



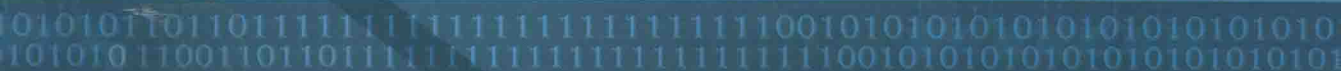
普通高等教育“十一五”国家级规划教材
普通高等教育“十五”国家级规划教材
教育部高职高专规划教材
兵工高校优秀教材一等奖

电气自动控制 原理与系统

第2版

*DIANQI ZIDONG KONGZHI
YUANLI YU XITONG*

陈渝光 主编



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



赠电子课件、模拟试卷等

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
普通高等教育“十五”国家级规划教材
教育部高职高专规划教材
兵工高校优秀教材一等奖

电气自动控制原理与系统

第2版

主编 陈渝光

参编 薛明君 王海萍 肖蕙蕙 卢光飞

主审 孙 跃



机械工业出版社

《电气自动控制原理与系统》是在“自动控制原理”与“自动控制系统”的基础上整合而成的,并以电气自动控制系统应用为主线,使其前后呼应、融为一体。全书分为四部分,第一部分(第一章到第五章)为经典的线性自动控制原理,第二部分(第六章到第八章)为直流调速系统,第三部分(第九章)为位置随动控制系统,第四部分(第十章到第十二章)为交流调速系统。

本书讲解了自动控制系统数学模型的建立,系统稳定性、稳态性能、动态性能分析方法,自动控制系统校正;讲解直流调速系统、位置随动系统、转差功率消耗型调速系统、转差功率回馈型调速系统和转差功率不变型调速系统的工作原理、动静态性能、自动调节过程以及系统实例分析。

本书的特点是突出应用性、实践性,做到理论联系实际,图文并茂、通俗易懂。

本书可作为普通高等工科学校、高等职业技术学院和中等专业学校教材,也可供从事电气自动化的工程技术人员参考。

为方便教学,本书配有免费电子课件及模拟试卷等,凡选用本书作为授课教材的学校,均可来电索取,咨询电话:010—88379375。

图书在版编目(CIP)数据

电气自动控制原理与系统/陈渝光主编.—2版.—北京:机械工业出版社,2008.6(2010.2重印)

普通高等教育“十一五”国家级规划教材.普通高等教育“十五”国家级规划教材.教育部高职高专规划教材.兵工高校优秀教材一等奖
ISBN 978-7-111-08163-0

I.电… II.陈… III.电气设备-自动控制系统-高等学校:技术学校-教材 IV.TM762

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第052453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:于宁

责任编辑:王宗锋 版式设计:张世琴 责任校对:姚培新

封面设计:王伟光 责任印制:洪汉军

北京外文印刷厂印刷

2010年2月第2版·第3次印刷

184mm×260mm·14.75印张·362千字

8001—12000册

标准书号:ISBN 978-7-111-08163-0

定价:22.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者服务部:(010) 68993821

封面无防伪标均为盗版

前 言

教育部高职高专规划教材《电气自动控制原理与系统》自2000年出版以来,深受读者喜爱,多次重印,并被教育部列为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。教材第2版对原书自动控制原理部分作了适当修改,加强了工程理念指导;对直流调速部分进行了较大幅度的精简,加强了系统构成、系统调试方法指导;对交流调速部分作了适当修改,体现了交流调速技术发展方向。

教材主要内容包括:自动控制系统的基本概念、自动控制系统的数学模型、自动控制系统的时域分析法、自动控制系统的频率分析法、自动控制系统的博德图校正、不可逆直流调速系统、可逆直流调速系统、直流脉宽调速系统、位置随动控制系统、转差功率消耗型调速系统——异步电动机调压调速系统、转差功率回馈型调速系统——异步电动机串级调速系统和转差功率不变型调速系统——异步电动机变频调速系统。

教材充分体现以能力培养为本,以应用为核心的原则,做到理论联系实际,图文并茂、通俗易懂、应用性强。

本书由重庆理工大学陈渝光教授主编。其中第一章到第五章由陈渝光编写,第六、九章由薛明君编写,第七、八章由王海萍编写,第十、十一、十二章由陈渝光、肖蕙蕙和卢光飞合编。本书由重庆大学孙跃教授主审。参加教材结构和内容设计的有重庆长安汽车股份有限公司高级工程师赵琦、中冶赛迪工程技术股份有限公司高级工程师郭健,参加编审工作的还有栗书贤、张凤池、刘述喜、施海等,作者在此谨致谢意。

本书可作为普通高等工科学校、高等职业技术学院和中等专业学校教材,也可供从事电气自动化的工程技术人员参考。

由于作者水平有限,书中难免有缺点和错误,恳请读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第一章 自动控制系统的基本概念	1
第一节 开环控制与闭环控制	1
第二节 自动控制系统分类	3
第三节 对控制系统的性能要求	6
第四节 研究自动控制系统的基本方法	8
小结	10
思考题与习题	10
第二章 自动控制系统的数学模型	12
第一节 数学模型简介	12
第二节 典型环节的传递函数及其功能框图	18
第三节 框图	24
第四节 自动控制系统传递函数	32
小结	35
思考题与习题	35
第三章 自动控制系统的时域分析法	38
第一节 概述	38
第二节 一阶系统阶跃响应分析	39
第三节 二阶系统阶跃响应分析	42
第四节 二阶系统欠阻尼单位阶跃响应性能指标	46
第五节 二阶系统扰动阶跃响应	48
第六节 自动控制系统稳定性分析	50
第七节 自动控制系统稳态性能分析	54
小结	59
思考题与习题	59
第四章 自动控制系统的频率分析法	62
第一节 频率特性的基本概念	62
第二节 典型环节的博德图	64
第三节 控制系统开环博德图的绘制	72
第四节 对数频率稳定判据与稳定裕量	74
第五节 典型系统的开环博德图与频域指标	77

第六节 开环频率特性与阶跃响应之间的关系	82
小结	85
思考题与习题	85

第五章 自动控制系统的博德图校正

第一节 自动控制系统校正的基本概念	89
第二节 自动控制系统的设计方法	95
第三节 预期开环频率特性校正自动控制系统示例	99
小结	104
思考题与习题	104

第六章 不可逆直流调速系统

第一节 单闭环转速有静差调速系统	106
第二节 单闭环转速无静差调速系统	111
第三节 转速、电流双闭环调速系统	113
第四节 双闭环调速系统的动态性能	116
小结	118
思考题与习题	118

第七章 可逆直流调速系统

第一节 实现可逆运行的电路	121
第二节 可逆系统中的环流	124
第三节 可控环流可逆调速系统的工作原理	126
第四节 逻辑无环流可逆调速系统	128
小结	132
思考题与习题	133

第八章 直流脉宽调速系统

第一节 直流脉宽调制电路的工作原理	134
第二节 脉宽调速系统的控制电路	137
小结	142
思考题与习题	143

第九章 位置随动控制系统

第一节 概述	144
第二节 位置检测装置	145

第三节 数控机床的伺服系统·····	148	小结·····	179
第四节 直流电动机速度/位置控制 系统实例·····	156	思考题与习题·····	179
小结·····	159		
思考题与习题·····	160		
第十章 转差功率消耗型调速 系统——异步电动机 调压调速系统 ·····	161	第十二章 转差功率不变型调速 系统——异步电动机 变频调速系统 ·····	180
第一节 概述·····	161	第一节 变频调速原理·····	180
第二节 调压调速系统基本概念·····	162	第二节 变频调速的基本控制方式 和机械特性·····	180
第三节 调压调速系统·····	163	第三节 变压变频装置及其基本 控制方式·····	183
第四节 利用电动机的自身结构调速·····	166	第四节 SPWM 变压变频器·····	185
小结·····	168	第五节 变频调速系统控制方式·····	192
思考题与习题·····	168	第六节 SPWM 变压变频系统·····	198
		小结·····	205
		思考题与习题·····	205
第十一章 转差功率回馈型调速 系统——异步电动机 串级调速系统 ·····	169	附 录 ·····	206
第一节 串级调速原理·····	169	附录 A 常用文字符号·····	206
第二节 能量传递关系及串级调速 系统分类·····	170	附录 B Laplace 变换·····	209
第三节 串级调速系统基本特性·····	172	附录 C 双闭环调速系统工程设计方法·····	210
第四节 具有双闭环控制的串级 调速系统·····	174	附录 D MATLAB 在自动控制原 理中的应用·····	216
第五节 双馈串级调速系统·····	178	参考文献 ·····	229

第一章 自动控制系统的基本概念

自动控制学由自动控制技术和自动控制理论两部分组成。自动控制技术广泛地应用于机械、冶金、石油、化工、电子、电力、交通运输、航天航空、航海、生物工程及管理工程等各个学科领域。尽管自动控制系统种类繁多，其结构和用途各异，但它们的基本原理是一样的。自动控制理论就是在解决各种自动控制技术问题的过程中逐步形成和发展起来的研究自动控制技术的基础理论，它是分析、设计和调试自动控制系统的理论基础。

自动控制理论大致可分为经典控制理论 (Classical Control Theory) 和现代控制理论 (Modern Control Theory)。经典控制理论以传递函数作为数学工具，采用时域分析法、频率分析法和根轨迹分析法等方法，研究单输入、单输出自动控制系统的分析与设计问题；而现代控制理论则是以矩阵理论等数学方法作为数学工具，采用状态空间分析法等方法，研究复杂的多变量控制系统、变参数非线性系统、最优控制、动态系统辨识、自适应控制、人工智能控制以及将过程控制与信息处理相结合的综合自动控制。

第一节 开环控制与闭环控制

在电力电子变流技术课程中，已经介绍了晶闸管供电的直流调速系统，如图 1-1 所示。

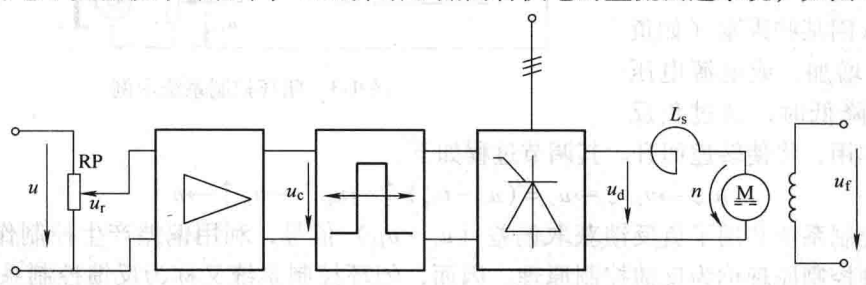


图 1-1 晶闸管直流调速系统框图

所谓控制系统 (Control System)，就是通过执行规定的功能来实现某一给定目标的一些相互关联单元的组合。由人直接或间接操作执行装置的控制方式称为手动控制 (Manual Control)；无需人去直接或间接操纵执行装置，而是利用控制装置 (控制器) 控制被控制量自动地按预定的规律变化的控制方式则称为自动控制 (Automatic Control)。

图 1-1 中，由电位器、放大器、触发器、晶闸管整流装置以及直流电动机等组成控制系统，其功能是改变晶闸管输出电压，它的给定目标是通过调节晶闸管输出电压达到调节电动机转速的目的。它通过手工调节 u_r 来达到改变转速 n 的目的，这种控制方式属于手动控制。

由于该控制系统无反馈环节，只有输入量的前向控制作用，输出量并不反馈回来影响输入量的控制作用，因而，将它称为开环控制系统 (Open-Loop Control System)。一般开环控

制系统框图如图 1-2 所示。

开环系统的优点是结构简单，系统稳定性好，调试方便，成本低。开环系统的精度主要取决于控制信号的标定精度、控制装置参数的稳定程度以及外部扰动因素。因此，在输入量和输出量之间的关系固定，且内部参数和外部负载等扰动因素不大，或这些扰动因素可以预测并进行补偿的前提下，应尽量采用开环控制系统。



图 1-2 一般开环控制系统框图

开环控制的缺点是当控制过程中受到来自系统外部的各种扰动因素

(如负载变化、电源电压波动等)以及来自系统内部的扰动因素(如元件参数变化等)时,都将会直接影响到输出量,而控制系统不能自动进行补偿。因此,开环系统对控制信号和元器件的精度要求较高。

为了消除或减少扰动的影响,常采用闭环控制(Close-Loop Control)。图 1-3 为具有转速负反馈的闭环控制系统。

图中电动机同轴联结了一台永磁式直流测速发电机 TG (Tacho-Generator), 它将检测到的转速信号 n 转变成电压信号 u_{fn} , 并以负反馈形式反馈回输入端, 作用于控制部分, 形成闭合环路。当 u_r 固定不变而转速 n 因某些因素(如负载转矩 T_L 增加, 或电源电压 U_s 下降)降低时, 通过负反馈的调节作用, 将使转速回升。其调节过程如下:

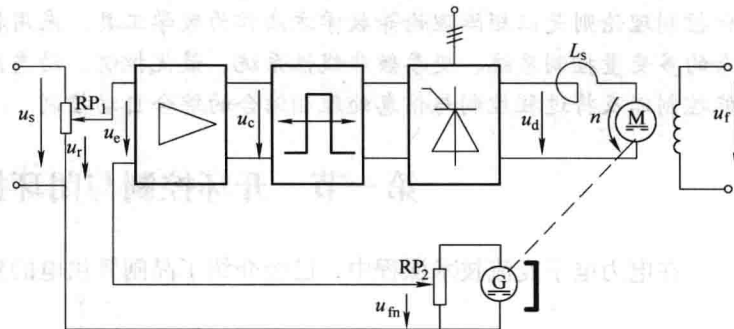


图 1-3 闭环控制系统示例

$$n \downarrow \rightarrow u_{fn} \downarrow \rightarrow u_e = (u_r - u_{fn}) \uparrow \rightarrow u_c \uparrow \rightarrow u_d \uparrow \rightarrow n \uparrow$$

闭环控制系统利用了负反馈获取偏差 ($u_r - u_{fn}$) 信号, 利用偏差产生控制作用去克服偏差。这种控制原理称为反馈控制原理。因而, 闭环控制系统又称为反馈控制系统 (Feedback Control System)。该系统具有抗扰动能力, 除对反馈通道上的元件精度和给定信号装置的精度要求较高外, 对系统中的其他元器件的要求不高。但缺点是安装、调试困难, 如调试水平欠佳, 系统可能工作不稳定(详见第三章第六节)。闭环控制系统的一般形式如图 1-4 所示。

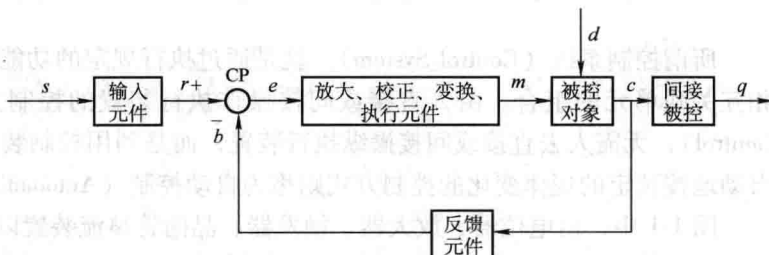


图 1-4 一般闭环控制系统框图

由图 1-4 可知, 一般控制系统包括:

指令信号 (Command Signal) s ——又称为输入信号, 系统设计时已经确定。

输入元件 (Input Element)——将指令信号变换为系统所需的参考输入量。

参考输入量 (Reference Input Variable) r ——又称为给定量, 实际输入到系统的控制信号。

比较元件 (Comparing Element) CP——具有两个或两个以上的输入信号, 而输出信号是输入信号的代数和。

偏差信号 (Error Signal) e ——反馈控制系统比较元件的输出信号。

放大元件 (Amplification Element)——由于偏差信号一般很小, 所以要经过该元件进行电压及功率放大, 以驱动执行元件。

校正元件 (Compensation Element)——用以改善系统性能指标的元件。

执行元件 (Executive Element)——驱动被控对象的装置。

操纵量 (Manipulation Variable) m ——执行装置作用于被控对象的信号。

被控对象 (Controlled Plant)——自动控制系统中需要进行控制的设备或生产过程。

被控量 (Controlled Variable) c ——系统被控制对象的输出, 它是系统的控制目标。

扰动量 (Disturbance) d ——所有妨碍参考输入量对被控量按要求进行正常控制的因素。

反馈元件 (Feedback Element)——它对被控量进行测量, 并输出反馈信号。

反馈信号 (Feedback Signal) b ——与被控量成某种函数关系并反馈回到比较元件上的信号。

此外, 还有间接被控制装置及间接被控量 q 。

第二节 自动控制系统分类

一、按控制策略分类

可分为顺序 (Sequence) 自动控制 (即开环控制) 与反馈控制系统两类, 其中顺序自动控制系统又可分为:

(1) 时间顺序控制 按时间安排顺序执行预先给定的顺序命令。

(2) 条件顺序控制 顺序根据前一阶段的控制结果, 选定下一阶段所要完成的控制目标。

二、按照参考输入量变化的规律分类

(1) 恒值控制系统 (Control System With Fixed Set-Point) 系统的参考输入量是恒值, 并要求系统的输出量相应地保持恒定。

恒值控制系统是最常见的一类自动控制系统, 如自动调速系统、恒温控制系统和恒张力控制系统, 以及工业生产中的恒压 (压力)、稳压 (电压)、稳流 (电流) 和恒频 (频率) 自动控制系统都属于恒值控制系统。

图 1-3 所示为一自动调速系统。其控制过程如前所述, 它能保持恒速运行。

图 1-5 所示为一恒温自动控制系统。其控制过程如下:

温度 $\uparrow \rightarrow u_{rt} \uparrow \rightarrow \Delta u \downarrow \rightarrow$ 产生电压 $u_d \rightarrow$ 电动机转动 \rightarrow 带动调压器滑动臂转动 $\rightarrow u_r \downarrow \rightarrow$ 温度 $\downarrow \rightarrow$ 直到 $\Delta u = 0 \rightarrow$ 电动机停转 \rightarrow 温度恒定。

图 1-6 所示为一液位自动控制系统, 其调节过程如下:

水位 $\uparrow \rightarrow$ 浮子上浮 \rightarrow 下触点闭合 \rightarrow 电动机正转 \rightarrow 关小阀门 \rightarrow 水位 $\downarrow \rightarrow$ 下触点断开 \rightarrow 电动

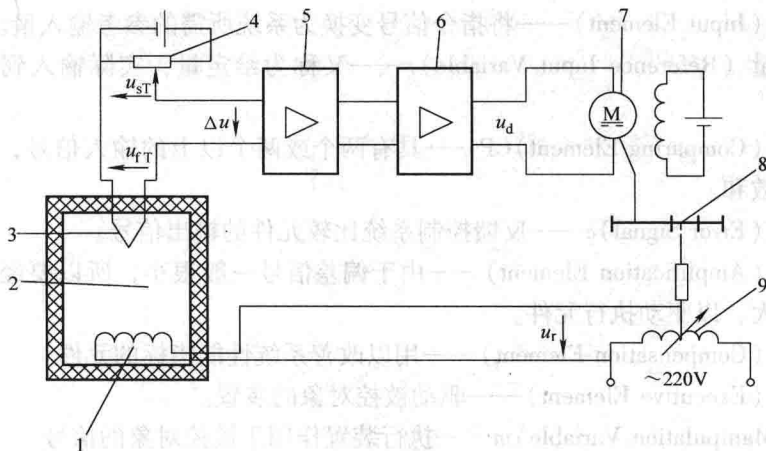


图 1-5 恒温自动控制系统

- 1—加热电阻丝 2—电炉箱 3—热电偶 4—给定电位器 5—电压放大器
6—功率放大器 7—直流伺服电动机 8—减速器 9—调压变压器

机停止工作→水位恒定在规定的范围内。

图 1-7 所示为一恒张力自动控制系统。在纸张卷绕系统中，为避免拉裂、拉伸变形或褶皱等现象发生，通常应将张力保持为一定值。图中右边为卷绕筒驱动系统（恒定线速度的自动调速系统），它以恒定的线速度卷绕被卷绕物。左边为开卷筒张力控制系统，其调节过程如下：

张力↑→滚筒摇臂失去平衡而上移→产生偏角位移量→偏差电压↑→电制动器制动力矩↓→张力↓→直到张力达到平衡。

(2) 随动系统 (Follow-up Control System) 系统参考输入量按一定规律变化（或随机变化），并要求系统的输出量能跟随输入量的变化而变化。这种控制系统通常以功率很小的输入信号操纵大功率的工作机械。

随动系统广泛地应用于刀架跟随系统、火炮控制系统、雷达导引系统和机器人控制系统等。图 1-8 所示为一随动系统，其调节过程如下：

$\varphi_1 \uparrow \rightarrow \Delta u \uparrow \rightarrow u_d \uparrow \rightarrow$ 电动机带动 $\varphi_2 \uparrow \rightarrow$ 直到 $\varphi_1 = \varphi_2 \rightarrow \Delta u = 0 \rightarrow u_d = 0 \rightarrow$ 电动机停转。

(3) 程序控制系统 (Programmed Control)

这种控制系统的参考输入量不为常值，它是按预先编制的程序变化的。如炉温控制系统中的温度调节，要求温度按预先设定的规律（程序）变化（自动升温、恒温和降温）。

三、按被控制量来分类

(1) 运动控制系统 (Motion Control System) 运动控制系统的特点是以电动机为被控

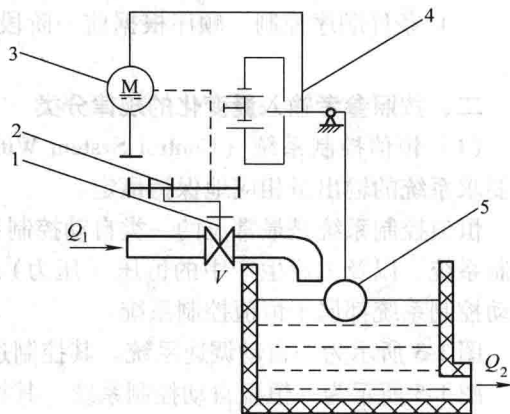


图 1-6 液位自动控制系统

- 1—水阀 2—减速器 3—直流伺服电动机
4—机械式触点开关 5—浮子

制对象控制机械运动，其中包括恒值控制系统。

(2) 生产过程自动控制系统（简称过程控制）（Process Control System） 这里的生产过程通常指在某设备中将原料放在一定的外界条件下，经过物理或化学变化而制成产品的过程。如化工、石油、造纸中的原料生产，冶金、发电中的热力过程等。在这些过程中，往往要求自动提供一定的外界条件，例如温度、压力、流量、液位、粘度、浓度等参量保持为恒值或按一定的规律变化。

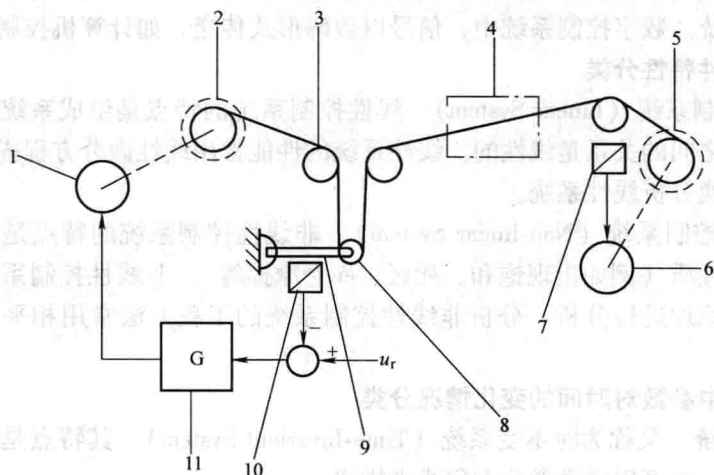


图 1-7 恒张力自动控制系统

- 1—电制动器 2—开卷筒 3—被卷物 4—被卷物加工设备 5—卷绕筒 6—卷绕筒驱动系统
7—速度检测器 8—浮动滚筒 9—浮动滚筒臂 10—偏角检测仪 11—线性控制器

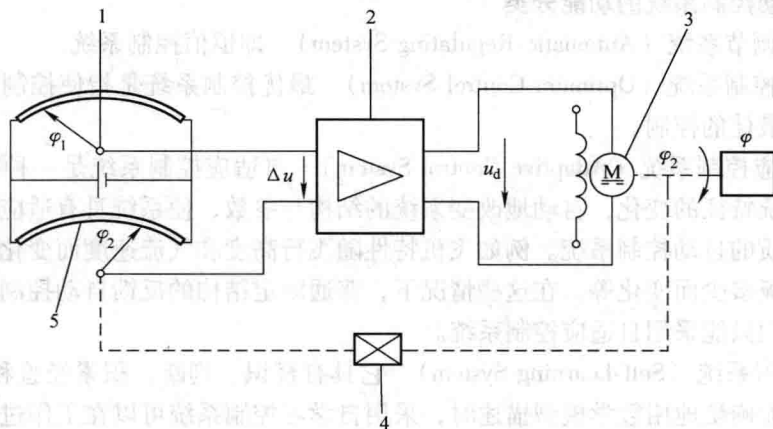


图 1-8 随动系统

- 1—控制器电位器 2—放大器 3—直流伺服电动机 4—减速器 5—反馈电位器

四、按照信号的作用特点分类

(1) 连续控制系统（Continuous Control System）也称为模拟控制系统（Analogue Control System）。系统中各组成部分元件输出量都是输入量的连续函数。上述示例均为连续控制系统。

(2) 断续控制系统（Discontinuous Control System）系统中包含有断续元件，其输入量

是连续量，而输出量是断续量。常见的断续控制系统有：

继电器控制系统（Relay Control System），亦称为开关控制系统，如常规的机床电气控制系统。

离散控制系统（Discrete Control System），又称为采样数据控制系统（Sampled-data Control System）。系统中的信号是脉冲序列或采样数据量，其脉冲的幅值、宽度及符号取决于采样时刻的输入量。离散控制系统通常用差分方程来描述。

数字控制系统。数字控制系统中，信号以数码形式传递，如计算机控制系统。

五、按照元件特性分类

（1）线性控制系统（Linear System） 线性控制系统的特点是组成系统的所有元器件的输入量和输出量之间的关系是线性的。线性系统的性能常用线性微分方程描述，可以应用叠加原理和拉氏变换分析线性系统。

（2）非线性控制系统（Non-linear System） 非线性控制系统的特点是系统中的某些元器件具有非线性性质（例如出现饱和、死区、库仑摩擦等）。非线性控制系统不能使用线性微分方程和叠加原理进行分析。分析非线性控制系统的工程方法常用相平面法和描述函数法。

六、按系统中参数对时间的变化情况分类

（1）定常系统 又称为时不变系统（Time-Invariant System），其特点是系统的全部参数不随时间而变化，它可用定常微分方程式来描述。

（2）时变系统（Time-Varying System） 时变系统的特点是系统的部分参数是时间的函数，随时间变化而变化。

七、按自动控制系统的功能分类

（1）自动调节系统（Automatic Regulating System） 即恒值控制系统。

（2）最优控制系统（Optimum Control System） 最优控制系统是指使控制系统实现对某种性能指标为最佳的控制。

（3）自适应控制系统（Adaptive Control System） 自适应控制系统是一种能够连续测量输入信号和系统特征的变化，自动地改变系统的结构与参数，使系统具有适应环境变化并始终保持优良品质的自动控制系统。例如飞机特性随飞行高度和气流速度而变化；轧机张力随卷板机卷绕钢板多少而变化等。在这些情况下，普通固定结构的反馈自动控制系统就不能满足了，它们只能采用自适应控制系统。

（4）自学习系统（Self-Learning System） 它具有辨识、判断、积累经验和学习的功能。在控制特性不能确切地用数学模型描述时，采用自学习控制系统可以在工作过程中，不断地测量，估价系统的特性，并决定最优控制方案，实现性能指标最优控制。

第三节 对控制系统的性能要求

对自动控制系统性能（Performance Specification）的基本要求可以归纳为三点：稳定性、快速性和准确性，通常用系统的稳定性、稳态特性和动态特性来描述。

一、系统的稳定性（Stability）

稳定性是指系统重新恢复平衡状态的能力。当扰动量（或给定量）发生变化时，输出

量将会偏离原来的稳定值,这时,通过系统的反馈调节作用,系统可能回到(或接近)原来的稳定值(或跟随给定量)稳定下来,如图1-9a所示,则该系统是稳定的。但控制系统输出也可能是发散的,即系统不稳定,如图1-9b所示。不稳定的控制系统无法完成正常的控制任务,甚至会损坏设备,造成事故。因此,对任何控制系统,系统正常工作的首要条件是其必须是稳定系统。

另外,对于系统稳定性的要求,还要求具有一定的稳定裕量(Stability Margin),以免由于系统参数随环境等因素的变化而导致系统进入不稳定状态。

二、系统的动态性能指标 (Dynamic Performance Specification)

由于控制系统的元件和被控制对象通常都具有一定的惯性(如机械惯性、电磁惯性和热惯性等),并受到能源功率的限制,系统中各种参数(如速度、位移、电流和温度等)的变化不可能突变。因此,系统从一个稳态过渡到另一个稳态需要经历一段时间,即需要经历一个过渡过程。表征这个过渡过程的性能指标称为动态性能指标(又称为动态响应指标)。通常用系统对突加给定信号时的动态响应性能来表征其动态性能指标。

图1-10为系统对突加给定信号的动态响应曲线。

动态响应指标通常用最大超调量(Maximum Overshoot) $\sigma_p\%$ 、建立时间(Setting Time) t_s 和振荡次数(Order Number) N 来评价。

(1) 最大超调量 $\sigma_p\%$ 最大超调量是输出量 $c(t)$ 与稳态值 $c(\infty)$ 的最大偏差 Δc_{\max} 与稳态值 $c(\infty)$ 之比。即

$$\sigma_p\% = \frac{\Delta c_{\max}}{c(\infty)} \times 100\%$$

最大超调量反映了系统的动态精度,超调量越小,说明系统过渡过程进行得越平滑。控制系统不同,对最大超调量的要求也不同。

(2) 建立时间 t_s 建立时间(又称为调节时间或过渡过程时间)指系统响应曲线与其稳态值之差达到并且不再超过规定的误差范围 $\delta c(\infty)$ 所需的时间,其误差范围一般定为 $\delta = \pm 2\% \sim \pm 5\%$ 。它反映了系统的快速性能,建立时间越小,系统快速性越好。

(3) 振荡次数 N 振荡次数指 t_s 时间范围内输出信号的振荡周期数,即 t_s 时间内系统响应曲线穿越稳态值次数的一半。振荡次数越少,系统稳定性能越好。

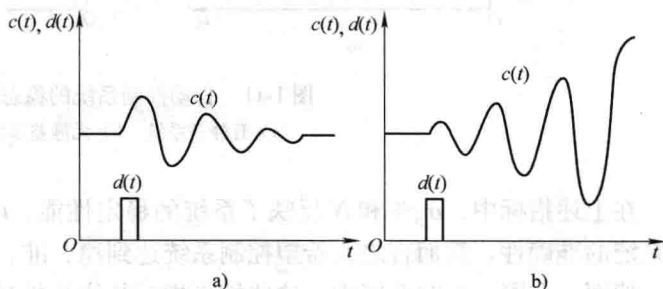


图1-9 系统的稳定性

a) 稳定系统 b) 不稳定系统

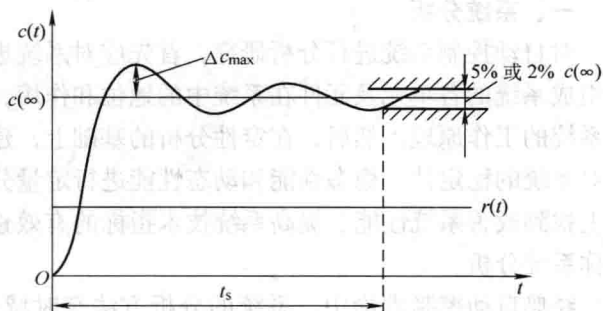


图1-10 系统对突加给定信号的动态响应曲线

三、系统的稳态性能指标 (Steady-State Performance Specification)

系统从一个稳态过渡到另一个稳态, 或系统受到扰动作用又重新进入平衡状态后, 系统会出现偏差, 这种偏差称为稳态误差 e_{ss} (Steady-State Error)。系统稳态误差的大小表征系统的稳态精度, 即系统的准确程度。稳态误差越小, 则系统的稳态精度越高。对于 $e_{ss} = 0$ 的系统, 称为无静差系统; 而 $e_{ss} \neq 0$ 的系统, 则称为有静差系统, 如图 1-11 所示。

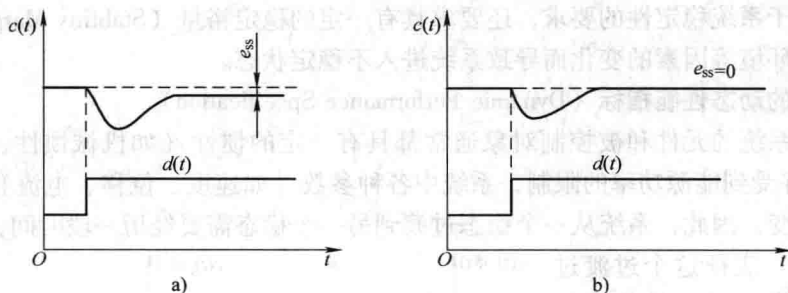


图 1-11 自动控制系统的稳态性能

a) 有静差系统 b) 无静差系统

在上述指标中, $\sigma_p\%$ 和 N 反映了系统的稳定性能, t_s 反映了系统的快速性, 而 e_{ss} 反映了系统的准确性。简而言之, 希望控制系统达到稳、准、快。

然而, 在同一控制系统中, 这些性能指标往往是相互矛盾的。这就需要根据具体控制对象所提出的要求, 对其中的某些指标有所侧重, 同时又要注意兼顾其他性能指标。此外, 在考虑提高系统的性能指标的同时, 还要考虑到系统的可靠性和经济性。

第四节 研究自动控制系统的基本方法

自动控制系统虽然种类繁多、形式不同, 但其研究的内容和方法却是类似的, 其研究内容主要分为系统分析和系统设计两部分。本课程主要研究直流调速系统、位置随动系统和交流调速系统。它们都可以归纳为单输入、单输出自动控制系统的范畴, 一般采用经典自动控制原理进行系统分析和系统设计。因而本书第一章到第五章将研究经典自动控制原理。

一、系统分析

对自动控制系统进行分析研究, 首先应对系统进行定性分析。所谓定性分析, 就是在弄清组成系统的各单元及元件在系统中的地位和作用, 以及它们之间的相互联系的基础上, 分析系统的工作原理。然后, 在定性分析的基础上, 建立系统的数学模型; 再应用自动控制理论对系统的稳定性、稳态性能和动态性能进行定量分析。最后, 在系统定性和定量分析的基础上找到改善系统性能、提高系统技术指标的有效途径。以上过程称为对控制系统的分析, 简称系统分析。

经典自动控制理论中, 系统的分析方法有时域分析法 (Time-domain Analysis Method)、频率分析法 (Frequency Response Method) 和根轨迹法 (The Root locus Method) 等几种分析方法。这几种分析方法各有所长。自动控制系统分析的基本步骤如图 1-12 所示。本书第一章到第四章将介绍自动控制系统的基本分析方法。

二、系统设计

自动控制系统的目的就是实现对被控制对象的控制，当被控制对象确定后，根据其工作条件及生产要求可以提出对控制系统性能指标的要求。在确定了合理的系统性能指标的基础上，进行系统的初步设计。选择系统的执行元件、放大元件、比较元件和测量元件等。上述元件除放大元件的放大系数可以调整外，其他元件的参数基本上是固定的，它们与被控制对象一起组成系统的不可变部分，或称为系统的固有部分。为了使系统既有满意的稳态精度又有满意的动态精度，就必须在已选定的系统固有部分的基础上，增设一些必要的装置，使系统能全面地满足设计要求的性能指标。为满足性能指标所增设的装置称为校正装置（Compensator），加入校正装置使控制系统性能得到改善的过程称为对控制系统的校正（Compensation），简称系统校正。

自动控制系统的校正的基本步骤如图 1-13 所示。本书第五章将介绍自动控制系统的基校正方法。

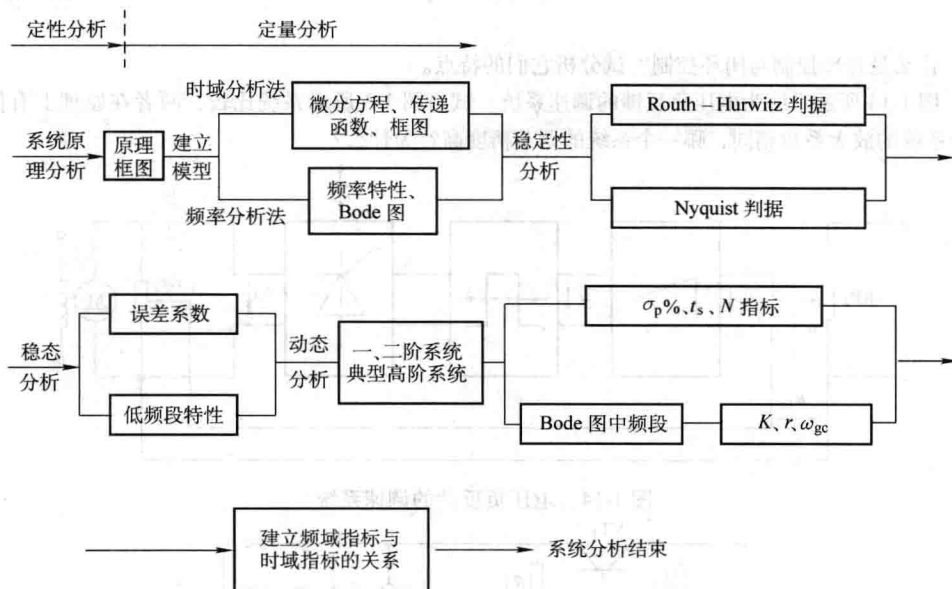


图 1-12 自动控制系统的分析步骤

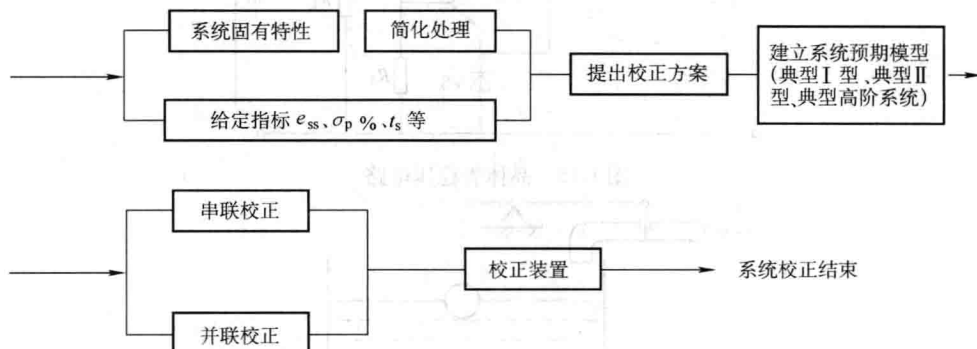


图 1-13 自动控制系统的校正步骤

小结

1. 开环控制系统结构简单、稳定性好，但不能自动补偿扰动因素对输出量的影响。当系统扰动量能够进行补偿或影响不大时，可以采用开环控制；而当扰动量无法预计或控制系统要求较高时，则应采用闭环控制。
2. 闭环控制系统能够依靠反馈环节进行自动调节，补偿扰动对系统产生的影响，提高系统精度。
3. 对自动控制系统性能指标的要求是稳、准、快。动态指标 $\sigma_p\%$ 和 N 反映了系统的相对稳定性能， t_s 反映了系统的快速性，而稳态指标 e_{ss} 反映了系统的准确性。

思考题与习题

1-1 什么是开环控制与闭环控制？试分析它们的特点。

1-2 图 1-14 所示系统为电压负反馈的调速系统。试与图 1-3 所示系统比较，两者在原理上有何不同，如果两个系统的放大系数相同，哪一个系统的调节精度高？为什么？

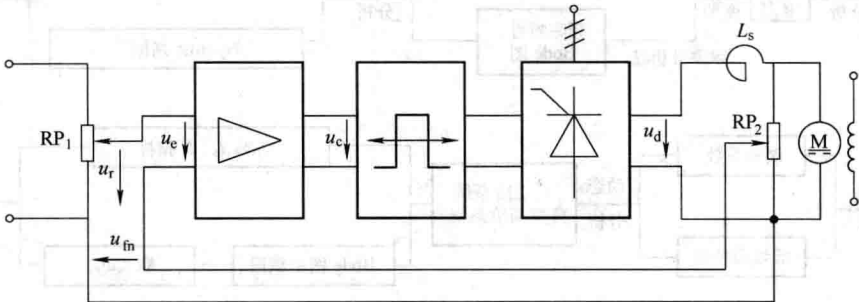


图 1-14 电压负反馈的调速系统

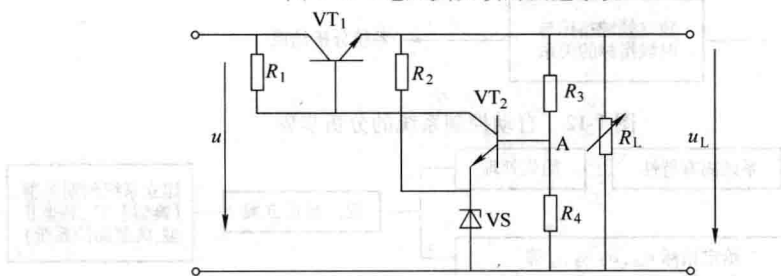


图 1-15 晶体管稳压电路

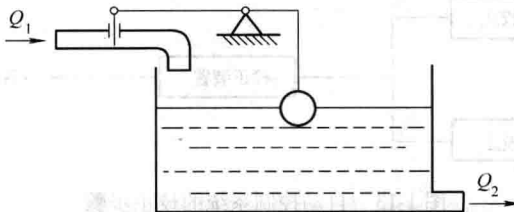


图 1-16 水位控制系统

1-3 晶体管稳压电路如图 1-15 所示, 试指出给定量、被控量、反馈量和扰动量, 并绘制系统框图。

1-4 图 1-16 所示为一水位自动控制系统。试画出系统框图, 并说明系统的给定量、被控量、反馈量和扰动量是什么?

1-5 试画出图 1-17 所示的位置随动系统框图, 并指出系统的测量元件、执行元件和被控对象。

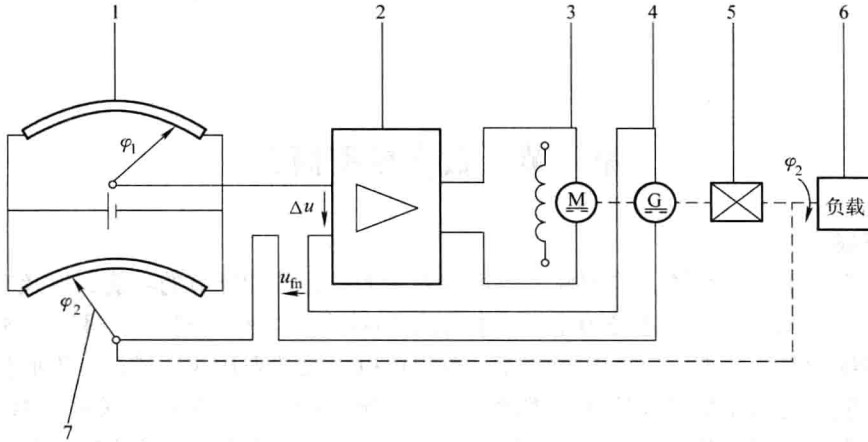


图 1-17 位置随动系统

1—控制器电位器 2—放大器 3—直流伺服电动机 4—测速发电机
5—减速器 6—负载 7—反馈电位器