



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
工程训练系列教材

工业系统的驱动、 测量、建模与控制

(下册)

■ 王孙安 任华 栗茂林 王娜 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
工程训练系列教材

工业系统的驱动、测量、 建模与控制

(下 册)

王孙安 任华 栗茂林 王娜 编著



机械工业出版社

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。下册是工业系统建模与控制的基本内容，主要有：工业计算机，计算机的开关量和模拟量通道，工业系统特性测试，工业系统解析建模、分析和物理仿真，数字PID控制及其几种改进，基于数字PID控制的三相异步电动机转速控制，基于模糊规则的温度系统简单智能控制。书中训练内容有通用设备、器材和自制装置配合使用。

本书是中、低年级理工科本科生的工程训练教材，也可供高等职业技术学院学生和企业员工培训使用，还可供工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

工业系统的驱动、测量、建模与控制. 下册/王孙安等编著. —北京: 机械工业出版社, 2008. 2

普通高等教育“十一五”国家级规划教材. 工程训练系列教材

ISBN 978-7-111-23307-7

I. 工… II. 王… III. 工业-系统-高等学校-教材 IV. TB1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 005129 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 王保家 责任编辑: 于苏华 责任校对: 王 纬

封面设计: 张 静 责任印制: 杨 曦

北京机工印刷厂印刷 (兴文装订厂装订)

2008 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·10.5 印张·257 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-23307-7

定价: 18.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

销售服务热线电话: (010) 68326294

购书热线电话: (010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话: (010) 88379727

封面无防伪标均为盗版

前言

工业革命以后,采掘、冶炼、制造和建筑一直是工业的支柱,工程活动主要是支配物质和能量。20 世纪后半叶,工业的前沿由电子工业引领,开始以工程的手段大规模处理和利用信息。近些年来,支配能量和物质的技术与利用信息的技术结合起来,形成了机械电子工程。20 世纪后半叶以来,无论是制造过程、产品开发还是系统运行,大量的技术进步是由机械与电子的一体化带来的。在制造过程中,主要表现为数字化制造技术和信息化生产管理技术;在工业产品设计开发中,主要表现为机电一体化。

在未来的产业中,信息将起到越来越重要的作用,机电高度融合仍是技术进步的重要趋势。未来的工程科技人员不仅要能认识工业系统的物质和能量,还应能利用信息控制物质和能量。无论从事工业系统研发、制造还是运行、诊断,科技人员的知识结构必须跨机电两大领域,不仅要掌握相关的理论、技术,还要能在系统中应用相关的元器件和设备。

这些能力和知识难以纳入传统课程体系中。近年来,我们尝试了通过工程训练体系传授这些能力和知识。依托自制装置和外购设备,将机、电两大技术领域的基础知识和基本技能整合在工业系统和现代加工的应用框架内,形成了以下工程训练系列教材:

- 1) 《工业系统的驱动、测量、建模与控制》(上册)
- 2) 《工业系统的驱动、测量、建模与控制》(下册)
- 3) 《机械电子工程原理》
- 4) 《现代加工基础》

《工业系统的驱动、测量、建模与控制》为一、二年级理工科本科生的工程训练而编写。下册的主要内容是现代工业系统建模与控制的基础知识。

当代工业系统中,越来越多地采用计算机或各种微处理器作控制器。工业控制微型计算机(简称工控机)有丰富的硬件、软件资源和多种外部设备。要在工程中快捷地构建控制系统,必须了解工控机的特点。采用计算机作控制器,必须将信号送入、送出计算机,这就需要输入输出通道。用计算机实现工业系统控制,应掌握各种数据通道构建和编程的初步能力。

对象的静态特性和动态特性是施加控制的重要依据。有些工业对象的静态和动态特性需要通过专门的测试来获得。通过对电动机和温度系统这两个对象进行的静态特性和动态特性测试,可以初步掌握特性测试和数据分析的基本方法。有些工业对象可以用解析法建立模型。一、二阶线性定常系统是最简单的系统,一、二阶线性常系数微分方程是最简单的动力学解析模型,有关知识是学习高阶、非线性或时变系统的基础知识。往往有一些不同系统的模型相似,模型相似的系统有相似的行为,这就使得仿真成为可选的研究方法之一。

PID 控制是应用最广泛的一种控制策略,基于计算机的数字 PID 控制具有灵活、简便的特点。初学 PID 控制时,用调试法来学习参数整定是个有益的学习方法。电动机转速控制和温箱温度控制是常见的典型系统。读者可以在三相异步电动机转速控制系统上学习 PID 控制,在温箱温度控制系统上学习一种基于模糊规则的简单智能控制。



目 录

前言

第 19 章 工业系统建模与控制概述 1

- 19.1 工业系统的一般性质 1
- 19.2 工业系统的模型 2
- 19.3 工业系统的控制 4
- 19.4 阅读材料 7

第 20 章 工业计算机及数据通道

简介 9

- 20.1 计算机的基本组成 9
- 20.2 微型计算机的基本结构 10
- 20.3 微处理器 10
- 20.4 存储器 10
- 20.5 外部设备 12
- 20.6 接口 12
- 20.7 总线 15
- 20.8 工业计算机 16
- 20.9 计算机数据通道 19
- 20.10 阅读材料 22

第 21 章 开关量通道与顺序控制 25

- 21.1 “采集卡 + 端子板”构成的开关量通道 25
- 21.2 顺序控制 30
- 21.3 训练内容 32
- 21.4 阅读材料 36

第 22 章 模拟量通道与信号离散化

原理 38

- 22.1 模拟量输入通道 38
- 22.2 模拟量输出通道 45
- 22.3 信号离散化原理 46
- 22.4 训练内容 1——AI 通道和 AO 通道程序设计 49
- 22.5 训练内容 2——信号离散化原理 52
- 22.6 阅读材料 54

第 23 章 工业系统静态、动态特性

测试——电动机转速系统 60

- 23.1 工业系统的输入输出特性 60

- 23.2 工业系统的静态特性 60

- 23.3 工业系统的动态特性 63

- 23.4 训练内容 64

- 23.5 阅读材料 70

第 24 章 工业系统静态、动态特性

测试——温度系统 72

- 24.1 温度系统的特殊问题 72

- 24.2 训练内容 73

- 24.3 阅读材料 76

第 25 章 工业系统的解析建模与

仿真 77

- 25.1 线性定常系统的解析建模 77

- 25.2 一、二阶线性定常系统的解析建模 77

- 25.3 一、二阶线性常系数齐次微分方程的典型形式 81

- 25.4 一、二阶线性定常系统的单位阶跃响应 82

- 25.5 系统的物理仿真 84

- 25.6 训练内容 85

- 25.7 阅读材料 87

第 26 章 工业系统的 PID 控制 89

- 26.1 开环控制系统与闭环控制系统 89

- 26.2 PID 控制 91

- 26.3 PID 控制参数整定 94

- 26.4 PID 控制的改进 95

- 26.5 训练内容 97

- 26.6 阅读材料 101

第 27 章 三相异步电动机转速控制

系统 102

- 27.1 交流异步电动机的特性 102

- 27.2 交流异步电动机的调速 105

- 27.3 训练内容 105

- 27.4 阅读材料 107

第 28 章 温度控制系统及简单智能

控制 110

VI



第 19 章 工业系统建模与控制概述

19.1 工业系统的一般性质

在本书上册中,我们已经知道,工业系统是若干个部分组成的整体,具有设计规定的结构,在规定的环境中运行时,具有预定的功能,系统整体功能是它的任何组成部分单独所不具备的。工业系统是人造的系统,在设计、建造、运行工业系统时,总是力图使工业系统的行为符合特定的预期。

一个工业系统的结构可以划分成若干层次。一个大系统是由若干台设备构成的,每一台设备都可以看作一个系统,设备是由元件、器件、零件、部件、构件、模块、总成等单元装配成的。元件、器件、零件、构件等是最小的制造单位,它们的参数由设计决定,由特定的材料以特定的工艺制造而成,它们之间具有特定的关联和作用。

工业系统可以按照功能单元划分成子系统。例如,电源单元是很多工业系统中都有的子系统;测量系统是很多工业系统都有的一个子系统,由传感器、信号调理电路和传输导线等组成;发动机是车辆、船舶或飞行器的一个子系统,而发动机有燃油供应系统和点火控制系统等子系统;生物、化工生产等过程中有反应器,往往还有供热、供气、供料等子系统;汽车生产线上有工业机器人、自动物流车和数控机床等子系统;高炉和轧机是钢铁联合生产线的子系统。

工业系统一般都有输入端和输出端。物质、能量和信息从输入端进入,在输出端获得人们需要的物质、能量和信息,也可能得到不需要的物质、能量或信息。

工业系统中,信息的形式是各种可用信号,信息表达的内容是系统中各种量值。要使工业系统按照我们的意图实现物质、能量和信息传送或变换,就要对系统施加监测和控制。为此,我们不但要能支配系统中的物质和能量,更要能够利用系统中的信息。当代工业系统中,信息的作用越来越重要。

工业系统受到环境的影响。有些环境因素能直接造成系统偏离预期的工作状态,称为扰动或干扰。譬如,强风可使天线的定位发生偏离,气流变化对于飞行器的飞行形成扰动,系统内外的传热造成系统内的温度波动,负载变动会影响发动机的转速。有的环境因素可能造成系统功能障碍,直至瘫痪或崩溃。比如,外界电磁场、电磁波、各种射线、电源波动、电力网中的有害信号可使某些敏感元器件不能正常工作或误动作,高温或低温可使某些材料性能改变而引起元器件参数漂移,潮湿可能使系统内发生电火花或表面漏电,雷电可能击毁系统,磁暴可使太空飞行器通信中断,核辐射可导致某些电子设备无法工作,过大的应力也可造成构件疲劳甚至断裂。

一个工业系统也对环境有输出作用。例如,向环境放出各种气态、液态或固态的有害排放物,放出热量、强光、电磁辐射、放射性辐射,向电力网输出电噪声,振动或冲击发出机械振动和噪声,产生的静电荷积累造成放电。有的工业系统运行中大量消耗矿物燃料、水资源、电力。



工业系统通常分为两类，一类称为“装置”，另一类称为“过程”。为便于一般表述，把被控制的装置和过程统称为“对象”。装置是由一些零件、部件或机器组合在一起的，能够完成特定的动作，典型例子有各种原动机、车辆、船舶、飞行器、机床、机器人。过程指的是连续的物理、化学或生物化学反应过程，这些过程通常在一定温度、压力、pH 值等条件下进行，在物质和能量转换、传递的同时还可能伴随着相变，例如各种冶炼、化工、石油化工、制药、核工业、电力等工业中的过程，机械工业中的金属热处理也是过程的例子。

19.2 工业系统的模型

19.2.1 工业系统的描述方法

1. 工业系统的状态信息

工业系统运行中会发生一些事件。比如，某一个部件移动到指定位置；液位达到规定高度；油箱中燃油少于一定量；炉温达到预定的温度。又如，操作者按下了某一个按钮，引起开关的通、断，使电动机起动、停止，或导致某一信号的有、无变化，或导致信号电平的高、低变化。如果用变量表示这些事件，变量只取两个值。

工业系统运行中，还会产生各种物理量。比如，在含有运动装置的对象中会产生力/力矩、位移/角位移、速度/角速度、加速度/角加速度的连续变化；在过程中会产生压力、流量、液位、温度、湿度等量值的连续变化。这些量在连续时段发生，且量值在一个确定范围内连续。

上述各种量表达系统的状态信息。能够完全描述一个系统的全部独立变量的集合称为该系统的状态变量集，状态变量的变化反映着系统的行为。输入量、输出量常是最重要的状态变量。

为了对工业系统进行监测和控制，必须实时获取系统的状态信息。状态变量通常是由测量系统获取的。测量系统包括传感器、信号调理电路等环节。传感器把被监测的事件和量转换成可用信号，大多数系统中的可用信号是电信号。信号调理电路把可用信号初步加工成便于向控制器传送或向显示器传送的形式。

2. 状态变量的几种类型

工业系统的状态变量有以下几种类型。

(1) 二值型变量 是表示系统“动、不动”、“有、无”、“到达、未到达”等事件的量，如液位是否达到规定高度，工件是否移动到限定位置，阀门开、闭，指示灯亮、熄，发动机转动、停止，继电器吸合、释放。可以把二值型变量的一个值记为“0”，另一个值记为“1”。工程中采用二值型的状态变量，意味着不关心两个状态之间实际可能存在的过渡时间和数值，认为量值是在某些时点上从“0”变为“1”或相反。工程中，二值型变量也称为开关量。

(2) 等级型变量 是表示系统“动了多少”、“有多少”的量，量值可以分为若干个确定的等级。如家用电风扇、普通汽车或机床的主轴转速，常分为若干档。

(3) 模糊语言变量 简称语言变量，也是表示系统“动了多少”、“有多少”的量，也可以有若干个等级，但是没有清晰的等级值，或等级之间没有清晰的界限。工程实际中，有



的量没有确切的值,有的量难以划分出变量的确切等级界限,或不关心等级的确切界限。这类场合中,变量值具有模糊性,适于用模糊语言变量加以表达。如温度“很高、较高、不高、较低、很低”,偏差“很大、较大、不大、很小”,偏差变化“很快、较快、不快、较慢、很慢”,扰动“很强、较强、不强、较弱、很弱”。模糊语言描述的变量本质上是连续的。模糊控制是重要的智能控制领域,用模糊语言变量描述系统是模糊控制的首要工作。

(4) 连续型变量 也是表示系统“动了多少”、“有多少”的量,但能够用某个实数区间上的连续数值表示,如力、转矩、转速、位置、倾角、温度、压力、液位。采用连续型的状态变量,意味着要关心状态变化的全部过程中每一时刻的状态,并且认为转换是在一个连续时段上发生的,量值也连续地变化,没有跳跃间断。工程中,连续型变量也称为模拟量。

工程中,可以按需要采用上述不同类型的状态变量。在有的系统中,把某个连续型变量的量值设置成若干等级或划分若干段,或者把某个连续型变量模糊化,甚至把一个连续型变量简化成一个二值型变量。有时,二值型变量过于粗糙,需要在两个极端值之间设置若干值或划分若干段,如果对某个量进行连续调节,就必须采用连续型变量。

19.2.2 工业系统的数学模型

1. 数学模型的一般形式

要描述一个工业系统的行为,不仅要选取系统中适当的状态变量,还要描述各个状态变量之间的关系,比如描述每一个状态变量如何受其它量的影响,常常特别关注输出量如何受输入量的影响。见图 19-1,一般把原因变量集记为 x ,把结果变量集记为 y ,原因 x 对结果 y 的作用可以表示为原因集 x 到结果集 y 的映射。

$$y = G(x)$$

映射 $G(\cdot)$ 称为系统的数学模型,简称模型。建立因果映射 $G(\cdot)$ 的工作就是数学建模,简称建模。工业系统建模时,常把输入量的集合作为原因集,把输出量的集合作为结果集。

2. 不同类型的变量与不同类型的模型

采用不同类型的状态变量,决定了要采用不同类型的数学模型来描述系统行为。

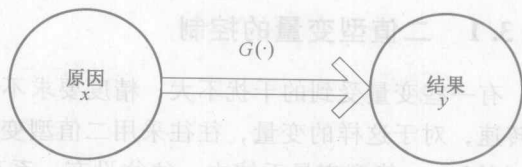


图 19-1 系统因果关系的映射

1) 二值型变量可以用布尔变量表示,布尔变量的取值是集合 $\{0, 1\}$ 中的元素,它们之间的运算关系可以用布尔逻辑表示,例如:

“若水箱水位低于下限,则起动注水泵;若水箱水位达到上限,则停止注水泵;若水箱水位低于下限,则停止放水泵;若水箱水位高于下限并且低于上限,允许起动放水泵。”
“若按钮 A 按下并且按钮 B 按下,则启动点火发射程序,否则不启动点火发射程序。”

2) 如果采用等级型变量,可以用一组规则描述系统行为,例如:
“若转速开关置于‘高速’位置,则电动机以转速 3 000 r/min 运转;若转速开关置于‘中速’位置,则电动机以转速 1 500 r/min 运转;若转速开关置于‘低速’位置,则电动机以转速 1 000 r/min 运转。”

3) 如果采用模糊语言变量,系统行为要用模糊规则来描述,例如:
“若环境温度很高,而且输入热量很大,则系统温度很快升高;若环境温度较高,而且



输入热量较小,则系统温度可保持;若环境温度很低,而且输入热量很小,则系统温度很快下降;若环境温度较低,而且输入热量较大,则系统温度可保持。”

4) 对于连续型变量的工业系统,常可以用解析模型。输入输出关系曲线、函数式、函数方程和微分方程是描述系统行为最常用的解析模型。工程中,常按照解析模型的类型对连续型变量系统作相应的分类,如方程的阶次、线性或非线性、参数时变或参数时不变。

3. 连续型变量工业系统的建模方法

有些对象的内部结构和机理不明,或者内部结构和机理很繁复,难以写出原因-结果映射的解析形式。工程中,对于这类对象,往往进行一系列实际的输入输出测试,用实际测试获得的数据、曲线和波形表示它的输入输出关系,这种方法称为实验法。输入输出关系也称为外部特性,输入输出测试也称为外部特性测试。

要建立对象的模型,必须了解对象的内部结构、机理和参数,需要用到适用于对象的物理学、化学、生物学等学科的定律,这种方法称为解析法,所得的模型称为解析模型。解析法建模可以表示系统的输入输出关系,也可以表示系统内各变量之间的关系。如果模型是用方程表示的,还需要在一定条件下求解方程。

工业控制系统的品质用一些性能指标表示,而最基本的静态和动态性能指标分别是在静态特性曲线和动态响应波形上定义的。利用解析模型,不仅可以计算出各项指标值,还可以把系统指标与元器件参数联系起来;在测试获得的静态特性曲线、动态响应波形上,可以获得各项指标的实测值。

值得指出,测试方法和数据质量、解析建模方法和模型准确性都对控制系统的性能有重大影响。

19.3 工业系统的控制

19.3.1 二值型变量的控制

有一些变量受到的干扰不大,精度要求不高,比如一般工业现场照明灯的亮度、排风扇的转速,对于这样的变量,往往采用二值型变量处理。对二值型变量的控制命令只有“开”或“关”。二值型变量系统中,往往设有一系列预定的操作,这些操作有预设的顺序。这种系统的控制就是使系统按照预定的操作顺序完成一系列“开”或“关”的操作。

例如,家用全自动洗衣机的工作顺序一般是:按电源开关→注水→浸泡→洗涤→漂洗→脱水→蜂鸣器鸣响报告结束→断电,可以预设水位高度、浸泡时间、洗涤强度、洗涤时间、漂洗次数、脱水时间等,洗涤和漂洗中电动机要定时交替改变运转方向,工作中允许人工按按钮暂停、继续或取消,当缺水时应停止一切操作并鸣响蜂鸣器报警。

有些动作要在满足一定条件才发生,例如:冷冻室温度高于预定值时起动制冷机;水箱水位下降到设定高度时关闭放水阀并起动注水泵电动机;工件移动到限定位置时使拖动工作台的电动机反方向转动;在控制面板上将电源开关接通且按下起动按钮,发动机点火电路开始工作。有些动作要等待一段时间才发生,例如:天色暗并且有人走近时门廊照明灯自动亮,数分钟后自动熄灭;洗衣机漂洗中,电动机正转 2min 后反转 2min; 20min 无任何面板操作则启动蜂鸣器鸣响提示程序。



二值型变量检测常用的传感器有行程开关、接近开关、温度开关、液位开关、压力开关等，常用的控制器有逻辑电路、开关电路、时间继电器、继电器等。在规模较大的工业系统中，工序多，设备多，二值型变量检测点多，操作序列长，逻辑关系和时间关系繁复，有的系统还可能经常需要改变操作序列，因而经常需要改变逻辑关系和时间关系。如果用上述控制器，需要的器件数量很大，系统过于繁复，而且难以更改，则需要用计算机、可编程序控制器等承担控制器的任务。

19.3.2 连续型变量的控制

如果要对某个状态变量的数值进行控制，需要知道这个变量每一时刻的数值，并且要能够连续地改变这个量，就必须采用连续型变量。比如，车床主轴转速控制在 (3000 ± 1) r/min；炉温每分钟上升 5°C 而后保持在 $(120 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ ；雷达要跟踪飞行器的方位。连续型变量有开环控制和闭环控制两种方式。

1. 开环控制

开环控制系统的基本组成见图 19-2，这种框图常用于表示系统结构和信息流，也称为结构框图。结构框图中的矩形框表示系统中的功能环节，箭线表示信息流向，不表示信号的具体形式，但常在箭线旁标注信息或信号的名称。

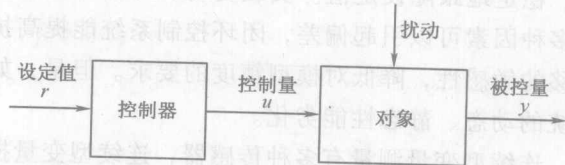


图 19-2 开环控制系统的基本组成

设定值 r 也称为系统的输入量、参考值 (Reference)，控制器根据设定值 r 生成控制量 u ，也称为控制信号。被控量 y 也称为系统的输出量。对象也称为控制对象、被控对象，因为很多对象是由若干部分组成的具有某种功能的整体，所以常把对象也称为系统。一般地，设定值、控制量和被控量是时间的函数。

在开环控制系统中，信息从输入端到输出端单方向流动。当系统受到干扰、系统参数发生变化时，会造成被控量对设定值的偏差，开环系统没有自动修正偏差的能力。当设定值 r 改变时，被控量 y 可能无法快速、准确、稳定地跟随。开环控制系统的结构较简单，如果对象的动作较简单，或者负载变化不大，或者对象的模型精度较高，或者元器件参数漂移较小，或者性能要求不高，或者环境干扰不很严重，往往采用开环控制。

2. 闭环控制

闭环控制系统可以用图 19-3 表示。为简化叙述，忽略了反馈通道的误差和失真。偏差 e 为设定值 r 与被控量反馈值 y 之差

$$e = r - y \quad (19-1)$$

引入比较环节，完成求取偏差 e 的工作，把偏差 e 送往控制器，控制器依据偏差 e 生成控制信号 u 。控制器到对象的部分称为前向通道，反馈环节所在的通道称为反馈通道。

闭环控制的基本思想是根据偏差 e 产生控制 $u = f(e)$ 来减小或消除偏差 e ，控制器的任务就是根据偏差 e 生成控制信号 u ，使被控量 y 跟随设定值 r 。

$$u = f(e) = f(r - y) \quad (19-2)$$

闭环控制要对被控量 y 进行实时监测，被控量 y 的信息要送回控制器，因此闭环控制又称为反馈控制。获取偏差信息必须依赖反馈通道，反馈通道可以用多种办法实现，常用专门



图 19-3 闭环控制系统的基本组成

的测量系统来承担。

引入了恰当的反馈和控制策略 $u = f(e)$ ，当设定值 r 改变时，可以使被控量 y 快速、准确、稳定地跟随设定值。负载变动、外界环境干扰、系统元器件参数漂移、系统模型不精确等多种因素可以引起偏差，闭环控制系统能提高抗干扰能力，减小或消除系统对元器件参数漂移的敏感性，降低对模型精度的要求。但是，如果反馈不当或控制策略不当，可能反而使系统的动态、静态性能劣化。

连续型变量测量有多种传感器，连续型变量控制器也有多种。基于模拟电子技术可以实现多种控制器，基于计算机技术的数字控制器可以通过程序灵活地实现更多的控制方法。近些年来，随着微电子技术和自动化技术的发展，出现了多种数字控制器。

3. 采用计算机作控制器的闭环控制

图 19-4 是采用计算机作控制器的闭环控制系统的一般组成。为了简化叙述，忽略设定装置、输出通道、输入通道和测量装置的误差和失真。

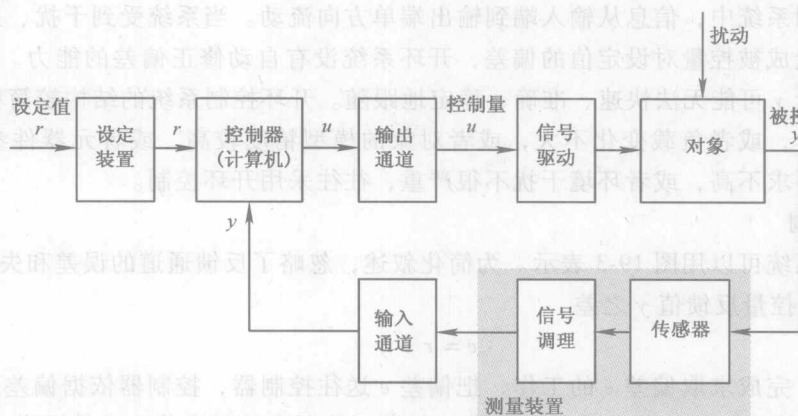


图 19-4 采用计算机作控制器的闭环控制系统的一般组成

设定值 r 的信号需要通过某种设定环节输入计算机，比如键盘、按钮、开关、旋钮、操纵杆、摇柄、脚踏板等。测量获得的被控量 y 的信号必须经过输入通道才能送入计算机；而计算机生成的控制信号 u 必须经过输出通道才能送出。计算机输出的控制信号 u 往往不能直接作用于对象，还需要经过信号驱动环节进行某种变换，使信号具有适当的形式和足够的功



率,才能作用于对象^①。

计算机控制技术是计算机硬件、软件与自动控制相结合的应用技术,计算机控制系统是利用计算机技术实现自动控制的系统。计算机控制系统的硬件部分由对象、计算机数据通道、计算机主机、设定装置等组成。软件部分依据功能可以分为系统软件和应用软件。系统软件包括操作系统和各种支持软件,应用软件一般指的是用户根据对象的特点和控制策略而编写的控制程序以及一些支持服务程序。

计算机控制系统是离散控制系统,但连续控制系统的基本理论仍然是计算机控制系统的基础。在一定条件下,连续控制系统的很多分析方法、结论仍可应用于离散系统。

思考题

1. 什么是工业系统的状态?
2. 工业系统中的变量有哪几种类型?
3. 怎样获得连续型变量工业系统输入输出特性?
4. 什么是解析模型?
5. 什么是开环控制系统?
6. 什么是偏差?
7. 什么是闭环控制系统?
8. 计算机闭环控制系统有哪些基本组成部分?

19.4 阅读材料

19.4.1 几个术语

误差与偏差 对于测量系统,误差是实际测得值与被测量真值之差。对于设定装置、信号驱动装置、执行件、输入输出通道、信号调理等环节,误差通常指实际输出值与输入值、理论值、理想值或设计值之差。为简化叙述,除专门讨论误差外,常忽略设定装置、信号驱动装置、执行件、输入输出通道、信号调理等环节的各种误差。偏差是连续型变量控制系统中的专门术语,偏差 e 是指闭环控制系统中设定值 r 与被控量反馈值 y 之差, $e=r-y$ 。

调节 通过系统的信息反馈机制自动校正系统的偏差,使被控量保持恒定或在规定偏差范围之内的过程称为调节(Regulation)。调节必须依赖反馈,而控制(Control)既可以是基于反馈的闭环控制,也可以是无反馈的开环控制。早期的经典控制理论研究闭环控制,称为自动调节原理。

按扰动控制 也称为扰动补偿。如果对于某一种扰动的特性有一些事先的了解,可以针对这一扰动设计补偿环节,置于图19-5所示的位置,把扰动信号经过补偿环节引入控制器,使生成的控制信号中含有扰动补偿的成分,对扰动能够达到一定的抑制效果。上述基于偏差的闭环控制可以称为按偏差控制,按扰动控制实际上是一种开环控制。有的控制系统同时采用了按偏差控制和按扰动控制,称为复合控制系统。

① 这里的信号驱动与本书上册所述原动机驱动的含义不同。



系统分析和系统设计 系统分析是研究系统的结构或参数对系统性能的影响。系统设计是根据规定的性能指标选择系统结构和元器件参数。系统分析和系统设计都需要利用系统的静态、动态特性或系统的模型。

控制律、控制算法和控制器 控制器要由系统中当前的各种信号生成控制信号 u ，必须依据一定的规则，称为控制律，也称为控制策略。

如果用计算机作控制器，控制策略必须用一系列有限的步骤表示，称为控制算法。控制算法靠一定的程序代码实现，计算机作为控制器，它的工作就是执行控制算法的程序代码。控制理论中最重要的研究课题是针对各种对象寻找适当的控制律、设计控制算法。控制工程最重要的任务则是研发与制造控制器、构建控制系统、运行与诊断控制系统。

实时性 系统状态信息的获取、控制信号的生成及输出都必须在足够短的时段内完成，超出这一时段，控制就失去了时机，甚至系统不能正常工作，无法达到性能要求。如果一个系统能够在足够短的时段内完成预期的控制动作，就称这个系统的实时性好。为了获得好的实时性，除了实时测量外，还必须进行实时数据采集、实时生成控制决策、实时输出控制信号，这几个阶段的时间之和决定着系统整体的实时性。可见，影响实时性的因素主要有传感器、信号传输速率、控制策略及其算法的复杂程度、控制器的处理能力、输入输出通道的速率等。不同的系统的实时性要求不同，对于快速变化的系统，满足实时性要求的难度可能很大。

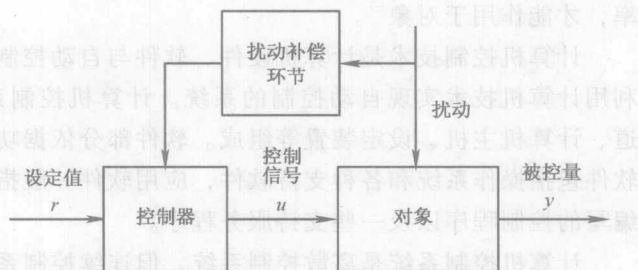


图 19-5 按扰动控制

19.4.2 连续型变量系统的三类控制

根据设定值的不同，连续型变量的控制系统可以分为以下三类：

- 1) 恒值调节系统 (Regulation Systems)：设定值 r 恒定，使被控量 y 保持恒定。如发电机转速、硬盘主轴转速、恒温箱温度、稳压电源输出电压。
- 2) 程序控制系统 (Programmed Control Systems)：设定值 $r(t)$ 已知，使被控量 $y(t)$ 复现 $r(t)$ 。如卫星发射轨道控制系统、示教再现机器人、金属热处理炉、仿形车床、仿形铣床、数控机床、某些化工过程。
- 3) 随动系统 (Servo-Mechanism Systems)：设定值 $r(t)$ 未知，要使被控量 $y(t)$ 跟随 $r(t)$ 。自动火炮、对空导弹、导弹拦截系统、操控机器人是典型例子。

第 20 章 工业计算机及数据通道简介

20.1 计算机的基本组成

计算机由运算器、存储器、控制器和输入设备、输出设备五大功能部件组成，见图 20-1。

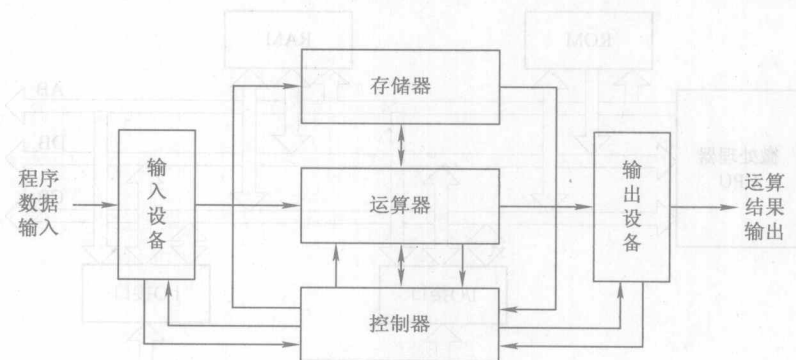


图 20-1 冯诺依曼计算机结构

运算器是计算机中对数据进行处理的功能部件，实现对数据的算术运算和逻辑运算。算术运算，如执行加、减、乘、除等运算；逻辑运算，如逻辑与、逻辑或、逻辑非、逻辑异或等运算。所以运算器又称为算术逻辑运算部件（Arithmetic Logical Unit，ALU）。

存储器是计算机中用来存放程序和数据的功能部件，它使计算机具有记忆功能。程序是计算机操作的依据，数据是计算机操作的对象。不管是程序还是数据，都是以二进制形式存入存储器之中。存储器由许多存储单元构成，通常一个存储单元可以存放一个 8 位的二进制数，即一个字节。每个存储单元都有编号，称为地址。向存储器中存数（写操作）或者从存储器中取数（读操作），都要按给定的地址来寻找所选的存储单元，只有被选中的存储单元中的内容才能被读出来，或将新数据写入被选中的存储单元之中。这种读存储器操作和写存储器操作，统称为访问存储器。

能够被 CPU 直接访问的存储器称为主存储器（简称主存或内存），用来存放当前 CPU 要执行的程序和处理的数据。不能被 CPU 直接访问的存储器称为辅助存储器，简称辅存或外存，用来存放当前 CPU 暂时不要执行的程序或数据。

控制器是计算机的指挥控制中心，它控制全机的各个功能部件有条不紊地工作。更具体地讲，在控制器的控制之下，从输入设备输入程序和数据，自动存放在存储器中，并控制从存储器中读出指令，分析指令，根据指令的要求向有关功能部件发出系列控制命令，指明在什么时间、什么条件下执行什么操作，哪些操作可以同时进行，而哪些操作则要以时间的先后进行，最后将结果通过输出设备输出。正是因为控制器的作用，实现计算机本身运行过程的自动化，即实现程序的自动控制。

输入设备和输出设备统称为外部设备，简称外设。输入设备是将各种形式的输入信息转



换成计算机可以接受的编码形式的设备，常见的输入设备有键盘、鼠标器等。输出设备是将计算机的输出信息转换成人可以接受的信息形式的设备，如显示器、打印机、绘图仪等。

20.2 微型计算机的基本结构

微型计算机主要由 CPU、存储器和输入/输出 (I/O) 设备组成，它们之间是通过地址总线 (Address Bus, AB)、数据总线 (Data Bus, DB) 和控制总线 (Control Bus, CB) 相连接的，见图 20-2。

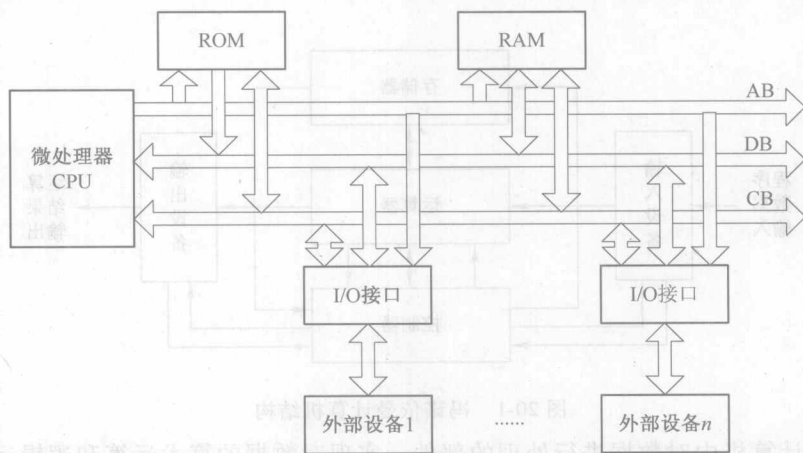


图 20-2 微型计算机的组成框图

20.3 微处理器

随着微电子技术的进步，将上述的运算器和控制器集成在一块半导体芯片上，这种芯片就称为微处理器。以微处理器为核心组成计算机，所以又把微处理器称为中央处理器 (Central Processing Unit, CPU)，它是微型计算机的核心部件，由控制器和运算器两部分组成。控制器用来发布命令，协调和指挥整个计算机系统的操作；运算器用于执行各种算术运算和逻辑运算。

20.4 存储器

存储器是存放程序和数据的功能部件，在微型计算机系统中，存储器分为两种：内部存储器和外部存储器。内部存储器设置在计算机的内部，简称内存，能与 CPU 直接进行数据交换，存取速度快但容量较小；外部存储器设置在计算机的外部，简称外存，必须通过内存才能与 CPU 交换数据，存储容量大但存取速度较慢。

20.4.1 存储器的分类

1. 按存取速度和在计算机系统中的地位分类