

全国高职高专通用教材辅导与技能训练用书

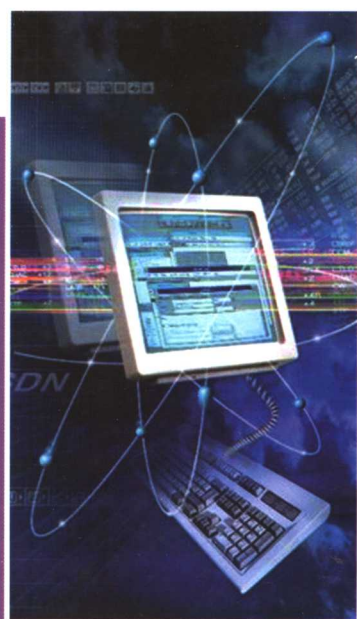
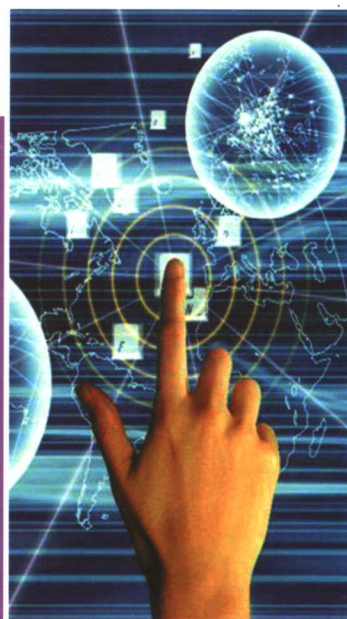
YTH

ZIDONGKONGZHIXITONG
XUEXIFUDAO
YUJINENGXUNLIAN

自动控制系统

主 编 王炳实

学习辅导与技能训练



全国高职高专通用教材辅导与技能训练用书

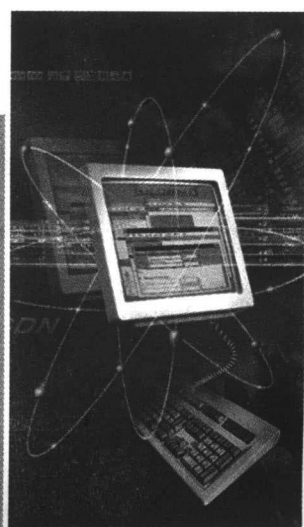
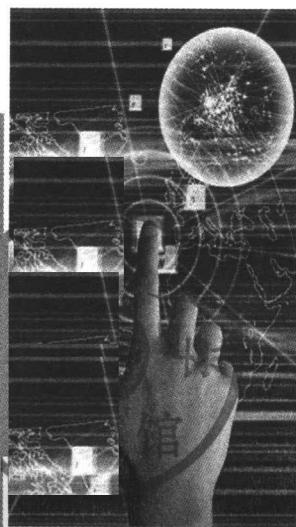
YTH

ZIDONGKONGZHIXITONG
XUEXIFUDAO
YUJINENGXUNLIAN

自动控制系统

主 编 王炳实

学习辅导与技能训练



图书在版编目(CIP)数据

自动控制系统学习辅导与技能训练/王炳实主编. —
济南:山东科学技术出版社,2006
(全国高职高专通用教材辅导与技能训练用书)
ISBN 7-5331-4328-0

I.自... II.王... III.自动控制系统—高等学校:
技术学校—教学参考资料 IV.TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 034259 号

全国高职高专通用教材辅导与技能训练用书

自动控制系统学习辅导与技能训练

主编 王炳实

出版者:山东科学技术出版社

地址:济南市玉函路 16 号

邮编:250002 电话:(0531)82098088

网址:www.lkj.com.cn

电子邮件:sdkj@sdpress.com.cn

发行者:山东科学技术出版社

地址:济南市玉函路 16 号

邮编:250002 电话:(0531)82098071

印刷者:鲁创彩印有限公司

地址:莱芜市方下工业园

邮编:271125 电话:(0634)6613111

开本:787mm×1092mm 1/16

印张:7.5

版次:2006 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

ISBN 7-5331-4328-0

TP·113

定价:13.00 元

编 委 会

主 任:王炳实

副主任:黄振轩 杨传耀 王洪龄 阎 伟

编 委:(按姓氏笔画)

刁毓亮 王云祥 王兰军 王宗贵

孙大伟 田明光 乔元信 刘宗亮

刘同森 李丰桐 肖学东 匡奕珍

张志远 张德生 周 斌 苑忠昌

赵中波 胡勤海 徐 冬 高学民

阎相环 魏亚南

主 编 王炳实

副 主 编 王世桥 高学民

编 者 蒋家晌 衣绍丽 陶翠霞

前言

QIANYAN

本书配合山东科学技术出版社出版的教材《自动控制系统》使用。全书共分 9 章,每章内容均为:一、学习目的和要求;二、学习与训练指导;三、习题与思考题解析;四、实训举例。

为了配合“一体化教学”模式,本书对《自动控制系统》每章内容进行了深入全面的总结,供学生在每章学完之后作复习之用,以求能得到进一步的提高;并且提出了对各章的学习要求,在此基础上,对典型例题进行解析,并补充了部分习题和思考题。最后每章都有实训举例,在这些实训举例中,既有成熟的典型产品,如 KZD - II 型小容量晶闸管直流调速系统和 KGSA/Y 型无静差双闭环直流调速系统,也有集成电路和单片机控制的系统,如 514C 可逆直流调速系统和用 8031 单片机实现全数字化的直流调速系统。学生应根据本书提供的实训内容和实训方法,认真完成规定的实训报告,真正掌握实训设备的工作原理,达到实际操作、调试的要求,提高理论联系实际的能力。凡是不具备这些实训设备的学校,应该解决替代产品,完成实训任务。

本书由王炳实主编,第一、二、三、九章由蒋家响、衣绍丽编写,第四、五、六、七章由王炳实和山东力明科技职业学院陶翠霞编写,第八章由王世桥编写,全书由高学民统稿。因为时间仓促,本书难免有错误和不妥之处,敬请读者指正。

编 者

第一章 自动控制基本知识	(1)
第一节 学习目的和要求	(1)
第二节 学习与训练指导	(2)
第三节 习题与思考题解析	(3)
第二章 自动控制系统的数学模型	(6)
第一节 学习目的和要求	(6)
第二节 学习与训练指导	(7)
第三节 习题与思考题解析	(12)
第三章 时域分析法	(15)
第一节 学习目的和要求	(15)
第二节 学习与训练指导	(16)
第三节 习题与思考题解析	(25)
第四章 直流电动机单闭环调速系统	(28)
第一节 学习目的和要求	(28)
第二节 学习与训练指导	(29)
第三节 习题与思考题解析	(32)
第四节 实训举例:KZD - II 型小容量晶闸管直流调速 系统的调试与整定	(40)
第五章 直流电动机转速、电流双闭环调速系统	(45)
第一节 学习目的和要求	(45)
第二节 学习与训练指导	(45)
第三节 习题与思考题解析	(47)
第四节 实训举例:KGSA/Y 型无静差双闭环直流调速 系统分析	(50)

第六章 直流可逆调速系统	(60)
第一节 学习目的和要求	(60)
第二节 学习与训练指导	(61)
第三节 习题与思考题解析	(66)
第四节 实训举例:514C 直流调速系统的原理、安装与调试	(68)
第七章 直流脉宽调速系统	(72)
第一节 学习目的和要求	(72)
第二节 学习与训练指导	(72)
第三节 习题与思考题解析	(78)
第四节 实训举例:微机控制全数字化 PWM 直流调速系统	(80)
第八章 交流调压调速	(83)
第一节 学习目的和要求	(83)
第二节 学习与训练指导	(83)
第三节 习题与思考题解析	(89)
第四节 实训举例:双闭环三相异步电动机调压调速系统的测试	(91)
第九章 异步电动机变频调速系统	(96)
第一节 学习目的和要求	(96)
第二节 学习与训练指导	(97)
第三节 习题与思考题解析	(106)
第四节 实训举例:异步电动机 SPWM 与电压空间矢量变频调速系统	(108)
参考文献	(111)

第一章 自动控制基本知识

第一节 学习目的和要求

一、概述

1. 了解自动控制系统的基本工作原理。
2. 熟练掌握自动控制的概念。

二、自动控制系统

1. 熟练掌握典型反馈控制系统的组成。
2. 了解自动控制系统各基本元件的作用。
3. 了解自动控制系统的分类。
4. 掌握开环控制与闭环控制的优缺点。

三、对控制系统的基本性能要求

1. 熟练掌握评价一个系统性能优劣的基本要求。
2. 了解在实际生产中稳定性、快速性和准确性 3 个要求应兼顾并有所侧重,以便全面满足生产要求。

四、控制理论发展简史

了解控制理论发展的历史,特别是近代控制系统理论的发展。

第二节 学习与训练指导

一、概述

1. 自动控制系统的基本工作原理

教材中重点介绍了自动控制系统的基本工作原理,以生活中的实例说明了自动控制与手动控制的区别。掌握了基本工作原理,读者在实践中就可以灵活运用进行分析。

2. 自动控制的定义

所谓自动控制是在没有人直接参与的情况下,利用控制器使生产过程或被控制对象的某一物理量准确地按预定的规律运行。

二、自动控制系统

1. 自动控制系统的基本元件及反馈控制系统的组成

一般地讲,反馈控制系统由被控对象和自动控制装置组成。反馈控制系统可用方框图表示,如图 1-1 所示。一个自动控制系统主要由以下基本元件组成:

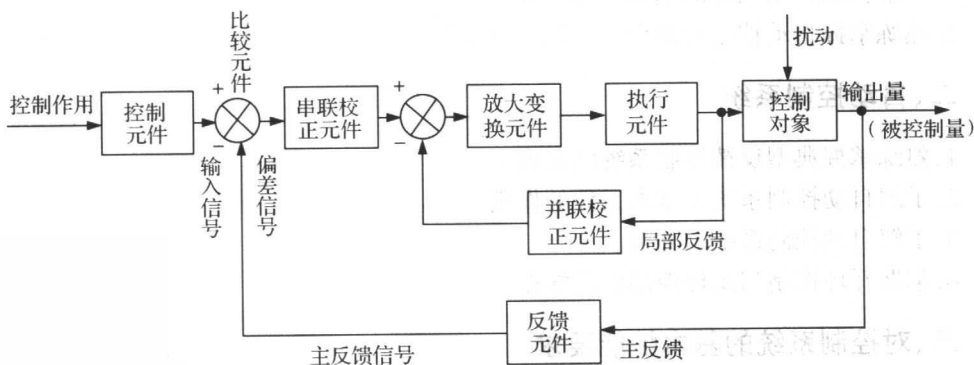


图 1-1 典型反馈控制系统的组成

- (1)控制元件:用于产生输入信号。
- (2)反馈元件:主要指置于主反馈通道中的元件。反馈元件一般用作检测元件。
- (3)比较元件:用于比较输入和反馈信号,得出二者差值的偏差信号。
- (4)放大元件:把弱的偏差信号放大以推动执行元件动作。放大元件有电气的、机械的、液压的及气动的。
- (5)执行元件:根据输入信号的要求直接对控制对象进行操作。
- (6)校正元件:它不是反馈系统所必须具有的。它的作用是改善系统的动、静态性能。
- (7)能源元件:用来提供控制系统所需的能量。

2. 控制系统的分类

按控制系统有无反馈来分:开环控制与闭环控制。

按控制作用的特点来分:恒值控制系统、程序控制系统和随动系统。

3. 开环控制与闭环控制的比较

闭环系统与开环系统相比,闭环系统抗干扰能力强,对外扰动(如负载变化)和内扰动(系统内元件性能的变动)引起的被控量(输出)偏差能够自动纠正。而开环系统则无此纠正能力。因而,闭环系统较开环系统的精度要高。但是,由于开环系统没有反馈通道,因而结构较简单,容易实现。闭环系统在设计时要着重考虑稳定性问题,这给设计与制造系统带来许多困难。闭环系统主要用于要求高而复杂的系统中。

三、对控制系统的基本性能要求

1. 对控制系统的基本性能要求

教材中全面叙述了对系统性能的基本要求,一般可归纳为三个方面:稳定性、快速性和准确性,即稳、快、准。

2. 稳定性、快速性和准确性互相制约

在实际生产中,稳定性、快速性和准确性往往是互相制约的,读者应根据工作任务的不同,分析和设计不同的自动控制以兼顾三个方面并有所侧重,以最好的全面满足生产要求。

四、控制理论发展简史

1. 控制理论发展简史

教材中简述了自动控制发展历史,读者应加以了解以便于后面的学习。

2. 近代控制系统理论的发展

20世纪30年代以来,奈奎斯特提出了适用的稳定性判据,波德总结出负反馈放大器。二次世纪大战期间,由于军事工业的飞速发展及带动,相继出现了各种自动控制系统,不断改善飞机、火炮及雷达等军事装备的性能,工业生产自动化程度也得到提高。1948年维纳发表了著名的《控制论》,基本上形成了经典控制理论。1954年钱学森同志英文版《工程控制论》的发表,奠定了工程控制论这一技术科学的基础,使控制论又向前大大地发展了一步。20世纪60年代以来,由于计算机技术的发展和航天等高科技的推动,又产生了基于状态空间模型的所谓“现代”控制理论。

第三节 习题与思考题解析

一、教材习题解答

1. 试举例说明日常生活中开环和闭环控制系统的工作原理。

答:开环控制:工人车削加工、人工控制的恒温箱。



闭环控制:恒温箱的自动控制系统、电冰箱自动控制温度。

工作原理见教材。

2. 试分析开环控制系统和闭环控制系统的主要区别及优缺点。

答:闭环系统与开环系统相比较,闭环系统抗干扰能力强,对外扰动(如负载变化)和内扰动(系统内元件性能的变动)引起的被控量(输出)偏差能够自动纠正。而开环系统则无此纠正能力。因而,闭环系统较开环系统的精度要高。但是,由于开环系统没有反馈通道,因而结构较简单,容易实现。闭环系统在设计时要着重考虑稳定性问题,这给设计与制造系统带来许多困难。闭环系统主要用于要求高而复杂的系统中。

3. 仓库大门自动控制原理如图 1-2 所示。试说明自动控制大门开关的工作原理并画出方框图。

解:当合上开门开关时,电位器桥式测量电路的偏差电压经放大器放大后,驱动伺服电动机带动绞盘转动,将大门向上提起,与此同时,和大门连在一起的电刷也向上移动。直到桥式测量电路达到平衡,电动机停止转动,大门到达开启位置。反之当合上关门开关时,电动机带动绞盘使大门关闭,从而实现了远距离自动控制大门开闭。控制系统方框图如图 1-3 所示。

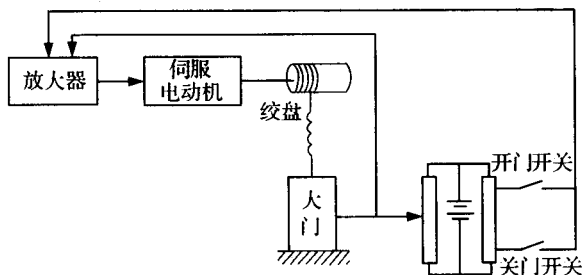


图 1-2 大门自动开闭控制系统

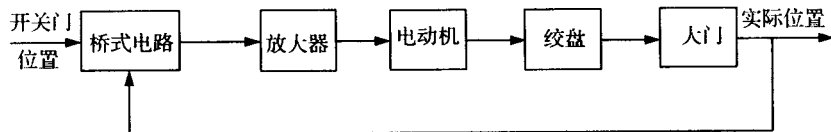


图 1-3 大门自动控制系统方块图

4. 试阐述下列术语的意义:

自动控制;开环控制与闭环控制;恒值系统与随动系统;稳定性、快速性和误差。

答:自动控制:自动控制就是在没有人的直接参与下,利用控制器(机械装置、电气装置或电子计算机)使生产过程或被控制对象的某一物理量(温度、压力、液面、流量、速度、位移等)准确地按预期的规律运行。

开环控制:控制系统的输出量不影响系统的控制作用,即系统中输出端与输入端之间无反馈通道时称开环系统。

闭环控制:控制系统的输出与输入间存在着反馈通道,即系统的输出对控制作用有直接影响的系统,称为闭环系统。

恒值系统:控制的任务就是克服扰动,使被控量保持恒值,若系统的给定量是一个恒值,此类系统称为恒值控制系统。

随动系统:输出量能够迅速而准确地随着输入量的变化而变化的系统,称为随动系统。

稳定性:稳定性是系统去掉扰动之后,其动态过程的振荡倾向和系统恢复平衡的能力,即自身的一种恢复能力,是系统的一种固有特性。

快速性:快速性是指结束动态过程时间的长短。

误差:误差是指输入给定值与输出响应的终值之间的差值。

二、自我测验题

1. 试回答以下问题:

(1) 自动控制元件包括哪些? 试加以论述。

(2) 比较开环控制系统和闭环控制系统的主要特征,说明优、缺点。

2. 在下列过程中,哪些是开环控制? 哪些是闭环控制? 为什么?

(1) 人驾驶汽车; (2) 空调器调节室温;

(3) 给浴缸放热水; (4) 投掷铅球。

3. 洗衣机控制系统方框图如图 1-4 所示。试问该系统属于开环控制系统还是闭环控制系统? 请设计一个闭环控制的洗衣机系统方框图。

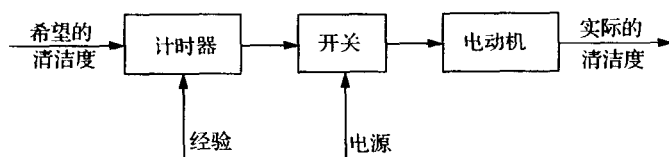


图 1-4 洗衣机控制系统方框图

第二章 自动控制系统的数学模型

第一节 学习目的和要求

一、控制系统的微分方程

1. 了解建立系统微分方程的一般步骤。
2. 掌握常见环节和系统的微分方程的建立。

二、传递函数

1. 了解利用拉氏变换求解线性微分方程的意义。
2. 熟练掌握传递函数的定义及求法。
3. 了解传递函数的性质。

三、典型环节的传递函数

1. 掌握控制系统中常用的典型环节。
2. 掌握典型环节的传递函数并学会推导：
 - (1) 比例环节的传递函数及推导过程；
 - (2) 积分环节的传递函数及推导过程；
 - (3) 惯性环节的传递函数及推导过程；
 - (4) 微分环节的传递函数及推导过程；
 - (5) 振荡环节的传递函数及推导过程；
 - (6) 延迟环节的传递函数及推导过程。

四、系统的方框图及其联接

1. 掌握环节的基本联接方式：



- (1)掌握环节的三种基本联接方式:串联、并联及反馈联接;
- (2)掌握利用环节之间的联接来计算系统的传递函数。
- 2.熟练掌握方框图的等效变换原则与简化:
 - (1)掌握等效变换原则;
 - (2)掌握利用等效变换对方框图进行相应的简化。
- 3.掌握系统传递函数的求法:
 - (1)掌握开环传递函数的定义及求法;
 - (2)掌握闭环传递函数的定义及求法;
 - (3)了解开环传递函数与闭环传递函数的区别。

第二节 学习与训练指导

一、控制系统的微分方程

1. 建立系统微分方程的一般步骤

教材中介绍了建立系统微分方程的一般步骤,其内容属于一般性方法,不同系统有不同的内部结构,读者在实践中应认真分析系统结构,根据各环节所遵循的基本规律列出相应的微分方程。

2. 常见环节和系统的微分方程的建立

建立微分方程的一般步骤是:首先确定系统的输入变量和输出变量,然后建立初始微分方程组,最后消除中间变量,将方程标准化。

教材根据此步骤求出了 RC 电路的数学模型是一个一阶常系数线性微分方程,他励直流电动机的微分方程是一个二阶常系数线性微分方程。

3. 线性微分方程式的求解

求解线性微分方程的方法有很多。在自控中常用拉氏变换法求解微分方程,其解即是系统的时间响应函数。方法和步骤如下:

- (1)对微分方程的各项进行拉氏变换;
- (2)对变换后的方程进行整理,求出待求变量的象函数表达式;
- (3)对象函数进行拉氏反变换,可得到对应的原函数表达式,即是系统的时间响应函数。

二、传递函数

1. 传递函数的定义

教材中给出了传递函数的定义,即对于线性定常系统,当输入及输出的初始条件为零时,系统(或环节)的传递函数定义为输出量 $X_o(t)$ 的拉氏变换与输入量 $X_i(t)$ 拉氏变换之比。即:



$$G(s) = \frac{L[X_o(t)]}{L[X_i(t)]} = \frac{X_o(s)}{X_i(s)}$$

由上式可以看出,输入信号经系统(或环节)传递,也就是乘上 $G(s)$ 后,即得输出信号,故 $G(s)$ 为传递函数。

2. 传递函数的求法

设线性定常系统(或环节)的一般表达式为:

$$\begin{aligned} a_n \frac{d^n}{dt^n} X_o(t) + a_{n-1} \frac{d^{n-1}}{dt^{n-1}} X_o(t) + \cdots + a_1 \frac{d}{dt} X_o(t) + a_0 X_o(t) \\ = b_m \frac{d^m}{dt^m} X_i(t) + b_{m-1} \frac{d^{m-1}}{dt^{m-1}} X_i(t) + \cdots + b_1 \frac{d}{dt} X_i(t) + b_0 X_i(t) \end{aligned}$$

当初始条件为零时,对上式进行拉氏变换,得:

$$(a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \cdots + a_1 s + a_0) X_o(s) = (b_m s^m + b_{m-1} s^{m-1} + \cdots + b_1 s + b_0) X_i(s)$$

故求出系统(或环节)的传递函数为:

$$\begin{aligned} G(s) = X_o(s)/X_i(s) &= (b_m s^m + b_{m-1} s^{m-1} + \cdots + b_1 s + b_0) / \\ & (a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \cdots + a_1 s + a_0) \end{aligned}$$

3. 传递函数的性质

(1)传递函数的分母是系统的特征方程式,代表系统的固有特性,分子代表输入与系统的关系。因此,传递函数表达了系统本身的动态性能而与输入量的大小及性质无关。

(2)传递函数不说明被描述系统的物理结构。只要动态性能相似,不同的系统可以用同一类型的传递函数来描述。

(3)传递函数可以是无量纲的,也可以是有量纲的。这要看输入量和输出量二者的量纲及其比值。

(4)传递函数是复变数 s 的有理分式。对于实际的系统,分子多项式阶次 m 不高于分母多项式阶次 n ,即 $m \leq n$ 。

在传递函数分母中 s 的最高阶次,等于输出量最高阶导数的阶次。如果 s 的最高阶次等于 n ,则称这种系统为 n 阶系统。

三、典型环节的传递函数

教材中给出了控制系统常用的 6 个典型环节,读者应熟练掌握以便于在实践中能得心应手地应用。

1. 比例环节

$$G(s) = K$$

2. 积分环节

$$G(s) = 1/T_s$$

3. 惯性环节

$$G(s) = \frac{K}{Ts + 1}$$

4. 微分环节

$$G(s) = Ts$$

5. 振荡环节

$$G(s) = \omega_n / (s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2)$$

以上各式中:

T ——时间常数;

ξ ——阻尼系数(阻尼比);

ω_n ——无阻尼自然振荡频率。

6. 延迟环节

$$G(s) = e^{-\tau s}$$

四、系统的方框图及其联接

1. 环节的基本联接方式

教材中给出了自动控制系统环节的三种基本联接方式,读者应熟练掌握,牢记其等效传递函数,这样在实际应用中可起到简化系统环节的作用。

(1) 串联:串联环节的等效传递函数等于各个串联环节传递函数的乘积,即:

$$G(s) = \prod_{i=1}^n G_i(s)$$

式中: $G_i(s)$ ($i = 1, 2, \dots, n$)——串联各环节的传递函数;

n ——串联环节数。

(2) 并联:并联环节的总传递函数为各个并联环节传递函数的代数和,即:

$$G(s) = \sum_{i=1}^n G_i(s)$$

式中: $G_i(s)$ ($i = 1, 2, \dots, n$)——并联各环节的传递函数;

n ——并联环节数。

(3) 反馈联接:反馈联接的基本回路如图 2-1 所示。

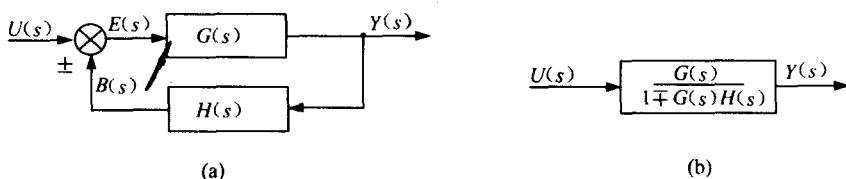


图 2-1 反馈联接及其等效方框图

(a) 反馈联接 (b) 反馈联接的等效方框图

其传递函数为:

$$\Phi(s) = \frac{X_o(s)}{X_i(s)} = \frac{G(s)}{1 \mp G(s)H(s)}$$

2. 方框图的等效变换与简化

教材中介绍了结构图的等效变换原则,通过分支点的前移和后移、相加点的前移和后移等变换方法,对复杂的系统结构图进行简化。读者应牢记变换原则,掌握变换方法和原理,活学活用,多学多练,以达到熟练掌握。

(1) 等效变换:相关概念如下。

变换原则:分支点或相加点移动前后必须保持信号的等效性。即在方框图变换的过

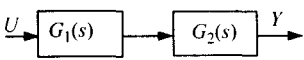
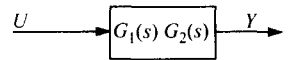
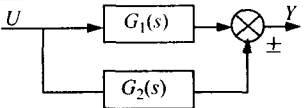
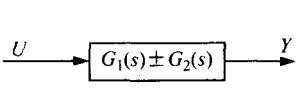
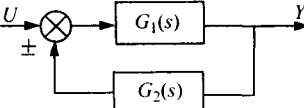
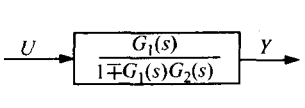
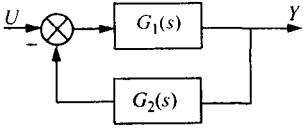
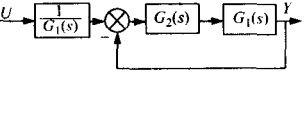
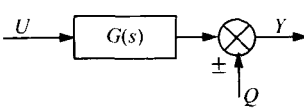
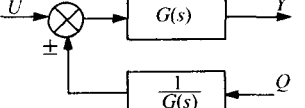
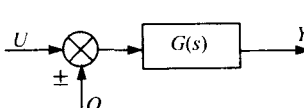
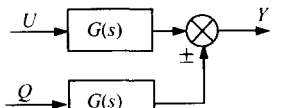
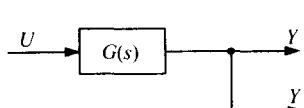
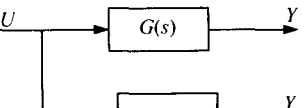
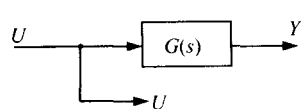
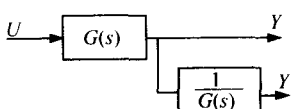
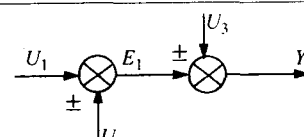
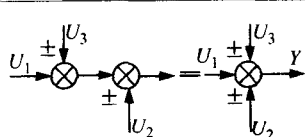
程中,被变换部分的输入、输出应保持不变,这样才能确保变换前后方框图的等效。

分支点:即信号由某一点分开。

相加点:即对信号求和。

(2)方框图的简化:见表 2-1。

表 2-1 结构图简化(等效变换)的基本规则

原方框图	等效方框图	等效运算关系
		(1)串联等效 $Y(s) = G_1(s) G_2(s) U(s)$
		(2)并联等效 $Y(s) = [G_1(s) \pm G_2(s)] U(s)$
		(3)反馈等效 $Y(s) = \frac{G_1(s) U(s)}{1 \pm G_1(s) G_2(s)}$
		(4)等效单位反馈 $\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{1}{G_2(s)} \cdot \frac{G_1(s) G_2(s)}{1 + G_1(s) G_2(s)}$
		(5)比较点前移 $Y(s) = U(s) G(s) \pm Q(s) = [U(s) \pm \frac{Q(s)}{G(s)}] G(s)$
		(6)比较点后移 $Y(s) = [U(s) \pm Q(s)] G(s) = U(s) G(s) \pm Q(s) G(s)$
		(7)引出点前移 $Y(s) = U(s) G(s)$
		(8)引出点后移 $U(s) = U(s) G(s) \frac{1}{G(s)}$ $Y(s) = U(s) G(s)$
		(9)交换或合并比较点 $Y(s) = E_1(s) \pm U_3(s)$ $= U_1(s) \pm U_2(s) \pm U_3(s)$ $= U_1(s) \pm U_3(s) \pm U_2(s)$