

单元一 机电一体化技术概述

人类自从诞生以后,就不断地制造出代替或者减轻劳动的生产工具,机械也就随之产生了。早期人类使用一些简单的机械工具,后来杠杆和滑轮的出现极大地推动了生产力的发展。蒸汽机的发明应用将人类带进了工业化社会,到 20 世纪中期,机械工业已经发展得相当成熟了。

20 世纪后半期,微电子技术、通信技术及计算机技术的快速发展又给机械工业带来了新的发展。各种不同的学科相互交叉和渗透,引起了工程领域技术的重大变革,机械工业也开始进入以机电一体化为标志的新时代。

机电一体化有产品和技术两个层面。机电一体化产品主要有先进的制造设备等机电一体化机械设备和监控设备及控制系统等,如数控机床、全自动洗衣机和打印机等。而机电一体化技术则是机械学、电子学、传感器检测技术、计算机控制等学科相互交叉融合而产生的一门综合性新兴技术,它使机械工业技术结构、产品机构、功能与构成、生产方式及管理体系发生了巨大变化。机电一体化技术使机械装置在完成其任务的前提下,被赋予许多新的功能,如自动检测、自动处理信息、自动显示记录、自动调节与控制、自动诊断与保护等,这些技术的渗入使得这些机械能够完成以往纯机械无法完成的复杂任务,同时又具有了高精度、高速度和智能化等特点,使生产力得到快速的发展。具有智能是机电一体化的本质特征。

学习情境一 机电一体化的基本概念

机电一体化 Mechatronics 是由机械学 Mechanics 的前半部分与电子学 Electronics 的后半部分组合而成的。它最早在日本使用,随着机电一体化技术的快速发展,现在已得到世界各国的认可。日本机械振兴协会 1981 年给出的定义是“机电一体化是指在机械的主功能、动力功能和信息处理功能与控制功能的基础上引进了微电子技术,并将机械装置和电子设备及软件等有机结合的系统的总称”,该定义具有通用性,体现了机电一体化技术的基本内容和特征。美国机械工程师协会在 1984 年给出的定义是“由计算机信息网络协调与控制的,用于完成机械力、运动和能量流等任务的机械和机电部件相互联系的系统”,该定义和日本机械振兴协会给出的定义是一致的。通常来说,机电一体化是指在机械的主功能、动力功能、信息处理功能和控制功能上引进电子技术,将机械装置与电子化设备及软件结合起来所构成的系统的总称。本书重点讲述机电一体化技术,并在此基础上介绍部分机电一体化产品。

机电一体化和非机电一体化的核心区别是计算机控制系统和伺服控制系统,如图 1-1 所示。随着各种技术的进一步交叉和渗透,机电一体化的概念将会逐步完善。

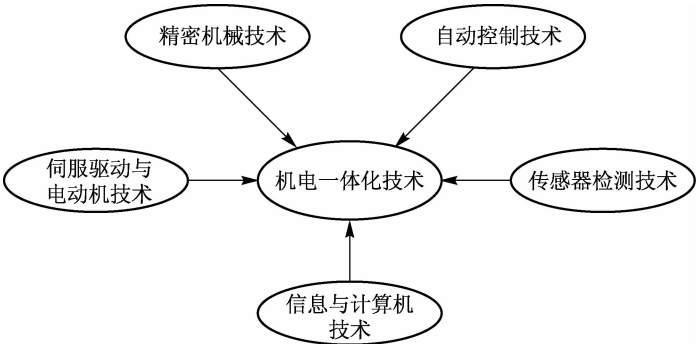


图 1-1 机电一体化技术

机电一体化发展到今天,已经成为一门有着自身体系的学科,随着科学技术的不断发展,还将被赋予更多新的内容,机电一体化概念也将会不断地扩大。但其基本特征可以概括为:机电一体化是从系统的观点出发,综合运用机械技术、微电子技术、自动控制技术、计算机技术、信息技术、传感器检测技术、电力电子技术、接口技术、信息变换技术以及软件编程技术等群体技术,根据系统功能目标和优化组织目标,合理配置与布局各功能单元,在多功能、高质量、高可靠性、低能耗的意义上实现特定功能价值,并保证整个系统最优化运行的系统工程技术。由此而产生的功能系统,称为机电一体化系统或机电一体化产品。

学习情境二 机电一体化系统的组成与实例

一、机电一体化系统的组成

机电一体化系统是一个复杂的工程系统,它是由多种元素有机结合而成的一种系统。尽管其产品种类多,不同产品的结构和功能各不相同,但是作为机电一体化技术的产物,机电一体化系统的组成可归纳为机械本体、动力单元、控制与信息处理单元、传感器检测单元和执行单元及其驱动 5 部分。这些单元的功能和关系如图 1-2 所示。

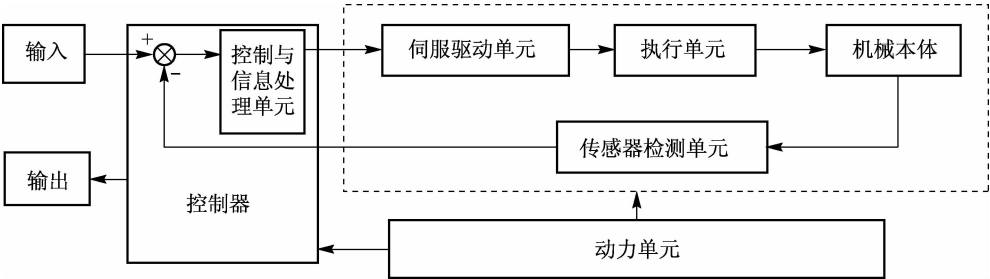


图 1-2 机电一体化系统组成

1. 机械本体

机械本体包括机架、机械连接元件、机械传动部件和运动支承部件等。如同人体的骨骼一样,它将所有的单元连成一体实现指定的运动,它是机电一体化的基础,起着支承系统中

其他功能单元、传递运动和动力的作用。与传统机械产品相比,机电一体化的机械部分主要是从控制的角度出发,要求系统能够快速、准确、稳定地实现运动。

2. 动力单元

动力单元是按照机电一体化各部分的要求为系统提供能源和动力的部分,其作用是按照系统控制要求向机械系统提供能量和动力,使系统正常运行。机电一体化的动力单元要满足系统各种参数的要求。动力单元有电源、液压源和气压源等,其中以电源为主。

3. 控制与信息处理单元

控制与信息处理单元是机电一体化系统的核心,类似于人的大脑,负责将来自各传感器的检测信号和外部输入命令进行集中、存储、计算、分析,然后根据信息处理结果,按照一定的控制要求发出相应的指令,控制整个系统协调工作,完成既定任务。

各个单元部分都是通过信息的传递来相互实现协调工作的,而所有的信息几乎都是由控制器接收处理后再传递给相应的被控部件,所以说控制器是机电一体化系统的核心。控制器通常是由单片机、工业计算机和 PLC 等数字控制器来实现的,在早期或者简单的系统中也使用模拟控制器。

4. 传感器检测单元

传感器检测单元类似于人的感觉器官,它将机电一体化系统工作过程中自身和外界环境有关参量变化的各种信息,经过检测和适当处理后传递给控制器。控制器对这些信息进行分析和处理,发出进一步的控制信息,实现既定的控制目标。如在数控机床中,需要将电动机的转速、位移等信息由传感器转换为电信号后,经过中间处理电路处理,转换为控制器(计算机)能够识别的信号后输入给控制器,控制器根据这些信息进行相应的控制处理。

5. 执行单元及其驱动

执行单元类似于人的手和脚,其作用是根据控制与信息处理单元的指令驱动机械部件的运动,它将控制器发出的信息转换为机械的运动。通常使用的执行单元是各种伺服电动机、液压传动机构和气压传动机构。

二、机电一体化系统实例

机电一体化系统目前应用广泛,下面以数控机床和指针式石英钟为例,介绍其各部分的组成和工作原理,进一步熟悉机电一体化系统的组成。

1. 数控机床

数控机床是机械制造设备,其种类很多,但是所有数控机床的组成都有共同点。数控机床一般由输入/输出(I/O)装置、计算机控制装置、可编程逻辑控制器、伺服驱动系统、检测装置和机床本体等组成,其中 I/O 装置、计算机控制装置、可编程逻辑控制器组成了系统的控制和数据处理单元,如图 1-3 所示。

1) 控制器

控制器包括输入和显示装置、计算机控制装置、可编程逻辑控制器及其软件等。

(1) 输入和显示装置。输入装置把各种加工信息输入给控制器。早期的输入装置为穿孔纸带,现在使用键盘、磁盘等。

显示装置包括液晶显示器、CRT 显示器等,用来显示输入的指令、机床的设置参数和故

障诊断参数等。

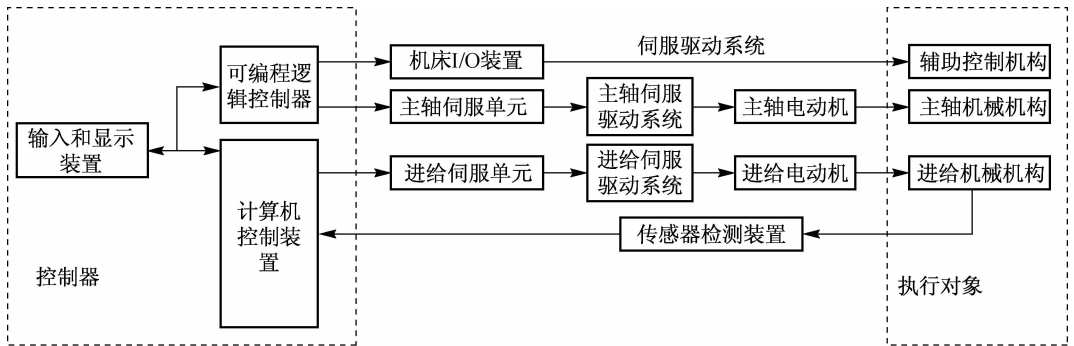


图 1-3 数控机床的组成

(2) 计算机控制装置。计算机控制装置简称为数控装置,它是数控机床的核心,它将输入的加工程序进行相应的处理后输出控制命令到相应的执行部件,并且接收机械的运动参数以便更好地协调控制。

(3) 可编程逻辑控制器。可编程逻辑控制器(programmable logic controller, 简称为 PLC),主要用来实现对主轴单元和辅助单元(如液压泵、换刀装置等)的控制。有些数控机床将 PLC 集成在数控单元中,有些使用专用 PLC。PLC 将程序中的转速指令进行处理进而控制主轴转速;根据换刀指令来管理刀库,进行自动交换刀具,确定选刀方式,累计刀具使用次数,计算刀具剩余寿命和刀具刃磨次数等;同时控制主轴正反转和停止、准停,切削液开关,卡盘夹紧松开,机械手取送刀等动作;还对机床外部开关(行程开关、压力开关、温控开关等)和输出信号(刀库、机械手、回转工作台等部件的控制信号)进行控制。

2) 伺服驱动系统

数控机床的伺服驱动系统分为主轴伺服驱动系统和进给伺服驱动系统两部分,主轴伺服驱动系统主要控制主轴的转速、正反转和准停等,是由 PLC 实现控制的;而进给伺服驱动系统的数量与机床有关,不同的机床有不同数量的进给伺服驱动系统,简单地说,每一根进给轴都有一个进给伺服驱动系统。

伺服驱动系统由伺服控制电路、功率放大电路和伺服电动机组成。伺服驱动系统的作用是把来自数控装置的位置控制移动指令转变成机床工作部件的运动,使工作台按规定轨迹移动或精确定位,即把数控装置送来的指令信号,放大成能驱动伺服电动机的大功率信号。进给伺服驱动系统由计算机直接控制;而主轴伺服驱动系统通常都是由 PLC 实现控制的,由于主轴电动机功率较大,所以驱动直流伺服电动机用脉冲宽度调制控制,驱动交流伺服电动机通常用变频控制。对于需要进行急停和准停的主轴,主轴上通常带有传感器用来做位置检测。

常用的伺服电动机有步进电动机、直流伺服电动机和交流伺服电动机。根据接收指令的不同,伺服驱动有脉冲式伺服驱动和模拟式伺服驱动,步进电动机采用脉冲式伺服驱动,而直流伺服电动机和交流伺服电动机采用模拟式伺服驱动。

3) 辅助控制装置

辅助控制装置包括对刀库的转位换刀、液压泵、冷却泵等的控制,通常由可编程逻辑控制器和继电器接触器等组成的逻辑电路来完成。

4) 检测装置

数控机床中的检测装置主要检测运动机构(如主轴和工作台)的速度和位移,并将检测信息反馈给数控装置,数控装置根据这些信息实现进一步的控制,以保证数控机床的加工精度(有反馈的系统称为闭环系统)。传感器测量装置由传感器和信号处理电路组成,它将机床主轴速度和工作台移动的实际位置、速度等参数检测出来,转换成电信号,并反馈到数控装置中,使计算机能随时判断机床的实际位置、速度是否与指令一致,并发出相应指令,纠正误差。在其他的控制领域,检测装置也有应用,如机械手控制系统。

传感器通常安装在数控机床的工作台或丝杠上。无检测装置的数控系统属于开环系统,其控制精度取决于步进电动机和丝杠的精度;将检测装置置于电动机轴或丝杠轴上的属于半闭环系统,它无法测量机械部分的误差;而将传感器置于工作台上的属于闭环系统,它直接检测执行对象的参数。

5) 机床本体

数控机床的机床本体指机械部分,包括主轴运动执行部件和进给运动执行部件(如工作台、拖板及其传动部件,床身、立柱等支承部件),此外还有冷却、润滑、转位和夹紧等辅助装置(如存放刀具的刀库和交换刀具的机械手等部件)。

与普通机床相比较,数控机床是一种具有高精度、高效率并且能实现复杂加工的自动化设备,所以它在抗振性、刚度、运动面的摩擦系数和传动机构的精度、间隙等方面有更高的要求。

2. 指针式石英钟

指针式石英钟采用稳定的压电晶体——石英作为振荡器,利用压电效应产生振荡,频率为 32 768 Hz,相对于机械表的摆轮 6 Hz 的频率而言,其振荡频率高,走时精确,比任何一款机械式钟表都要精确,并且不受方位的影响。

如图 1-4 所示为指针式石英钟的组成框图。接通电源后,电流通过集成电路流入石英晶体。由于石英晶体的压电效应,使其开始出现机械变形,产生 32 768 Hz 的振荡信号。该信号经过缓冲器缓冲后,驱动能力增强。然后进行 16 级二分频,即 65 536 Hz 分频,输出 0.5 Hz 的频率。窄脉冲形成电路主要是将 1 s 的脉冲宽度变窄为 31.25 ms,使脉冲能量减小,节约电能。该窄脉冲通过功率放大器后驱动步进电动机运行。而步进电动机则通过机械装置(齿轮)使指针运行,实现时间的指示功能。

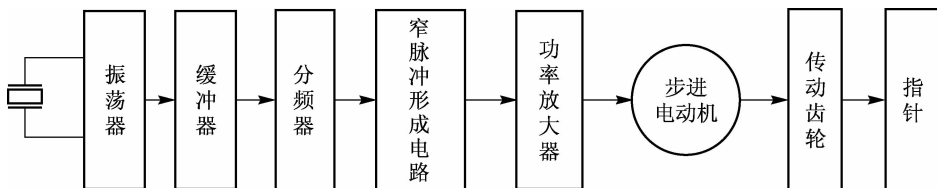


图 1-4 指针式石英钟的组成框图

由原理可知,指针式石英钟是一种机电一体化产品,它由控制驱动电路、步进电动机执行单元和机械系统等组成。

指针式石英钟的步进电动机为一个两相步进电动机,它由定子线圈、永磁式转子和铁芯组成,其原理如图 1-5 所示。为了防止转子反转或者转向不定,在铁芯或者转子上采用了非直线对称磁场,从而在转子置入未通电线圈的定子中时,形成了一个启动角度。当功率脉冲

加到线圈上时,在铁芯上便产生磁场,磁场的极性随着脉冲极性的变化而交替发生变化,转子随着脉冲极性的变化以 π 的步距角运转。

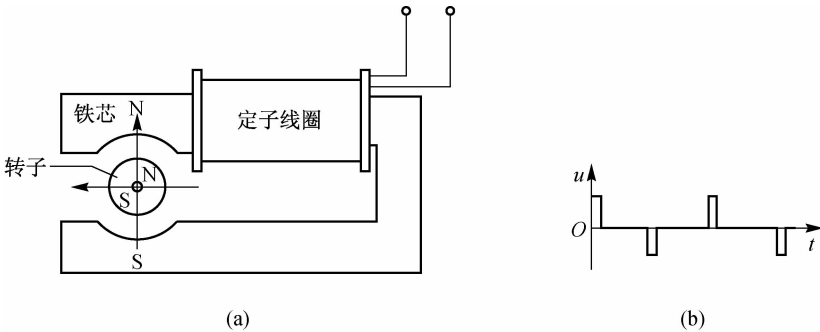


图 1-5 指针式石英钟步进电动机原理图

如果加入的脉冲和运转方向相反,则仅仅在第一个脉冲时,转子反向转动一个启动角度,而在下一个反极性脉冲来临时开始正转。

学习情境三 机电一体化相关技术特点

机电一体化技术是多种学科交叉融合而产生的综合性技术,其包含学科极为广泛,通常包含精密机械技术、传感器检测技术、伺服驱动技术、信息处理技术、自动控制技术和接口技术等。

一、机电一体化相关技术

1. 精密机械技术

精密机械技术是机电一体化的基础。精密机械在满足强度、刚度和抗振性的基础上,要能实现很好的控制,因此,在结构、材料和性能上与传统机械有所不同,如要求质量小、转动惯量小、摩擦小、误差小、效率高、精度高,同时要能提高刚度及改善性能。

在机电一体化系统中,机械系统不仅要满足静态力学要求,而且要满足动态力学方面的高要求。

2. 传感器检测技术

传感器检测技术是系统实现自动控制和调节的重要环节。传感器检测的精度和分辨力直接决定系统所能达到的最高精度,其检测的信息全面与否决定着系统的自动化程度,而检测信息的准确度和灵敏度直接影响系统的精度。机电一体化系统对于环境的适应性,要求传感器在快速、精确地获取信息的同时,能承受高温和电磁干扰等。传感器是机电一体化系统可靠并稳定工作的保证。

3. 伺服驱动技术

伺服驱动技术根据电动机和机械系统的特性来实现高品质的控制,它必须能快速准确地实现信号的跟踪、误差的调整等,同时须具有一定的抗干扰能力,并且能够稳定地工作。伺服驱动对象包括各种电动机、气动装置、液压装置和机械传动装置等。随着机电一体化的发展,各种高速、大功率驱动系统的应用,对伺服驱动技术提出了更高的要求。

4. 信息处理技术

信息处理技术主要是根据各种理论和算法,通过计算机对信息进行运算、判断与决策。现在的机电一体化已经将人工智能技术、专家系统技术、神经网络技术等应用于其中。通常所指的智能就是信息的处理和决策具有智能。

5. 自动控制技术

机电一体化设备是典型的自动化智能设备,自动控制理论和技术是机电一体化技术的根基,在控制理论指导下才能进行机电一体化系统的设计、仿真和调试等工作。自动控制技术包括高精度定位控制、速度控制、自适应控制、自诊断校正、补偿、再现、检索等各种内容,目前的机电一体化技术应用了多种控制理论。

6. 接口技术

接口技术是系统中相当重要的部分,它实现了各种相互关联的若干功能单元之间的有机连接,因此,也有人将机电一体化技术称为接口技术。如何实现计算机和伺服驱动系统、伺服驱动系统和电动机、电动机和执行对象、执行对象和传感器检测之间的接口连接和补偿及软件和硬件之间的接口连接,是机电一体化的核心技术。

二、机电一体化的特点和发展趋势

1. 机电一体化的特点

机电一体化技术以机械技术为基础,引入了计算机控制、传感器检测等技术,实现了自动化和智能化。机电一体化系统与传统的机械系统或者机械电气化系统相比,主要有以下特点。

1) 综合性与系统性

机电一体化是一门跨学科的综合性边缘学科,而机电一体化技术则是交叉型技术,它是机械技术、电子技术、伺服控制技术、信息技术和检测技术等多种技术相互交叉融合而成的新兴技术。其各个组成部分在相互配合时彼此之间有着严格的要求。多种技术的综合应用,使机电一体化技术及产品更具有综合性、系统性、完整性和科学性。

2) 层次多,覆盖面广

机电一体化技术是综合性技术,它所覆盖的技术门类多,包括了机械技术、电子技术、信息技术、计算机技术、控制技术和检测技术等学科,这使得机电一体化产品或系统包含了多种不同的学科,具有覆盖面广的特点;同时,由于不同的应用场合使用的系统不同,机电一体化技术在开发和使用上存在简繁并举、高低级并存的多层次性。

3) 体小量轻,结构简化,方便操作

为了实现各个动作的协调性和运动要求,机械产品通常使用诸如连杆机构和凸轮机构等来实现复杂的合成运动。而机电一体化技术利用控制器将不同机构的运动改用多台电动机分别驱动,应用检测 and 智能判断等方式,融入各种控制算法来实现多台电动机的协调工作,使机械结构得到了最大的简化。机电一体化产品具有体积小、质量轻等特点。由于引入了智能化控制技术,使操作人员通过预设的程序控制系统进行工作,摆脱了以往必须按规定操作程序或节拍频繁紧张地进行单调重复操作的工作方式。智能技术的引入使系统具备了容错性,甚至可实现操作全自动化,如数控机床、工业机器人等,这使机械操作变得更为简单、可靠、人性化。

4) 高速度, 高精度

机电一体化技术的应用, 使机械传动部件最大化地减少, 同时通过对少量的传动部件采用高精度设计和制造, 使得机械系统具有更高的精度和更小的累积误差; 机电一体化产品采用了各种先进控制技术、高精度传感器检测技术和高速度计算机控制等, 使系统具有了自行诊断、校正和补偿等功能, 获得了前所未有的精度。现代电子技术和电动机控制技术及应用及机械系统的最小化, 使机电一体化系统具备高速度的特性。

5) 高可靠性, 高稳定性

机电一体化系统应用了非接触传感器检测、无刷电动机驱动和简化的机械系统, 使其具有更高的可靠性; 计算机在线监测、误差补偿和校正等技术则提高了系统的稳定性。

6) 柔性化和智能化

在传统的机械系统或机械电气化系统(应用继电器接触器控制电路进行逻辑控制)中, 当系统功能确定后, 如果要求改变其运动方式或者功能, 需要在硬件方面重新设计和制造。而机电一体化系统由于采用了软件代替硬件的方式, 仅需要在软件上重新设计就可实现新的运动和功能(可编程技术), 具有很强的扩展性(柔性化); 同时计算机软件的深入使用, 使系统具有自动监测、故障判断、误差补偿和校正等智能化特性。

2. 机电一体化的发展趋势

机电一体化的发展大体分为 3 个阶段。20 世纪 70 年代以前为初级阶段。在这一时期, 人们利用电子技术来完善机械产品的性能。由于当时电子技术的发展有限, 机械技术与电子技术的结合并不完善, 控制部分也是一些相对简单的固定控制。

20 世纪 70~80 年代, 控制技术、通信技术的快速发展, 大规模、超大规模集成电路的出现和计算机技术的高速发展, 为机电一体化的发展提供了充分的物质基础。在此期间, 机电一体化技术和产品得到了极大发展, 各国均开始对机电一体化技术和产品给予很大的关注和支持。

20 世纪 90 年代后期, 随着计算机技术的高速发展和价格的降低, 机电一体化技术向智能化方向发展。单片机、工业 PC 和 PLC 快速发展, 信息处理和计算速度的提高, 使得机电一体化走向成熟。在此期间, 大量的机电一体化产品开始应用, 如数控机床、打印机、机器人等; 同时神经网络和模糊控制技术也逐步得到了应用, 如模糊控制洗衣机等。随着激光技术、控制技术和传感器技术等的发展和行业的高度重视, 机电一体化技术将更快地发展。

机电一体化技术将朝着微型化、模块化、智能化和网络化的方向发展。

1) 微型化

随着集成电路制造技术及工艺的深入发展, 微机械和微机电工艺取得了很大的进展, 它们不仅将数微米至数百微米的机构集成在芯片中, 而且同时集成了计算机、驱动器和微执行器件(如微马达、微夹钳等)。微机械和微机电的发展使机电一体化产品朝着微型化的方向发展。

2) 模块化

机电一体化系统是由各种单元组成的, 如驱动单元、控制单元等。但是目前各单元之间并没有完全标准化, 从而使机电一体化系统的设计和各种单元的选用受到了很大的限制, 成本也很高。随着技术的发展, 标准化和模块化的发展是必然的趋势。

3) 智能化

目前人工智能的应用还在实验阶段, 随着控制理论的发展, 机电一体化产品将更多地应

用各种先进的控制理论,使产品智能程度更高。

4) 网络化

工业现场在地域上具有很大的分散性,如高速公路的隧道设备控制、发电厂各个系统的控制和信息采集以及化工企业的各种阀门控制等。它们均有多个控制对象,并且对象之间有一定的距离。随着技术的发展和各种标准的统一,各类单一控制对象和系统经过网络连接后可以实现远距离整体控制,网络化是机电一体化系统发展的一个趋势。

复习思考题

1. 简述机电一体化的定义。
2. 机电一体化都有哪些相关技术?
3. 与一般的机械系统相比,机电一体化系统有哪些优点?
4. 简述机电一体化系统的组成和各部分的作用。

单元二 常用传感器和信号处理

在机电一体化系统中,需要将工作对象的状态,如位移、速度、加速度和力等物理量按一定规律转换为可测量的电信号,这些电信号经过相应的信号处理后,送到控制器(计算机)中,由控制器转换为相应的控制信号输出,控制工作对象按照既定的方式和参数工作。将被测物理量转换为可测量的电信号的装置就是传感器。

传感器测量出的信号大多是模拟信号。这些信号有时很微弱,并且受到各种干扰信号的干扰。因此,在实际工作中需要将信号进行放大,对其中的干扰信号进行滤波,将模拟信号转换为数字信号以便计算机进行处理,而数字信号常常需要进行信号隔离等处理,这一过程就是信号处理。

学习情境一 传感器概述

传感器最早的含义广泛而笼统,一切获取信息的器件都可称为传感器,如水银温度计、毛发湿度计、气压表等都包括在内。现在的传感器特指将被测物理、化学、生物等非电量信息转换为电信号的装置。它是一种具有独立功能的器件,可将被测对象的某种信息转换成便于检测处理的信息。下面仅介绍检测物理量的传感器。

传感器是自动控制系统必不可少的关键部分。所有的自动化仪表和装置均需要先经过信息检测才能实现信息的转换、处理和显示,而后达到调节、控制信息的目的。离开了传感器,自动化仪表和控制装置就无法实现其功能。传感器包括敏感元件、转换元件和处理电路。敏感元件能够将被测量转化为另一种物理量;转换元件通常只感受敏感元件输出的与被测量成确定关系的另一种物理量,并将其转换为电量输出;而处理电路将转换元件输出的信息转换为便于测量的电量,并进行放大、传输等处理,传感器的组成如图 2-1 所示。

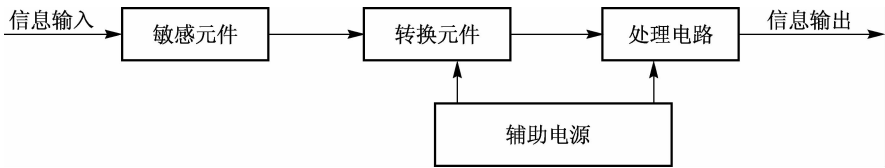


图 2-1 传感器的组成

国家标准 GB/T 7665—2005 中对传感器的定义是:“能感受被测量并按照一定的规律转换成可用输出信号的器件或装置,通常由敏感元件和转换元件组成。”

传感器是一种检测装置,能感受到被测量的信息,并能将检测感受到的信息按一定规律变换成电信号或其他所需形式的信息输出,以满足信息的传输、处理、存储、显示、记录和控制等要求。它是实现自动检测和自动控制的基础。

在控制系统中,传感器在反馈环节中起到了重要的作用,它将控制对象的运动参数反馈给数字控制器,数字控制器根据这些参数来调整控制参数,如图 2-2 所示。

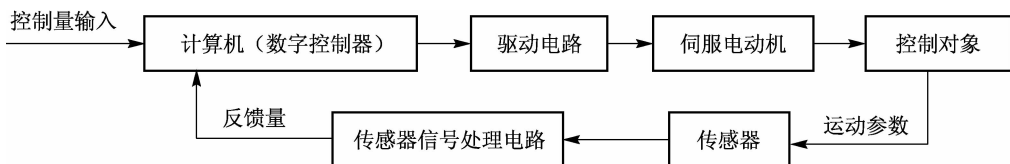


图 2-2 传感器及其信号处理电路在系统中的作用

一、传感器的分类

机电一体化系统不仅需要检测系统执行部分的各种工作参数和状态,而且需要检测系统中各部件的工作情况等,以便进行故障的诊断。由于测量的物理量较多,并且种类和特点各不相同,因此,应用的传感器种类繁多。一种物理量的检测可以应用多种传感器,同样,一种传感器可以检测多种物理量。

传感器的分类方法很多,通常可以按照被测物理量、工作原理、传感器输出信号的性质、被测对象与传感器之间的能量关系和构成原理等进行分类。

1. 按被测物理量不同

按被测物理量不同,传感器分为位移传感器、力传感器、速度传感器、温度传感器、流量传感器、气体成分传感器、生物传感器等。

2. 按工作原理不同

按工作原理不同,传感器分为电阻式传感器、电感式传感器、电容式传感器、压电式传感器和光电式传感器等。

3. 按传感器输出信号的性质不同

按传感器输出信号的性质不同,传感器可分为模拟式传感器和数字式传感器两种。其中模拟式传感器输出模拟电信号量,通常为电压,如常用到的电阻式传感器;而数字式传感器输出数字量,如旋转编码器。

4. 按被测对象与传感器之间的能量关系不同

按被测对象与传感器之间的能量关系不同,传感器分为能量转换型传感器和能量控制型传感器两种。能量转换型传感器是将被测量的能量转换为传感器的能量,如热电偶,它将被测温差直接转换成电势差,通过电势差的不同就可以得到被测温度。常见的传感器大部分都是能量转换型的,如压电式传感器、磁电式传感器、光电式传感器等。能量控制型传感器在工作时不需要将被测物理量进行转换,其能量由传感器系统提供,如电阻式传感器,在忽略摩擦的条件下,它通常将位移转换为电阻值的变化,而能量来源于传感器自身。常用的能量控制型传感器有电阻式传感器、电感式传感器、霍尔传感器等。

5. 按构成原理不同

按构成原理不同,传感器分为物性型传感器和结构型传感器两种。其中物性型传感器是依靠敏感元件材料本身物理性质的变化来实现信号变化的,如水银温度计利用水银的热胀冷缩来实现测量。结构型传感器依靠传感器的结构参数变化来反映被测量,如电容式传感器通过其极板面积的变化来测量位移。

二、传感器的特性

传感器种类繁多,特性各异,每一种传感器都有自身的特性。测量目的、使用环境、被测对象、精度要求、信号处理和成本限制等不同,对传感器的特性要求也不相同。但是所有传感器的基本要求都是具有输出信号与输入信号成比例、迟滞和非线性误差小、内部噪声小、抗干扰、响应速度快、对被测状态的影响小、可靠性高和使用维修方便等特性。传感器的特性分为静态特性和动态特性。

1. 静态特性

传感器的静态特性是指被测对象不变化或者变化极为缓慢时,传感器的输出量与输入量之间的关系。传感器的静态特性可用一个不含时间变量的代数方程,或以输入量作横坐标、与其对应的输出量作纵坐标而作出的特性曲线来描述。表征传感器静态特性的主要参数有灵敏度、线性度、分辨力和迟滞等。

1) 灵敏度

在稳态工作情况下,当输入量变化 Δx 时,传感器的输出量变化为 Δy ,则把 Δy 与 Δx 之比称为灵敏度,用符号 S 表示。对于线性传感器,灵敏度 S 是一个常数。灵敏度的量纲是输出量与输入量的量纲之比。如某位移传感器,在位移变化 1 mm 时,输出电压变化为 200 mV,则其灵敏度应表示为 200 mV/mm。当传感器的输出、输入量的量纲相同时,灵敏度可理解为放大倍数。传感器的静态特性如图 2-3 所示。

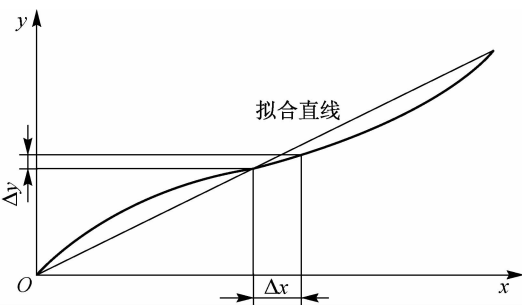


图 2-3 传感器的静态特性

灵敏度 S 的表达式为

$$S = \frac{\Delta y}{\Delta x} \tag{2-1}$$

灵敏度高,则可得到较高的测量精度。但灵敏度与测量范围成反比关系,灵敏度越高,测量范围就越窄,同时稳定性也越差。

2) 线性度

通常情况下,传感器的实际静态特性输出的是曲线而非直线。在实际工作中,为使仪表具有均匀刻度的读数,常用一条拟合直线近似地代表实际的特性曲线。线性度(非线性误差)就是描述拟合直线与实际特性曲线近似程度的性能指标。

拟合直线的选取有多种方法,如将零输入和满量程输出点相连的理论直线作为拟合直线;或将与特性曲线上各点偏差的平方和最小的理论直线作为拟合直线,此拟合直线称为最小二乘法拟合直线。

3) 分辨力

分辨力是指传感器能感受到的被测量的最小变化的能力。也就是说,如果输入量从某值开始缓慢地变化,当该输入值变化未超过某一数值时,传感器的输出不会发生变化,即传感器对此输入量的变化是分辨不出来的。只有当输入量的变化超过传感器的分辨力时,其输出才会发生变化。

传感器在量程范围内各点的分辨力并不相同,因此,常用满量程中能使输出量产生阶跃变化的输入量的最小变化值作为衡量分辨力的指标。上述指标若用满量程的百分比表示,则称为分辨率。如人体称重仪器用的传感器,当在其上放置一根羽毛时,它的输出不会有任何变化,但若不断增加羽毛,在某一点处,输出就会发生变化,此时的输入值就是分辨力。

4) 迟滞

迟滞也称为滞后。理想传感器的输入和输出是没有时间差的,也就是说一旦有输入激励时,就立即会有输出响应。但实际上传感器的输出总是滞后于输入,在波形和表达式中反映为相位差。迟滞对于测试系统影响不大,但对控制系统来说影响较大。

2. 动态特性

动态特性是指传感器在输入量连续快速变化时,其输出量对于输入量的跟随特性,如图 2-4 所示。机电一体化系统中的传感器大多工作在动态下,如数控工作台上的位移传感器在测量工件位移时,由于工作台不断运动,输入量即为动态值。动态特性实际上指传感器对于快速变化的输入量的快速检测、检测的准确度和是否稳定等方面的特性。

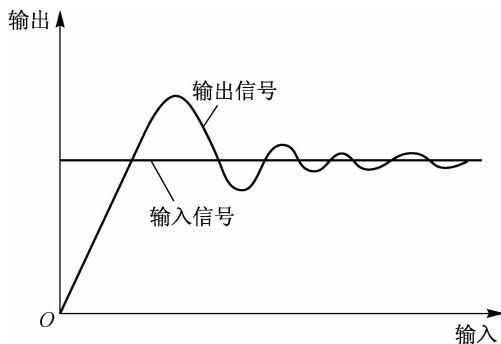


图 2-4 阶跃输入传感器的动态特性

在实际工作中,传感器的动态特性常用它对某些标准输入信号的响应来表示。这是因为传感器对标准输入信号的响应容易用实验方法求得,并且传感器对标准输入信号的响应与其对任意输入信号的响应之间存在一定的关系,根据响应和激励信号之间的关系就能得知动态特性。最常用的标准输入信号有阶跃信号和正弦信号两种,因此,传感器的动态特性也常用阶跃响应和频率响应来表示。

学习情境二 常用模拟式运动和位置检测传感器

运动和位置测量主要是指对位移、速度和加速度的测量。其对机电一体化系统来说至关重要,特别是在机器人、数控机床、过程控制和自动化工业控制中的应用。

下面介绍的运动和位置检测传感器大多是对位移进行测量的传感器,但是这并不限制其对其他参数的测量,如速度可以通过对位移求导来测量,加速度可以通过对位移进行二次求导来测量,温度可以通过敏感器件热胀冷缩变形引起的位置变化来测量,力可以通过受力敏感器件的变形量来测量等。

常用的模拟式传感器的输出量和输入量成线性关系,输出的大多数是电压,而电压值是模拟量。模拟量不能直接输入计算机进行处理,它需要经过 A/D 转换器转换成数字量后才能由计算机处理,当然,在仪表行业中有时使用模拟式显示和记录装置,此时就无须 A/D 转换了。

测量同一种物理量可选用的传感器很多,选用时必须注意传感器的测量范围、精度和分辨力等特性。

一、电位器式传感器

电位器式传感器是一种将位移(旋转角度或直线位移)转换成与之成线性或任意函数关系的电阻或电压输出的传感器。如图 2-5 所示,当电位器的滑动臂移动时,将会引起滑动臂和任意一个固定端的电阻变化,如果在两个固定端加上一定电压,位移的变化将会转换为电压的变化。

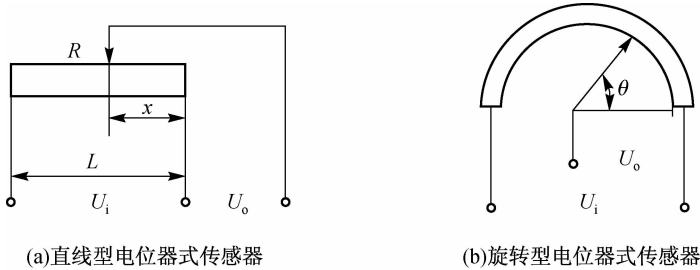


图 2-5 电位器式传感器

电位器式传感器分为直线型电位器式传感器和旋转型电位器式传感器两种。图 2-5(a)为直线型电位器式传感器,用来测量直线位移。设图中电阻两端电压为 U_i , 并且电阻为线性电阻,阻值为 R , 长度为 L , 则当滑动臂移动 x 时,输出的阻值 r 为

$$r = \frac{R}{L}x \tag{2-2}$$

而输出电压 U_o 。在不带负载时为

$$U_o = \frac{U_i}{L}x \tag{2-3}$$

式(2-2)和式(2-3)表明直线位移传感器的输出电阻和输出电压是随着位移 x 的变化而变化的,对于线性电位器来说,输出和输入是一种线性关系。

图 2-5(b)为旋转型电位器式传感器,用来测量角位移(角度)。其输出类似于直线型位移传感器,设旋转角度为 θ , 则输出的阻值为

$$r = \frac{R}{\alpha}\theta \tag{2-4}$$

式中, α 为旋转型电位器的最大旋转角度, rad; R 为旋转型电位器的最大阻值, Ω 。

输出电压 U_o 。为

$$U_o = \frac{U_i}{\alpha}\theta \tag{2-5}$$

从上面对电位器原理的叙述可知,当输入电压为常数时,电位器输出的电压大小取决于位移量的大小,而位移量的大小由运动的位移所决定,即输出电压和输入位移的比值是一个常量。

电位器式传感器的优点是结构简单,输出信号大,性能稳定,使用方便,价格低廉。由于滑动臂与电阻有接触,其主要缺点是易磨损、分辨力不高,常用来做一些变化缓慢并且对精度要求不高的位移量的测量,如在数字卡尺等仪表中使用。

二、电感式传感器

电感式传感器是将被测量的位移等转换为电感量变化的一种传感器。它是一种非接触测量装置,可以检测物体的存在与否和位移大小。

电感式传感器是一种基于电磁感应定律的传感器,根据变化方式的不同分为自感型电感式传感器和互感型电感式传感器两种。

1. 自感型电感式传感器

自感型电感式传感器分为可变磁阻式传感器和涡电流式传感器两种。

1) 可变磁阻式传感器

可变磁阻式传感器是由铁芯、衔铁和线圈构成的,其原理如图 2-6 所示。其输出电感量为

$$L = \frac{N^2 \mu_0 A_0}{2\delta} \quad (2-6)$$

式中, L 为电感量,H; N 为线圈匝数; μ_0 为空气磁导率, $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ H/m; A_0 为气隙导磁横截面积, m^2 ; δ 为气隙长度,m。

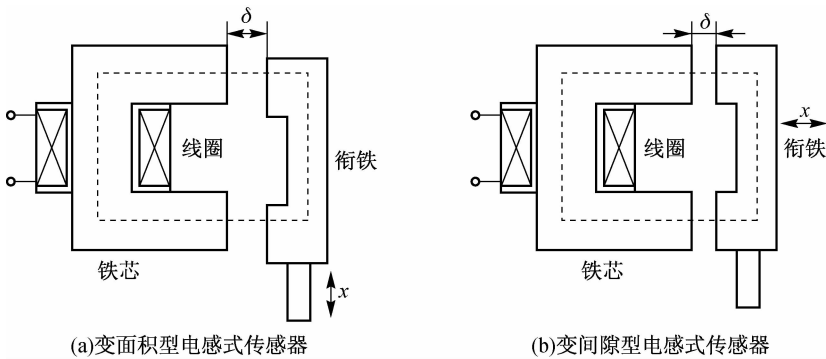


图 2-6 可变磁阻式传感器

从式(2-6)可以看出,当 A_0 和 δ 中任何一个变化时,电感量就会发生变化。其中, δ 变化的电感式传感器为变间隙型电感式传感器和差动螺管型电感式传感器, A_0 变化的为变面积型电感式传感器。

变间隙型电感式传感器气隙长度 δ 随被测量的变化而改变,从而改变磁阻。它的灵敏度和非线性程度都随气隙的增大而减小,因此,常常要兼顾两者考虑, δ 一般为 $0.1 \sim 0.5$ mm。

变面积型电感式传感器的铁芯和衔铁之间的相对覆盖面积(即磁通截面)随被测量的变化而改变,从而改变磁阻。它的灵敏度为常数,线性度也很好。

差动螺管型电感式传感器由螺管线圈和与被测物体相连的柱形衔铁构成。它是基于线圈磁力线变化引起磁路路径上磁阻变化的原理工作的。这种传感器量程大,灵敏度低,结构简单,便于制作。

2) 涡电流式传感器

涡电流式传感器是基于金属导体在交变磁场中的涡电流效应的传感器。该类型传感器具有结构简单、响应快、灵敏度高等特点,但其仅限于测量具有金属表面的物体。如图 2-7 所示,给线圈通入交变电流 i_1 ,则在其周围产生交变磁场 H_1 ,在 H_1 的作用下,靠近线圈的金属导体中产生了涡电流 i_2 , i_2 在导体中自行闭合,进一步产生交变磁场 H_2 , H_2 的方向和 H_1 相反并且抵抗 H_1 ,从而使线圈中的阻抗发生了变化,进而影响了 i_1 ,通过对 i_1 的变化进行检测,便可检测金属导体的位移大小或金属存在与否。

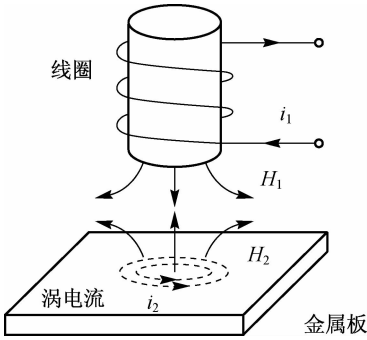


图 2-7 涡电流效应原理

2. 互感型电感式传感器

互感型电感式传感器也称为差动变压器式传感器,其原理类似于变压器的原理。如图 2-8 所示,当在初级线圈 N_1 中的交变电动势为 e_1 时,则在次级线圈 N_2 中产生交变电动势 e_2 , e_2 的大小取决于两个线圈的相对位置和介质的导磁能力。当移动铁芯时,感应电动势将随着铁芯位置的变化而发生变化。

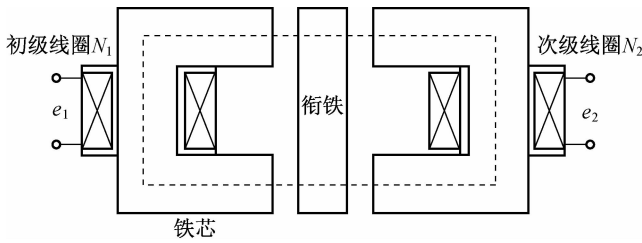


图 2-8 互感型电感式传感器

在实际应用中,为了提高传感器的线性度,常采用两个完全相同的次级线圈,并且将次级线圈反极性串联,其形式为螺管式,所以也称为螺管式差动变压器式传感器。如图 2-9 所示,当铁芯在平衡位置时,两个次级线圈产生的电压大小相等,输出为零,而当铁芯沿着 x 方向运动时,输出电压 $u_o = e_1 - e_2$,这样不仅可以知道位移的大小,并且能够反映位移的方向。

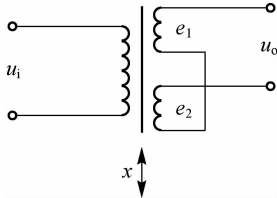


图 2-9 螺管式差动变压器式传感器原理

螺管式差动变压器式传感器具有测量精度高、线性范围大和稳定性好等特点,广泛用于直线位移和能够转换为直线位移的力、质量等物理量的测量。

三、电容式传感器

电容式传感器是将被测量的位移等转换为电容量变化的一种传感器。它也是一种非接触测量装置。最常见的电容形式是由两个平行电极板组成的,极板间充满了电介质。

电容量 C 的大小与电容电极面积 A 、电极间的间距(简称极距) δ 和介质的相对介电常数 ϵ_r 有关,其关系式为

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{\delta} \quad (2-7)$$

式中, C 为电容量, F; ϵ_0 为真空中的介电常数, $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}$ F/m; A 为电极面积, m^2 ; δ 为电极间的间距, m。

由式(2-7)可见,当调整这 3 个参数中的任意一个,电容量 C 均会发生变化,由此可将电容式传感器分为变面积型电容式传感器、变极距型电容式传感器和变介质型电容式传感器 3 种。

1. 变面积型电容式传感器

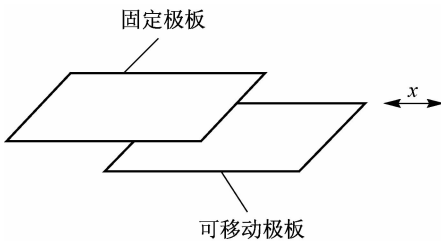
变面积型电容传感器通过电容极板面积 A 的变化来测量直线位移和角位移。

如图 2-10(a)所示,当可移动极板沿 x 方向移动一定位移时,输出的电容量为

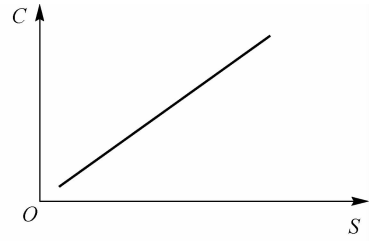
$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r L W}{\delta} = S W \quad (2-8)$$

式中, L 为极板重叠部分长度, m; W 为极板重叠部分宽度, m; S 为灵敏度, $S = \epsilon_0 \epsilon_r L / \delta$ 。

如图 2-10(b)所示可以看出,变面积型电容式传感器输出电容量随着输入位移的变化而呈现出线性变化,通过对电容量的测量就可以得知位移 x 的数值。



(a)平面线性变面积型电容式传感器原理



(b)变面积型电容式传感器特性

图 2-10 平面线性变面积型电容式传感器

如图 2-11 所示为角位移变面积型电容式传感器和圆柱体直线位移变面积型电容式传感器,对于角位移变面积型电容式传感器,其输出电容量为

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r \theta r^2}{2\delta} = S \theta \quad (2-9)$$

式中, θ 为覆盖面积对应的中心角, rad; r 为极板半径, m; S 为灵敏度, $S = \epsilon_0 \epsilon_r r^2 / 2\delta$ 。

对于圆柱体直线位移变面积型电容式传感器,其电容量为

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0 \epsilon_r x}{\ln \frac{D}{d}} = S x \quad (2-10)$$

式中, D 为外圆筒直径, m ; d 为内圆筒直径, m ; S 为灵敏度, $S=2\pi\epsilon_0\epsilon_r/\ln(D/d)$ 。

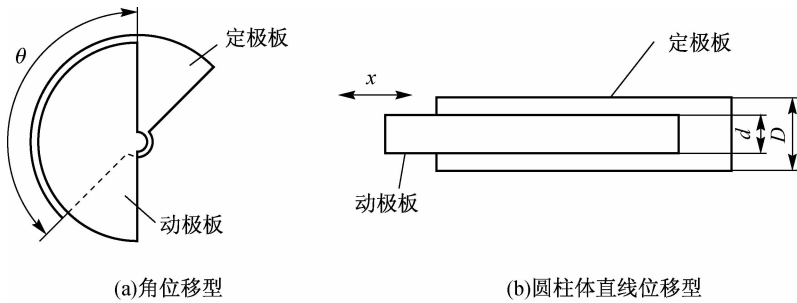


图 2-11 变面积型电容式传感器

变面积型电容式传感器输出电容量和输入位移成线性变化关系,但是灵敏度较低,适用于对较大的直线位移及角位移的测量。

2. 变极距型电容式传感器

由式(2-7)可知,当两极板覆盖面积 A 和介质不变时,则电容量 C 和极距 δ 呈现出反比的变化关系。设极距变化为 $\Delta\delta$,则电容量的变化为

$$\Delta C = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 A}{\delta} - \frac{\epsilon_r \epsilon_0 A}{\delta - \Delta\delta} = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 A \Delta\delta}{\delta \Delta\delta - \delta^2} \tag{2-11}$$

当 $\Delta\delta$ 很小时, ΔC 近似为

$$\Delta C = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 A}{-\delta^2} \Delta\delta = S_c \Delta\delta$$

式中, S_c 为负值灵敏度,非常数, $S_c = \epsilon_r \epsilon_0 A / (-\delta^2)$ 。

由于灵敏度与极距平方成反比,极距越小灵敏度越高,正是由于灵敏度的这种非线性,使得变极距型电容式传感器仅在很小的一段范围内工作,一般工作范围为 $\Delta\delta/\delta \leq 0.1$ 。实际应用中,为了提高灵敏度,降低非线性及抗干扰等因素的影响,采用差动电容式传感器。如图2-12所示,当动极板移动 Δx 时,电容 C_1 容量降低,而 C_2 容量升高,容量变化为 $2\Delta C$,从而使灵敏度提高一倍,非线性误差减小。

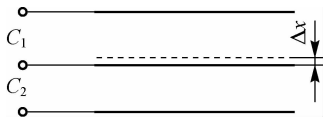


图 2-12 差动电容式传感器

变极距型电容式传感器对被测对象影响小,适用于 0.1 微米至数百微米位移的测量,但由于其灵敏度为非线性等原因,使它的应用受到了一定的限制。

3. 变介质型电容式传感器

变介质型电容式传感器是将电容的两个极板相对固定不动,而改变其间介质的一种电容式传感器。如图 2-13 所示,设极距为 δ ,极板长度为 l ,极板宽度为 b ,在介电常数为 ϵ_1 和 ϵ_2 的介质中移动,则有

$$C = \epsilon_0 b \frac{\epsilon_1 (l - l_0) + \epsilon_2 l_0}{\delta} \tag{2-12}$$

式中, l_0 为介质 ϵ_2 的深度。

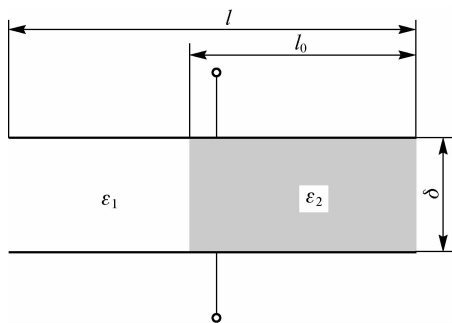


图 2-13 变介质型电容式传感器

由式(2-12)可见, 电容量 C 的变化取决于介电常数为 ϵ_2 的物质在电容中的深度。变介质型电容式传感器通常用来测量物料的深度。

四、感应同步器

感应同步器是应用电磁感应原理将角位移或直线位移信号变换为交流电压的位移传感器, 又称为旋转变压器。它有圆盘式和直线式两种, 圆盘式感应同步器用来检测角位移信号, 而直线式感应同步器用来检测直线位移信号。感应同步器广泛应用于高精度伺服转台、雷达天线、火炮和无线电望远镜的定位跟踪、精密数控机床以及高精度位置检测系统中。

如图 2-14 所示为直线式感应同步器的结构。直线式感应同步器由定尺和滑尺构成, 圆盘式感应同步器由定子和转子组成, 但是两者的工作原理相同, 下面仅介绍直线式感应同步器。

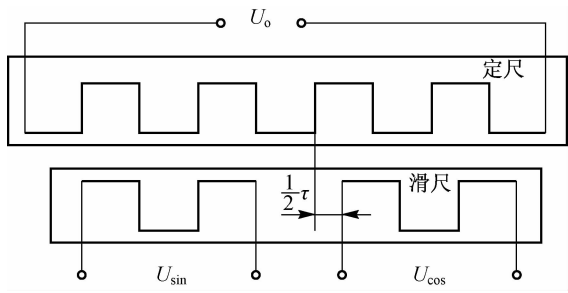


图 2-14 直线式感应同步器的结构

直线式感应同步器在定尺上有一个连续的感应绕组, 而在滑尺上有正弦和余弦两个绕组。定尺和滑尺上的绕组节距相同, 均为 2τ , 而正弦和余弦绕组之间错开了 $1/4$ 节距。定尺和滑尺平行放置, 并且间距极小 ($0.2\sim0.3\text{ mm}$)。因此, 当在滑尺的两个绕组中的任何一个中通入一定频率的交流电压时, 则在定尺中会产生频率相同的交变电动势, 该电动势的幅值取决于滑尺和定尺的相对位置, 由此实现了位移的检测。

如图 2-15 所示, 根据电磁感应原理, 设滑尺的一个边为 ab , 定尺给出了 A 、 B 、 C 、 D 、 E 这 5 个位置, 在滑尺中通以某一交变电压, 则当滑尺的 ab 边对准 A 点时, 定尺和滑尺绕组重合, 感应电动势最大; 当滑尺的 ab 边在 B 点时, 刚好错开 $1/4$ 节距, 感应电动势为零; 当滑尺的 ab 边在 C 点时, 绕组反相重合, 感应电动势达到与 A 点相同幅值, 但极性相反; 而当滑尺

的 ab 边到达 D 点时,感应电动势又为零; E 点和 A 点感应电动势完全相同。

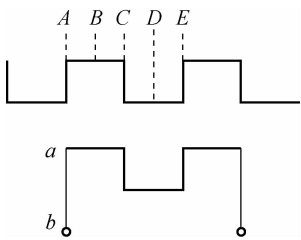


图 2-15 直线式感应同步器原理

由此可见,滑尺相对于定尺移动一个节距 2τ 时,感应电动势刚好变化一个周期 2π ,设移动的距离为 x ,输入滑尺的激励电压为

$$u_i = U_m \sin \omega t \tag{2-13}$$

则感应电动势为

$$u_o = U_m \sin(\omega t + \frac{x\pi}{\tau}) \tag{2-14}$$

因此,只要测量出定尺上感应电动势的相位或幅值便可得知位移 x 的大小。

实际应用中,在滑尺的两个绕组中同时通入幅值和频率均相同的正弦信号和余弦信号,通过检测定尺上感应电动势的相位来测量位移,这种方式称为鉴相方式。还有一种为鉴幅方式,它是在滑尺的两个绕组中通入幅值不等而频率相同的正弦波信号,通过检测幅值来测量位移。

感应同步器的绝对精度很高,可达到 $2.5 \mu\text{m}$,而分辨力可达到 $0.25 \mu\text{m}$ 。

五、磁电式传感器

磁电式传感器是一种基于电磁感应原理的传感器,通常用来测量旋转速度。磁电式传感器分为模拟动圈式传感器和数字磁阻式传感器两种。

1. 模拟动圈式传感器

模拟动圈式传感器分为线速度型模拟动圈式传感器和角速度型模拟动圈式传感器两种。如图 2-16 所示,线速度型模拟动圈式传感器的可动线圈在测量对象的带动下沿着磁场作切割磁力线的运动,设线圈的运动方向和磁场方向垂直,则此时将产生的感应电动势为

$$e = -NBlv \tag{2-15}$$

式中, N 为线圈匝数; B 为磁场的磁感应强度,T; l 为单匝线圈的有效长度,m; v 为线圈的运动速度,m/s。

式(2-15)说明,当 N 、 B 、 l 均为常数时,传感器的输出电动势和速度成正比,可实现线速度的测量。

角速度型模拟动圈式传感器的工作原理和发电机的工作原理是相同的,所以通常称为测速发电机,旋转对象带动角速度型模拟动圈式传感器旋转,角速度型模拟动圈式传感器将会产生电动势 e ,通过测量输出电动势的大小就可以测出旋转速度为

$$\omega = \frac{e}{K_e} \tag{2-16}$$

式中, K_e 为电势常数,与测速发电机自身的参数有关。

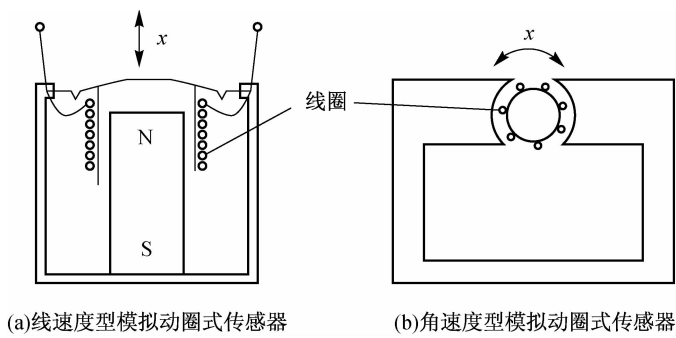


图 2-16 模拟动圈式传感器

2. 数字磁阻式传感器

数字磁阻式传感器是通过旋转运动的物体周期性地改变磁路的磁阻,从而使穿过线圈的磁力线发生变化,感应出一系列的脉冲来实现测速的。

如图 2-17 所示,将线圈置于磁铁周围,旋转运动的测速盘为导磁材料制成的齿轮状结构。当测速盘跟随被测对象一起旋转时,测速盘的凸齿通过磁铁位置时,磁阻减小;而在齿隙部位通过磁铁位置时,磁阻增大,导致线圈中的磁场强度发生变化,从而在线圈中产生一个脉冲电动势,根据脉冲的频率就可计算出测速盘的转速,计算公式为

$$n = \frac{60f}{z} \tag{2-17}$$

式中, f 为脉冲频率, Hz; z 为测速盘齿数。

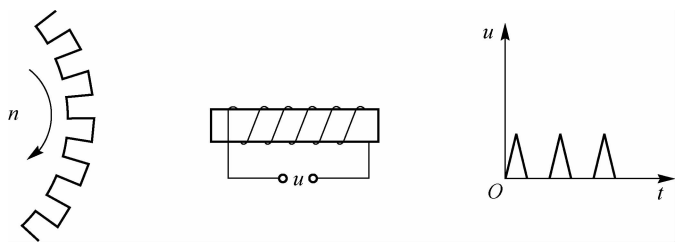


图 2-17 数字磁阻式传感器

对于平动物体,可以用数字磁阻式传感器检测其位移。

六、霍尔传感器

霍尔传感器是基于霍尔效应原理的传感器,如图 2-18 所示,将半导体薄片置于磁感应强度为 B 的磁场中,当在薄片的两端面通入电流时,电荷由于受到洛伦兹力的作用,将向另两个端面运动,导致在垂直于磁场和电流平面的方向上产生电位差,这种现象称为霍尔效应。任何金属和半导体理论上都有霍尔效应,但是由于金属的载流子密度大,导致霍尔效应很不明显,而半导体的霍尔效应很明显。霍尔效应引起的电位差称为霍尔电势 U ,当半导体平面垂直于磁场时,其表达式为

$$U = K_H IB \tag{2-18}$$

式中, K_H 为霍尔系数,与材料和几何尺寸有关, $V/(A \cdot T)$; I 为电流, A; B 为外加磁场的磁感应强度, T。

由此可见,霍尔电势与外加磁场的磁感应强度和电流成正比。将霍尔元件、放大器、温度补偿电路和稳流电源等集成在一个芯片上,就形成了霍尔传感器,霍尔传感器工作的磁场通常由外界提供。

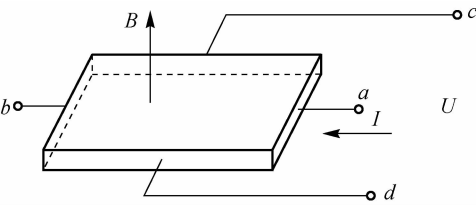


图 2-18 霍尔效应原理

霍尔传感器可以测量位移、速度等运动参数,也可以测量电流。通过移动磁场和半导体的相对位置来实现磁感应强度的变化,从而导致霍尔电势变化,这样就可以测量位移;也可以通过改变电流使得霍尔电势变化来测量电流。

霍尔传感器具有尺寸小、外围电路简单、频率响应宽、动态好、寿命长和可靠性好等特点,广泛地应用于自动控制和仪器仪表领域。

霍尔传感器分为线性传感器和开关型传感器,上面介绍的是线性传感器,开关型传感器将在电子开关一节中讲述。

七、压电式传感器

像石英和钛酸钡等物质,当受到一定方向的外力时,不仅在几何上出现变形,而且在其两个平面上会产生电荷,形成电场,并且电荷的多少和外力成正比,通常把这种现象称为压电效应。反过来,当在这些物质的极化方向上加上电压时,其几何尺寸又会随着电压的高低成正比变化,这种现象称为逆压电效应或电致伸缩效应,通常把能产生压电效应的物质称为压电晶体。

压电效应应用在工业上就形成了压电式传感器,它可以用来测量力的大小,压电晶体产生的电荷量 q 为

$$q=DF \tag{2-19}$$

式中, D 为压电常数,与材料和切片方向有关, C/N ; F 为作用力, N 。

压电式传感器是在压电晶体的两个工作面上蒸镀一层金属膜来构成两个电极,当压电晶体受力时便在电极上产生电荷,通过测量电荷量就可以得出受力的大小。

可以利用压电晶体的逆压电效应用来制作微致动器、微型马达和微型扬声器,如精密车床中控制刀具微进给的微致动器,生日贺卡和电子玩具中的微型扬声器等。而压电效应的应用更多,如打火机中的火花产生器等。

压电式传感器具有体积小、重量轻和动态响应好等优点,但是其必须使用电荷放大器进行放大后才能对信号进行处理。

八、电阻应变式传感器

电阻应变式传感器利用电阻在变形状态下阻值发生变化的现象,来实现对应变、力、加速度和扭矩等机械量的测量。它具有体积小、价格低、动态特性好、测量准确和使用简便等优点,在各种工业设备中应用广泛。

电阻应变式传感器有金属电阻应变片式传感器和半导体应变片式传感器两种。

1. 金属电阻应变片式传感器

如图 2-19(a)所示为金属电阻应变片,它是在绝缘基片上将金属丝绕成栅状或用光刻和腐蚀技术将很薄的铂片刻蚀成栅状制成的。当基体随着被测量物体或者转换器件(如测力的弹性体等)的变形而发生形变时,金属丝由于变形而引起长度和截面形状的改变,从而导致阻值的变化,阻值变化和形变的关系为

$$\frac{\Delta R}{R} \approx S \frac{\Delta l}{l} \quad (2-20)$$

式中, R 为电阻应变片的初始阻值, Ω ; ΔR 为电阻值变化量, Ω ; l 为电阻应变片的轴向长度, m ; Δl 为电阻应变片轴向长度的变化量, m ; S 为灵敏度,是与材料有关的常数。

从式(2-20)可知,形变和阻值的变化是成正比的,金属应变片的灵敏度大多数为1.7~3.6。

2. 半导体应变片式传感器

半导体材料在一定方向上受到外力作用时,导致其原子点阵的排列规律发生变化,使载流子迁移率和浓度变化,此时其电阻率 ρ 会随着变形而变化,这种现象称为半导体的压阻效应。半导体应变片正是基于压阻效应工作的,因此,半导体应变片式传感器又称为半导体压阻式传感器。其使用方法与金属应变片相同,就是将它贴在被测物体或弹性转换器件上,并随着被测件的变形而发生形变,通过测量阻值便可测出应变片的形变量和被测物理量的变化量。如图 2-19(b)所示为半导体应变片。

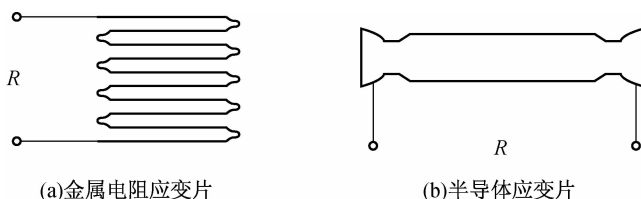


图 2-19 应变片

半导体应变的原理和金属应变不同,前者是由于电阻率的变化而引起电阻变化的,后者是通过长度和截面的变化而引起电阻变化的,但是两者的电阻变化均正比于形变,式(2-20)同样适用于半导体应变片,但是半导体应变片的灵敏度要比金属应变片高 50~70 倍。

半导体应变片灵敏度很高、动态特性好,但是由于半导体材料本身的原因,使其有温度稳定性差、制造离散大等缺点。

学习情境三 常用数字式运动和位置检测传感器

一、光栅传感器

光栅传感器是一种非接触式运动参数测量装置,可以做成直线型光栅或径向型光栅。直线型光栅可用来测量直线位移、速度和加速度等参数,而径向型光栅通常通过电动机轴、丝杠或齿轮齿条装置作旋转运动,可用来测量旋转运动参数。光栅具有可靠性好、精度高等优点,所以被广泛使用。

光栅传感器由光路系统、标尺光栅、指示光栅和光电接收器构成。光栅的原理如图 2-20 所示,光栅是在一块长条形的光学玻璃上刻制一系列密集平行等间距的栅线。标尺光栅相对于指示光栅移动时,光源通过标尺光栅和指示光栅后便形成大致按正弦规律分布的明暗相间的叠栅条纹。这些条纹以光栅的相对运动速度移动,并直接照射到光电接收器上,在它们的输出端得到一串电脉冲,通过放大、整形、辨向和计数系统产生数字信号输出。

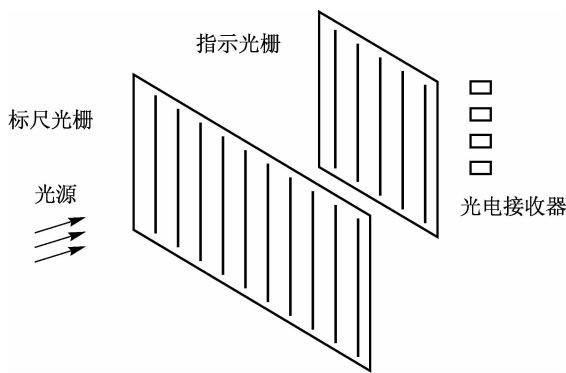


图 2-20 光栅原理

光栅有透射式光栅和反射式光栅两种。透射式光栅的栅线刻在透明材料上,反射式光栅的栅线刻在具有强反射性的金属膜上,在此主要介绍透射式光栅。

为了达到高分辨力的要求,透光部分和不透光部分的尺寸必须做得很小,同时光源也必须精确调准。另外光栅采用了倍增技术,它通过对 4 个通道的不同的上升沿和下降沿的计算,实现了 4 倍放大,提高了分辨力和精度。

基于莫尔条纹的光栅利用两个光栅倾斜一个微小角度 θ 来放大栅距。如图 2-21 所示,当两个栅距相同的光栅相对倾斜一个小角度时,就形成了莫尔条纹。设光栅的栅距为 W ,相邻两莫尔条纹的间距为 B ,则有如下关系

$$B = \frac{2W}{2\sin \theta} \approx \frac{W}{\theta} \tag{2-21}$$

由于 θ 很小,因此,莫尔条纹的间距实际上就是把光栅栅距 W 放大了 $1/\theta$ 倍。

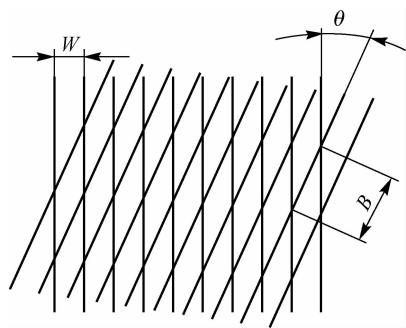


图 2-21 莫尔条纹

二、光电编码器

光电编码器又称为旋转编码器,是一种最常用的旋转运动精密测量传感器。它具有分辨力和测量精度高、测量结果准确、工作可靠等优点,可用来测量角位移、转速和角加速度。

目前,光电编码器被认为是工作可靠、价格最低的运动测量和反馈装置,在现代工业领域被广泛应用。

光电编码器分为绝对式编码器和增量式编码器两种。光电编码器是按光学和光电原理制成的器件,它由光源、码盘、光敏元件及电路部分组成。码盘上有若干透光部分和不透光部分,当光通过码盘上的透光部分时,光敏元件便接收到光信号,将光信号转换成电信号,而在不透光部分则接收不到光信号,如图 2-22 所示。当码盘旋转时,便可接收到一系列的脉冲或数字信号,这些信号就反映了旋转的运动参数。

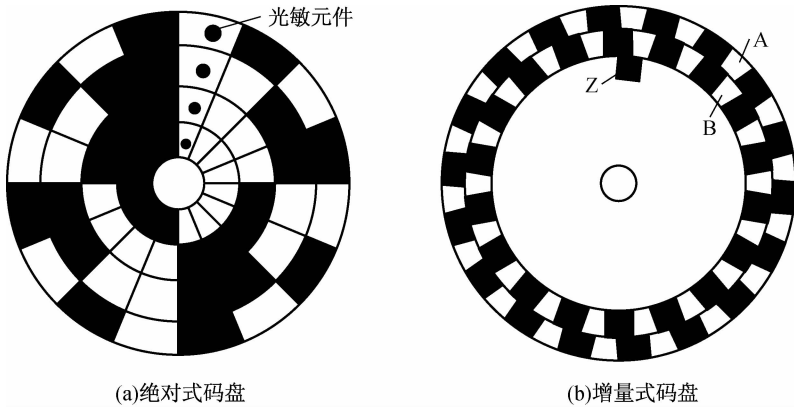


图 2-22 编码器的码盘

1. 绝对式编码器

绝对式编码器是一种能直接测量角位移的传感器,图 2-22(a)为 4 位绝对式二进制编码器的码盘。在码盘的圆周方向上有 4 条由透光和不透光部分组成的码道,而在径向上将码盘分成了 16 个扇区,在码盘的一侧有 4 个光敏元件,每个光敏元件对应一条码道。当光电编码器处于某一位置时,该扇区上的不透明部分对应的光敏元件输出 1(设不透明部分为 1),而透明部分对应的光敏元件输出 0。则这 4 位二进制数字就表示了该扇区的位置。可以看出各个扇区分别代表了 0000,0001,...,1110,1111 这 16 个角度。

4 位编码器分辨力仅为 $360^\circ/16$,为了提高分辨力,绝对式编码器可以使用更多的码道,当达到 20 条码道时,其分辨力可达到 $1.24''$ 。

为了防止出现读数错误,通常使用新的编码技术来编制码盘,而不使用二进制编码。

2. 增量式编码器

增量式编码器利用计数装置将旋转码盘产生的脉冲进行计数来获取运动参数。图 2-22(b)为增量式编码器的码盘。相对于绝对式编码器而言,增量式编码器结构简单、成本低,所以应用更为广泛。其原理和光栅相同,在码盘的圆周方向上刻有若干条透明的线条,当光线通过时便可产生相应的电脉冲,计数装置只要完成计数即可。

增量式编码器有两种,一种只有一条码道,通常用来测量旋转速度,但无法辨别方向;另一种能够分辨旋转方向和零点参考位置。增量式码盘上通常刻有 3 条码道,分别为 A 相、B 相和 Z 相,其中 A 相和 B 相码道相位上相差 $\pi/2$,用来检测方向,而 Z 相用来检测零点参考位置,这种增量式编码器可以用来测量位移、速度等运动参数。

三、磁栅传感器

磁栅传感器是一种数字式传感器,它由磁栅尺、磁头和检测电路组成。磁栅尺是由在不导磁材料制成的栅基上镀一层均匀的磁性涂层,并记录上间距相等、极性正负交错的磁信号栅条制成的。如图 2-23 所示为磁栅结构原理图,图中极性为 N-N 和 S-S 的栅条就是磁栅。当磁头从磁栅上移动时,磁头上的线圈由于切割磁力线而产生脉冲电动势,通过脉冲的次数可以检测出位移量,而脉冲的频率又反映了运行速度。

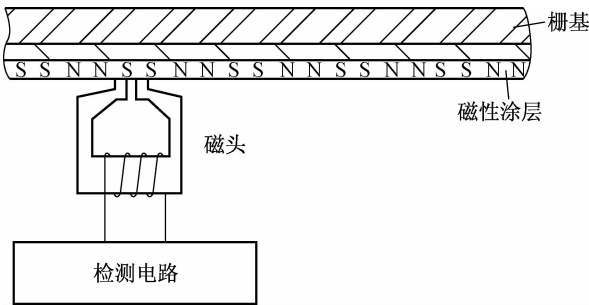


图 2-23 磁栅结构原理

为了在静止状态下也能采集到信号,磁栅的磁头分为动态磁头和静态磁头两种。动态磁头上仅有一个输出绕组,只有在磁头和磁栅产生相对运动时才能有信号输出。静态磁头有励磁和输出两个绕组,它在与磁栅相对静止时也有信号输出。励磁绕组产生的磁场和磁栅的磁场共同作用于磁头,而磁栅的磁场和磁头所在位置有关,所以通过输出信号的幅值就可以检测出位置了,其原理类似于感应同步器。

磁栅传感器具有成本低、安装简便、精度较高(可达 $\pm 0.01\text{ mm/m}$)、分辨力高($1\sim 5\text{ }\mu\text{m}$)等特点,另外磁栅的磁信号可以重新录制,甚至可以在安装到数控机床上之后再录制磁信号,这对于消除安装误差和机床本身的几何误差,提高测量精度都是十分有利的。

学习情境四 电 子 开 关

在机电一体化系统当中,使用了许多电子开关,它们用于限位和计数等场合,其作用和机械式微型开关是完全相同的。机械式开关是由运动物体碰触以后动作的,而电子开关是由传感器进行无接触探测的,如电容式接近开关、电感式接近开关和光电式接近开关等,本节介绍电子开关的原理和应用。

电子开关可以通过测速盘实现速度的测量。其原理和旋转编码器的原理是相同的,只是旋转编码器用光电式传感器,而电子开关利用测速盘实现在一次转动中对电子开关的若干次动作,设每旋转一周时,电子开关动作 Z 次,则通过测得信号的频率 f 可计算出转速 n 为

$$n=\frac{60f}{Z}$$

(2-22)

四、电容式接近开关

电容式接近开关由两个极板组成,由于电容量的大小与极板面积和介质的介电常数成正比,与极板的距离成反比,所以可通过电容量的变化得到其极板之间的距离。电容式接近开关是一种具有开关量输出的位置传感器,它的测量头通常构成电容器的一个极板,而另一个极板是物体的本身。当物体移向感应电极时,物体和感应电极的介电常数发生变化,使得和测量头相连的电路状态也随之发生变化,由此便可控制开关的接通和断开。这种接近开关可检测的物体,并不限于金属导体,也可以是绝缘的液体或粉状物体,在检测介电常数较低的物体时,可以通过对放大电路进行调节来增加感应灵敏度,如图 2-24 所示。

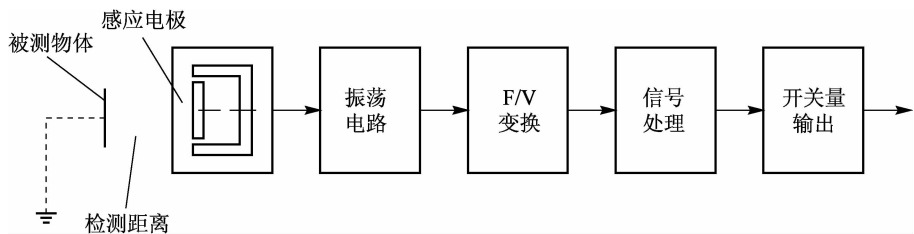


图 2-24 电容式接近开关

二、电感式接近开关

电感式接近开关与电容式接近开关类似,也是一种有开关量输出的位置传感器。它由 LC 高频振荡器和放大处理电路组成,金属物体在接近能产生电磁场的感应线圈时,物体内部产生涡流。该涡流反作用于接近开关,使接近开关振荡能力衰减,内部电路的参数发生变化,由此识别出有无金属物体接近,进而控制开关的通断。这种接近开关只能检测金属物体,如图 2-25 所示。

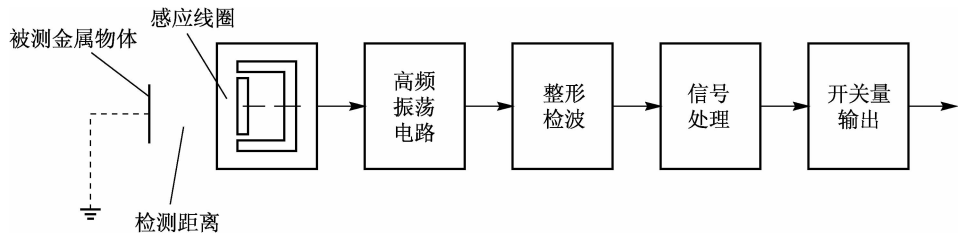


图 2-25 电感式接近开关

三、光电式接近开关

光电式接近开关是一种光电开关(光电传感器),它利用被检测物体对光束的直射或反射,通过光电效应检测物体的有无,具有灵敏度高、非接触测量等优点,但是很容易受到光线的干扰,所以通常使用的是红外光电接近开关。其所测物体不限于金属,对所有能反射光线的物体均可检测。

如图 2-26 所示,发射器发射红外线,当光线通过反射或者直射等方式到达光敏三极管后,在解调器和逻辑电路的作用下可以复原原电信号(发射端的信号)。在此使用调制和解调是为了传输一些频率较低的信号。

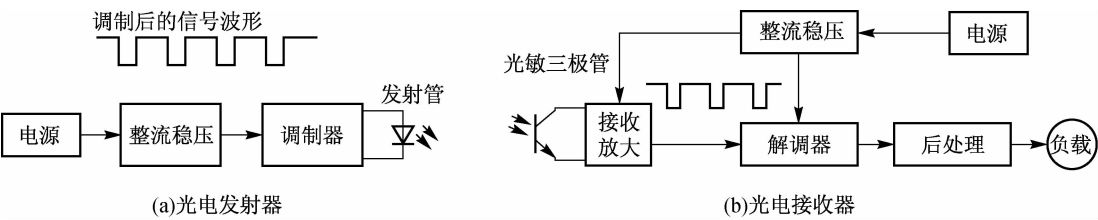


图 2-26 光电式接近开关

根据对红外线的接收方式,光电式接近开关可分为以下几种。

1. 漫反射式光电开关

漫反射式光电开关是一种集发射器和接收器于一体的传感器。当被检测物体存在时,光电开关发射器发射的光线经被检测物体反射后,由光电接收器接收,于是光电开关就产生了开关信号。当被检测物体的表面光亮或其反射率极高时,首选漫反射式光电开关,也可以选择对射式光电开关。

2. 对射式光电开关

对射式光电开关包含在结构上相互分离且沿光轴相对放置的发射器和接收器。发射器发出的光线直接进入接收器,当被检测物体经过发射器和接收器之间且阻断光线时,光电开关就产生了开关信号。当被检测物体不透明时,可以选择对射式光电开关。对射式光电开关应用范围很广,如打印机中的极限开关。

3. 槽式光电开关

槽式光电开关通常是标准的 U 型结构,其发射器和接收器分别位于 U 型槽的两边,并形成一光轴,当被检测物体经过 U 型槽且阻断光轴时,光电开关就产生了可检测到的开关量信号。槽式光电开关性能安全可靠,适合检测高速信号,可以分辨透明与半透明物体,其原理和对射式光电开关相同。

另外,还有使用光纤作为光通路的光电开关等。

四、霍尔磁电开关

霍尔开关属于有源磁电转换器件,它是在霍尔效应的基础上,利用集成封装和组装工艺制作而成的。它可方便地把磁信号转换成实际应用中的电信号,同时又满足工业场合实际应用易操作和可靠性的要求。霍尔开关的输入端是以磁感应强度 B 来表征的,当磁感应强度 B 值达到一定的程度时,霍尔开关内部的触发器翻转,霍尔开关的输出电平状态也随之翻转,如图 2-27 所示。

霍尔开关具有无触点、低功耗、使用寿命长、响应频率高等特点,内部采用环氧树脂封装灌成一体,所以能在各类恶劣环境下可靠地工作。霍尔开关作为一种新型的非接触测量的电器配件或者传感器来使用,可应用于接近开关、压力开关、里程表等。

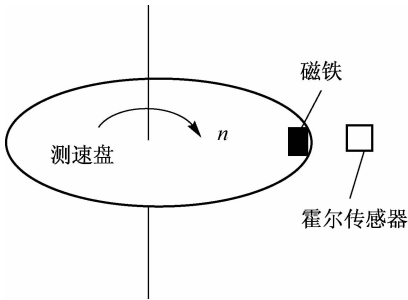


图 2-27 霍尔开关测转速

学习情境五 传感器的选用

一种传感器可以通过间接方式测量很多物理量,同样,一种物理量也可以选用多种传感器进行检测。为了能够在控制和测试中更好地选用传感器,下面讲述传感器的选用原则。

一、传感器的选用原则

在机电一体化系统中选用传感器时,要注意传感器的灵敏度与量程范围、响应特性、精确度和测量方式等问题。

1. 灵敏度与量程范围

传感器的灵敏度高,意味着被测量产生微小的变化,传感器就有很大的输出值,也可以说分辨力高。但是由于输入变化很小时其输出变化很大,而输出总是要被限定在一定的范围之内,所以灵敏度高时量程就小。如天平的灵敏度很高,但是它所能测量的最大质量并不高,而测量火车质量的衡秤可测量重量的最高值很高,但是灵敏度很低。

在机电一体化系统中,很多运动参数的量程是明确的,这就需要对灵敏度进行选择。

对于数字式传感器而言,上述原则并不重要,如测速用的增量式旋转编码器,在速度相同的情况下,灵敏度越高,则脉冲的频率就越高,但是很高的频率将对后级处理电路有相应的要求。因此,在成本允许的情况下尽量选用数字传感器。

2. 响应特性

机电一体化系统中的传感器作为反馈环节使用,而工作对象一般都是动态的,这就要求传感器能够对不同频率下工作的对象进行检测,并且快速地将信息传递给控制器。

通常,光电传感器、压电传感器等物性型传感器响应快、工作频率范围大。而结构型传感器通常是通过弹性体的形变来实现测量的,由于受到质量等因素的影响,其频率范围较小,动态响应差。

3. 精确度

传感器的精确度表示传感器输出与被测量的对应程度。机电一体化系统中的传感器必须真实地反映出运动对象的参数,这样才能让控制器控制得更准确。当然,能完全真实地反映运动对象参数的传感器是不存在的,所以只要误差在一定范围之内即可。另外,由于计算机的应用,一些非线性误差可以由计算机来补偿,提高了控制的精度。

通常,数字式传感器的精确度要优于模拟式传感器。

4. 测量方式

测量方式是指传感器在实际条件下的工作方式,在机电一体化系统中,通常按传感器与被测件接触与否分为接触式测量和非接触式测量,按测量结果的得到方式分为直接测量和间接测量。

接触式测量传感器有电位器式传感器等,由于存在着机械摩擦,寿命较短、运动时会产生高频干扰等缺陷,所以这类传感器适用于对静态或者缓慢变化的对象进行测量,而不适用于对高速运动的对象进行测量。大多数传感器都属于非接触式测量传感器,如电感式传感器、电容式传感器、光电式传感器等,该类型传感器无摩擦,可用于高速装置的测量,特别是光电

式传感器具有测量范围宽、响应速度快等优点。

直接测量是指对运动物体参数直接检测,如工作台位移检测时,在工作台上安装光栅尺进行检测等,直接测量除了传感器本身误差及系统误差外,没有机械误差引入;而间接测量是指通过测量非工作对象的运动参数来得知工作对象的运动参数,如对工作台位移进行测量时,将传感器安装在电动机轴上,通过电动机角位移和工作台位移的关系来测量后者的位移。这种测量方式是在忽略机械传动装置误差的情况下使用的,误差相对要大一些。如全闭环数控机床采用直接测量的方式测量工作台的位移、速度等机械量,而半闭环数控机床则通过测量电动机的角位移、角速度来间接测量工作台的位移和速度,前者的精度要高于后者。

有时需要测量速度,而实际上测量的是位移,则需通过对位移的求导来计算速度,这种方式就是间接测量方式;如果需要测量的是位移量,则此时为直接测量方式。

直接测量方式和间接测量方式要根据实际生产情况、测量精度和成本要求等来选用,如半闭环机床尽管不如全闭环机床的精度高,但其在具有较高精度的同时有成本低、稳定性好等特点,所以应用更加广泛。

二、运动参数测量传感器的选用

运动参数通常指位移、速度、加速度、力和力矩等,前面叙述的传感器可以用来测量这些参数。但是在选用时必须考虑测量对象的特性和测量要求,如被测对象的性质、测量范围和精度要求等;另外,测量环境、信号处理和成本等要求不同,则选用的传感器也不相同。

在机电一体化系统中,数字式传感器具有与控制器连接的接口简单、精度高、动态特性好、量程大、频率响应宽等优点,但是价格比模拟式传感器要高。而模拟式传感器成本低、结构简单,特别是对微位移的测量效果较好,但是模拟式传感器测量的信息都必须经过 A/D 转换后才能传递给数字控制器。

1. 位移测量

位移分为角位移和直线位移,很多传感器都可以测量位移,通常根据位移的性质和要求进行选用,如位移的范围大小、位移的动态变化范围和精度要求、外围电路的复杂性和用途等。

对于大范围(如几百毫米)的直线位移测量,当动态要求不高时,可选用电位器式传感器,它具有外围电路简单、成本低等优点;当动态要求高时,通常使用光栅尺、磁栅和感应同步器等非接触式测量传感器,但成本相对较高。当然也可以使用机械装置将直线运动转换为旋转运动后,用旋转编码器来实现大范围、高精度的直线位移测量。

对于旋转运动,通常使用旋转电位器和旋转编码器来测量,旋转电位器具有成本低、外围电路简单等特点,但是不适合测量连续运动和动态变化大的位移;旋转编码器具有精度高、测量范围大等优点,但成本要比旋转电位器高很多。增量式编码器需要存储已测量过的数据后才能进一步测量;而绝对式编码器无须前面的测量数据就可实现测量,但是成本要比增量式编码器高。另外一种应用广泛的旋转位移传感器就是旋转变压器(也称为感应同步器),它具有编码器的特点,但是它属于模拟式传感器,精度低于旋转编码器。

对于小位移的测量(如微米级),通常使用霍尔传感器、电容式传感器或电感式传感器来测量。

2. 速度测量

机电一体化系统直接测量的速度大多都是角速度,可采用的方式有直接测量和间接测量两种。

直接测量应用的传感器有测速发电机、旋转编码器等,前者对于低速测量效果较差,后者在高速时对计数电路有特殊要求(频率高)。另外,可以采用磁电式传感器、光电式传感器、霍尔传感器等,通过测量固定在转轴上的转盘的角频率来实现角速度的测量。

间接测量应用的传感器通常为角位移传感器,它通过对角位移进行求导来计算速度,通常需要与计算机配合使用。

直线速度的测量常通过测量直线位移间接实现。

3. 力和加速度测量

机电一体化系统中的加速度大多使用间接测量方式,它是对速度进行求导计算而得到的,也就是说对位移进行二次求导就可求出加速度。

根据牛顿第二定律 $F=ma$ 可知,加速度可由测出的力计算得到,应用这种原理的加速度传感器实际上是利用质量块在加速度下产生力,引起弹性体形变,再通过测量电阻应变片或压电晶体的形变来测量加速度。

学习情境六 传感器信号处理电路

机电一体化系统中的控制器接收和处理的信号都是晶体管—晶体管逻辑(transistor-transistor logic,简称为 TTL)电平信号,而传感器所采集到的信号有模拟信号和数字信号两种。为了能够将传感器采集的信号和控制器相匹配,需要针对信号的特点对信号进行一定的处理,如对模拟信号需要进行放大、滤波、隔离和 A/D 转换等;对数字信号需要进行放大、隔离和滤波等。传感器信号处理又称为信号调理,信号调理中的部分功能(如滤波)可以由软件实现。

信号调理就是将现场输入的状态信号经过放大、保护、滤波、隔离和 A/D 转换等处理后转换成为计算机可以接收的逻辑信号。下面对部分功能进行介绍。

一、信号隔离电路

机电一体化系统大多为工业控制系统,工作环境恶劣,各种功率器件和继电器、接触器等对电路会产生各种干扰,为了能够让系统稳定地工作,减小强电和弱电之间的相互干扰,提高系统可靠性,通常使用隔离技术使各级电路之间没有电的联系,而用光和磁来联系,降低干扰。

信号隔离的主要作用是防止电路之间的相互干扰,但是又必须保证信息的交换,通常使用光电耦合和电磁耦合来实现信号传输。信号通常分为数字量和模拟量两种。

1. 数字量的隔离

数字量只有高低电平,通常采用光电隔离、继电器隔离和固态继电器隔离 3 种方式进行隔离。

1) 光电隔离

光电隔离是一种将电信号转换为光信号,再将光信号转换为电信号的过程。其原理如图 2-28 所示, U_1 端输入低电平电信号,发光二极管则发出光信号,而密封在同一壳体中的光

电三极管收到光信号后处于导通状态,则 U_o 端输出为低电平;反之,当 U_i 端输入高电平电信号时,则在 U_o 端输出高电平,既实现了电源之间的隔离($VCC1$ 和 $VCC2$),又保证了信号的传输。

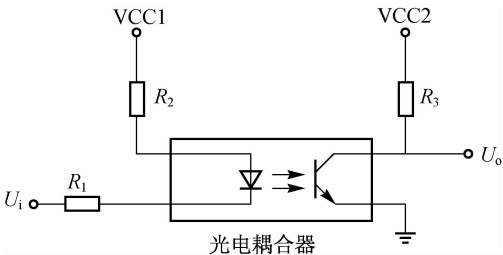


图 2-28 光电隔离原理

2)继电器隔离

继电器是一种典型的开关器件,机电一体化系统在驱动功率器件时,常常利用继电器作为输出的第一级隔离,然后再利用继电器驱动接触器等器件。

如图 2-29 所示为继电器隔离电路,继电器由三极管直接驱动。

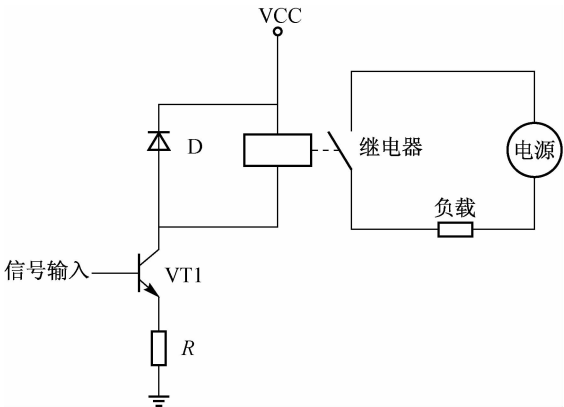


图 2-29 继电器隔离电路

继电器输出与晶体管输出相比,具有电信号隔离和驱动电流大等特点,但是由于继电器有触点,在开关瞬间可能会产生火花,对计算机等产生一定的干扰。此外,由于继电器是由线圈驱动的,线圈是一个典型的电感,电感中的电流不能发生突变,当三极管瞬间断开时,将产生很高的电压,可能将三极管击穿。为了防止这种现象的发生,通常在线圈上并联一个续流二极管,当三极管断开后,线圈中的电流将从二极管中通过,实现了电路的保护。

3)固态继电器隔离

固态继电器(solid state relay,简称为 SSR)出现于 20 世纪 70 年代,它是一种无触点通断电子开关,利用电子元件(如开关三极管、双向可控硅等半导体器件)的开关特性可无触点、无火花地接通和断开电路。它的作用和继电器相同,但是因其具有无机械触点、开关速度快、体积小和可靠性高等特点,所以在许多控制领域及计算机控制方面得到日益广泛的应用,并在工业领域中有逐渐取代继电器的趋势。

固态继电器按使用场合可以分为交流型固态继电器和直流型固态继电器两大类。交流输出时,通常使用两个可控硅或一个双向可控硅;直流输出时可使用双极性器件或功率场效

应管。它们分别在交流或直流电源上做负载的开关,不能混用。按照输入电压的类别不同,输入电路可分为直流输入电路、交流输入电路和交直流输入电路 3 种。有些输入控制电路与 TTL/CMOS 兼容,具有正负逻辑控制和反相等功能。

固态继电器为四端有源器件,其中两个端子为输入控制端,另外两个端子为受控输出端。为实现输入与输出之间的电气隔离,器件中采用了耐高压的专业光电耦合器。当施加输入信号后,光电耦合器将输入信号隔离耦合到主电路中,主回路呈导通状态;无信号时呈阻断状态。如图 2-30 所示为交流型固态继电器电路。过零电路的作用是检测交流电源的过零点(正弦波的零值点),准确地实现对晶闸管的控制。吸收电路是为防止从电源中传来的尖峰、浪涌(电压)对开关器件双向可控硅管造成冲击和干扰(甚至导致误动作)而设计的,一般是由 RC 串联吸收电路或非线性电阻(压敏电阻器)组成的。

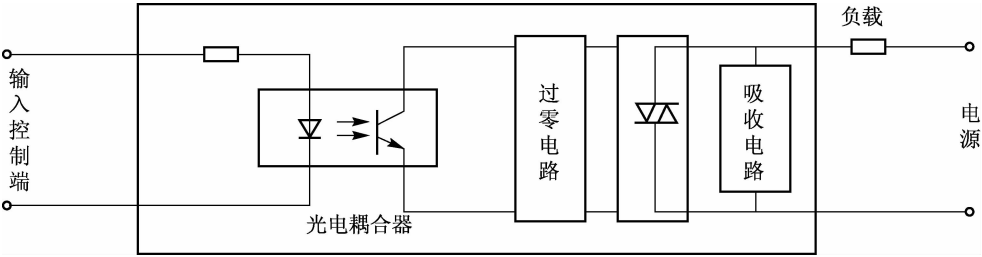


图 2-30 交流型固态继电器电路

直流型固态继电器与交流型固态继电器相比,无过零电路,也不必设置吸收电路,开关器件一般用大功率开关三极管。

2. 模拟量的隔离

模拟量的隔离要求隔离器件具有良好的线性特性,即输入信号从零到某一值连续变化时,输出要跟随输入线性地变化,这样才能保证信号不失真地传输。这一点和数字量的隔离有很大的差别。

模拟量的隔离有光电隔离和电磁隔离两种。光电隔离类似于光电耦合器,但是要求内部的光电管(发光管和光电接收管)的光和电信号成严格的线性关系。由于光电管的线性范围窄、温漂严重,所以该类隔离稳定性差,没有太大的实用功能。电磁隔离是常用的模拟量隔离电路,性能较好。

1) 光电隔离

如图 2-31 所示为模拟量光电隔离原理,两个光电二极管 CR1 和 CR2 需要严格配对,当信号输入后,在放大器 A 的驱动下,CR1 的光照度正比于输入信号,CR2 接收到 CR1 传输过来的光信号后,正比地转换为电信号,经过放大器 B 放大后输出。

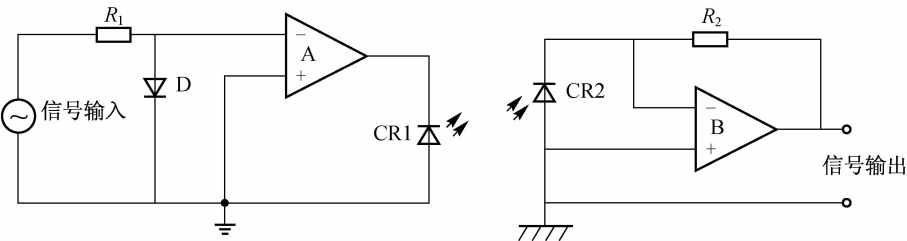


图 2-31 模拟量光电隔离原理

2)电磁隔离

电磁隔离原理如图 2-32 所示,首先输入信号经过放大后,在调制器的调制下转化为高频调制波信号,该信号通过变压器后进入解调器进行同步解调,然后输出解调后的信号。

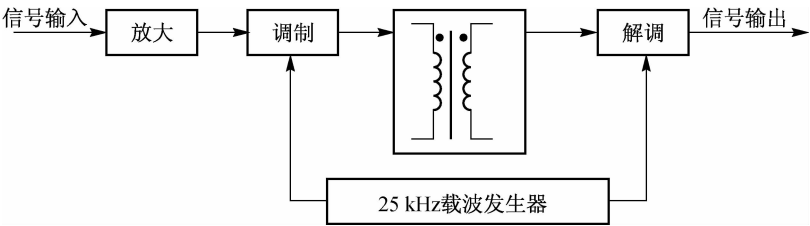


图 2-32 电磁隔离原理

由于该电路采用了调制和解调技术,可以对低于一定频率的信号进行可靠的传输,但是不适合传输频率很高的信号。常用的芯片如 Anolog Device 公司的 AD202 等,调制频率为 25 kHz,根据香农定理,其最高信号频率为 12.5 kHz。

模拟量电磁隔离相对于模拟量光电隔离来说,具有技术成熟、线性度良好、实用性好等特点,所以模拟量的隔离通常使用电磁隔离。

为了更好地隔离模拟信号,通常将模拟信号经过 A/D 转换后用数字量隔离,这种方式成本较低,且隔离效果也很好。

二、放大电路

传感器在机电一体化系统中的作用主要是测量被测对象的信息,实现系统中的闭环反馈控制。特别是对于模拟信号,由于大多数信号微弱并且夹杂有高频干扰,因此,必须对信号进行放大和滤波。

机电一体化中的信号放大通常使用运算放大器来实现,运算放大器的作用是将输入信号(电压或者电流)线性放大为输出信号,如图 2-33 所示。通常有反相放大器 and 同相放大器两类,放大器电路的分析是按照理想运算放大器的两个重要结论“虚短”和“虚断”进行的。

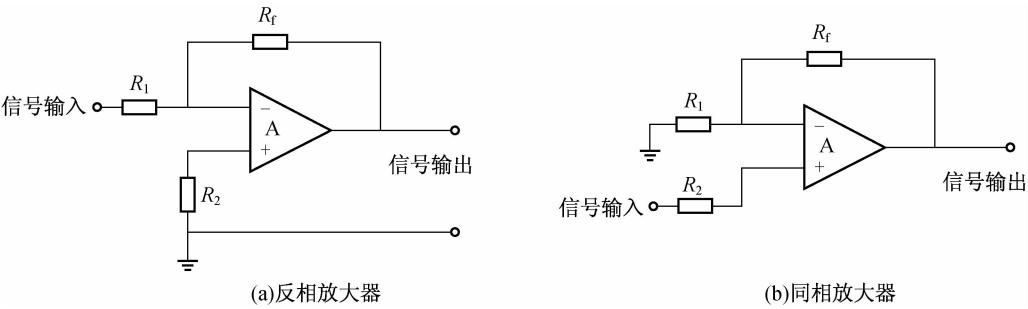


图 2-33 运算放大器组成的放大电路

1. 反相放大器

反相放大器输入信号经 R_1 接入放大器的反相端,同相端接平衡电阻 R_2 ,则其输出电压值和输入电压值之间的关系为

$$u_o = -\frac{R_f}{R_1} u_i \quad (2-23)$$

2. 同相放大器

同相放大器输入信号经 R_2 接入放大器的同相端, 则其输出电压值和输入电压值之间的关系为

$$u_o = (1 + \frac{R_f}{R_1}) u_i \quad (2-24)$$

三、滤波电路

为了将传感器采集的信号中的干扰信号滤除, 必须使用滤波器。滤波器按照其工作频段分为高通滤波器、低通滤波器、带通滤波器和带阻滤波器 4 种。常用的滤波电路有无源滤波和有源滤波两大类。滤波电路按照软件和硬件的实现分为数字滤波电路和模拟滤波电路两种, 由于数字滤波电路是通过软件来实现的, 所以本节仅讲述模拟滤波电路。

1. 无源滤波电路

无源滤波电路是由电阻、电感和电容等无源器件组成的, 没有有源器件。如图 2-34 所示为无源一阶滤波器。

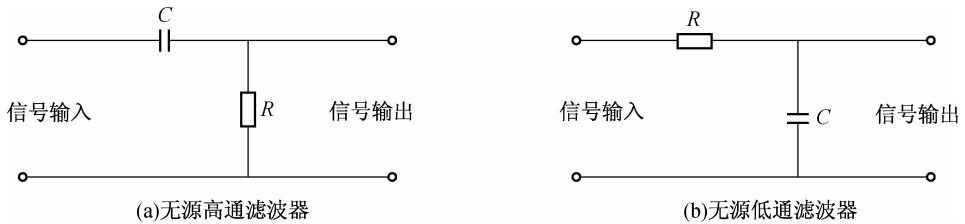


图 2-34 无源一阶滤波器

图 2-34(a)所示为高通滤波器, 由于电容具有通交流、阻直流的特性, 所以对于高频信号, 可以通过电容 C 传输到下一级, 而低频信号无法通过; 图 2-34(b)所示为低通滤波器, 高频信号通过电容 C 而无法进入下一级, 而低频信号则通过 R 后传输到下一级。

高通滤波器和低通滤波器通过串联和并联后就构成了带通滤波器和带阻滤波器。4 种滤波器的幅频特性如图 2-35 所示。

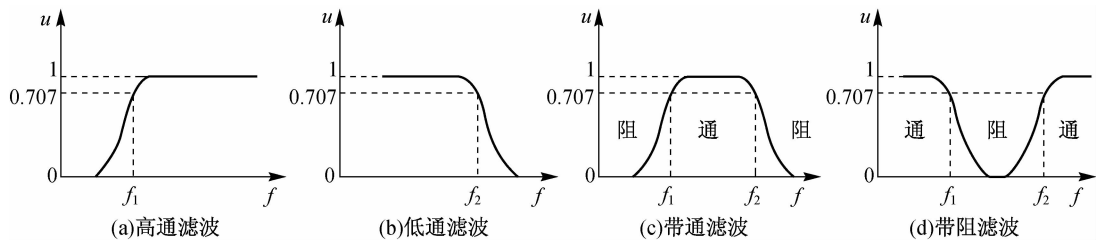


图 2-35 滤波器幅频特性

2. 有源滤波电路

有源滤波电路除使用电阻、电感和电容等无源器件外, 也使用有源器件, 如放大器。如图 2-36 所示为一阶有源低通滤波器, 相对于无源滤波器, 有源滤波器可以做到体积小、质量轻、损耗低, 并且具有一定的增益, 其他类型的有源滤波器可参考相关资料。

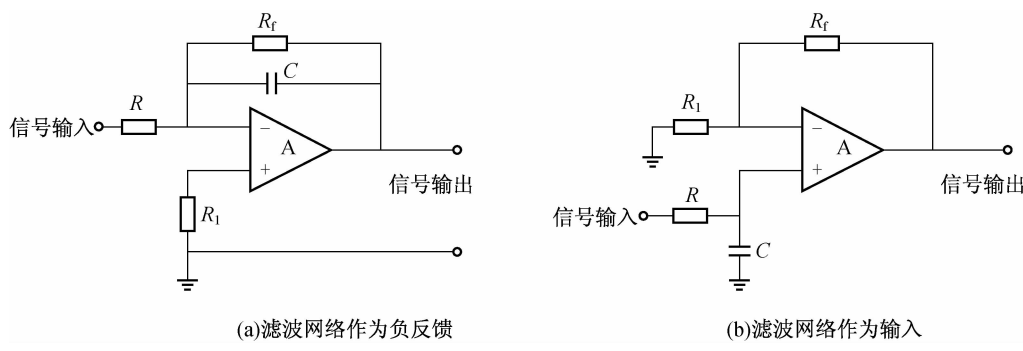


图 2-36 一阶有源低通滤波器

四、A/D 转换电路

传感器采集的信号有些不是数字量,而是一些随时间连续变化的模拟量,由于计算机可处理的信号为数字量(电脉冲信号)1 和 0,因此,必须把要处理的模拟量转换成数字化的电信号,这需要模拟(analog)信号到数字(digital)信号的转换电路,即 A/D 转换电路。

模拟量到数字量的转换电路有两种:一种是用模拟电压值来控制频率发生器的频率,通过计数就可以知道电压值,这种电路称为 V/F 电路;另外一种为 A/D 转换电路,该部分电路将在控制器一章中专门讲解,在此不再叙述。

复习思考题

- 1. 试说明电位器式传感器测量水位高低的原理。
- 2. 试用电容式传感器测量金属圆柱体的圆度。
- 3. 电感式传感器、电容式传感器和电阻式传感器均可用来测量位移,有何区别? 举例说明。
- 4. 一电容式测微仪其圆形极板半径 r 为 10 mm,工作初始间隙 δ_0 为 0.3 mm,问:
 - (1)工作位移为 $\pm 1 \mu\text{m}$ 时,电容变化量是多少?
 - (2)如果测量电路的灵敏度 S_1 为 100 mV/pF,读数仪表的灵敏度 S_2 为 5 格/mV,则间距变化为 $\pm 1 \mu\text{m}$ 时,读数变化是多少?
- 5. 试设计一个用微型计算机的某一接口通过继电器和接触器驱动一个 380 V/10 kW 的三相交流异步电动机的电路。
- 6. 试设计一种可将输入信号放大 10 倍输出的电路。
- 7. 试选用至少 4 种以上传感器测量电动机的转速,并说明测量原理。
- 8. 生产线生产某一产品时,需要进行自动计数,分别为金属和非金属产品选择合适的传感器。
- 9. 试述直流固态继电器的工作原理。
- 10. 试述对射式光电开关的原理。
- 11. 用对射式光电开关测量电动机的转速,电动机轴上有一个带 10 个孔的测速盘,试画出测量示意图。当测量出的频率为 500 Hz 时,电动机转速为多少?