

K A O Y A N X I N G A N I A N
丛书主编 王凤兰

考 研 新 干 线

自动控制原理常见题型解析及模拟题

程鹏 主编



國防工業出版社

http://www.ndip.cn

自动控制原理

常见题型解析及模拟题

程 鹏 主编

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

自动控制原理常见题型解析及模拟题 / 程鹏主编.
北京:国防工业出版社,2004.1
(考研新干线)
ISBN 7-118-03337-5

I. 自... II. 程... III. 自动控制理论-研究生-
入学考试-自学参考资料 IV. TP13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 112181 号

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

天利华印刷装订有限公司

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 15½ 354 千字

2004 年 1 月第 1 版 2004 年 1 月北京第 1 次印刷

印数:1—5000 册 定价:22.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

《考研新干线》丛书编委会

丛书主编 王凤兰

编委会成员

秦安琳	金桂霞	程 鹏	蒋持平	樊昌信
申利民	刘长林	韩向春	丁天昌	苏 媛
王艳东	邱红专	许曰滨	刘遵仁	曲继方
王淑娟	王宇野	张华弟	董五洲	张德斌
聂国权	徐亚清	戴 民	王铁军	赵晓冬
杨 茜	李继勇			

前 言

目前,自动控制技术已广泛地应用于工农业生产、交通运输和国防建设。指导自动控制系统分析和设计的控制理论也有了很大的发展,它的概念、方法和体系已经渗透到许多学科领域。自动控制理论已经成为工科院校的一门重要技术基础课程。为了帮助在校本科生、专科生掌握这门课程的内容,以及满足报考硕士研究生的读者复习、提高的需要,我们特地编写了本书,以便将我们长期在自动控制原理教学过程中积累的经验与广大读者交流,达到教学相长的目的。

目前,大多数高等工业院校自动控制原理课程,都是以经典控制理论和状态空间方法基础作为基本教学内容,为了配合最新的教学大纲,本书安排了9章内容。

第1章介绍自动控制的一般概念和反馈系统的组成特点。第2章介绍自动控制系统的数学模型,包括微分方程、传递函数和脉冲响应函数。强调了这几种模型的求取方法,特别是用梅逊公式和动态结构图等效变换求取系统各种传递函数。第3章介绍时域分析法,包括一阶、二阶系统分析与计算、系统稳定性分析、稳态误差分析、计算和一般规律。第4章介绍根轨迹法,包括根轨迹方程与根轨迹的绘制法则、应用主导极点、偶极子等概念近似分析系统的性能。第5章介绍频率域方法,包括频率特性及其图示方法、奈奎斯特判据和对数判据、频率特性与系统品质的关系。第6章介绍控制系统的校正设计,包括串联校正(超前校正、滞后校正、滞后—超前校正、PID调节器)、反馈校正、复合控制。第7章介绍非线性系统理论,包括相平面法和描述函数法。第8章介绍采样系统理论,包括Z变换、脉冲传递函数和系统分析等内容。第9章介绍状态空间分析基础,集中讲述单变量线性时不变系统,包括状态方程、可控性与可观测性、极点配置和状态观测器、系统稳定性等问题。

本书在阐述形式上,每章均分为3节:第1节内容提要 and 基本要求部分,简述了本章的主要知识点和读者应当掌握的基本概念、基本理论和基本方法。对这部分内容如果需要详细地了解必须要选用适当的教科书配合使用。第2节例题讲解部分,则是本书的核心内容,体现了作者的写作目的。第3节练习题部分,汇集了作者在长期教学过程中积累和用之有效的习题。

附录1有5份自我检测练习题,其中有些是曾经使用过的完整试卷。前3份试卷中的每份卷子练习时间为3h;为了便于读者分阶段自我检测,后两份试卷分为上、下两部分,每部分的练习时间是2h。附录2为部分练习题解答。

本书在取材和选题上,遵循“基本、典型、循序渐进和注意工程性”的原则,以计算题为主,证明题为辅。在叙述例题时,力求概念明确,以使读者加深理解,并把解题的正确思路放在第一位,解题的技巧放在其次。目的是使读者通过学习本书,能在熟练掌握基本概念、基本理论和基本方法方面有所收获。为了提高综合应用能力,在每章中均有一些综

合训练的例题与习题。为了适应不同专业学生选用,在例题和习题的编排上忽视专业的背景。

本书可供电子、电气信息科学类,仪器仪表类,自动控制类等专业的学生使用;也可供其他非控制类专业,成人教育和继续教育学生学习自动控制原理课程时参考。

参加本书编写的有苏媛(第1、2、3、5章)、王艳东(第4、7章)、邱红专(第8章)和程鹏(第6、9章、附录)。并由程鹏任主编。由于本书的内容大部分是在北京航空航天大学自动控制原理课程教学中长期积累而成的,因此,还要感谢教研室的其他老师,他们的教学经验与积累对本书内容的形成起了重要的作用。博士生钟瑞麟、姜旭参加了部分例题的编写。

本书在编写过程中参考并汲取了许多院校专家们编写的教科书和习题集,在此表示感谢。

北京航空航天大学

程 鹏

2003年7月

内 容 简 介

本书是根据高等工业院校自动控制原理课程教学大纲和多数学校硕士研究生入学考试的基本要求编写的。

书中全面系统地归纳了自动控制原理的基本内容和分析、研究方法。包括系统数学模型的建立;分析系统的时域法、根轨迹法和频率域方法;线性系统的校正设计;采样系统理论;非线性系统理论,包括相平面法和描述函数法;状态空间方法基础。围绕上述内容,全书以基本、典型、多样的例题为主要线索进行讲解,书中还选编了一部分练习题;附录中有多套模拟题,供读者自我检测时使用。

本书可作为报考硕士研究生的考生的复习参考书;也可作为在校本、专科生及成人教育、继续教育学生学习自动控制原理的辅导材料。

目 录

第 1 章 自动控制的一般概念	1
1.1 内容提要 and 基本要求	1
1.2 例题讲解	2
1.3 练习题	4
第 2 章 自动控制系统的数学模型	6
2.1 内容提要 and 基本要求	6
2.2 例题讲解	12
2.3 练习题	25
第 3 章 时域分析法	29
3.1 内容提要 and 基本要求	29
3.2 例题讲解	38
3.3 练习题	49
第 4 章 根轨迹法	54
4.1 内容提要 and 基本要求	54
4.2 例题讲解	57
4.3 练习题	75
第 5 章 频率域方法	78
5.1 内容提要 and 基本要求	78
5.2 例题讲解	87
5.3 练习题	97
第 6 章 控制系统的校正设计	101
6.1 内容提要 and 基本要求	101
6.2 例题讲解	106
6.3 练习题	122
第 7 章 非线性系统理论	128
7.1 内容提要 and 基本要求	128
7.2 例题讲解	135
7.3 练习题	153
第 8 章 采样系统理论	158
8.1 内容提要 and 基本要求	158
8.2 例题讲解	166
8.3 练习题	178

第9章 状态空间方法基础	182
9.1 内容提要 and 基本要求	182
9.2 例题讲解	189
9.3 练习题	205
附录1 自我检测练习试卷	211
附录 1.1 自我检测练习试卷一	211
附录 1.2 自我检测练习试卷二	213
附录 1.3 自我检测练习试卷三	216
附录 1.4 自我检测练习试卷四	219
附录 1.5 自我检测练习试卷五	222
附录2 部分练习题解答	227
参考文献	238

第 1 章 自动控制的一般概念

1.1 内容提要 and 基本要求

1.1.1 基本概念

1. 基本术语

(1) 自动控制: 即在不需要人直接参与条件下, 依靠控制器使受控对象按预定技术要求进行工作, 使被控量等于输入量 (或使被控量与输入量保持某种函数关系)。

(2) 自动控制系统: 受控对象和控制器的总体, 它能使受控对象的工作状态进行自动控制。

(3) 受控对象: 被控制的机器、设备或生产过程。

(4) 控制器: 对受控对象进行控制的设备总体, 一般有测量、运算、放大等部件和执行装置等组成。

(5) 被控量: 受控对象的输出量。

(6) 输入量: 是作用于自动控制系统的输入端并作为控制依据的物理量, 也称为输入信号、输入指令、参考输入、给定值。

(7) 干扰: 使被控量偏离期望状态的信号。

2. 基本控制方式

1) 开环控制

(1) 按给定值操纵的开环控制, 如图 1-1(a) 所示。

(2) 按干扰补偿的开环控制, 如图 1-1(b) 所示。

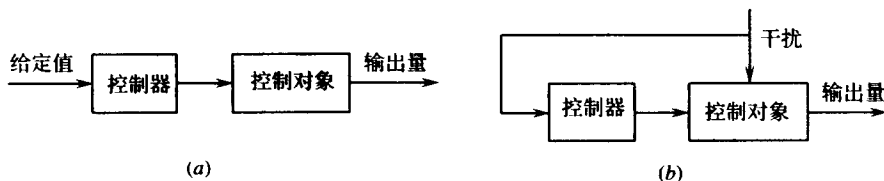


图 1-1 开环控制的原理方框图

2) 闭环控制

按偏差调节的闭环控制, 如图 1-2 所示。

3) 复合控制

复合控制又分为对控制输入进行补偿和对干扰进行补偿两种情况, 分别如图 1-3 (a) 和 (b) 所示。

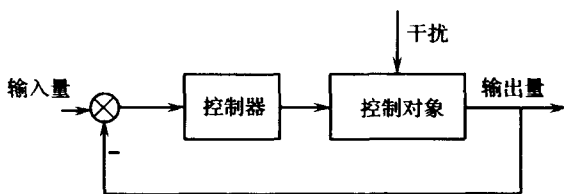


图 1-2 闭环控制的原理方框图

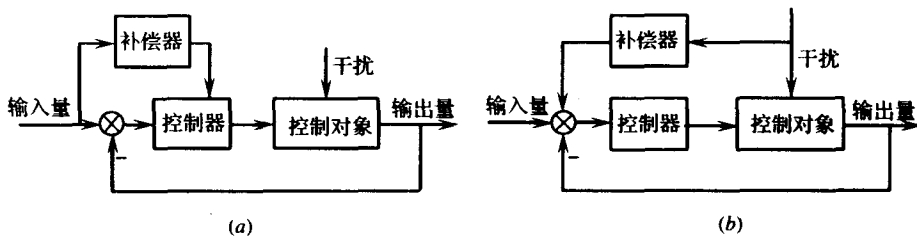


图 1-3 复合控制的原理方框图

3. 对控制系统的性能要求

- (1) 稳:指动态过程的平稳性。
- (2) 快:指动态过程的快速性。
- (3) 准:指动态过程的最终精度。

1.1.2 基本要求

- (1) 明确自动控制的基本概念。
- (2) 正确理解三种基本控制方式及其特点。
- (3) 初步掌握由系统工作原理图画原理方框图的方法,并能判别系统的控制方式。
- (4) 正确认识对控制系统的性能要求。

1.2 例题讲解

例 1-1 水箱水位自动控制系统如图 1-4 所示,在任何情况下,希望水位高度 h_c 维持不变,试说明系统的工作原理,并画出系统的原理方框图。

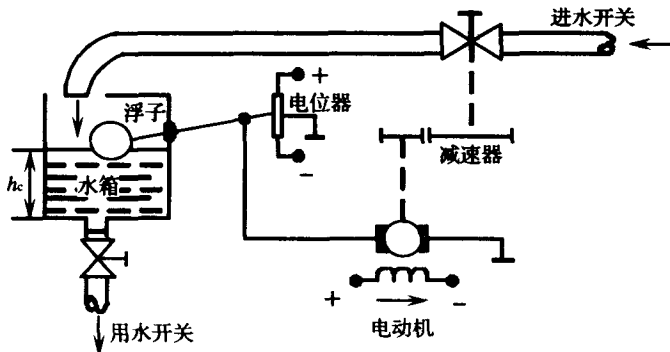


图 1-4 水箱水位自动控制系统的工作原理图

解:系统的被控对象为水箱,被控量为水箱的实际水位 h_c ,给定值为希望水位 h_r (与电位器设定电压 u_r 相对应,此时电位器电刷位于中点位置)。

当 $h_c = h_r$ 时,电位器电刷位于中点位置,电动机不工作。一旦 $h_c \neq h_r$ 时,浮子位置相应升高(或降低),通过杠杆作用使电位器电刷从中点位置下移(或上移),从而给电动机提供一定的工作电压,驱动电动机通过减速器使进水开关的开度减小(或增大),以使水箱水位达到希望值 h_r 。

系统的原理方框图如图 1-5 所示。

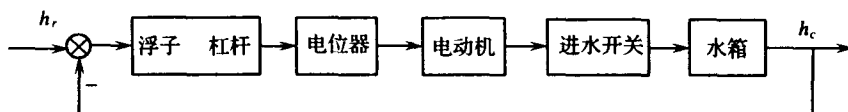


图 1-5 水位自动控制系统的工作原理方框图

例 1-2 仓库大门自动控制系统的工作原理如图 1-6 所示,试说明自动控制大门开启和关闭的工作原理,并画出系统的原理方框图。

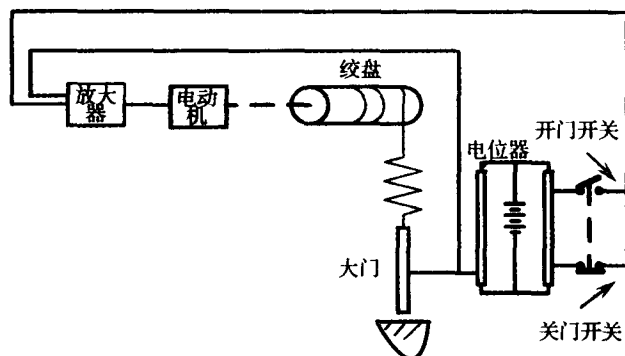


图 1-6 仓库大门自动控制系统的工作原理图

解:系统的被控对象为大门,被控量为大门的实际位置。输入量为希望的大门位置。

当合上开门开关时,桥式电位器测量电路产生偏差电压,经放大器放大后,驱动电动机带动绞盘转动,使大门向上提起。同时,与大门连在一起的电位器电刷上移,直到桥式电位器达到平衡,电动机停转,开门开关自动断开。反之,当合上关门开关时,电动机带动绞盘反转,使大门关闭。

系统的原理方框图如图 1-7 所示。

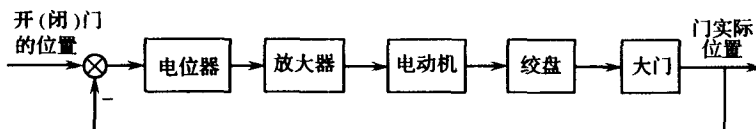


图 1-7 大门自动控制开(闭)的原理方框图

例 1-3 火炮跟踪系统的工作原理如图 1-8 所示,电动机通过齿轮传动装置使火炮旋转。试说明跟踪控制系统的工作原理,并画出系统的原理方框图。

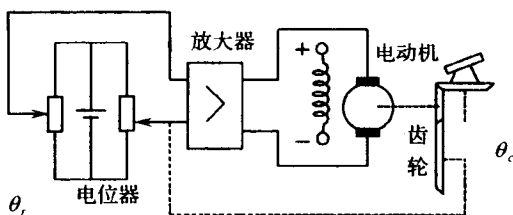


图 1-8 火炮跟踪系统的工作原理图

解:系统的被控对象为火炮,被控量为火炮的角度 θ_c ,输入量为希望的大炮角度 θ_r 。当输入角度 θ_r 变化时,输入角度 θ_r 与输出角度 θ_c 出现差值,于是桥式电位器测量电路产生偏差电压,经放大器放大后,驱动电动机转动,继而带动齿轮传动装置使火炮转动,直到 $\theta_c = \theta_r$ 为止。为保证跟踪精度,系统中还应包括某种校正装置。

系统的原理方框图如图 1-9 所示。

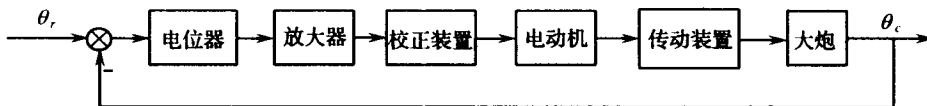


图 1-9 火炮跟踪系统的原理方框图

1.3 练习题

1-1 烘箱温度控制系统的工作原理如图 1-10 所示,试分析系统的工作原理并画出系统的原理方框图。

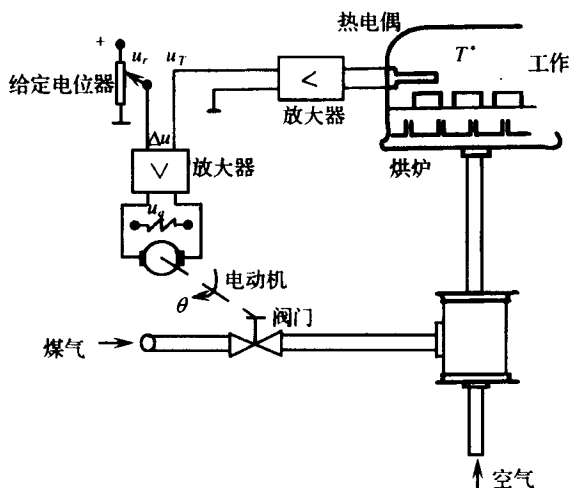


图 1-10 烘箱温度控制系统的工作原理图

1-2 图 1-11 是角位置随动系统的工作原理示意图,试分析系统的工作原理并画出系统的原理方框图。

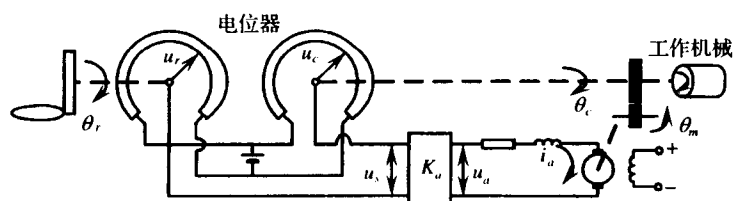


图 1-11 角位置随动系统的工作原理图

1-3 自动热水器系统的工作原理如图 1-12 所示,水箱中的水位有冷水入口调节阀保证,温度由加热器维持。试分析水位和温度控制系统的工作原理,并以热水出口流量的变化为扰动,画出温度控制系统的原理方框图。

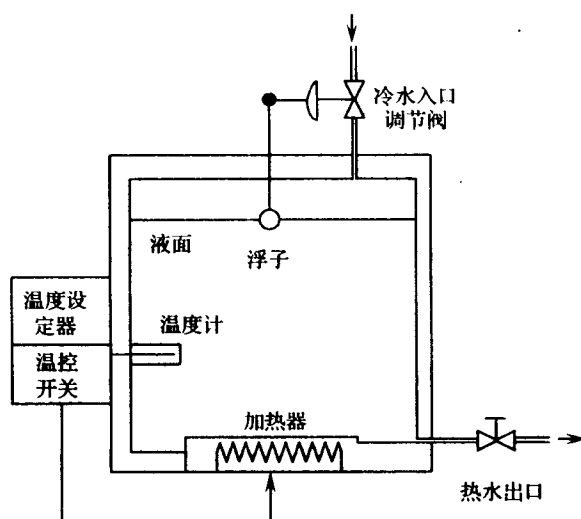


图 1-12 自动热水器系统的工作原理图

第2章 自动控制系统的数学模型

2.1 内容提要 and 基本要求

2.1.1 基本概念

1. 建立系统微分方程的一般步骤

(1) 分析系统和各个元件的工作原理,找出各物理量(变量)之间的关系,确定系统和各元件的输入、输出变量。

(2) 从输入端开始,按照信号的传递顺序,根据各变量所遵循的物理(或化学)定律,列写出动态微分方程。

(3) 对已建立的微分方程进行数学处理,如忽略次要因素,对方程进行线性化等,以简化原始方程。

(4) 消去中间变量,写出关于输入、输出变量的微分方程。

(5) 将与输入有关的各项放在等号右侧,与输出有关的各项放在等号左侧,并按降幂排列。

2. 拉普拉斯变换的基本法则及典型函数的拉普拉斯变换形式

1) 拉普拉斯变换定义

函数 $f(t)$, t 为实变量,如果线性积分 $\int_0^{\infty} f(t)e^{-st}dt$ ($s = \sigma + j\omega$) 存在,则称其为函数 $f(t)$ 的拉普拉斯变换(简称拉氏变换)。记作 $F(s)$ 或 $L[f(t)]$,即

$$L[f(t)] = F(s) = \int_0^{\infty} f(t)e^{-st}dt \quad (2-1)$$

一般称 $F(s)$ 为 $f(t)$ 的象函数,而 $f(t)$ 为 $F(s)$ 的原函数。

$$L^{-1}[F(s)] = \frac{1}{2\pi j} \int_{\sigma-j\omega}^{\sigma+j\omega} F(s)e^{st}ds = f(t) \quad (2-2)$$

为拉氏反变换。

2) 拉氏变换的基本法则

(1) 线性性质

$$L[af_1(t) \pm bf_2(t)] = aL[f_1(t)] \pm bL[f_2(t)] = aF_1(s) \pm bF_2(s) \quad (2-3)$$

(2) 微分法则

$$L\left[\frac{d^n f(t)}{dt^n}\right] = s^n F(s) - s^{n-1}f(0) - s^{n-2}f'(0) - \cdots - f^{(n-1)}(0) \quad (2-4)$$

式中, $f(0), f'(0), \dots, f^{(n-1)}(0)$ 为函数 $f(t)$ 及其各阶导数在 $t=0$ 时的值, 当 $f(0) = f'(0) = \dots = f^{(n-1)}(0) = 0$ 时, 有

$$L\left[\frac{d^n f(t)}{dt^n}\right] = s^n F(s) \quad (2-5)$$

(3) 积分法则

$$L\left[\underbrace{\int \dots \int f(t)(dt)^n}_n\right] = \frac{1}{s^n} F(s) + \frac{1}{s^n} f^{(-1)}(0) + \dots + \frac{1}{s} f^{(-n)}(0) \quad (2-6)$$

式中, $f^{(-1)}(0), f^{(-2)}(0), \dots, f^{(-n)}(0)$ 为函数 $f(t)$ 的各重积分在 $t=0$ 时的值。当 $f^{(-1)}(0) = f^{(-2)}(0) = \dots = f^{(-n)}(0) = 0$ 时, 有

$$L\left[\underbrace{\int \dots \int f(t)(dt)^n}_n\right] = \frac{1}{s^n} F(s) \quad (2-7)$$

(4) 终值定理

$$\lim_{t \rightarrow \infty} f(t) = \lim_{s \rightarrow 0} sF(s) \quad (2-8)$$

(5) 位移定理

$$L[f(t - \tau_0)] = e^{-\tau_0 s} F(s) \quad (\text{实数位移}) \quad (2-9)$$

$$L[e^{at} f(t)] = F(s - a) \quad (\text{复数位移}) \quad (2-10)$$

3) 典型函数的拉氏变换形式

典型函数的拉氏变换形式如表 2-1 所列。

表 2-1 典型函数的拉氏变换形式

典型函数	原函数 $f(t)$	象函数 $F(s)$
单位脉冲函数	$\delta(t)$	1
单位阶跃函数	$1(t)$	$\frac{1}{s}$
单位斜坡函数	t	$\frac{1}{s^2}$
单位等加速函数	$\frac{1}{2} t^2$	$\frac{1}{s^3}$
指数函数	e^{at}	$\frac{1}{s - a}$
正弦函数	$\sin \omega t$	$\frac{\omega}{s^2 + \omega^2}$
余弦函数	$\cos \omega t$	$\frac{s}{s^2 + \omega^2}$

3. 线性微分方程的求解

用拉氏变换求解微分方程的步骤。

(1) 将系统微分方程进行拉氏变换得到以 s 为变量的象方程(系统初始值取 $t=0^-$ 时的对应值)。

(2) 解象方程, 求出系统输出变量的象函数表达式。

(3) 将输出的象函数进行拉氏反变换, 得微分方程的解。

4. 传递函数的概念及性质

1) 传递函数定义

零初始条件下,线性定常系统输出量拉氏变换与输入量拉氏变换之比。

$$a_0 \frac{d^n c(t)}{dt^n} + a_1 \frac{d^{n-1} c(t)}{dt^{n-1}} + \cdots + a_{n-1} \frac{dc(t)}{dt} + a_n c(t) = b_0 \frac{d^m r(t)}{dt^m} + \cdots + b_{m-1} \frac{dr(t)}{dt} + b_m r(t) \quad (2-11)$$

$$[a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \cdots + a_{n-1} s + a_n] C(s) = [b_0 s^m + \cdots + b_{m-1} s + b_m] R(s) \quad (2-12)$$

则系统传递函数

$$\frac{\dot{C}(s)}{R(s)} = \frac{b_0 s^m + \cdots + b_m}{a_0 s^n + \cdots + a_n} = G(s) \quad (2-13)$$

2) 有关传递函数的性质

- (1) 由传递函数定义可知,它只适用于线性定常系统。
- (2) 传递函数完全由系统的结构、参数确定,与外界输入无关。
- (3) 传递函数只表示一个输出对一个输入变量间的动态联系,它不能表明中间各变量间的动态特征,这是其局限性。
- (4) 传递函数是在零初始条件下定义的,它只反映系统的零初始状态的系统动态特性。
- (5) 传递函数是一种数学抽象,物理性质不同的系统完全可以有相同的传递函数。

5. 典型环节的传递函数形式

1) 比例(或放大)环节

$$G(s) = k$$

2) 纯微分环节

$$G(s) = s$$

3) 积分环节

$$G(s) = \frac{1}{s}$$

4) 惯性环节(或一阶环节)

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

5) 一阶微分环节

$$G(s) = \tau s + 1$$

6) 振荡环节(或二阶环节)

$$G(s) = \frac{1}{T^2 s^2 + 2\zeta Ts + 1} = \frac{\omega^2}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2}$$

7) 二阶微分环节

$$G(s) = \tau^2 s^2 + 2\zeta\tau s + 1$$