



普通高等院校“十一五”规划教材

控制工程基础

主编 许贤良 王传礼



国防工业出版社
National Defense Industry Press

普通高等院校“十一五”规划教材

控制工程基础

主 编 许贤良 王传礼
副主编 李静明 邓海顺 朱增宝
参 编 王丽凤 王 伟 李传奇

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书重点讲述经典控制理论的基础知识及应用,并对现代控制理论作了简要介绍。全书共分十章:绪论、拉普拉斯变换、控制系统的数学模型、时域响应及误差分析、频域响应分析、根轨迹分析、控制系统设计与校正、离散系统、非线性系统和现代控制理论初步。本书重点突出,推理严谨,行文流畅简洁。书中除适量例题外每章都有小结,以帮助读者掌握理论要点。

本书可作为高校机械类、机电类及相关专业本科生教材,也可供工程技术人员作参考。

图书在版编目(CIP)数据

控制工程基础/许贤良,王传礼主编. —北京:国防工业出版社,2008.2

ISBN 978-7-118-05524-5

I. 控... II. ①许... ②王... III. 自动控制理论 IV. TP13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 202822 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)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 27 字数 622 千字

2008 年 2 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 40.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: (010)68428422

发行邮购: (010)68414474

发行传真: (010)68411535

发行业务: (010)68472764

前 言

控制理论是高校理工科诸多专业的一门重要基础课或专业课。因专业要求不同,教材也不相同,一种是电子、电气自动控制专业类的自动控制(调节)理论(原理),一种是机械类的控制工程基础。两种类型的教材除实例各有所侧重外,基本理论是相同的。就内容安排而言,一类是简本的经典控制理论,另一类则是包含现代控制理论初步的常见本的经典控制理论。作为控制理论数学基础的拉普拉斯变换和 Z 变换,有些教材列入正文之中,有些则列入附录之中。作为控制系统分析和设计的功能强大的 MATLAB,有些教材是集中于一章,有些则是分散在各章之中。

本书编写的特点是,将数学基础列入正文之中,以强调其重要性;将 MATLAB 分散于各章中,强调其实用性。为便于读者掌握控制理论的基础知识,每章都有适量的例题和小结。

本书编写的目的是为工科院校机电类本科生提供一本通用教材。因此,在编写过程中,参考了国内外大量最新版本的教材并提出了自己的见解。本书建议课时为 72 学时,当课时为 40 学时左右时,可仅讲授本书前七章内容。

本书由许贤良和王传礼主编。第 1 章、第 10 章由许贤良编写,第 2 章由王丽凤、王伟、李传奇编写,第 3 章由王传礼编写,第 4 章、第 5 章由李静明编写,第 6 章、第 7 章由邓海顺编写,第 8 章、第 9 章由朱增宝编写,各章习题由李静明选编,文稿打印及制图由王丽凤负责,全书由许贤良统稿。本书由浙江大学丁凡教授审阅并提出宝贵修改意见,在此表示感谢,也向为本书出版给予支持和帮助的所有同志致以诚挚的谢意。

由于编者的水平有限,书中不妥与错误之处在所难免,敬请读者和专家批评指正。

编者

目 录

第1章 绪论	1
1.1 概述和基本概念	1
1.1.1 概述	1
1.1.2 历史的回顾	1
1.1.3 基本概念	2
1.2 控制系统的工作原理及组成元件	3
1.2.1 控制系统的实例	3
1.2.2 反馈控制系统的构成	5
1.3 控制系统的基本类型	7
1.3.1 按系统的输入量特征分类	7
1.3.2 按系统的性能分类	8
1.4 对控制系统的基本要求、研究内容及学习方法	9
1.4.1 基本要求	9
1.4.2 研究内容	10
1.4.3 学习方法	10
本章小结	11
习题	11
第2章 拉普拉斯变换	13
2.1 基础知识	13
2.1.1 复数、复变量和复变函数	13
2.1.2 复数的表示方法	14
2.1.3 复变函数的概念	14
2.1.4 两个重要定理	15
2.1.5 映射定理	16
2.2 拉普拉斯变换的数学基础	17
2.2.1 拉普拉斯变换的概念	17
2.2.2 典型函数的拉普拉斯变换	18
2.3 拉普拉斯变换定理	21
2.3.1 实微分定理	21
2.3.2 终值定理	22
2.3.3 初值定理	22
2.3.4 实积分定理	23

2.3.5	复微分定理	23
2.3.6	延时定理	24
2.3.7	位移定理	24
2.3.8	卷积定理	24
2.4	拉普拉斯反变换	25
2.4.1	概述	25
2.4.2	部分分式展开	26
2.4.3	含有多重极点的 $F(s)$ 的部分分式展开	27
2.4.4	用 MATLAB 进行部分分式展开	29
	本章小结	31
	习题	31
第3章	控制系统的数学模型	33
3.1	数学模型概述	33
3.1.1	引言	33
3.1.2	数学模型的特点	33
3.1.3	建模的方法、基本原理和步骤	34
3.1.4	非线性微分方程的线性化	35
3.2	传递函数	36
3.2.1	传递函数的概念	36
3.2.2	传递函数的说明	37
3.2.3	典型环节的传递函数	37
3.2.4	典型环节例	39
3.3	方块图	44
3.3.1	闭环系统的方块图	44
3.3.2	开环传递函数和前向传递函数	45
3.3.3	闭环传递函数	45
3.3.4	扰动作用下的闭环系统	46
3.3.5	绘制方块图的步骤	47
3.3.6	方块图的简化	48
3.3.7	由方块图求系统传递函数	50
3.4	信号流图	54
3.4.1	信号流图及其术语	54
3.4.2	信号流图的简化和计算	55
3.4.3	系统信号流图的绘制	57
3.4.4	梅森(Mason)公式	58
3.5	典型物理系统的运动方程和传递函数	61
3.5.1	机械系统	62
3.5.2	电气系统	65
3.5.3	液压系统	68

3.5.4 液位系统	70
本章小结	71
习题	72
第4章 时域响应及误差分析	75
4.1 引言	75
4.2 一阶系统的时域响应	75
4.2.1 一阶系统的单位阶跃响应	76
4.2.2 一阶系统的单位斜坡响应	77
4.2.3 一阶系统的单位脉冲响应	77
4.2.4 响应之间的关系	78
4.3 二阶系统的时域响应	78
4.3.1 引言	78
4.3.2 二阶系统的单位阶跃响应	79
4.3.3 二阶系统的瞬态响应性能指标	81
4.3.4 二阶系统计算例	85
4.3.5 二阶欠阻尼系统的非零初始条件下的响应	88
4.3.6 二阶欠阻尼系统的单位脉冲响应	89
4.3.7 二阶欠阻尼系统的单位斜坡响应	90
4.4 高阶系统的时域响应分析	91
4.4.1 高阶系统的数学模型	91
4.4.2 高阶系统的单位阶跃响应	91
4.5 控制系统时域响应的计算和分析	93
4.6 线性控制系统的稳定性	95
4.6.1 概述	95
4.6.2 稳定的概念	95
4.6.3 系统的稳定条件	96
4.7 劳斯—胡尔维茨稳定判据	98
4.7.1 劳斯稳定判据	98
4.7.2 应用劳斯判据时的特殊情况	101
4.7.3 胡尔维茨判据	103
4.8 控制系统的误差分析	104
4.8.1 概念和术语	104
4.8.2 偏差和误差概念及稳态误差理论	105
4.8.3 系统稳态误差计算	107
4.8.4 稳态误差计算例	110
4.8.5 动态误差系数	112
本章小结	113
习题	114
第5章 频率响应分析	117

5.1	序言	117
5.2	频率特性的基本概念	118
5.2.1	线性定常系统对正弦输入信号的稳态响应	118
5.2.2	频率特性的概念	120
5.2.3	频率特性的确定方法	120
5.2.4	频率特性的表示方法	121
5.3	极坐标图——奈奎斯特图	123
5.3.1	典型因子(环节)的极坐标图	123
5.3.2	开环系统的极坐标图——极坐标图的一般形式	126
5.3.3	用 MATLAB 作极坐标图	128
5.4	对数坐标图——伯德图	129
5.4.1	引言	129
5.4.2	典型因子的伯德图	130
5.5	系统开环的伯德图	134
5.5.1	系统开环伯德图绘制方法和步骤	135
5.5.2	最小相位系统和非最小相位系统	137
5.5.3	用 MATLAB 绘制伯德图	139
5.6	奈奎斯特稳定判据	140
5.6.1	理论关键点	141
5.6.2	奈奎斯特稳定判据的数学基础	142
5.6.3	映射定理在闭环系统稳定性分析中的应用	144
5.6.4	奈奎斯特稳定性判据	145
5.6.5	奈奎斯特稳定判据例	147
5.6.6	复杂奈奎斯特图的稳定判据	150
5.6.7	基于逆极坐标的奈奎斯特稳定判据	151
5.6.8	伯德图上的奈奎斯特稳定判据	151
5.7	相对稳定性分析	153
5.7.1	系统的相对稳定性	153
5.7.2	相位裕量和增益裕量	155
5.7.3	补加说明及应用例	156
5.8	闭环系统的频率特性	159
5.8.1	单位反馈系统的闭环频率响应	159
5.8.2	等幅值轨迹(M 圆)	160
5.8.3	等相角轨迹(N 圆)	161
5.8.4	等 M 圆和等 N 圆的应用	162
5.8.5	尼柯尔斯曲线	162
5.8.6	非单位反馈系统的闭环频率响应	164
5.9	频域指标与时域指标的关系	164
5.9.1	控制系统的性能指标	164

5.9.2 伯德图的形状对系统性能指标的影响	166
本章小结	167
习题	168
第6章 根轨迹分析	171
6.1 引言	171
6.2 根轨迹图	171
6.2.1 根轨迹例及直观概念	171
6.2.2 根轨迹的幅值条件和相角条件	173
6.3 绘制根轨迹的基本法则	175
6.3.1 根轨迹的起点、终点及分支数	175
6.3.2 根轨迹的连续性和对称性	176
6.3.3 实轴上的根轨迹	177
6.3.4 根轨迹的渐进线	177
6.3.5 根轨迹在实轴上的分离点与会合点	179
6.3.6 根轨迹的出射角和入射角	181
6.3.7 根轨迹与虚轴的交点	182
6.3.8 特征方程的根之和与根之积	182
6.3.9 例题	183
6.3.10 本节小结及参考图	185
6.4 其他形式的根轨迹	187
6.4.1 广义(可变参数)根轨迹	187
6.4.2 多回路系统的根轨迹	189
6.4.3 正反馈系统和零度根轨迹	190
6.5 用根轨迹法分析系统性能	193
6.5.1 闭环极点的位置与系统瞬态响应的关系	193
6.5.2 利用根轨迹法分析控制系统	196
6.5.3 增加开环零极点对系统根轨迹的影响	197
6.6 应用 MATLAB 绘制根轨迹图	201
本章小结	203
习题	204
第7章 控制系统设计与校正	207
7.1 概述	207
7.1.1 设计与校正的概念	207
7.1.2 性能指标	208
7.1.3 校正方法	209
7.1.4 校正方式	210
7.2 串联校正装置的结构和特性	211
7.2.1 超前校正装置	211
7.2.2 滞后校正装置	213

7.2.3 滞后—超前校正装置	214
7.3 基于频率响应法的串联校正设计	215
7.3.1 引言	215
7.3.2 串联超前校正	217
7.3.3 串联滞后校正	220
7.3.4 串联滞后—超前校正	222
7.3.5 三种校正装置的比较	224
7.4 反馈校正和复合校正	225
7.4.1 反馈校正	225
7.4.2 反馈校正设计	227
7.4.3 复合校正	230
7.5 PID 控制器及串联校正	231
7.5.1 引言	231
7.5.2 PID 有源校正装置	232
7.5.3 基于 PID 串联的设计方法	235
7.6 基于根轨迹法的串联校正设计	237
7.6.1 引言	237
7.6.2 串联超前校正	238
7.6.3 串联滞后校正	240
7.6.4 串联滞后—超前校正	242
本章小结	244
习题	245
第 8 章 离散系统	247
8.1 概述	247
8.2 采样过程和采样定理	249
8.2.1 采样过程	249
8.2.2 采样定理	250
8.2.3 保持器	252
8.3 离散控制系统的数学基础	255
8.3.1 Z 变换的定义	255
8.3.2 Z 变换的方法	256
8.3.3 Z 变换的基本定理	260
8.3.4 Z 反变换	263
8.3.5 线性差分方程	266
8.4 脉冲传递函数	268
8.4.1 基本概念	268
8.4.2 离散系统的开环脉冲传递函数	270
8.4.3 离散系统的闭环传递函数	271
8.5 离散系统的时域分析	276

8.5.1 离散系统的瞬态响应分析	276
8.5.2 闭环的极点位置与动态响应的关系	277
8.5.3 离散系统的稳定性分析	279
8.5.4 离散系统的稳态误差	282
8.6 离散系统的频率和根轨迹分析法	284
8.6.1 频率分析法	284
8.6.2 根轨迹分析法	285
本章小结	286
习题	287
第9章 非线性系统分析	288
9.1 非线性系统概述	288
9.1.1 非线性概念及特征	288
9.1.2 非线性特性的分类	290
9.1.3 非线性系统的分析和研究方法	292
9.2 描述函数分析法	293
9.2.1 描述函数的基本概念	293
9.2.2 典型非线性环节的描述函数	294
9.2.3 非线性系统的简化	299
9.2.4 用描述函数法分析非线性系统	302
9.3 相平面分析法	307
9.3.1 基本理论、概念和术语	307
9.3.2 绘制相轨迹的方法	314
9.4 线性及非线性系统的相平面分析	318
9.4.1 由相轨迹求时间响应	318
9.4.2 线性系统的相平面分析	319
9.4.3 非线性系统的相平面分析	321
9.5 利用非线性改善系统的控制特性	325
9.5.1 利用非线性元件并联改变非线性特性	325
9.5.2 非线性阻尼控制	326
本章小结	327
习题	328
第10章 现代控制理论初步	331
10.1 控制系统的状态空间描述	331
10.1.1 状态空间的基本术语	331
10.1.2 由系统微分方程列写状态方程及输出方程	335
10.2 传递函数(阵)与状态空间表达式的相互转换	339
10.2.1 由传递函数求状态空间表达式	340
10.2.2 连续系统数学模型的转换	345
10.3 系统状态空间表达式的标准型	350

10.3.1	系统状态变量的线性变换	350
10.3.2	系统的特征值和特征向量	351
10.3.3	将状态方程化为对角标准(规范)型	353
10.3.4	将状态方程化为约当(Jordan)标准(规范)型	358
10.4	线性定常系统状态方程的解	361
10.4.1	引言	361
10.4.2	线性定常齐次状态方程的解	361
10.4.3	状态转移矩阵 $e^{At} = \Phi(t)$ 的性质	364
10.4.4	几种特殊的状态转移矩阵	364
10.4.5	状态转移矩阵 e^{At} 的计算方法	365
10.4.6	线性定常非齐次方程的解	368
10.5	线性时变系统状态方程的解	370
10.5.1	线性时变系统齐次状态方程的解	370
10.5.2	线性时变系统的状态转移矩阵及性质	371
10.5.3	线性时变系统非齐次状态方程的解	372
10.6	线性系统的可控性和可观性	374
10.6.1	线性系统的可控性	374
10.6.2	线性定常系统可控性的判别	376
10.6.3	线性时变系统可控性的判别	379
10.6.4	线性系统的可观性	380
10.6.5	对偶原理	382
10.6.6	系统的可控和可观测标准型	384
10.7	李雅普诺夫稳定性分析	385
10.7.1	引言	385
10.7.2	李雅普诺夫稳定性定义	386
10.7.3	李雅普诺夫第一法(间接法)	388
10.7.4	李雅普诺夫第二法(直接法)	390
10.7.5	李雅普诺夫第二法在线性系统中的应用	395
10.8	李雅普诺夫第二法在非线性系统中的应用	398
	本章小结	400
	习题	404
	附录	407
	附录1 常用函数的拉普拉斯变换和 Z 变换表	407
	附录2 矩阵运算	410
	参考答案	413
	参考文献	420

第 1 章 绪 论

1.1 概述和基本概念

1.1.1 概述

在工程和技术发展过程中及现代科学技术的诸多领域中,自动控制理论和技术(自动控制)担负着重要角色并起着越来越重要的作用。所谓自动控制,是在没有人直接参与的情况下,利用外加的设备或装置(称控制装置或控制器),使机器、设备或生产过程(统称被控制对象)的某个工作状态或参数(即被控制量,如压力、流量、位移、速度等)自动准确地按照预定的规律运行。不仅在宇宙飞船系统、导弹制导系统和机器人系统等领域除具有特别重要的作用,而且已成为现代机器制造业和工业生产过程中不可缺少的组成部分。例如,在制造工业的数控机床、航空和航天工业的自动驾驶仪、雷达自动跟踪和导弹发射与制导控制系统中,自动控制都是必不可少的。另外,在过程控制工业中,对压力、流量、温度、湿度的控制这样一些工业操作过程,自动控制也是不可缺少的。不仅如此,自动控制的应用范围已经扩展到生物、医学、环境、经济管理和其他许多社会生活领域中,成为现代社会活动中不可缺少的组成部分。因此,大多数工程技术人员和科学工作者都必须具备一定的自动控制知识。

1.1.2 历史的回顾

18 世纪,詹姆斯·瓦特(James Watt)为控制蒸汽机速度而设计的离心调节器(见图 1-1),是自动控制领域的第一项重大成果。1922 年,迈纳斯基(Minirsky)研制出船舶操纵自动控制器,并证明了如何从描述系统的微分方程中确定系统的稳定性。1932 年,奈奎斯特(Nyquist)提出了基于开环系统对正弦输入信号的稳态响应而确定闭环系统的稳定性方法。1934 年,黑曾(Hezen)提出了用于位置控制系统的伺服机构的概念,讨论了可以精确跟踪变化的输入信号的继电式伺服机构。

自动控制理论是研究自动控制共同规律及应用的技术科学。它是在第二次世界大战期间为满足军事领域对高性能军事装备系统(如火炮定位系统、雷达跟踪系统)要求的环境中产生的,是在战后的生产自动化、计算机技术和相关科学技术发展的基础上,进一步完善和发展的。1948 年,控制理论创始人维纳(N. Wiener)发表《控制论——关于动物和机器中控制和通讯的科学》奠定了控制理论的基础,这就是经典控制理论。维纳发现机器和生命系统都有一个共同特点,即通过信息的传递、处理和反馈来进行控制,亦即控制理论所具有的信息、反馈与控制三要素,这就是控制理论的中心思想。频率响应法和根轨迹法是古典控制理论的核心。根轨迹法是伊凡思(Evans)从 20 世纪 40 年代末到 50 年代初提出并完善的。1954 年,我国科学家钱学森发表了《工程控制论》,这一经典名著为控

制工程这门学科奠定了完整的理论基础。控制理论建立后,迅速渗透到多种学科领域,大大推动了近代科学技术的发展并派生出许多新的边缘科学。

以传递函数为基础的古典控制理论,主要研究单输入—单输出的线性定常系统的分析和设计问题。用古典控制理论设计的系统是稳定的,并且或多或少的满足一组适当的性能要求,一般是令人满意的,但不是某种最佳意义上的一种最佳系统。从 20 世纪 50 年代末,控制系统的设计的重点从设计许多可行系统中的一种系统,转变到设计某种意义上的一种最佳系统。

由于具有多输入和多输出的现代设备越来越复杂,所以需要大量运动微分方程描述现代控制系统,古典控制理论就显得无能为力了。20 世纪 60 年代初期,随着现代应用数学新成果的推出和数字计算机的出现,为复杂系统的时域分析提供了可能性,自动控制理论跨入了一个新阶段——利用状态变量、基于时域分析的现代控制理论。现代控制理论研究高性能、高精度、多变量、变参数的多输入、多输出系统的最优控制问题,从而适应了现代设备日益增加的复杂性要求,同时也满足了军事、空间技术和工业应用领域对精度、质量和成本方面的严格要求。

从 1960 年到 1980 年期间,不论是确定系统的最佳控制,还是随机系统的最佳控制,乃至复杂系统的自适应和学习控制,都得到了充分的研究,从 1980 年到现在,现代控制理论的进展集中于鲁棒控制、 H_∞ 控制及相关的课题。

对现代控制理论作出贡献的有:1892 年,俄国科学家李雅普诺夫(Liapunov)提出的判定系统稳定的理论;1956 年,前苏联的鲍特利亚金(Pontryagin)提出的极大值原理;1957 年,美国的贝尔曼(R.I.Bell man)提出的动态规划理论;1960 年美国的卡尔曼(R.E.Kalman)提出的滤波理论。

20 世纪末至今,控制理论向着“大系统理论”和“智能控制理论”发展,并扩展到非工程系统,诸如生物系统、经济系统和社会系统,继而产成了“生物控制论”、“经济控制论”和“社会控制论”,并且控制理论正在与模糊数学、分形几何学、混沌理论、人工智能、神经网络、遗传算法等科学交叉、渗透和结合,并不断发展并派生出新的科学。

必须指出,古典控制理论是基础,现代控制理论和智能控制理论等都是在此基础上发展起来的。为时至今,用古典控制理论解决许多工程上的实际问题仍是行之有效的,从而不失为解决工程实际问题的基本方法。

1.1.3 基本概念

在学习控制理论之前,定义一些概念或术语是必要的。

1. 系统

在工程上,系统通常定义为用以完成一定任务的一些部件的组合。实际上系统的概念相当广泛,不仅仅限于物理系统,还可以用于抽象的动态现象,如经济学中遇到的一些现象,因此,“系统”一词,应当理解为包含了物理学、生物学、经济学等方面的系统。

2. 被控变量和操作变量

被控变量是一种被测量和被控制量值或状态。操作变量是一种由控制器改变的量值或状态,进而影响被控变量的值。被控变量通常是系统的输出量。控制意味着对系统的

被控变量值进行测量，并且使操作变量作用于系统，以修正或限制测量值(实际输出值)对期望的偏离。

3. 反馈控制

反馈控制是这样的一种控制：对系统的被控变量进行适时检测并不断地直接或经过中间变换传递后的全部或部分返回到系统中(通常是输入端)，力图减小系统输出量与某种参考输入量之间的偏差。如果反馈量与输入量极性相反，则称“负反馈”，如果极性相同，则称“正反馈”。不加说明的反馈通常指负反馈。控制系统通常指负反馈控制系统。

4. 对象

它可能是一台设备(多数由一些机器零件有机地组合在一起)，其作用是完成一种特定的操作。本书中称任何被控物体(如一种机械装置、一个加热炉或一辆汽车)为一个对象。

5. 扰动

对系统输出量产生不利影响的信号称扰动，如果扰动产生在系统的内部称内部扰动；反之，如果扰动产生在系统的外部称外部扰动。

6. 过程

过程定义为人造的或自然发生的连续进行的运动状态，这种运动状态，由一系列受控制的动作和一直进行到某一特定结果或目标的有规则的运动构成，或简言之，任何被控制的运动状态为过程。

7. 方块图

控制系统一般由多个元件或环节构成，在控制工程中，常用方块图表示元件或环节在系统中的功能。方块图是元件或环节的功能的信号(能量)流向的表示，以指向它的箭头表示输入信号，以离开它的箭头表示输出信号，将表示元件或环节功能的传递函数或文字写到方块内，构成方块图单元。控制系统的方块图由方块图单元构成。

1.2 控制系统的工作原理及组成元件

1.2.1 控制系统的实例

1. 速度控制系统

发动机的瓦特式速度调节器工作原理如图 1-1 所示，允许进入发动机内的燃料数量，根据发动机的希望速度与其实际速度之差进行调整。速度调节的调节原理是：当工作于希望的速度时，高压油不进入动力液压缸的任何一侧；如果由于扰动，使实际速度下降到希望值之下，则速度调节器的离心力变小，离心摇锤使控制阀芯向下移动，液压缸活塞下移，使控制阀开口变大，对发动机的燃料供应增多，发动机速度增大，直到达到速度期望值为止；如发动机速度增大以至超过期望值，则速度调节器的离心力变大，从而导致控制阀芯上移，液压缸活塞上移，控制阀开口变小，燃料供应减小，发动机速度变小，直到达到期望值时为止。

在这个速度控制系统中，控制对象(被控系统)是发动机，被控变量是发动机的速度。期望速度与实际速度之差形成偏差信号，作用到对象(发动机)上的控制信号(燃料的数量)

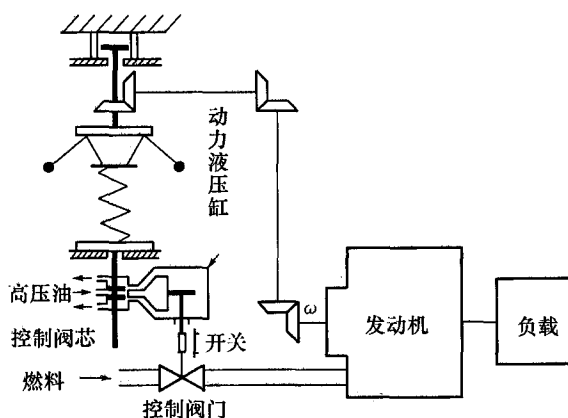


图 1-1 速度控制系统

为驱动信号(操作变量)。对被控量起干扰作用的外部输入量称为扰动量,不能预测的负载变化就是一种扰动量。

2. 函数记录仪

函数记录仪是一种通用的自动记录仪,它可以在直角坐标中自动绘制两个电量的函数关系,同时,记录仪还有走纸机构,用以描述一个电量与时间的函数关系,其原理如图 1-2 所示。系统的输入是待记录的电压,被控对象是记录笔,其位移即为被控量。系统的任务是控制记录笔位移,在记录纸上描述出待记录的电压曲线。

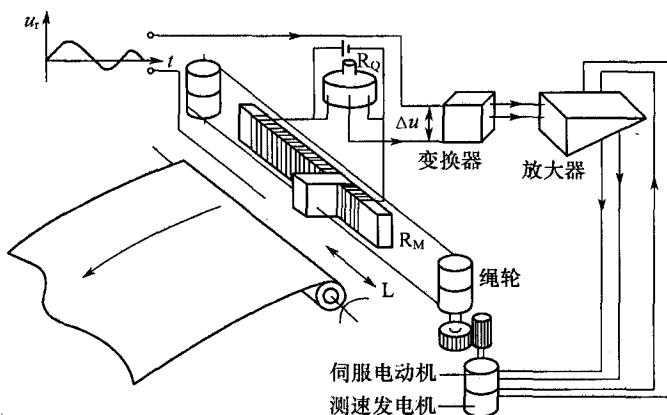


图 1-2 函数记录仪原理示意图

在图 1-2 中,测量元件是由电位器 R_Q 和 R_M 促成的桥式测量电路,记录笔固定在电位器 R_M 的滑臂上,因此测量电路的输出电压 u_p 与记录笔位移成正比。当有慢变的输入电压 u_r 时,放大元件入口(变换器)得到偏差电压信号 $\Delta u = u_r - u_p$,经放大后驱动伺服电动机,并通过齿轮系和绳轮带动记录笔位移,同时使偏差电压 Δu 减小。当偏差电压 $\Delta u = 0$ 时,伺服电动机停止转动,记录笔也静止不动,此时 $u_p = u_r$,表明记录笔位移与输入电压 u_r 相对应。如果输入电压随时间连续变化,记录笔便描绘出随时间连续变化的相应曲线。

函数记录仪结构方块图如图 1-3 所示,图中测速发电机反馈电压与伺服电动机转速成正比,以增加阻尼,改善系统的性能。

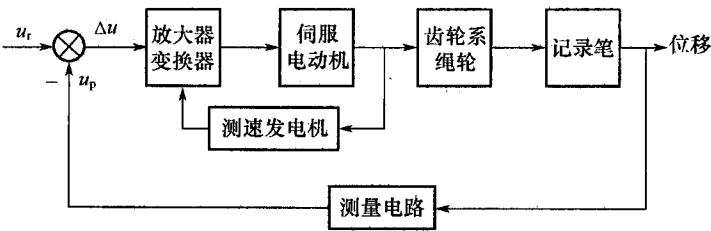


图 1-3 函数记录仪结构方块图

3. 温度控制系统

图 1-4 所示为电炉温度控制系统的工作原理。电炉内的温度由温度计测量,温度计是一个模拟装置(热电偶)。模拟量温度(一般为电压)通过 A/D 转换器转变为数字量温度,数字量温度通过接口设备传递到控制器。这个数字温度与编程输入温度进行比较,如果存在某种偏差,控制器就会通过界面、放大器和继电器向加热器发送信号,从而使电炉温度达到要求的温度。

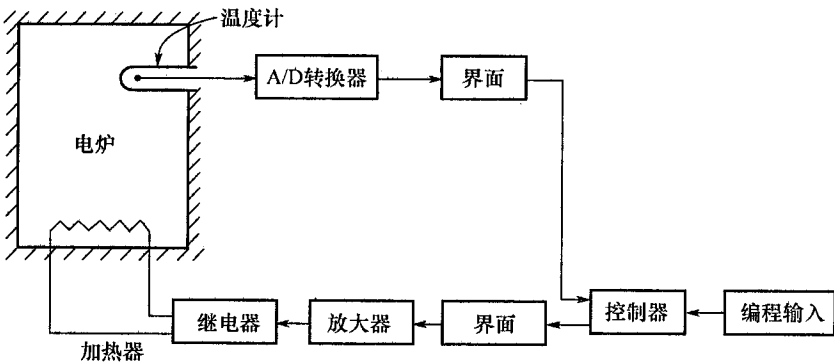


图 1-4 温度控制系统

1.2.2 反馈控制系统的构成

在上述三种自动控制系统中都具有反馈控制环节。利用反馈原理(见 1.1 节中反馈控制术语)构成的自动控制系统称反馈控制系统。特别强调,这里的反馈是指来自被控变量(输出信号)的反馈,系统内部固有的反馈作用,在工程上一般不能称为反馈控制。

1. 开环控制和闭环控制

根据有无反馈控制环节,控制系统可分为开环控制系统、闭环控制系统和半闭环控制系统。

如果系统只是根据输入量对输出量进行控制,输出端和输入端不存在反馈回路,系统的输出量对系统的控制不产生任何影响,这样的系统称为开环控制系统。简言之,开环控制系统就是没有反馈控制的系统。开环控制系统的输出量仅受输入量的控制,如果