

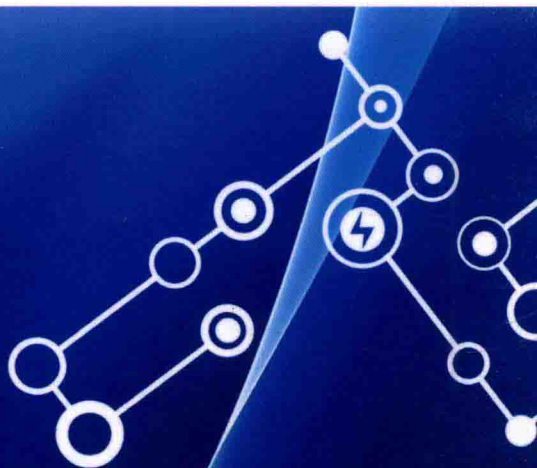
SHISANWU DIANQI ZIDONGHUA SHEBEI ANZHUANG YU WEIXIU ZHUANYE
YITIHUA GUIHUA JIAOCAI

“十三五”电气自动化设备安装与维修专业一体化规划教材

DIANLI DIANZI YU DIANJI KONGZHI

电力电子 与电机控制

主 编 © 肖红梅



东北师范大学出版社
NORTHEAST NORMAL UNIVERSITY PRESS

ONGHUA SHEBEI ANZHUANG YU WEIXIU ZHUANYE
CAI

设备安装与维修专业一体化规划教材

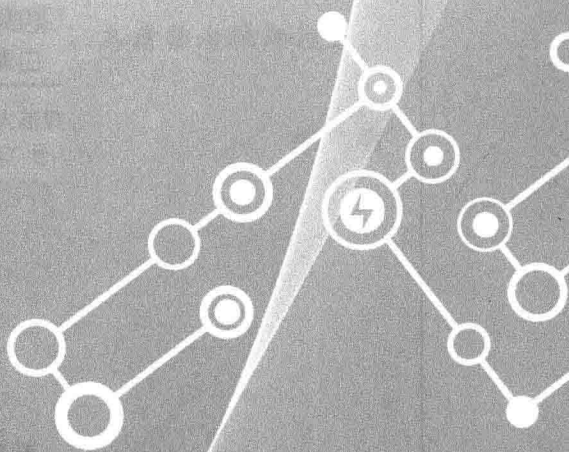
DIANLI DIANZI YU DIANJI KONGZHI

电力电子 与电机控制

主 编:肖红梅

副主编:马占欣 杨 林

参 编:安林艳 王明娟



东北师范大学出版社

NORTHEAST NORMAL UNIVERSITY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

电力电子与电机控制 / 肖红梅主编. -- 长春 : 东
北师范大学出版社, 2016. 8
ISBN 978 - 7 - 5681 - 2228 - 3

I. ①电… II. ①肖… III. ①电力电子学—教材②电
机—控制系统—教材 IV. ①TM1②TM301.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 208695 号

责任编辑: 韩 烁 封面设计: 顾瞳书衣
责任校对: 杨 柳 责任印制: 张允豪

东北师范大学出版社出版发行
长春净月经济开发区金宝街 118 号 (邮政编码: 130117)
电话: 0431-85687213 010-82893125
传真: 0431-85694069 010-82896571
网址: <http://www.nenup.com>
东北师范大学出版社激光照排中心制版
北京京华虎彩印刷有限公司印装
北京市朝阳区南皋村 129 号 (邮政编码: 100015)
2016 年 8 月第 1 版 2016 年 8 月第 1 版第 1 次印刷
幅面尺寸: 185 mm×260 mm 印张: 9.25 字数: 191 千

定价: 21.00 元

序

根据国家对职业教育发展的要求，为满足高技能人才的培养需要，人力资源和社会保障部于2009年7月在全国开展一体化课程改革试点工作，旨在探索建设以职业活动为导向，以校企合作为基础，以综合职业能力培养为核心，理论教学与技能操作融会贯通的课程体系，实现能力培养与岗位对接合一，理论教学与实践教学融通合一，实习实训与定岗工作学做合一。漯河技师学院于2011年开始建立一体化课程改革试点。

经过近五年的课程改革，遵照人力资源和社会保障部颁布的一体化课程教学标准，根据我院教学场所和设备设施条件，目前开发了数控技术、机械设备维修、电气自动化、电子技术、汽车维修及计算机广告制作6个专业一体化课本教材及相关专业课程的工作页，并在实验班实施，取得了良好的教学效果。

本系列教材在编写过程中参考了大量的文献资料，在此对所有参考文献的作者深表感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在不足之处，恳请读者批评指正。

编者

前 言

根据国家职业教育的发展要求,为满足技能人才的培养需要,实现培养具有良好职业素养和职业技能的人才的目标,全国各职业院校进行了一体化教学改革,并开展了工学结合的教学模式。因此,结合我院现有的教学设备及条件编写了本教材。

课程简介:

1.《电力电子与电机控制》是电气工程及其自动化专业、自动化专业高级工及以上的一门综合专业课,是一门理论与应用相结合、实践性很强的课程。

2.本课程包括电子技术(模拟、数字、电力电子)、自动控制原理以及以直流调速为代表的自动控制技术应用三大部分。

3.本课程的目的和任务是使学生了解各种电力电子器件的特性和使用方法,掌握以半控型器件——晶闸管为主组成的各种整流电路的结构、工作原理、控制方法及实际应用技能,熟悉本课程所需电力电子装置的应用范围及技术经济指标。

4.通过本课程的学习使学生能应用自动控制理论等知识分析实际自动(调速)控制系统,并通过实践环节使学生具备对系统进行调试和故障分析的能力,培养学生发现问题、分析问题和解决问题的能力。

本教材在编写过程中参考了大量的相关文献资料,在此对所有作者深表谢意。

由于作者水平有限,书中难免存在不足之处,恳请读者批评指正。

编 者

目 录

第一单元 控制技术的概述	1
1.1 控制的一般概念	2
1.2 自动控制的基本概念	5
1.3 自动控制系统的组成	7
1.4 自动控制系统的类型	9
1.5 自动控制技术的发展及应用	11
1.6 自动控制系统的基本要求	13
第二单元 直流调速系统	15
2.1 直流调速系统的概述	16
2.2 直流电动机的调速原理及方式	17
2.3 直流调速系统的可控直流电源	20
第三单元 电力电子技术基础	24
3.1 电力电子技术的概述	25
3.2 电力电子器件	30
3.3 可控整流电路的概述	40
3.4 单相可控整流电路	41
实训一 单相半波可控整流电路	54
3.5 三相可控整流电路	57
实训二 三相半波可控整流电路	63
实训三 三相桥式全控整流电路	75

第四单元 开环直流调速系统	79
4.1 开环控制的基础知识	80
4.2 开环直流调速系统的结构及原理	82
实训四 晶闸管直流开环调速系统	86
第五单元 单闭环直流调速系统	89
5.1 闭环控制的基本知识	90
5.2 单闭环直流调速系统	92
实训五 转速单闭环直流调速系统	98
实训六 电压单闭环直流调速系统	105
实训七 带电流正反馈环节的电压负反馈直流调速系统	108
实训八 电流单闭环直流调速系统	114
实训九 带电流截止负反馈的转速负反馈直流调速系统	117
第六单元 双闭环直流调速系统	120
6.1 转速-电流双闭环调速系统	121
6.2 双闭环调速系统控制分析	124
实训十 双闭环直流调速系统	127
第七单元 直流可逆调速系统	130
7.1 直流可逆调速电路	131
7.2 直流可逆调速系统控制	133
参考文献	139

▶ 第一单元

控制技术的概述

本单元的主要知识结构

1. 控制的一般概念及组成
2. 自动控制的基本概念
3. 自动控制系统的组成
4. 自动控制系统的类型
5. 控制系统性能的要求

在日常生活和工作中，人们往往希望自己所遇事物能按预期的目标发展，这就需要了解一些控制的基本特性。本单元着重介绍控制及自动控制系统的特点、组成及类型。

1.1 控制的一般概念

一、控制

控制是指通过一定的技术手段（方法）实现特定的目的或达到一定的效果，即人们按照自己的意愿或目的，通过一定的手段（方法）使事物向预期的目标发展。

所遇到的事物能否按照我们预期的目标发展，需要知道控制的基本要素，才能使人们有所把控和选择。控制的基本要素应包括控制的对象、控制的目的及控制的手段三个基本要素。在生活中，我们遇到过很多需要控制的问题，如自行车中存在的控制现象。

下面列出了两种自行车的控制情况：第一种，在行驶时的方向控制问题，要改变自行车前进的方向，需要骑车人通过双手转动车把，改变前轮的方向并带动后轮改变方向；第二种，自行车在行驶时的速度控制问题，要改变自行车前进的速度，需要骑车人通过车闸、调速器、蹬车速度等方法实现。

上述两个问题控制的对象是一样的，但因为控制的目的不同而采用的控制方法也不相同。



想一想、做一做

你能找出表 1-1 事例中控制的要素吗？

表 1-1 控制的要素

控制的事例	控制的对象	控制的目的	控制的手段（可以多种）
电风扇扇叶转速快慢的控制			
音响音量大小的控制			
燃气热水器温度的控制			

二、控制的分类

控制的实现需要通过一定的手段（方法），从控制过程中人工干预的情形来分，控制分为人工控制和自动控制。

人工控制是指在人的直接干预和全程干预情况下进行的。人工控制主要有以下两种。

(1) 水温人工控制系统：手动调节阀门的开度，从而调节蒸汽的流量，以此来控制水的温度，如图 1-1 所示。

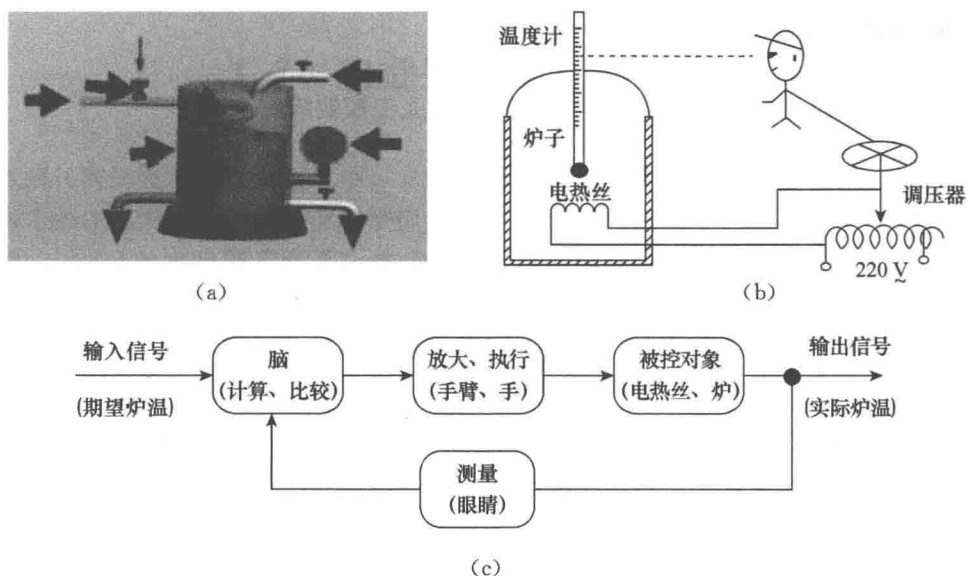


图 1-1 水温人工控制系统

控制目标：炉子的温度恒定在期望的数值上，但人工难以实现稳定的高质量控制。

(2) 人工控制的恒值水位系统：手动调节阀门的开度，以此来控制水池的水位，如图 1-2 所示。

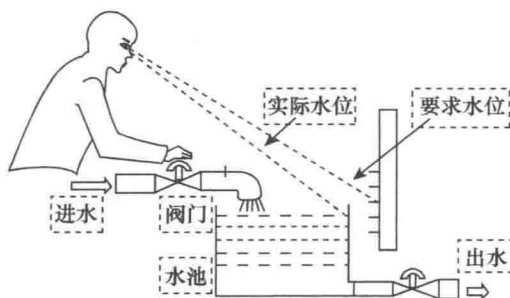


图 1-2 人工控制的恒值水位系统

- ① 将水位的要求值（期望水位值）牢记在大脑中。
- ② 用眼睛和测量工具测量水池的实际水位。
- ③ 将期望水位与实际水位进行比较、计算，从而得出误差值。
- ④ 按照误差的大小和正负性质，由大脑指挥手去正确地调节进水阀门。所谓正确调节，就是要按减小误差的方向来调节进水阀门的开度。

人工控制的过程就是测量、求偏差、再实施控制以纠正偏差的过程，也就是检测偏差并纠正偏差的过程。



想一想、说一说

1. 你知道在我们的学习和生活中还有哪些是人工控制吗?

2. 对于上述人工控制的系统,如果能找到一个控制装置(也称为控制器)来代替人的职能,它就可以变成一个自动控制系统。



1.2 自动控制的基本概念

在现代科学技术的众多领域中，自动控制技术起着越来越重要的作用，如数控车床按预定程序自动切削，人造卫星准确进入预定轨道并回收等。除了在工业上广泛应用以外，近几十年来，随着计算机技术的不断发展和应用，在宇航、机器人控制、导弹制导及核动力等高新技术领域中，自动控制技术的作用更加突出。不仅如此，自动控制技术的应用范围现在已扩展到生物、医学、环境、经济管理和其他社会生活领域中，自动控制已成为现代社会生活中不可缺少的一部分。

一、自动控制

自动控制是指在没有人直接参与的情况下，利用外加的设备或装置（控制装置），使机器、设备和生产过程（控制对象）的某个工作状态或参数（被控量）自动地按照预定的规律运行。

二、自动控制的特点

自动控制的基本任务是：在无人直接参与的情况下，只利用控制装置操纵被控对象，使被控制量等于给定值。

自动控制系统主要有以下两种。

(1) 水温自动控制系统：通过电机调节阀门的开度，从而调节蒸汽流入，控制水的温度，从而实现没有人直接参与的自动水温控制，如图 1-3 所示。

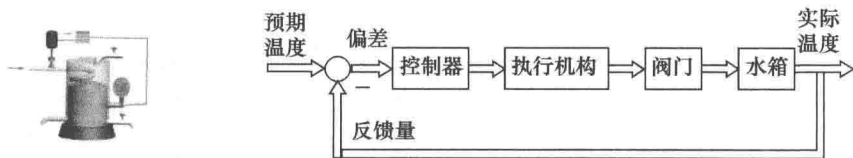


图 1-3 水温自动控制系统

(2) 水池水位系统的自动控制：调节杠杆长度 L ，通过杠杆机构调节阀门的开度，从而调节进水量以控制液位的高度，如图 1-4 所示。

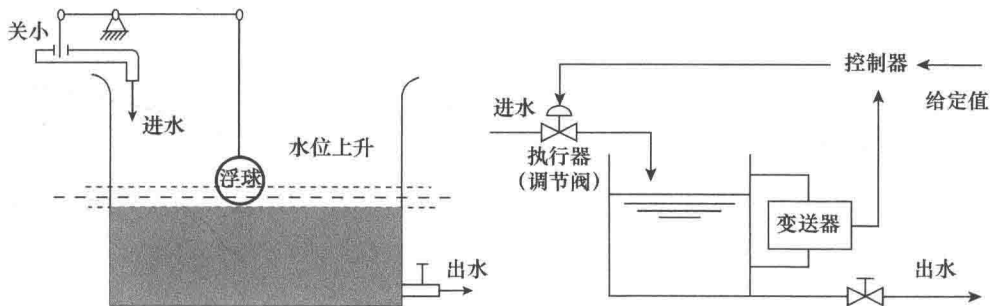


图 1-5 水池水位系统的自动控制

控制系统的结构框图，如图 1-5 所示。

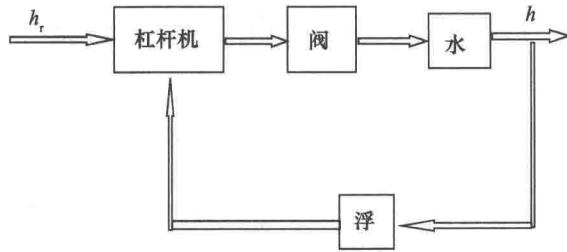


图 1-5 结构框图

综上所述，控制就是某个主体使某个客体按照一定的目的动作。客体一般指一件物体、一套装置或一个特定系统，主体是人，即人工控制；主体是机器，即自动控制。

想一想、写一写

你能将上述事例中温度控制和水位控制的人工控制和自动控制的不同控制方法写在下面吗？

1. 温度的人工控制

温度的自动控制

2. 水位的人工控制

水位的自动控制



1.3 自动控制系统的组成

自动控制系统是指能够完成自动控制任务的设备组成，一般由控制装置和被控对象组成。若用自动控制装置代替人工操作，则可以构成自动控制系统。

一、自动控制系统

自动控制系统是指能够对被控对象的工作状态进行自动控制的系统，如图 1-6 所示，它是控制对象及参与实现其被控制量自动控制的装置或元部件的组合，由控制装置和被控对象组成。一般包括三种机构：测量机构、比较机构、执行机构。

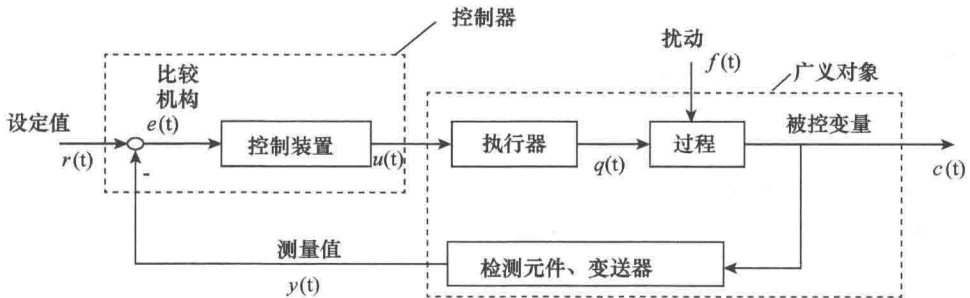


图 1-6 自动控制系统的组成及方框图

(一) 各部分的作用

- (1) 检测元件和变送器的作用是把被控变量 $c(t)$ 转化为测量值 $y(t)$ 。
- (2) 比较机构的作用是比较设定值 $r(t)$ 与测量值 $y(t)$ 并输出其差值 $e(t)$ 。
- (3) 控制装置的作用是根据偏差的正负、大小及变化情况，按某种预定的控制规律给出控制作用 $u(t)$ 。比较机构和控制装置通常组合在一起，称为控制器。
- (4) 执行器的作用是接受控制器送来的 $u(t)$ ，相应地去改变控制变量 $q(t)$ 。
- (5) 系统中控制器以外的各部分组合在一起，即过程、执行器、检测元件与变送器的组合，称为广义对象。

(二) 系统框图的作用

利用系统框图可清楚、方便地表示自动控制系统中各个组成部分之间的相互关系，在研究自动控制系统时，通常用方框图表示控制系统的组成。

如图 1-7 所示是一个液位控制系统原理图。在这里，自动控制器通过比较实际液位与希望液位，并通过调整气动阀门的开度，对误差进行修正，从而保持液位不变。

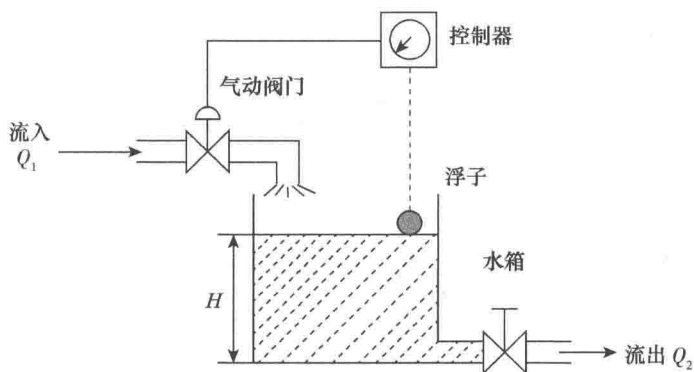


图 1-7 液位控制系统的原理



想一想、做一做

1. 你能画出上述液位控制系统的系统框图吗?
2. 你能写出上述液位控制系统各组成部分的名称和作用吗?

控制任务:

控制装置:

受控对象:

给定值:

比较装置:

二、自动控制系统的功能和组成

自动控制系统的功能和组成是多种多样的，其结构有简单也有复杂：它可以只控制一个物理量，也可以控制多个物理量，甚至可以控制一个企业机构的全部生产和管理过程；它可以是一个具体的工程系统，也可以是比较抽象的社会系统、生态系统和经济系统。



1.4 自动控制系统的类型

一、按输入信号的变化规律进行划分：分为恒值控制系统、程序控制系统及随动控制系统

1. 恒值控制系统

恒值控制系统是指这类控制系统的给定值是恒定不变的。在此类系统中，输入信号在某种工艺条件下一经给定就不再发生变化。系统主要的控制任务就是抑制各种干扰因素的影响，使被控量维持不变或在允许范围内，如生产过程中的温度、压力、流量、液位高度和电动机转速等自动控制系统属于恒值系统。

2. 程序控制系统

程序控制系统的给定值是变化的，但这个给定值是按照工艺规程规定的，变化规律预知的时间函数。在此类系统中，输入信号根据设定程序自动变化，系统按设定程序自动运行，要求被控量也按照同样的规律变化，即要求被控量迅速准确地复现输入信号，如程控机床及交通灯系统等。

3. 随动控制系统

随动控制系统也称为自动跟踪系统，在此类系统中，输入信号是预先不能确定的随时间任意变化的函数。该系统要求被控量以尽可能小的误差尽快地跟随输入量变化。生产过程中的比值控制就属于随动控制系统，在随动控制系统中，扰动的影响是次要的，系统分析、设计的重点是系统的快速性和准确性。如果被控制量是机械位置或其导数，这种随动系统也称为伺服系统，如跟随卫星的雷达天线系统、高射炮等随动系统和程序控制系统的参考输入量都是时间的函数。差别在于随动系统的输入量是未知的、任意的时间函数，而程序控制系统的输入量是已知的时间函数。因此，恒值控制系统可以看作是程序控制系统的一种特例。

二、按系统各环节输入与输出关系的特征进行划分：分为线性控制系统和非线性控制系统

1. 线性控制系统

在线性控制系统中，所有环节（或元件）的输入与输出都是线性关系，系统的状态和性能可以用线性微分方程来描述，线性系统满足叠加原理和齐次性原理，因此可以用线性系统理论进行分析。线性控制系统又分为线性定常系统和线性时变系统，如桥式吊车运行控制系统。

2. 非线性控制系统

在非线性控制系统中，至少有一个元件的输入与输出关系是非线性的。因此，不满足叠加原理和齐次性原理，必须采用非线性系统理论来分析，如存在死区、间隙和饱和特性的系统就是非线性控制系统。严格地说，实际物理系统中都含有程度不同的非线性元件。对于非本质非线性元件可采用线性化处理，即在一定的工作范围内，

用近似的线性方程代替非线性方程来分析，如移动机器人控制系统。

三、其他分类系统

1. 按系统参数是否随时间变化可分为定常参数控制系统和时变参数控制系统

如果控制系统的参数在系统运行的过程中，不会随着时间的变化而发生改变，则称为定常系统或者时不变系统，描述它的微分方程就是常系数微分方程，如称重用的“台秤”，反之就是时变系统。例如：火箭是时变系统的一个典型例子，在飞行中它的质量会由于燃料的消耗而随时间减少；另外常见的例子是机械手，在运动时其各关节绕相应轴的转动惯量是以时间为自变量的一个复杂函数。

2. 按系统传输的信号特征可分为连续控制系统和离散控制系统

连续控制系统所有信号的变化均为时间的连续函数，其运动规律可用微分方程来描述。离散控制系统至少有一处信号是脉冲序列或数字量，其运动规律必须用差分方程来描述。离散控制系统如果利用计算机采样和控制，也称为数字控制系统，如全数字直流调速系统。

3. 按照输入和输出信号的个数可分为单变量系统和多变量系统

单变量系统又称为单输入和单输出系统，此系统只有一个输入信号（不包括扰动输入）和一个输出信号，如过程控制中的压力或流量调节系统，天线的随动系统，坦克的火炮稳定装置等。多变量系统又称为多输入和多输出系统，即有多个输入信号或多个输出信号，如汽轮机的蒸汽压力和转速控制。



想一想、做一做

你知道自动控制系统的类型有哪些吗？