

第一章

传感器与测控电路基础

第一节 传感器与测控电路的基本概念

一、测控技术的定义

测控技术是以研究自动检测系统中的信息提取、信息转换以及信息处理的理论和技术为主要内容的一门应用技术学科。

测控技术属于信息科学的范畴，与计算机技术、自动控制技术和通信技术构成完整的信息技术学科。测量是指以确定被测对象属性量值为目的的全部操作。测试是具有试验性质的测量，或者可以理解为测量和试验的综合。

检测就是借助专门的技术工具确定被测对象的量值而进行的实验过程。在这个过程中常借助专门的设备，通过实验和计算把被测对象直接或间接地与同类已知单位进行比较，用数值和单位共同表示被测对象的量值的过程。检测是揭示客观世界规律的手段。广义地说，任何科学实验的结论，都是对实验数据统计推断的结果，而数据的取得，只有靠检测来完成。

广义地讲，测控技术是自动化技术四个支柱之一，从信息科学角度考察，测控技术任务为：寻找与自然信息具有对应关系的种种表现形式的信号，以及确定二者间的定性、定量关系；从反映某一信息的多种信号表现中挑选出在所处条件下最为适宜的表现形式，以及寻求最佳的采集、变换、处理、传输、存储、显示等的方法和相应的设备。

信息采集是指从自然界诸多被测量如物理量、化学量、生物量与社会量等中提取有用的信息。

信息变换是将所提取出的有用信息进行电量形式的幅值、功率等的转换。

信息处理的任务，视输出环节的需要，可将变换后的电信号进行数字运算如求均值、极值等、模拟量/数字量之间变换等处理。

信息传输的任务是在排除干扰的情况下经济地、准确无误地把信息进行远、近距离的传递。

虽然测控技术服务的领域非常广泛，但是从这门课程的研究内容来看，不外乎是传感器技术、误差理论、测试计量技术、抗干扰技术以及电量间互相转换的技术等。提高自动测控系统的检测分辨率、精度、稳定性和可靠性是本门技术的研究课题和方向。

自动测控系统是自动测量、自动计量、自动保护、自动诊断、自动信号处理等诸系统的总称，其组成如图 1-1 所示。在以上诸系统中，都包含被测量、敏感元件、电子测量电路和

输出单元，它们之间的区别仅在于输出单元。如果输出单元是显示器或记录器，则该系统称为自动测量系统；如果输出单元是计数器或累加器，则该系统称为自动计量系统；如果输出单元是报警器，则该系统是自动保护系统或自动诊断系统；如果输出单元是处理电路，则该系统是部分数据分析系统、自动管理系统或自动控制系统。



图 1-1 自动测控系统框图

二、测控与转换系统的结构

检测的目的是在限定的时间内，尽可能正确地收集被测对象的有关信息，以便获取被测对象的参数，从而管理和控制生产。检测是生产过程控制中最重要的一环，生产过程中，不能没有检测与控制系统。

检测系统包括测量系统、控制系统和测控系统三种类型。检测系统不仅仅用于工业领域，也广泛地应用于科学实验、地质勘探、交通和医疗健康等国民经济各个领域以及人们的日常生活中。测量就是把被测对象中的某种信息检测出来并加以度量，是人类感觉器官的延伸，控制系统则是人类肢体的延伸；测控就是通过专门的装置把被测系统所存在的某种信息激发出来并加以测量与控制。所以，测控系统拓展了人们认识和改造自然的能力。

人们在认识和改造自然界的过程中，需从各个方面，采用各种方法观察和研究事物的发展过程和规律，不可避免地要采用测量手段研究事物在数量上的信息。被测对象可分为电量和非电量。显然，相对于电量而言，非电量在种类和数量上都多而复杂。在许多领域需要测量的是非电量，如机械量、热学量、化学量、光学量、声学量和放射量等。这些非电量都可以用非电的方法测量。但非电方法的测量优越性远不如电测法，特别是在微电子技术和计算机技术飞速发展的今天，电测法更具有突出的优势。

- ① 具有极宽的测量范围。采取电子技术，可以很方便地改变仪器的灵敏度和测量范围。
- ② 电子测量仪器具有极小的惯性。既能测量变化缓慢的量，又可测量快速变化的量。
- ③ 可以很方便地实现遥测。
- ④ 便于对信号进行各种运算、处理、显示和记录。

图 1-2 所示为一般的测控系统的构成原理框图。

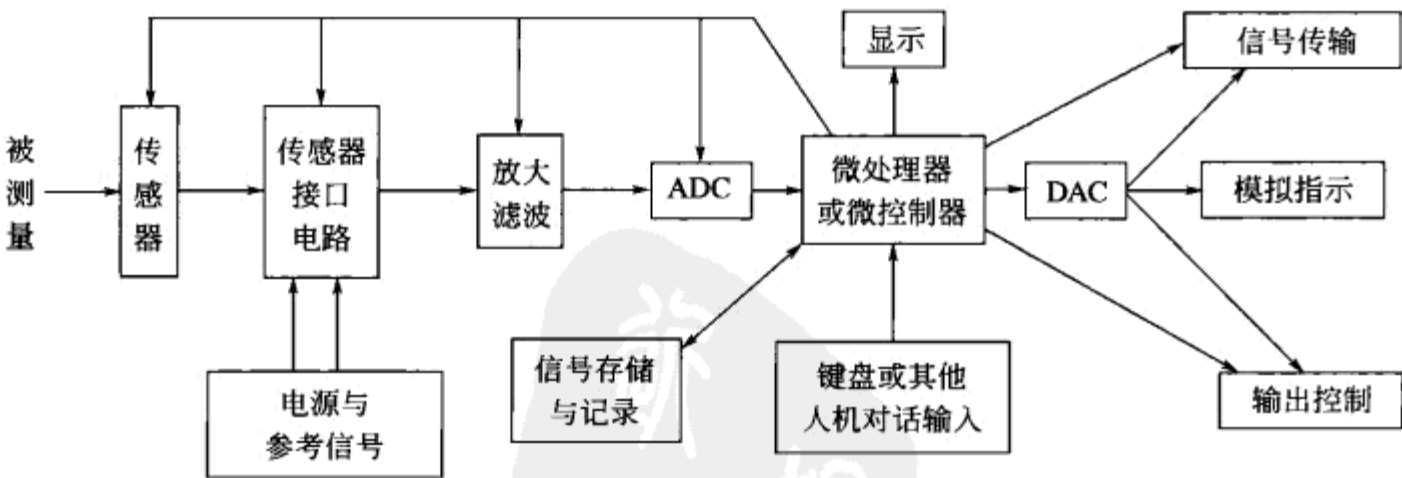


图 1-2 测控系统的一般结构

为实现非电量的电测量，首先要实现从非电量到电量的变换，这一变换是靠传感器来实现的。传感器接口电路是为了与传感器配合，将传感器输出信号转换成低输出阻抗的电压信号以方便后续电路的处理。通常信号都需要进一步放大并滤除噪声。放大后的信号经模拟/

数字变换后得到数字信号,以便于微处理器(micro processor)或微控制器(micro controller)处理。微处理器或微控制器是检测系统的核心,它主要有两个作用:一是对数字信号进行进一步处理并将信号输出显示、存储和控制;二是管理检测系统的各个部分以实现检测系统的智能化,即根据信号和测量条件的变化,自动地改变放大器的增益、滤波器的参数及其他的电路参数。

在选用合适的传感器之后,就要设计传感器的接口电路。从电子技术的角度来看,不同的传感器具有不同的电特性和需要不同的驱动信号(有的传感器不需要驱动信号),为取得更高的精度和最佳的性能,需要设计传感器接口电路。

由传感器接口电路输出的信号往往幅值较低,因此需要将信号进一步放大,放大到后续电路所需要的幅值。

在信号的检测过程中,必然夹杂着许多噪声和存在各式各样的干扰,滤除噪声和抑制干扰是测控系统中必不可少的环节。模拟滤波器是滤除噪声的有效手段。

信号变换也是测控系统中经常要用到的电路。

广义的信号处理包括信号放大、信号滤波和信号比较等内容。从另一个角度来看,信号处理又分为线性处理和非线性处理。信号线性处理主要包括信号线性放大和信号滤波等内容;信号非线性处理则主要包括信号比较和信号非线性放大等内容。

现代测控系统通常使用微处理器或微控制器作为系统的核心,但微处理器和微控制器只能处理数字信号,因而在测控系统中,往往需要把模拟信号转换成数字信号。完成把模拟信号转换成数字信号的电路称为模拟/数字变换器(analog to digital converter),或简称模数变换器(ADC)。

关于微处理器或微控制器的内容很多,可通过专门的课程学习。现代测控系统中的信号存储和记录已很少采用传统盒式磁带和描笔式记录仪,现在已普遍采用半导体存储器、磁盘和光盘来存储信号,采用打印机来记录信号。这部分内容很多,限于学时和篇幅,这些内容不在本书中介绍。

经微处理器处理的信号,可以输出显示或控制执行机构。往往有些显示或输出需要模拟信号,把数字信号转换成模拟信号的电路称为数字/模拟变换器(digital to analog converter),或简称数模变换器(DAC)。

测量系统的主要目的是把所测量和处理的结果显示出来。

一般来说,测控系统放大、处理信号和微处理器输出的控制信号,或数模变换器的输出信号往往是小功率的信号,而所控制的对象又往往需要较大功率的驱动信号。实现这一功能的电路称为功率驱动电路。

三、测控与转换技术的任务

客观世界的一切物质都以不同形式在不断地运动着。运动着的物质是以一定的能量或状态表现出来的,这就是信号。人们为了认识物质世界,就必须寻找表征物质运动的各种信号以及信号与物质运动的关系。

测控的基本任务是获取有用的信息,通常包含测量、计量、计算、检验、判断等多层含义,具有比单纯的测量更为丰富的内容,故测试的范畴如下。

① 过程中参数测量功能:将被测量与标准量进行比较,以获得被测对象的数值结果。

② 过程中参数监测控制功能:将被测量与设定值进行比较,以获得被测对象在性能、参数、质量、功能等方面的评价。这种评价常采用通过/不通过、合格/不合格、正常/不正

常、好/坏等定性指标来表示或采用分成若干等级的分类值来表示。

③ 测量数据分析处理功能：对测试数据进行各种处理，根据测试要求不同，处理结果可形成各种信息，也可去执行各种操作。

众所周知，测控技术早已渗透到人类的生产活动、科学研究、工程实践和日常生活的各个方面。在生产活动中广泛应用测试技术，如计时、产品交换、气候和季节的变化规律、生产过程中产品质量的控制、节能和生产过程的自动化等。这些都要测量生产过程中的有关参数并进行反馈控制，以保证生产过程中的这些参数处于最佳最优状态。

在工业生产领域内，广泛地应用测控技术，如生产过程中产品质量的检测、产品质量的控制、提高生产的经济效益、节能和生产过程的自动化等。

在科学研究领域内，人们通过观察、试验并用已有的知识和经验，对试验结果进行分析、对比、概括、推理。通过不断观察、试验，从而找出新的规律，再上升为理论。因而能否通过观察试验得到结果，而且是可靠的结果，取决于检测技术的水平，所以，从这个意义上讲，科学的发展、突破是以检测技术的水平为基础的。例如，人们在光学显微镜出现以前，只能用肉眼来分辨物质。而自从出现了光学显微镜，人们能借助显微镜观察细胞，从而大大推动了生物科学的发展。而到 20 世纪 30 年代，出现了电子显微镜，又使人们的观察能力进入微观世界，这又推动了生物科学、电子科学和材料科学的发展。当然，科学技术的发展又反过来促进检测技术的发展。

检测通常包括两个过程：一是能量形式的一次或多次转换过程；二是将被测变量与其相应的测量单位进行比较。前者一般包括检测用敏感元件、变换器、信号传输等部分；后者一般包括信号处理、测量电路及显示装置等部分。检测元件一般将被测信息转换成电信号，也就是把被测信号转换成电压、电流或电路参数（电阻、电感、电容）等电信号输出；再利用变换器、信号传输和信号处理等部分，把信号转换成传输方便、功率较大，可以传输、存储、记录，并具有驱动能力的电压。信号的显示和记录由显示器、指示器和记录仪完成，信号的处理和分析用数据分析仪、频谱分析仪、计算机等完成。通过对信号的处理和分析，找出被测信息的规律，从而为研究和鉴定工作提供有效依据，为控制提供有用信号。

人们在日常生活中，已愈来愈离不开测控技术。例如现代化起居室中的温度、湿度、亮度、空气新鲜度、防火、防盗和防尘等的测试、控制，以及由有视觉、听觉、嗅觉、触觉和味觉等感觉器官，并有思维能力的机器人来参与各种家庭事务管理和劳动等，都需要各种测控技术。尤其是自动化生产出现以后，要求生产过程参数的检测能自动进行。这时就产生了自动测控系统。

科学的发展突破是以测试技术的水平为基础的，同时科学技术的发展又促进测试技术发展。测试技术属于信息科学范畴，是信息技术三大支柱即测试控制技术、计算机技术和通信技术之一。

科学技术与生产水平的高度发达，要求有更先进的测试技术与仪器作基础。据统计：大型发电机组需要 3000 只传感器及其配套监测仪表；大型石油化工厂需要 6000 只传感器及其配套监测仪表；一个钢铁厂需要 20000 只传感器及其配套监测仪表；一个电站需要 5000 只传感器及其配套监测仪表；一架飞机需要 3600 只传感器及其配套监测仪表；一辆汽车需要 30~100 只传感器及其配套监测仪表。

在各种现代装备系统的设计和制造工作中，检测工作已占首位。测控系统的成本已达到该装备系统总成本的 50%~70%，它是保证现代工程装备系统实际性能指标和正常工作的重要手段，是其先进性能及实用水平的重要标志。以电厂为例，为了实现安全高效供电，电

厂除了实时监测电网电压、电流、功率因数、频率、谐波分量等电气量外，还要实时监测电机各部位振动的振幅、速度、加速度以及压力、温度、流量、液位等多种非电气量，并实时分析处理、判断决策、调节控制，以使系统处于最佳工作状态。为了对以上部件进行精密机械加工，需要在加工过程中对各种参数，如位移量、角度、圆度、孔径等直接相关量以及振动、温度、刀具磨损等间接相关参量进行实时监测，并由计算机进行分析处理，然后由计算机实时地对执行机构给出进刀量、进刀速度等控制调节指令，才能保证预期高质量要求，否则得到的将是次品或废品。

四、测控技术的发展方向

随着科学技术的进步，测控技术正在迅速地发展，现代测控技术将向着高可靠性、高智能化方向发展。反过来测控技术的发展又进一步促进科学技术的进步。人类的信息化时代必将为智能测试提供更为广阔的应用前景。现从如下几个方面介绍测控技术的发展。

（一）测控理论方面

随着科学技术的发展，生产规模的扩大和强度的提高，对于生产控制与管理的要求也越来越高，因而需要收集生产过程中信息的种类也越来越多，这就对参数检测提出了更高要求。参数的检测理论和方法与物理、化学、电子学、材料、信息等学科密切相关，随着这些学科的发展，测控技术现已有很大发展。在现代科技领域，出现了许多新的测控技术。它们往往是利用各种不同波长的电磁波的特性来实现检测工作。例如，用核辐射、激光、红外、微波、超声波等进行检测。这些检测技术从广义上来说也是一种传感技术，因为它们也是将待测参量经过某种电磁波或声波的中介作用和一系列转换，最后变为电量而指示出被测参量值。这与普通传感器的作用相同，只是不再像普通传感器那样是单个的器件而是由若干个起不同作用的器件集合组成。这些传感测控技术现已获得越来越多的应用，特别是在一些环境恶劣、高温、高压、高速度和远距离等的场合下，它们更具优越性。

（二）测控领域采用新型信息处理方法

近年来，新型信息处理技术，如数据融合技术、模糊信息处理技术和神经网络技术等，在现代测控系统中得到了有效应用。例如，热处理炉温自动测试系统采用多传感器进行数据融合处理，可以提高温度测量的可靠性与准确性，从而提高热处理产品的质量和生产效益。数据融合技术、模糊信息处理技术和神经网络技术等新型信息处理技术的发展方兴未艾，随着新型信息处理技术的发展，现代测试系统的信息处理方法必将有根本的改变。

工业生产和科学技术的发展使新的测控领域、新的测控对象和新的测控要求不断出现。如过程工业的不断发展，生产过程中的参数检测已逐渐地由对表征生产过程的间接参数，如温度、压力、流量、物位的检测转向对表征生产过程本质的物性、成分、能量等参数的检测；对于装置的检测，已逐渐由单参数发展到多参数的综合检测；参数的显示已逐渐地由模拟式变为数字式或图像显示等。

（三）测量工具和方法的更新

随着新的测量领域的出现，新的测控方法和测量工具也随之出现。如利用激光脉冲原理测量远距离，可以大大提高精度。计算机技术和微电子技术的发展，使得测控技术和仪器仪表得到了飞速发展。仪器仪表向智能化、数字化、小型化、网络化、多功能化方向发展。近年来，由于仪器与计算机技术的深层次结合产生了全新的仪器结构概念。微型、智能、集成

传感器的迅速开发,使仪器仪表的面貌发生了很大的变化。从虚拟仪器、卡式仪器、VXI总线仪器……直至集成仪器概念。一般来说,将数据采集卡插入计算机空槽中,利用软件在屏幕上生成虚拟面板,在软件引导下进行信号采集、运算、分析和处理,实现仪器功能并完成测试的全过程,这就是虚拟仪器。在此同一平台上,调用不同的测试软件就可构成不同功能的虚拟仪器,故可方便地将多种测试功能集于一体,实现多功能集成仪器。测控技术中数据处理能力和在线检测、实时分析的能力大大增强,仪器仪表的功能得以进一步扩大,精度及可靠性有了很大的提高。这种发展的总趋势,今后将变得更快更深更广。

(四) 采用高智能化软件

在测试平台上,调用不同的测试软件就构成不同功能的仪器,因此软件在系统中占有十分重要的地位。在大规模集成电路迅速发展的今天,系统的硬件越来越简化,软件越来越复杂;集成电路器件的价格逐年大幅下降,而软件成本费用则大幅上升。测试软件不论对大的测试系统还是单台仪器子系统来讲都是十分重要的,而且是未来发展和竞争的焦点。信号分析与处理要求取的特征值,如峰值、真有效值、均值、均方值、方差、标准差等,若用硬件电路来获取,其电路是极为复杂的,若要获得多个特征值,电路系统则很庞大;而另一些数据特征值,如相关函数、频谱、概率密度函数等则是不可能用一般硬件电路来获取的,即使是具有微处理器的智能化仪器,如频谱分析仪、传递函数分析仪等(其价格极其昂贵)。而在测试平台上,信号数据特征的定义式用软件编程很容易实现,从而使得那些昂贵的分析仪器才具有的信号分析与测量功能得以在一般工程测量中实现,使得信号分析与处理技术能够广泛深入地为工程实践服务。

软件技术对于现代测试系统的重要性,表明计算机技术在现代测试系统中的重要地位。但不能认为,掌握了计算机技术就等于掌握了测试技术。这是因为:其一,计算机软件永远不可能全部取代测试系统的硬件;其二,不懂得测试系统的基本原理不可能正确地组建测试系统,不可能正确应用计算机。一个专门的程序设计者,可以熟练而又巧妙地编制科学算题的程序,但若不懂测试技术则根本无法编制测试程序。因此,现代测试技术要求测试人员既要熟练掌握计算机应用技术,更要深入掌握测试技术的基本理论和测试方法。

(五) 网络化

网络技术的普及与发展,为测试技术带来了前所未有的发展空间和机遇,将现代测试系统与网络相连接,不仅能实现对测试系统的远程操作与控制,而且可以把测试结果通过网络显示在世界各地的WEB浏览器中,以便实现测试系统资源和数据的共享。

(六) 通用化与标准化

为便于获取和传输信息,实现系统更改与升级,现代测试系统的通用化、标准化设计十分重要。目前的接口与总线系统较多,随着智能测试技术的不断发展,有望制定全世界通用的几种统一接口与总线系统标准,或者制定几种互相兼容的接口与总线系统标准,以便于系统的组建、更改、升级和连接。由于采用通用化、标准化设计,现代测试仪器将易于实现分散使用与大范围联网使用。当不需要使用整个测控系统工作,而仅仅需要进行某个观测目标的单一检测时,可令系统中的某个智能部件单独工作;当观测目标多、信息量较大时,则可将许许多多的智能部件连接成大型智能测试系统,也可将多个智能测试系统联网,组成巨型智能测试网络。现代测试仪器还可以与其他非检测性网络连接,获得其他系统的信息,为其他系统提供现代测试仪器的观测、估计、判断与决策结果。