

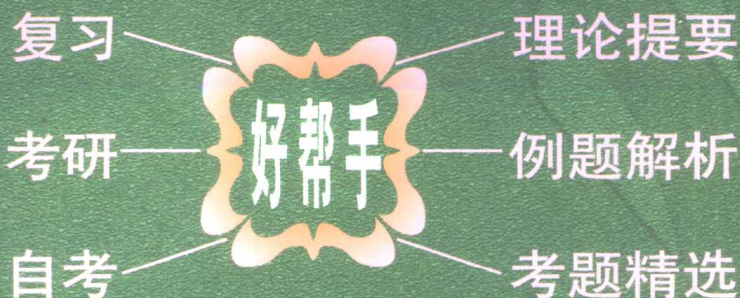


21世纪高等学校
机械设计制造及其自动化专业参考书

机械程控制基础 (第四版)

学习辅导与题解

熊良才 杨克冲 吴波



华中科技大学出版社

HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS
E-mail: hustpp@wuhan.cninfo.net



21 世纪高等学校机械设计
制造及其自动化专业参考书

机械工程控制基础(第四版)

学习辅导与题解

熊良才 杨克冲 吴 波

华中科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

机械工程控制基础(第四版) 学习辅导与题解/熊良才 杨克冲 吴 波
武汉:华中科技大学出版社, 2002年4月
ISBN 7-5609-2676-2

I. 机…

II. ①熊… ②杨… ③吴…

III. 机械工程-控制系统-高等学校-教学参考资料

IV. TH

21 世纪高等学校

机械设计制造及其自动化专业参考书

熊良才 杨克冲 吴 波

机械工程控制基础(第四版)

学习辅导与题解

责任编辑:黎秋萍

封面设计:潘 群

责任校对:张兴田

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87545012

录 排:华中科技大学出版社照排室

印 刷:华中科技大学印刷厂

开本:787×1092 1/16

印张:13.75

字数:260 000

版次:2002年4月第1版

印次:2002年4月第1次印刷

印数:1—4 000

ISBN 7-5609-2676-2/TH·123

定价:17.80 元

(本书若有印装质量问题,请向出版社市场部调换)

内 容 提 要

本书为《机械工程控制基础》(第四版)的教学参考用书。本书对教材中的内容进行了简要的总结,扩充了教材中的例题,并对教材中的所有习题进行了解答。

本书可作为《机械工程控制基础》课程教师的教学参考书,也可作为机械类专业各类学生学习该课程的参考书。

21 世纪高等学校 机械设计制造及其自动化专业系列教材

总 序

发展是硬道理,而改革是关键。唐代大诗人刘禹锡写得多么好:“请君莫奏前朝曲,听唱新翻《杨柳枝》。”这是这位改革派的伟大心声。

1998 年教育部颁布了新的普通高等学校专业目录。这是一大改革。为满足各高校开办“机械设计制造及其自动化”宽口径新专业教学的需要,华中科技大学出版社在世纪之交,千年之替,顺应时代潮流,努力推出了“机械设计制造及其自动化”专业系列教材。这套系列教材是在众多院士支持与指导下,由全国 20 余所院校数十位长期从事教学和教学改革工作的教师经多年辛勤劳动编写成的,它有特色,能满足机械类专业人才培养要求。

这套系列教材的特色在于,它紧密结合“机械类专业人才培养方案及教学内容体系改革的研究与实践”与“工程制图与机械基础系列课程教学内容和课程体系改革的研究与实践”两个重大教学改革项目,集中反映了华中科技大学和国内众多兄弟院校自实施教育部“高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”以来,在改革机械类专业培养模式和课程内容体系方面所取得的成果。

这套系列教材,是完全按照两个重大教学改革项目的成果所提出的“机械设计制造及其自动化”宽口径专业培养方案中所设置的课程来编写的。这一培养方案的一个重要特点是:专业基础课按课群方式设置,即由力学系列课程,机械设计基础系列课程,计算机应用基础系列课程,电工、电子技术基础系列课程,机械制造技术基础系列课程,测控系列课程,经营管理系列课程等七大课群组成,有效地拓宽了专业口径和专业基础,体现了机械类专业人才培养模式的改革。

同时专业基础课按课群设置,也有利于加强课群内各门课程在内容上的衔接,有利于课程体系的进一步整合、优化及改革。专业基础课按七大课群设置,这得到了全国高校机械工程类专业教学指导委员会的充分赞同。

21 世纪工程教育的一个基本特征就是“适应性”,就是坚持邓小平同志指出的教育的“三个面向”的战略思想。能适应,才能创业。要能多方适应科学技术的突飞猛进和社会的不断进步,就得进一步明确指导思想,进一步合适地拓宽专业口径与专业基础,构造现代化的人才知识结构、能力结构和素质结构,就得因史制宜、因地制宜、因势制宜,努力实现培养模式的多样化,切忌“千篇一律”、“千人一脸”,万紫千红方能有一个大好的春天。

这是一套具有较大改革力度的系列教材。教材的作者们认真贯彻了中央的教育方针与改革思想,体现出两个重大改革项目成果所提出的“以创新设计为核心,以机械技术与信息技术结合为龙头,以计算机辅助技术为主线,拓宽基础,强化实践”的总体改革思路,并本着整合、拓宽、更新和更加注重应用的原则,对课程的内容、体系进行了诸多重要改革,而且许多课程在开发电子教材方面也取得了长足进展。

按照减少学时、降低重心、拓宽面向、精选内容、更新知识的原则,对原机械专业三门主要专业课(机械制造工艺学、金属切削机床设计、金属切削原理与刀具)实行了整合和改造,编写出了供“机械设计及其自动化”宽口径专业学生学习的《机械制造技术基础》新教材。

改造了原电工技术、电子技术系列课程,将分散在几门课程中的强电知识整合为《机电传动控制》新课程,减少了重复,拓宽了基础,突出了“机电结合、电为机用”的特点。

使用自主版权软件改革传统工程制图内容体系,不仅实现了工程制图和计算机绘图内容的有机融合,也实现了制图课教学手段的现代化。

以设计为主线,重新规划了《机械设计》和《机械原理》课程体系结构,在内容上努力实现由注重学科的系统性向更加注重工程综合性的转化,在教学手段上全面引入多媒体技术,提升了课堂教学的效果和效率。

《金属材料及热处理》更名为《工程材料及应用》,除紧密结合现代科技成就,讲解金属材料的基本理论及应用外,还讲解了其他各类工程材料的有关知识。

《测试技术》更名为《工程测试与信息处理》,加强了与信息获取、传输、存储、处理及应用有关的内容,并率先在国内建成网上测试技术虚拟实验室。

《液压传动》与《气压传动》整合为《液压传动与气压传动》,精简了内容,强化了应用,并制作出了相应的电子教案。

《材料成形工艺基础》在精选传统金属成形工艺内容的基础上,较大幅度地增

加了新材料、新工艺、新技术方面的知识。

编写出版了《现代设计方法》、《机构与机械零部件 CAD》、《柔性制造自动化概论》、《机电一体化控制技术与系统》及《机器人技术基础》等教材,反映了现代科技的新发展。

科学与工程既有联系又有区别。科学注重分析,工程注重综合。任何一项工程本身都是多学科的综合体。今天,工程技术专家的基本作用正是一种集成作用,工程技术专家的任务是构建整体。我们必须从我国国情出发,按照现代工程的特点和工程技术专家的基本作用来构建机械工程教育的内容和体系。

华中科技大学出版社依托全国高校机械工程类专业教学指导委员会、全国高校机械基础课程指导委员会,经过多年不懈的努力,使这套系列教材的出版达到了较高的质量水准。例如,目前已有 11 本被教育部批准为“面向 21 世纪课程教材”,有 5 本获得过国家级、省部级各种奖励,全套教材已被全国几十所高校采用,广泛受到教师和学生的欢迎。特别是其中一些教材(如《机械工程控制基础》、《数字控制机床》等),经长期使用,多次修订,已成为同类教材中的精品。

现在这套系列教材已经正式出版 20 多本,涵盖了“机械设计制造及其自动化”专业的所有主要专业基础课程和部分专业方向选修课程,能够较好地满足教学上的需要。我们深信,这套系列教材的出版发行和广泛使用,将不仅有利于加强各兄弟院校在教学改革方面的交流与合作,而且对机械类专业人才培养质量的提高也会起到积极的促进作用。

当然,由于编者学术水平有限,改革探索经验不足,组织工作还有缺陷,何况,形势总在不断发展,现在还远不能说系列教材已经完善,相反,还需要在改革的实践中不断检验,不断修改、锤炼,不断完善,永无休期。“嚶其鸣矣,求其友声。”我们殷切期望同行专家及读者们不吝赐教,多加批评与指正。

江泽民同志在 2000 年 6 月我国两院院士大会上号召我们:“创新,创新,再创新!”实践、探索、任重道远,只有努力开拓创新,才可能创造更美好的未来!

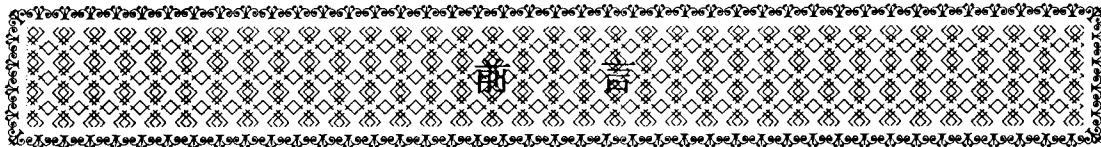
全国高校机械工程类专业教学指导委员会主任委员

中国科学院院士

华中科技大学教授

2000 年 11 月 2 日

杨叔子



本书是为配合杨叔子、杨克冲等编著的《机械工程控制基础》(第四版)教材而编写的一本教学参考书。《机械工程控制基础》自第一版问世以来,受到了许多院校师生的普遍赞誉,并多次获奖,发行量已近 20 万册。

编者在教学过程中发现,《机械工程控制基础》作为一门多学科交叉的新课程,对于机械学科的学生来说,学习起来有一定的难度。因此,根据在教学过程中积累的一些素材,并参考有关习题解答材料,编写了这本学习辅导与题解。为帮助读者正确理解和应用《机械工程控制基础》(第四版)一书的基本理论与基本方法,在每章的前半部分对该章的主要内容进行了简要的说明,接着,提出了学习该章的基本要求、重点和难点,然后,通过若干与教材中不同类型的例题扩充了教材的内容,以尽量扩展读者的视野。在每章的最后,给出了教材中该章所有习题的解答。

需要说明的是,在编写的过程中,由于篇幅的限制,基本上只列举了教材中尚未出现的例题,而对教材中的例题,读者应该引起足够的重视。也就是说,此处的例题只是对教材内容的一个扩充,并不覆盖教材的全部。另外,本书在内容的安排、问题的描述上,尽量与教材保持一致,但并没有苛求完全相同,而对教材中的有些问题适当地予以扩充,读者在使用时,可以根据自己的实际情况进行取舍。

在本书的编写过程中,得到了华中科技大学机械科学与工程学院原信息与智能技术研究所的支持与帮助,在此表示感谢。书中参考或引用了书后所列资料的素材,特此致谢。

由于编者经验不足,水平有限,时间仓促,书中内容和选题及解答等方面存在不少错误和不妥之处,恳请广大读者批评指正,我们将不胜感激。

编 者

2002 年 3 月于华中科技大学

主要符号说明

m	质量	$N(s)$	$L[n(t)]$
c	粘性阻尼系数	n	单独使用时一般表示转速
k	弹簧刚度	ω	角速度
R	电阻	T	时间常数或时间
C	电容	τ	延迟时间或时间
L	电感	ω_n	无阻尼固有频率
K	增益或放大系数	ω_d	有阻尼固有频率
$f(t)$	外力	ω_T	转角频率
$L[\]$	Laplace 变换	ω_g	相位交接频率
$F[\]$	Fourier 变换	ω_c	增益交接频率或剪切频率
$x_i(t)$	输入(激励)	ω_b	截止频率
$X_i(s)$	$L[x_i(t)]$	ω_r	谐振频率
$x_o(t)$	输出(响应)	ξ	阻尼比
$X_o(s)$	$L[x_o(t)]$	M_r	相对谐振峰值
$X_i(j\omega)$	$F[x_i(t)]$	M_p	超调量
$X_o(j\omega)$	$F[x_o(t)]$	K_g	增益裕度
$\delta(t)$	单位脉冲函数	γ	相位裕度
$u(t)$	单位阶跃函数	u	一般表示电压
$r(t)$	单位斜坡函数	i	一般表示电流
$w(t)$	单位脉冲响应函数	$\varepsilon(t)$	偏差
$G(s)$	传递函数或前向通道传递函数	$E(s)$	$L[\varepsilon(t)]$
$G(j\omega)$	频率特性	$e(t)$	误差
$H(s)$	反馈回路传递函数	$E_1(s)$	$L[e(t)]$
$H(j\omega)$	反馈回路频率特性	φ, θ	一般表示相位
$B(s)$	闭环系统反馈信号	j	印为正体字时表示 $\sqrt{-1}$
$G_K(s)$	系统的开环传递函数	$x^*(t)$	$x(t)$ 采样后的时间序列
$G_B(s)$	系统的闭环传递函数	f_s	采样频率
$G_K(j\omega)$	系统的开环频率特性	$Z[\]$	Z 变换
$G_B(j\omega)$	系统的闭环频率特性	$X(z)$	$Z[x(t)]$
$n(t)$	干扰信号	$G(z)$	离散系统的传递函数(或称脉冲传递函数)



机械工程控制基础 (第四版) 学习辅导与题解

第一章 绪论	(1)
内容提要	(1)
1.1 机械工程控制论的研究对象与任务	(1)
1.2 系统及其模型	(2)
1.3 反馈	(2)
1.4 系统的分类及对控制系统的基本要求	(3)
基本要求、重点与难点	(5)
例题	(6)
习题与解答	(7)
第二章 系统的数学模型	(16)
内容提要	(16)
2.1 系统的微分方程	(16)
2.2 系统的传递函数	(17)
2.3 系统的传递函数方框图及其简化	(19)
2.4 反馈控制系统的传递函数	(21)
2.5 相似原理	(21)
基本要求、重点与难点	(22)
例题	(22)
习题与解答	(27)
第三章 时间响应分析	(41)
内容提要	(41)
3.1 时间响应及其组成	(41)
3.2 典型输入信号	(42)
3.3 一阶系统的时间响应	(42)
3.4 二阶系统的时间响应	(43)

3.5 高阶系统的响应分析·····	(47)
3.6 系统误差分析与计算·····	(48)
3.7 δ 函数在时间响应中的作用·····	(51)
基本要求、重点与难点·····	(51)
例题·····	(52)
习题与解答·····	(57)
第四章 频率特性分析 ·····	(71)
内容提要·····	(71)
4.1 频率特性概述·····	(71)
4.2 频率特性的图示法·····	(72)
4.3 闭环频率特性·····	(78)
4.4 频率特性的特征量·····	(78)
4.5 最小相位系统和非最小相位系统·····	(79)
基本要求、重点与难点·····	(79)
例题·····	(80)
习题与解答·····	(83)
第五章 系统的稳定性 ·····	(103)
内容提要·····	(103)
5.1 系统稳定性的初步概念·····	(103)
5.2 Routh(劳斯)稳定判据·····	(103)
5.3 Nyquist(乃奎斯特)稳定判据·····	(104)
5.4 Bode(伯德)稳定判据·····	(106)
5.5 系统的相对稳定性·····	(108)
基本要求、重点与难点·····	(109)
例题·····	(109)
习题与解答·····	(114)
第六章 系统的性能与校正 ·····	(125)
内容提要·····	(125)
6.1 系统的性能指标·····	(125)
6.2 系统的校正·····	(125)
6.3 串联校正·····	(126)
6.4 PID 校正·····	(131)
6.5 反馈校正·····	(133)
6.6 顺馈校正(或称顺馈补偿)·····	(133)

基本要求、重点与难点	(134)
例题	(134)
习题与解答	(138)
第七章 非线性系统初步	(145)
内容提要	(145)
7.1 概述	(145)
7.2 描述函数法	(145)
7.3 相平面分析法	(147)
基本要求、重点与难点	(151)
例题	(152)
习题与解答	(155)
第八章 线性离散系统初步	(163)
内容提要	(163)
8.1 概述	(163)
8.2 信号的采样与采样定理	(163)
8.3 Z 变换与 Z 反变换	(164)
8.4 离散系统的传递函数	(166)
8.5 离散系统的稳定性分析	(169)
8.6 离散系统的校正与设计	(169)
基本要求、重点与难点	(170)
例题	(171)
习题与解答	(174)
第九章 系统辨识初步	(185)
内容提要	(185)
9.1 系统辨识的基本概念	(185)
9.2 系统辨识的频率特性法	(185)
9.3 单位脉冲响应的估计	(187)
9.4 系统辨识的差分方程法	(188)
基本要求、重点与难点	(191)
习题与解答	(192)
第十章 控制系统的计算机辅助分析	(200)
关于控制系统的计算机辅助分析的几点说明	(200)
参考文献	(202)



绪 论

内 容 提 要

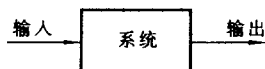
1.1 机械工程控制论的研究对象与任务

一、系统及广义系统

系统是由相互联系、相互作用的若干部分构成且具有一定运动规律的一个有机整体。

系统与外界之间的关系如图 1.1.1 所示,其中,输入:外界对系统的作用;输出:系统对外界的作用。

系统可大可小,可繁可简,甚至可“实”可“虚”,完全由研究的需要而定,因而将它们统称为广义系统。



二、机械工程控制论的研究对象

机械工程控制论实质上是研究机械工程技术中广义系统的动力学问题。具体地说,它研究的是机械工程广义系统在一定的外界条件(即输入或激励、干扰)作用下,从系统的一定的初始状态出发,所经历的由其内部的固有特性(即由系统的结构与参数所决定的特性)所决定的整个动态历程;研究这一系统及其输入、输出三者之间的动态关系。

图 1.1.1 系统及其与外界的联系

三、机械工程控制论的研究任务

从系统、输入、输出三者之间的关系出发,根据已知条件与求解问题的不同,机械工程控制论的任务可以分为以下五方面:

- (1) 已知系统和输入,求系统的输出,即系统分析问题;
- (2) 已知系统和系统的理想输出,设计输入,即最优控制问题;
- (3) 已知输入和理想输出,设计系统,即最优设计问题;
- (4) 输出已知,确定系统,以识别输入或输入中的有关信息,此即滤波与预测问题;
- (5) 已知系统的输入和输出,求系统的结构与参数,即系统辨识问题。

1.2 系统及其模型

一、系统的特性

系统具有如下特性:

- (1) 系统的性能不仅与系统的元素有关,而且还与系统的结构有关;
- (2) 系统的内容比组成系统各元素的内容要丰富得多;
- (3) 系统往往表现出在时域、频域或空域等域内的动态特性。

二、机械系统

以实现一定的机械运动、输出一定的机械能,以及承受一定的机械载荷为目的的系统,称为机械系统。对于机械系统,其输入和输出分别称为“激励”和“响应”。

三、系统模型

系统的模型包括实物模型、物理模型和数学模型等等。而数学模型又包括静态模型和动态模型。动态模型在一定的条件下可以转换成静态模型。在控制理论或控制工程中,一般关心的是系统的动态特性,因此,往往需要采用动态数学模型。即,一般所指的系统的数学模型是描述系统动态特性的数学表达式。

1.3 反 馈

一、系统方框图及其组成

系统方框图由许多对信号(量)进行单向传递的元件方框和一些连线组成,表征了系统各元件之间及系统与外界之间进行信息交换的关系。它包括三个基本的单元,即

引出点(分支点):表示信号的引出或信号的分支,箭头表示信号的传递方向,线上标记信号的名称,如图 1.3.1. (a) 所示。

比较点(相加点):表示两个或两个以上的信号进行相加或相减运算。“+”表示信号相加;“-”表示信号相减,如图 1.3.1. (b) 所示。

元件方框:方框中写入元、部件的名称,进入箭头表示其输入信号;引出箭头表示其输出信号,如图 1.3.1. (c) 所示。

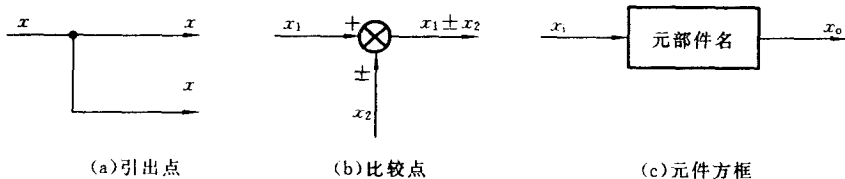


图 1.3.1 系统方框图的基本组成单元

二、信息及信息反馈的概念

信息:一切能表达一定意义的信号、符号和密码等统称为信息。

反馈(信息反馈):将系统的输出部分或全部地返回到系统的输入端并共同作用于系统的过程,称为反馈或信息反馈。

三、内反馈和外反馈

内反馈:在系统或过程中存在的各种自然形成的反馈,称为内反馈。它是系统内部各个元素之间相互耦合的结果。内反馈是形成机械系统动态特性的根本原因,纷繁复杂的内反馈的存在使得机械系统变得异常复杂。读者对于机械系统中普遍存在的内反馈现象应引起足够的重视。

外反馈:在自动控制系统中,为达到某种控制目的而人为加入的反馈,称为外反馈。

1.4 系统的分类及对控制系统的基本要求

一、控制系统的基本概念

被控对象:在控制理论和控制技术中,运动规律或状态需要控制的装置称为被控对象(控制对象)。被控对象可大可小,甚至可“实”可“虚”。

控制器:在控制系统中,除被控对象以外的所有装置,统称为控制器。

给定元件:控制系统中主要用于产生给定信号(输入信号、希望值)的元件。

反馈元件(测量元件):控制系统中用于测量被控量(输出量),产生反馈信号的元件。反馈信号与输出量之间往往存在确定的函数关系。

比较元件:控制系统中用以比较输出信号与反馈信号,并求取偏差信号的元件。有时并非为物理元件,可能通过物理定律或其他定律实现。

放大元件:控制系统中对输入信号或偏差信号进行幅值放大或功率放大的元件。

执行元件:控制系统中直接对被控对象进行操作的元件。

被控制量:表征被控对象运动规律或状态的物理量。实质上是系统的输出(输出量)。

希望值:希望的被控对象运动规律或状态的物理量(或称输入量、系统输入)。

偏差:系统的输入量与反馈量之差或之和(即比较环节的输出值)。

控制量:被控对象的输入量。由于往往是偏差量的某种函数,因此,也可将偏差量看成控制量。

扰动量(干扰):指除给定量以外,所有使得被控制量偏离给定值的因素。扰动量包括因系统外部因素发生变化而引起的外扰动量和因系统内部因素所引起的内扰动量。

人工控制:在人的直接参与下,使被控对象的被控制量按预定的规律运动或变化的控制方式。

自动控制:在无人直接参与的情况下,利用一组装置使被控对象的被控制量按预定的规律运动或变化的控制方式。

自动控制系统:被控对象和参与实现其被控制量自动控制的装置或元、部件的组合。

二、对广义系统按反馈的情况进行分类

(1) 开环系统: 当一个系统以所需的方框图表示而没有反馈回路时, 称之为开环系统。

开环控制系统一般由给定元件、放大元件、执行元件、被控对象等单元组成, 其方框图可表示成如图 1.4.1 的形式。



图 1.4.1 开环控制系统方框图

(2) 闭环系统: 当一个系统以所需的方框图表示而存在反馈回路时, 称之为闭环系统。闭环控制系统一般由给定元件、比较元件、放大元件、执行元件、被控对象、测量元件等单元组成, 其方框图可表示成如图 1.4.2 的形式。

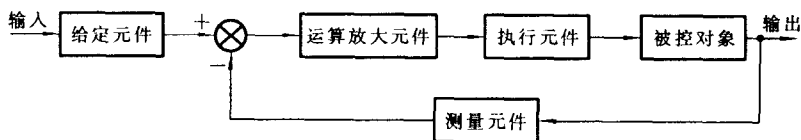


图 1.4.2 闭环控制系统方框图

若将控制系统按被控对象和控制器两部分进行划分, 则开环系统和闭环系统还可以分别表示为如图 1.4.3(a)、(b) 的形式。

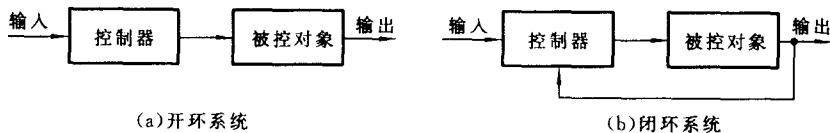


图 1.4.3 系统方框图的简化形式

一个闭环自动控制系统的工作过程大体上可分为以下几个步骤:

- 1) 测量被控制量的实际值;
- 2) 将实际值与给定值进行比较, 求出偏差的大小与方向;
- 3) 根据偏差的大小与方向进行控制以纠正偏差。

简单地讲, 闭环自动控制系统的工作过程就是一个“检测偏差并用以纠正偏差”的过程。

按反馈的作用不同, 将反馈分为正反馈和负反馈。其中, 凡能使系统的偏差的绝对值增大的反馈, 就称为正反馈; 而能使系统的偏差的绝对值减小的反馈, 则称为负反馈。

三、对自动控制系统按输出的变化规律进行分类

(1)自动调节系统:在外界的作用下,系统的输出仍能基本保持为常量的系统。也称为镇定系统或恒值系统。

(2)随动系统:在外界的作用下,系统的输出能相应于输入在广阔范围内按任意规律变化的系统。

(3)程序控制系统:在外界的作用下,系统的输出按预定程序变化的系统。

另外,广义系统还可根据是否满足叠加性而分为线性系统和非线性系统;根据系统中信号或变量是否全是连续量而分为连续系统和离散系统(或模拟系统和数字系统);根据系统的功能可分为温度控制系统、速度控制系统等等。

四、对控制系统的基本要求

(1)系统的稳定性。稳定性是指动态过程的振荡倾向和系统能够恢复平衡状态的能力。稳定性的要求是系统工作的首要条件。

(2)系统响应的快速性。快速性是指当系统输出量与给定的输入量之间产生偏差时,消除这种偏差的快速程度。

(3)系统响应的准确性。准确性指在调整过程结束后输出量与给定的输入量之间的偏差,亦称为静态精度。

五、自动控制系统方框图的绘制步骤

(1)分析控制系统的工作原理,找出被控对象。

(2)分清系统的输入量、输出量。

(3)按照控制系统各环节的定义,找出相应的各个环节。

(4)按信息流动的方向将各个环节用元件方框和连线连接起来。

基本要求、重点与难点

一、基本要求

(1)了解机械工程控制论的基本含义和研究对象,学习本课程的目的和任务;掌握广义系统动力学方程的含义。

(2)了解系统、广义系统的概念;了解系统的基本特性;了解系统动态模型和静态模型之间的关系。

(3)掌握反馈的含义,学会分析动态系统内信息流动的过程,掌握系统或过程中存在的反馈。

(4)了解正反馈、负反馈、内反馈、外反馈的概念。

(5)了解广义系统的几种分类方法;掌握闭环控制系统的工作原理、组成;学会绘制控制系统的方框图。

(6)了解控制系统中基本名词和基本变量。