和 R_s 逐渐衰减,由于回路中增加了 R_s ,时间常数相对减小,衰减速度加快,电机快速停止转动,如图 5-58(d) 所示。另外, $V_1\sim V_4$ 均截止时,电机将停止转动;当 V_2 、 V_4 导通, V_1 、 V_3 截止时,电机绕组短路,此时电机可实现“堵转制动”功能。

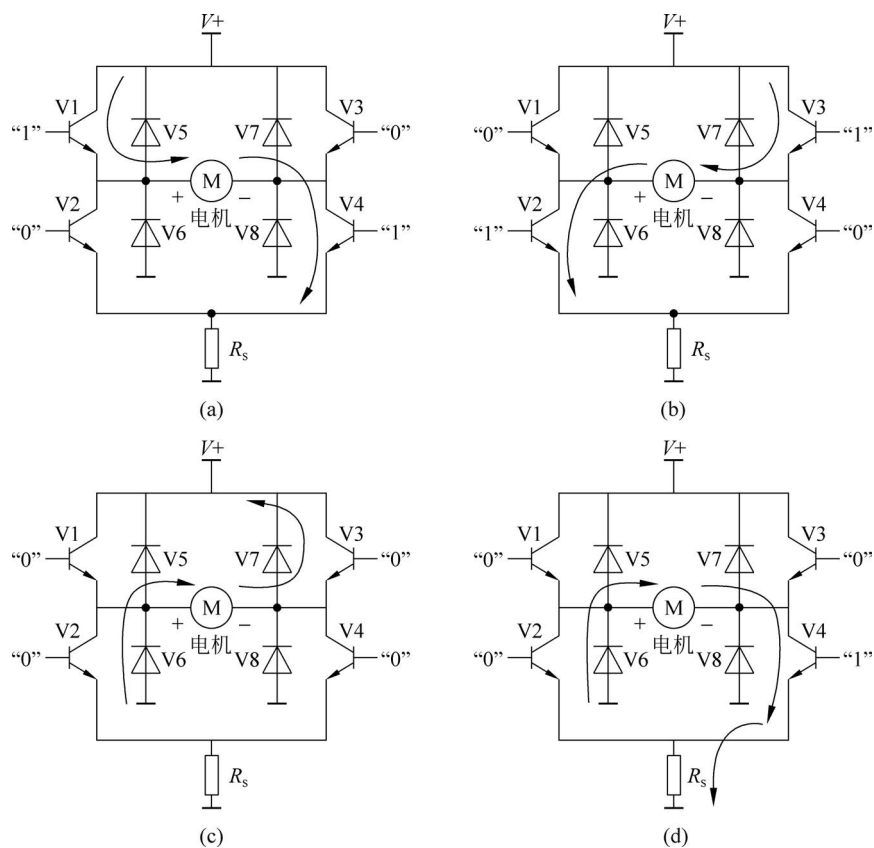


图 5-58 直流伺服电机的桥式控制原理

如改变控制 V1、V4 或 V2、V3 导通的脉冲宽度,就可实现对电机正转或反转的速度控制。但上述电路不允许出现 V1、V2 或 V3、V4 同时导通的情况,否则会造成电源的短路,因此必须有相应的保护措施。利用一些专用的电机驱动芯片,可以方便地实现对直流伺服电机的控制。

直流伺服电机驱动电路的一般框图如图 5-59 所示。下面通过具体电路 A3953 介绍应用方法。

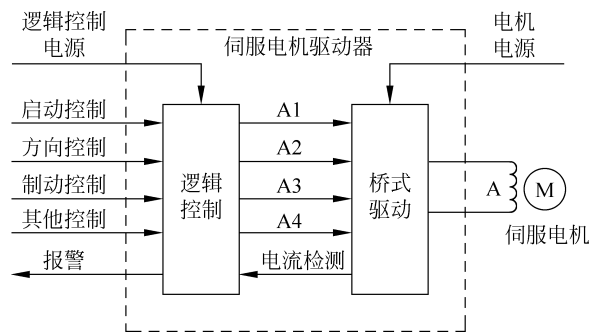


图 5-59 直流伺服电机驱动电路的一般框图

A3953 是一款桥式 PWM 电机驱动集成电路,能够输出 1.3A 电流,工作电压达 50V,可通过选择输入参考电压、外部感应电阻设置峰值载荷和电流限制,内部有过热及过流保

护,可实现“堵转制动”,提供睡眠模式。A3953 功能框图如图 5-60 所示。

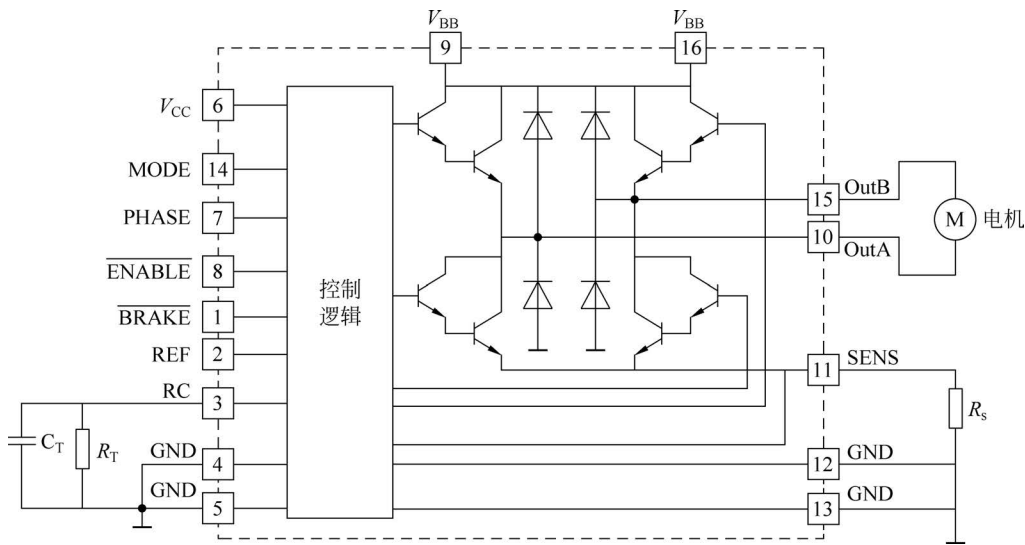


图 5-60 A3953 桥式 PWM 电机驱动集成电路功能框图

A3953 有 16 个引脚,其中 2 个负载电源、1 个逻辑电源、4 个地线、4 个输入控制端、2 个电机绕组驱动端、3 个辅助输入端。

4 个输入控制端分别为:使能控制 $\overline{\text{ENABLE}}$,低电平有效;制动控制 $\overline{\text{BRAKE}}$,低电平有效;相位选择 PHASE,高电平为正转,低电平为反转;模式选择 MODE,高电平为快速衰减模式,低电平为慢速衰减模式。2 个电机绕组驱动端为 OutA 和 OutB,接电机绕组的正负极。A3953 功能表如表 5-15 所示。

表 5-15 A3953 功能表

$\overline{\text{BRAKE}}$	$\overline{\text{ENABLE}}$	PHASE	MODE	OutA	OutB	说 明
H	H	X	H	Off	Off	睡眠模式
H	H	X	L	Off	Off	待机
H	L	H	H	H	L	正转,快速电流衰减
H	L	H	L	H	L	正转,慢速电流衰减
H	L	L	H	L	H	反转,快速电流衰减
H	L	L	L	L	H	反转,慢速电流衰减
L	X	X	H	L	L	制动,快速电流衰减
L	X	X	L	L	L	制动,无电流控制

3 个辅助输入端分别为:RC 定时元件接入端;SENSE 电流检测端;REF 参考电位输入端。

A3953 的一个应用参考电路如图 5-61 所示。其中逻辑控制部分电源 V_{CC} 取 5V,电机负载电源为 12V,参考电位 REF 为 $2k/(2k+18k) \times V_{CC}=0.5V$,电流检测电阻 R_s 为 0.5Ω ,则电机的限流电流约为 1A,定时元件 R_T 和 C_T 分别为 $30k\Omega$ 和 $470pF$,其时间常数为 $14.1\mu s$,它决定了 A3953 内部 PWM 控制的固定关闭时间 t_{off} 。在采用同步固定频率的 PWM 控制电机速度时,其输入脉冲的周期和宽度要远大于 t_{off} 。通过使能控制 $\overline{\text{ENABLE}}$ 、制动控制

BRAKE 控制电机的启动和制动,通过模式选择 MODE、相位选择 PHASE 控制电机的衰减模式和方向。

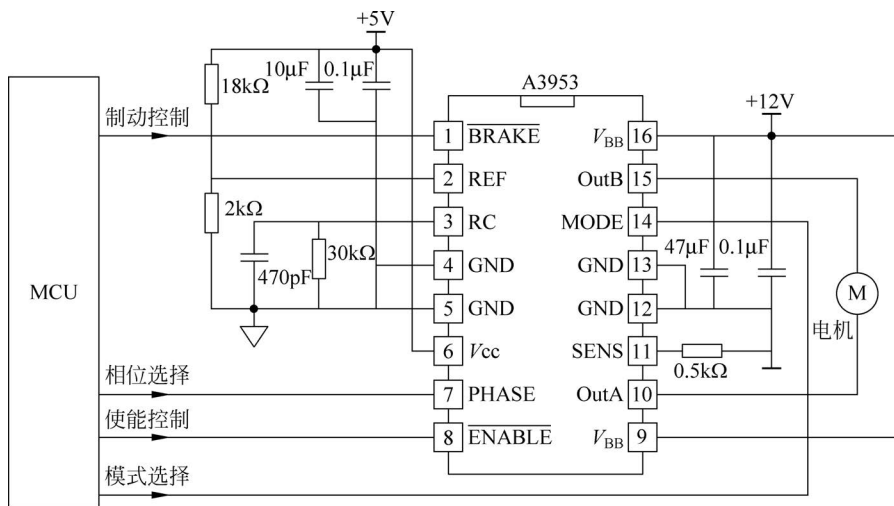


图 5-61 A3953 的应用电路

2. 步进电机驱动

步进电机的驱动器通常由两部分电路组成,功率驱动电路和脉冲时序发生电路。前者可用分立或集成的功率器件;后者可用专用时序电路或由单片机实现。现在也有专门的步进电机驱动器,同时包含了功率驱动电路和脉冲时序发生电路,并且还有其他控制和过流保护等功能,使用更为方便。步进电机驱动电路的一般组成如图 5-62 所示。控制系统可通过接口控制电机的运行。

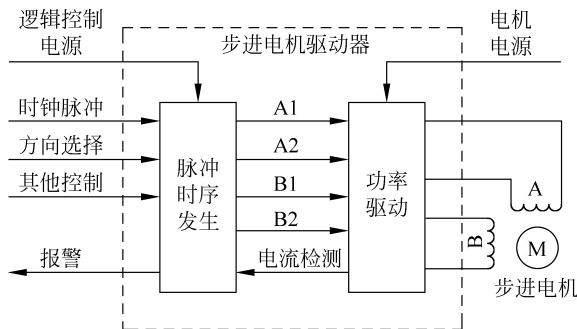


图 5-62 步进电机的驱动电路框图

步进电机绕组不能直接接到交流或直流电源上,需要有驱动时序控制。步进电机的驱动时序常见有单相(one-phase-on)、双相(two-phase-on)和半步(half step)方式。单相方式时,每进一步只有一个绕组通电;双相方式时,每进一步有两个绕组通电;半步方式时,依次有一个或两个绕组通电,所转角度只有单相和双相时的一半。以二相 PM 式步进电机为例,单相、双相和半步方式驱动时的时序如图 5-63(a)、图 5-63(b)和图 5-64 所示。显然半步方式要比单相和双相方式控制精度高一倍。如对绕组的电流不只是用通断的矩形波驱动,而是进一步细分,采用阶梯波驱动,则电机能以更小的步距“连续转动”,当然相应的驱动电路要更复杂一些。

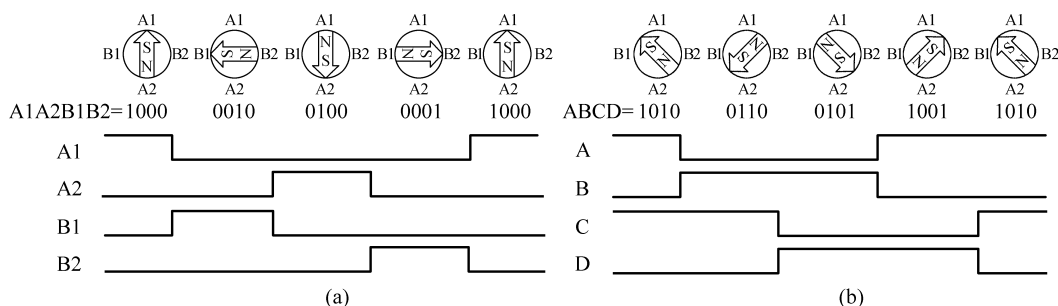


图 5-63 步进电机单相和双相方式驱动时的时序

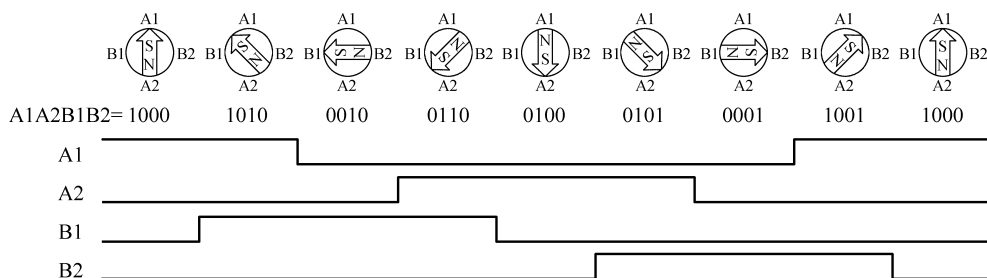


图 5-64 步进电机半步方式驱动时的时序

步进电机绕组的驱动方式有单电压功率驱动、双电压功率驱动、斩波恒流功率驱动等多种方式。前两种为电压型驱动,电路简单,但性能较差;后一种为电流型驱动,性能较好,但电路复杂,需要有专用集成电路支持。单电压功率驱动、双电压功率驱动的原理图如图 5-65(a)和图 5-65(b)所示,斩波恒流功率驱动的原理图如图 5-66 所示。

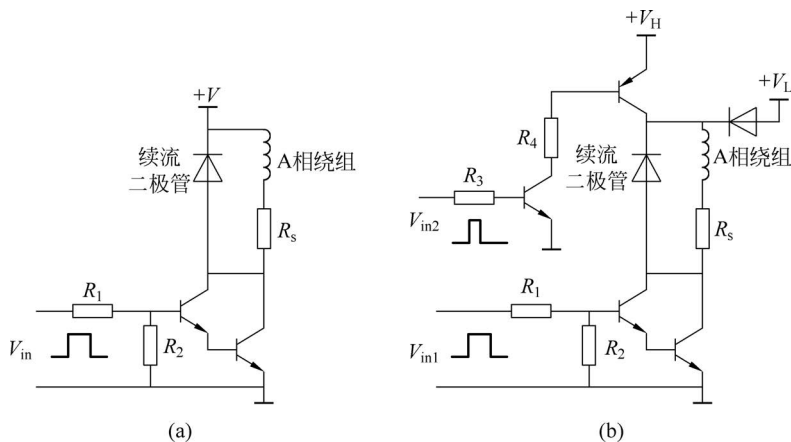


图 5-65 步进电机的电压型驱动原理

单电压功率驱动电路简单, V_{in} 为高电平时,电机绕组通电。 V_d 为防止感应高压而并设置续流二极管,绕组回路中的电阻 R_s 越大,回路时间常数越小,高频时电机能产生较大的电磁转矩,可缓解电机的低频共振现象,但为保证一定的驱动电流,需要提高驱动电压,由 R_s 引起的损耗也会增大。

双电压驱动的设计思路是在低频段用较低的电压 V_L 驱动,以减小功耗,而在高频段用较高的电压 V_H 驱动,以保证足够的电磁转矩。这种功率接口需要两个控制信号, V_{in1} 和

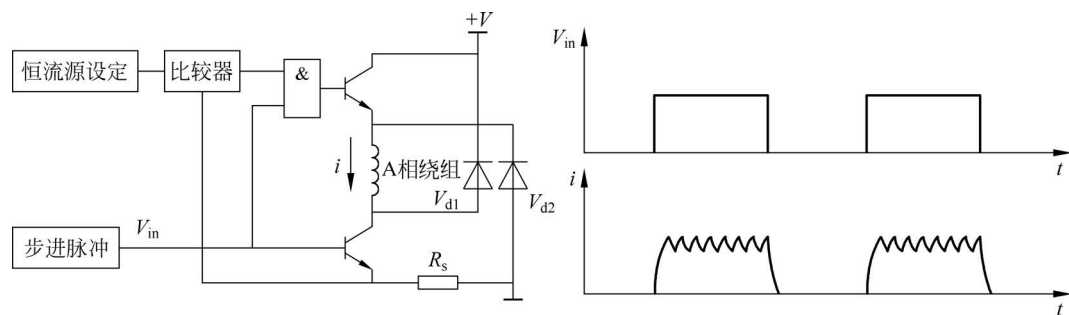


图 5-66 步进电机的斩波恒流功率驱动原理

V_{in2} 同时为高电平时, 高压 V_H 驱动电机绕组; 仅 V_{in1} 为高电平时, 低压 V_L 驱动电机绕组。在低频段, 只加载低压控制信号 V_{in1} , 在高频段同时加载高压控制信号 V_{in2} 。这种功率接口也可以在绕组导通的前沿加载高压控制信号, 前沿过后, 用只加载低压控制信号维持绕组较小的电流。这样既改善了高频性能, 又可减小附加损耗, 但加载高压控制信号的时间要恰当, 通常与回路的时间常数相当时比较合适。

步进电机的功率驱动也常采用桥式结构, 由于步进电机绕组多于伺服电机, 并且也有正反控制需要, 故步进电机的驱动器更多采用专用驱动器。

斩波恒流功率驱动的设计思想是使电机导通绕组的电流无论在锁定、低频、高频工作时均保持固定数值, 使电机具有恒转矩输出特性。为保证恒流驱动, 通常需要有电流的采样电阻 R_s , 由于电机绕组具有较大电感, 且不同转速和负载下的感应电动势变化较大, 通常以斩波形式维持电机导通绕组的电流, 稳定在给定值附近, 并形成小小的锯齿波。斩波恒流功率驱动性能较好, 是目前使用较多的一种功率接口。

THB6064 是一款具有细分功能的两相混合式步进电机驱动芯片, 它采用双全桥 MOSFET 驱动, 有较低的导通电阻 ($R_{on}=0.4\Omega$), 高耐压 (50VDC), 大电流 (达 4.5A), 多细分可选 (1/2、1/8、1/10、1/16、1/20、1/32、1/40、1/64), 衰减方式连续可调, 内置温度保护及过流保护。THB6064 采用 25 引脚的 HZIP25-P-1.27 封装。各引脚的功能描述如表 5-16 所示。

表 5-16 THB6064 引脚的功能描述

编号	符号	I/O 类型	功 能 描 述
1	ALERT	输出	过热及过流保护报警输出, 正常为 1, 异常为 0
2	SGND	—	信号地, 通常与电机驱动电源地相连
3	OSC1B	—	B 相斩波频率控制端, 外接定时电容
4	PFD	输入	衰减方式控制端, 输入电压低则衰减快; 输入电压高则衰减慢
5	V_{ref}	输入	参考电位设定 (0~3V), 决定驱动电流 $I_o=V_{ref}/3/R_s$, R_s 为检测电阻
6	VMB	输入	电机 B 相电源, 通常与 A 相电源相连
7	M1	输入	细分选择端, $M1、M2、M3=000、001、010、011、100、101、110、111$ 时, 所对应的细分数分别为 1/2、1/8、1/10、1/16、1/20、1/32、1/40、1/64
8	M2	输入	
9	M3	输入	
10	OUT2B	输出	B 相功率桥输出端 2, 接电机绕组
11	NFB	—	B 相电流检测端, 应连接大功率检测电阻 R_s , 典型值为 0.15Ω

续表

编号	符号	I/O 类型	功能描述
12	OUT1B	输出	B 相功率桥输出端 1,接电机绕组
13	PGNDB	—	电机 B 相驱动电源地,通常与 A 相电源地及信号地相连
14	OUT2A	输出	A 相功率桥输出端 2,接电机绕组
15	NFA	—	A 相电流检测端,应连接大功率检测电阻 R_s ,典型值为 0.15Ω
16	OUT1A	输出	A 相功率桥输出端 1,接电机绕组
17	PGNDA	—	电机 A 相驱动电源地,通常与 B 相电源地及信号地相连
18	ENABLE	输入	使能端,ENABLE=1 时正常工作; ENABLE=0 时停止工作,所有输出为高阻状态
19	RESET	输入	上电复位端,低电平有效
20	VMA	输入	电机 A 相电源,通常与 B 相电源相连
21	CLK	输入	脉冲输入端,最高频率约 100kHz,输入 1 个脉冲,转动的步距角由细分选择端 M1、M2、M3 确定
22	CW/CCW	输入	电机正反转控制端,假定低电平为正转,高电平为反转
23	OSC1A	—	A 相斩波频率控制端,外接定时电容
24	V_{DD}	输入	芯片逻辑控制单元电源,通常为 5V,要求稳定
25	Down	输出	锁定控制端,用于电机锁定时降低功耗。当 CLK 小于 1.5Hz 时,Down 输出为低电平,此时可通过外部电阻拉低 VREF,从而降低驱动电流。当 CLK 大于 1.5Hz 时,Down 输出为开路

THB6064 的一个应用电路如图 5-67 所示。THB6064 的两组输出驱动接至电机两相绕组,电流检测电阻 R_s 分别接至 NFA、NFB,外部单片机可通过 ENABLE、RESET 端启动和复位驱动器,通过 CLK、CW/CCW 控制电机转动角度和方向,通过选择 M1、M2、M3 实现细分控制。例如,当 M1、M2、M3=000 时,细分数为 1/2,相当于半步方式,电机绕组的

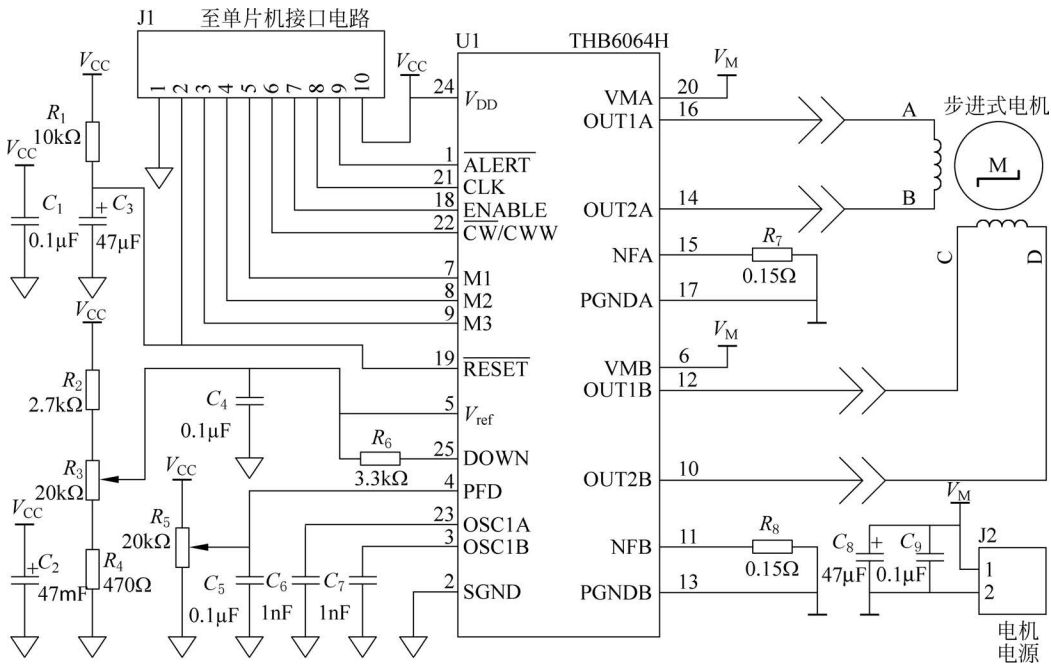


图 5-67 THB6064 的应用电路

驱动信号为矩形波；而 $M1、M2、M3=111$ 时，细分数为 $1/64$ ，此时在 CLK 端输入 64 个脉冲电机才转动 1 个步距角，电机绕组的驱动信号为接近正弦信号的阶梯波了。

值得指出，有许多现成的电机驱动产品可满足不同的应用场合，作为应用工程人员需要了解掌握这些产品的特性和使用方法。例如，某一体化步进伺服驱动电机产品的外形和连接接口如图 5-68 所示。其中，带编码器的步进电机、驱动电路组装在一起，在接线面板上有细分、方向、脉冲边沿设置开关，通信接口，输入/输出接口，电源连接和指示灯。通过通信接口可设置步进伺服驱动的内部闭环控制参数，通过输入/输出接口可控制电机转动及获取电机的报警信号，减少了电机与驱动电路的连接，更便于使用。

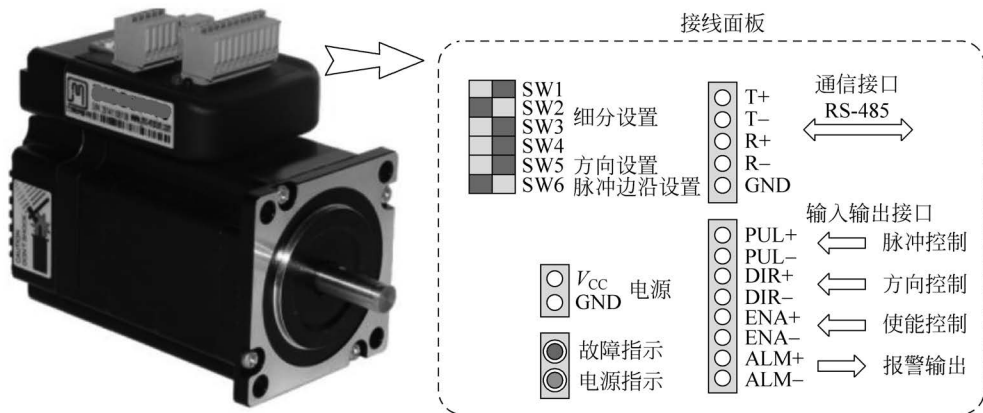


图 5-68 某一体化步进伺服驱动电机的外形和连接接口

本章知识点

知识点 5-1 计算机控制系统中的传感器与执行器

传感器作为信息获取的部件其品种繁多，输出信号各异，除了少数有标准规范的传感器（如热电阻和热电偶）外，更多传感器需要通过变送器进行信号转换，变送器输出标准信号 $4\sim 20\text{mADC}$ 或 $1\sim 5\text{VDC}$ ，变送器统一了模拟传感器的信号形式和数值范围。

IEEE 1451 标准提出了变换器概念，它可以是一种检测器，也可以是一种执行器，或者是两者的组合。传感器与执行器都可看作是一种变换器，它可以作为信息系统与外界联系的一个信息节点。IEEE 1451 定义了一组变换器与系统或网络之间有线/无线连接的公共接口，通过这些接口可以容易地访问变换器中的数据。使智能变换器与网络或其他设备的连接更为容易，为形成开放、通用的传感器网络打下了基础。

执行器作为信息施效的部件对控制系统也至关重要，其中伺服电机、步进电机、变频器与电动执行器有着广泛的应用，对于控制系统的工程人员，也必须掌握其基本的应用方法。

传感器与执行器需要经过过程通道与计算机进行信号传递和交换。过程通道解决两类基本问题：一是将外部传感器信号转换成计算机能接收的数字信号；二是将计算机输出的数字信号转换为外部执行器能接收的信号。分别由输入通道和输出通道完成。

知识点 5-2 输入通道的分类和组成

输入通道可分为数字量输入通道和模拟量输入通道。数字量输入通道以处理开关信

号、脉冲信号和数字信号为主；模拟量输入通道以处理模拟信号为主。输入通道也称前向通道，完成对信号的各种调理，包括消抖、滤波、保护、电平转换、隔离、电流-电压信号转换、电阻-电压信号转换、电压放大以及隔离等，调理后的模拟信号还需要通过 ADC 变为数字信号。

对高速、大批量的数据采集还需要用到采样保持器、数据选择器和多路开关，以保证数据的正确性、提高采集效率、减少元件成本。

知识点 5-3 输出通道的分类和组成

输出通道也可分为数字量输出通道和模拟量输出通道，数字量输出通道主要完成信号的驱动和隔离；模拟量输出通道还包括 D/A 转换和功能放大等功能。另外，简单的直流伺服电机和步进电机驱动电路也可看成是输出通道的组成部分，而复杂的大功率电机的驱动通常采用商品化的专用电机驱动器，专用电机驱动器提供标准接口，可方便与输出通道或网络相连接。

知识点 5-4 智能传感器和智能执行器

过程通道主要完成多种信号处理和信号驱动。未来这些功能可能会进一步融合到传感器与执行器中，形成智能传感器和智能执行器，并通过现场总线形成控制系统，此时，过程通道已不与计算机系统合为一体，但在应用过程中，仍需要掌握过程通道的基本结构和原理。

思考题与习题

1. 简述传感器与变送器的异同。
2. 变送器输出的信号通常为多少？变送器与输入通道的连接方式有哪些？请给出连接示意图。
3. IEEE 1451 标准所指的变换器、检测器和执行器之间是什么关系？
4. 试比较伺服电机和步进电机的各自特点。
5. 简述在控制系统中变频器和电动执行器的作用。
6. 简述控制系统中信号的类型和处理的要求。
7. 什么是信号调理？输入通道中的信号调理包括哪些？
8. 什么是格雷码？它有哪些特点？
9. 画出电阻-电压信号转换电路示意图。
10. ADC 有哪些性能指标？
11. A/D 转换的方法有哪些？各有什么特点？
12. 某水箱水位正常工作时的变化范围为 $0\sim 100\text{cm}$ ，经压力变送器变换为 $1\sim 5\text{V}$ 标准电压信号后送至 8 位 ADC0831，其输入量程为 $0\sim 5\text{V}$ 。当水箱水位的高度为 25cm 时，ADC0831 的转换结果约为多少？
13. 已知某 ADC 的分辨率为 12bit，转换时间为 $10\mu\text{s}$ ，误差为 $\pm 1\text{LSB}$ 。在没有采样保持器的情况下，为保证数据精度，则输入信号的频率最高为多少？若使用了采样保持器后，理论上输入信号的频率最高可为多少？
14. 试画出一个利用多路选择器构成的 $64\times 8\text{bit}$ 数字信号数据采集系统示意图。
15. 试画出一个利用多路开关构成的 32 路模拟信号数据采集系统示意图。

16. 开关量的功率驱动有哪些器件? 各有什么特点?

17. DAC 有哪些性能指标?

18. 计算机通过 12 位 DAC 控制某三相电加热器, 加热器的输出功率范围为 $0 \sim 8\text{kW}$, 可接收 $4 \sim 20\text{mA}$ 的标准电流信号来改变其输出功率, 12 位 DAC 的输出范围为 $0 \sim 20\text{mA}$, 如计算机送给 DAC 的数据为 800H (十六进制) 时, 加热器输出功率约为多少?

19. 某 12 位 D/A 转换电路如图 5-57 所示, 当 $V_{\text{ref}} = 4\text{V}$ 时, 第一级运算放大器输出范围为 $-4\text{V} \sim +4\text{V}$ 。若要求第二级运算放大器的输出电压 V_{out} 为 -2V , 则输出到 DAC 芯片的二进制数为多少? 此时的第一级运算放大器输出电压为多少?

20. 画出直流伺服电机驱动电路框图。

21. 画出步进电机驱动电路框图。

22. 结合步进电机驱动器 THB6064 的应用电路, 画出正转 3 步和反转 4 步有关控制信号 (ENABLE、CLK、 $\overline{\text{CW/CCW}}$ 、 $\overline{\text{RESET}}$ 、M1、M2、M3) 的时序 (假设采用半步方式)。