



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

自动控制原理

(第2版)

主 编 冯巧玲

副主编 吴 娟 范为福 牛月兰



北京航空航天大学出版社

TP13/145=2

2007



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

自动控制原理

(第2版)

主编 冯巧玲

副主编 吴娟 范为福 牛月兰

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书系统地介绍了经典控制理论和现代控制理论中的线性系统理论。全书共分9章:前6章主要讲述线性定常连续系统的建模、分析、校正等内容;第7章为采样离散系统的分析及设计;第8章为非线性系统分析;第9章为现代控制理论。最后附有第2章到第9章的习题参考答案。

本书可作为高等院校电气工程及自动化、自动化仪表及测试、机械工程、计算机技术等专业的教科书,也可供从事自动控制类的各专业工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

自动控制原理/冯巧玲等编著.—2版.—北京:北京航空航天大学出版社,2007.12

ISBN 978-7-81124-173-0

I. 自… II. 冯… III. 自动控制理论—高等学校—教材
IV. TP13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 173107 号

版权声明:未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本教材之部分或全部内容。版权所有,违者必究。

自动控制原理

(第2版)

主编 冯巧玲

副主编 吴 娟 范为福 牛月兰

责任编辑 金友泉

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(100083) 发行部电话:010-82317024 传真:010-82328026

http://www.buaapress.com.cn E-mail:bhpress@263.net

北京市松源印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787 mm×1 092 mm 1/16 印张:25.5 字数:653 千字

2007 年 12 月第 2 版 2007 年 12 月第 1 次印刷 印数:4 000 册

ISBN 978-7-81124-173-0 定价:34.00 元

前 言

本书是在“普通高等教育‘十一五’国家级规划教材”评选结果的基础上进行编写的。它的特点是:

1. 内容全面。包括经典控制理论的全部内容和现代控制理论的部分内容,符合一般本科院校教学大纲的要求。

2. 例题、习题丰富,难度适中。每章针对某部分内容,都有比较合适的例题和习题,以加深对所述概念的理解。每道例题和习题的选择,都具有代表性,都考虑了教师讲授的方便性、学生学习的渐进性和理解能力。

3. 编排合理。经典控制理论与现代控制理论安排在不同的章节,对于以应用型人才为培养目标的一般本科院校,因必修课学时较少,可以按必修课和选修课两部分安排教学内容,以适应不同教学目标的要求。

4. 详、略得当。本教材以最精炼的语言来阐述需要说明的问题,又不会使问题难以理解和发生歧义。

5. 书后附有大部分习题的参考答案,既具有教材的作用,又具有习题集的功能,可方便学生学习和考研。

本书是由工作在教学第一线、具有丰富教学经验的几位教师编写的。其中第1章和第9章由郑州轻工学院教师冯巧玲编写;其余各章编写作者有(大部分是郑州轻工学院教师):吴娟(第2、3、4章);范为福(中原工学院教师)(第5章),牛月兰(第6章),魏云冰、郑新华(第7章、第8章)。由郑州轻工学院谢宋和教授对本书作了主审。由于编者水平有限,因此热诚希望读者对本书的缺点和错误批评指正。

编 者

2007年8月

目 录

第 1 章 自动控制概论

1.1 引 言	(1)
1.1.1 自动控制理论及应用	(1)
1.1.2 自动控制理论发展简史	(1)
1.2 自动控制系统的组成与原理方框图	(2)
1.2.1 自动控制系统的组成	(2)
1.2.2 自动控制系统的原理方框图	(3)
1.3 自动控制系统的分类	(4)
1.3.1 按自动控制方式分类	(4)
1.3.2 按输入信号特征分类	(5)
1.3.3 按所使用的数学方法分类	(6)
1.4 对控制系统的基本要求	(7)
1.4.1 稳定性	(8)
1.4.2 动态性能	(8)
1.4.3 稳态性能	(8)
习 题	(8)

第 2 章 控制系统的数学模型

2.1 引 言	(10)
2.2 控制系统的时域数学模型	(10)
2.2.1 线性元部件、线性系统微分方程的建立	(10)
2.2.2 非线性系统微分方程的线性化	(14)
2.3 控制系统的复域数学模型	(15)
2.3.1 传递函数	(15)
2.3.2 典型环节的传递函数	(17)
2.4 控制系统的结构图	(21)
2.4.1 结构图的组成	(21)
2.4.2 结构图等效变换	(23)
2.5 控制系统的信号流图	(29)
2.5.1 信号流图	(30)
2.5.2 信号流图的绘制	(31)
2.5.3 梅森增益公式	(33)
2.6 闭环系统的传递函数	(34)

2.6.1 系统的开环传递函数	(35)
2.6.2 系统的闭环传递函数	(35)
2.6.3 闭环系统的误差传递函数	(35)
习 题	(36)

第3章 线性系统的时域分析

3.1 控制系统时间响应的性能指标	(40)
3.1.1 典型输入信号	(40)
3.1.2 控制系统的时域性能指标	(40)
3.2 一阶系统的时域分析	(42)
3.2.1 一阶系统的数学模型	(42)
3.2.2 一阶系统的单位阶跃响应	(43)
3.2.3 一阶系统的单位脉冲响应	(43)
3.2.4 一阶系统的单位斜坡响应	(44)
3.2.5 一阶系统的单位加速度响应	(45)
3.3 二阶系统的时域分析	(45)
3.3.1 二阶系统的数学模型	(45)
3.3.2 二阶系统的单位阶跃响应	(47)
3.3.3 欠阻尼二阶系统的动态过程分析	(49)
3.3.4 过阻尼二阶系统的动态性能指标	(52)
3.3.5 二阶系统的单位脉冲响应	(53)
3.3.6 二阶系统的单位斜坡响应	(55)
3.3.7 二阶系统的性能改善	(57)
3.3.8 初始条件不为零的二阶系统响应	(59)
3.4 高阶系统的时域分析	(60)
3.4.1 高阶系统的阶跃响应	(60)
3.4.2 闭环主导极点	(61)
3.4.3 高阶系统性能指标估算	(62)
3.5 线性系统的稳定性分析	(64)
3.5.1 稳定性概念及定义	(64)
3.5.2 线性系统稳定的充分必要条件	(64)
3.5.3 线性系统的代数判据	(65)
3.6 线性系统的稳态误差	(68)
3.6.1 误差的基本概念	(68)
3.6.2 计算稳态误差的一般方法	(69)
3.6.3 系统类型及静态误差系数法	(70)
3.6.4 扰动作用下的误差	(74)
习 题	(76)

第4章 根轨迹法

4.1 根轨迹概念	(80)
4.2 根轨迹方程	(81)
4.3 绘制根轨迹的基本法则	(82)
4.3.1 绘制根轨迹的基本法则	(83)
4.3.2 闭环极点的确定	(91)
4.4 广义根轨迹	(91)
4.4.1 参数根轨迹	(91)
4.4.2 零度根轨迹	(93)
4.5 开环零、极点分布对系统性能的影响	(97)
4.6 系统性能分析与估算	(99)
4.6.1 闭环系统的主导极点、偶极子	(99)
4.6.2 系统性能的定量估算及定性分析	(100)
习 题	(104)

第5章 频率响应分析法

5.1 频率特性的基本概念	(107)
5.1.1 频率特性的定义	(107)
5.1.2 频率特性的几何表示	(110)
5.2 典型环节的频率特性	(111)
5.2.1 比例环节	(112)
5.2.2 积分环节	(112)
5.2.3 微分环节	(113)
5.2.4 惯性环节	(114)
5.2.5 一阶微分环节	(116)
5.2.6 振荡环节	(117)
5.2.7 二阶微分环节	(119)
5.2.8 延时环节	(120)
5.3 系统开环频率特性的绘制	(121)
5.3.1 开环幅相曲线的绘制	(121)
5.3.2 开环对数频率特性曲线的绘制	(124)
5.3.3 最小相位系统和非最小相位系统	(126)
5.4 频率域稳定判据	(128)
5.4.1 奈氏判据的数学基础	(128)
5.4.2 奈奎斯特稳定判据	(130)
5.4.3 开环系统含有积分环节时奈氏判据的应用	(132)
5.4.4 对数频率稳定判据	(136)
5.5 稳定裕度	(138)

5.5.1 幅值裕度和相位裕度	(139)
5.5.2 应用举例	(141)
5.6 系统的闭环频率特性	(145)
5.6.1 开环频率特性与闭环频率特性的关系	(145)
5.6.2 尼科尔斯图线	(146)
5.6.3 非单位反馈系统的闭环频率特性	(149)
5.7 频域性能指标和时域性能指标的关系	(150)
5.7.1 典型二阶系统	(150)
5.7.2 高阶系统	(151)
习 题	(152)

第 6 章 线性系统的校正方法

6.1 系统校正的一般概念	(156)
6.1.1 性能指标	(156)
6.1.2 系统带宽的选择	(157)
6.1.3 校正方式	(159)
6.2 基本控制规律	(160)
6.2.1 比例(P)控制规律	(160)
6.2.2 比例—微分(PD)控制规律	(162)
6.2.3 积分(I)控制规律	(165)
6.2.4 比例—积分(PI)控制规律	(165)
6.2.5 比例—积分—微分(PID)控制规律	(168)
6.2.6 用最佳二阶系统法进行 PID 校正	(171)
6.3 频率法串联校正	(172)
6.3.1 串联超前校正	(173)
6.3.2 串联滞后校正	(178)
6.3.3 串联滞后—超前校正	(182)
6.3.4 校正装置的实现	(186)
6.3.5 串联综合法校正	(187)
6.3.6 串联工程设计方法	(192)
6.4 频率法反馈校正	(195)
6.4.1 反馈校正的原理与功能	(195)
6.4.2 综合法反馈校正	(198)
6.5 控制系统的复合校正	(200)
6.5.1 按扰动补偿的复合校正	(201)
6.5.2 按输入补偿的复合校正	(203)
习 题	(209)

第7章 线性离散系统

7.1 离散系统的基本概念	(214)
7.2 采样过程及采样定理	(215)
7.2.1 采样过程及数学描述	(215)
7.2.2 采样定理	(216)
7.2.3 采样周期的选择	(217)
7.3 信号恢复与信号保持	(218)
7.4 Z变换理论	(220)
7.4.1 Z变换的定义	(220)
7.4.2 Z变换的求法	(221)
7.4.3 Z变换的性质	(224)
7.4.4 Z反变换	(226)
7.5 采样系统的数学模型	(228)
7.5.1 差分方程	(228)
7.5.2 线性离散系统的脉冲传递函数	(230)
7.6 线性离散系统的稳定性与稳态误差	(236)
7.6.1 离散系统的稳定条件	(236)
7.6.2 离散系统的稳定性判据	(237)
7.6.3 线性离散系统的稳态误差	(240)
7.7 动态响应与闭环零、极点分布的关系	(243)
7.8 线性离散系统的校正	(247)
7.8.1 数字控制器的模拟化设计	(247)
7.8.2 数字PID算式	(251)
7.9 最少拍离散控制系统的分析与设计	(252)
7.9.1 最少拍系统的闭环脉冲传递函数	(252)
7.9.2 最少拍系统的设计	(253)
习 题	(257)

第8章 非线性控制系统

8.1 概 述	(260)
8.1.1 典型的非线性特性	(260)
8.1.2 非线性系统的若干特征	(261)
8.1.3 非线性系统的研究方法	(262)
8.2 描述函数法	(263)
8.2.1 描述函数的定义	(263)
8.2.2 典型非线性特性的描述函数	(264)
8.2.3 组合非线性特性的描述函数	(269)
8.2.4 非线性系统的稳定性	(271)

8.2.5 周期运动的稳定性	(272)
8.3 相平面法	(277)
8.3.1 相平面法的概念	(277)
8.3.2 相轨迹的性质	(277)
8.3.3 相平面图的绘制方法	(278)
8.3.4 线性系统的相轨迹	(281)
8.3.5 奇点和奇线	(285)
8.3.6 由相平面图求系统运动的时间响应	(287)
8.3.7 非线性系统的相平面分析	(289)
习 题	(296)

第9章 线性定常系统的状态空间分析与综合

9.1 线性系统的状态空间表达式	(300)
9.1.1 基本概念	(300)
9.1.2 状态空间表达式的建立	(303)
9.1.3 状态向量的线性变换	(311)
9.1.4 传递函数矩阵	(318)
9.2 控制系统状态空间表达式的解	(320)
9.2.1 线性定常连续系统齐次状态方程的解	(321)
9.2.2 状态转移矩阵的基本性质	(321)
9.2.3 状态转移矩阵的求法	(322)
9.2.4 线性定常系统非齐次方程的解	(326)
9.2.5 离散动态方程及其求解	(328)
9.3 控制系统的能控性与能观性	(331)
9.3.1 能控性与能观性问题的提出	(331)
9.3.2 能控性定义及其判别准则	(331)
9.3.3 线性系统能观性定义及判据	(337)
9.3.4 能控性、能观性与传递函数(矩阵)的关系	(340)
9.3.5 对偶原理	(342)
9.3.6 能控标准型和能观标准型	(343)
9.3.7 线性定常系统的规范分解	(346)
9.4 李雅普诺夫稳定性分析	(348)
9.4.1 李雅普诺夫关于稳定性的定义	(349)
9.4.2 李雅普诺夫第一法(间接法)	(350)
9.4.3 李雅普诺夫第二法(直接法)	(352)
9.5 状态反馈和线性系统校正	(355)
9.5.1 利用状态反馈对系统进行校正	(355)
9.5.2 输出到输入的反馈	(359)
9.5.3 输出到状态向量导数 $\dot{x}$ 的反馈与极点配置	(360)

9.5.4 系统镇定问题	(361)
9.6 系统解耦问题	(363)
9.6.1 解耦的概念	(363)
9.6.2 用前馈补偿法实现解耦	(363)
9.6.3 状态反馈解耦	(364)
9.7 状态观测器	(366)
9.7.1 全维状态观测器	(366)
9.7.2 降维状态观测器	(367)
9.8 带状态观测器的闭环控制系统	(369)
9.8.1 系统的结构与状态空间表达式	(369)
9.8.2 闭环系统的基本特性	(370)
习 题	(372)
附录 1 习题答案	(376)
附录 2 常用函数的拉氏变换表	(392)

参 考 文 献

第 1 章 自动控制概论

1.1 引言

1.1.1 自动控制理论及应用

自动控制理论是研究自动控制共同规律的一门科学。它包括工程控制论、生物控制论、经济控制论和社会控制论。工程领域的自动控制,就是在无人直接参与的情况下,利用控制装置,自动地操纵机器设备或生产过程,使其具有希望的状态或功能。

自动控制在工农业生产,军事领域及航空航天方面,都得到了充分的应用。例如工业上,各种机床的速度控制,锅炉的温度和压力控制;军事上,雷达和火炮自动跟踪目标,导弹自动制导;航空航天方面,人造卫星及宇宙飞船准确地进入预定轨道并返回地面等,都是自动控制技术的具体应用。由于有了自动控制,极大地改善了人们的劳动条件,提高了产品质量和劳动生产率。

1.1.2 自动控制理论发展简史

控制理论的发展从 18 世纪到今天经历了几百年的历史,这其中有很多数学家、物理学家和工程技术人员对它做出了卓越的贡献。今天回顾历史,主要是想说明科学理论和工程实践是相辅相成的。

控制理论的核心内容是反馈。所谓反馈就是把系统的输出量反送到输入端与系统的给定量比较产生偏差量,再利用偏差量控制系统,使系统最终消除偏差。在控制理论形成之前,人们对反馈就有了认识,并利用它制造了一些装置和机器。最具代表性的是 1765 年瓦特(J. Watt)发明了蒸汽机离心调速器。但是在使用过程中,发现在某些条件下,蒸汽机转速可能自发地产生剧烈振荡。当时,有人认为系统振荡是因为调节器的制造精度不够,从而努力改进调节器的制造工艺。这种盲目的探索持续了大约一个世纪之久,直到 1868 年,英国物理学家麦克斯韦(MaxWell, J. C)发表了“论调速器”论文,第一次指出不应该单独讨论一个离心锤,必须从整个控制系统出发推导出微分方程,然后讨论微分方程的稳定性,从而分析实际控制系统是否会出现不稳定现象。这样控制系统稳定性的分析变成了判别微分方程特征根的正、负号问题。麦克斯韦的这篇论文被公认为是自动控制理论的开端。

对于高阶微分方程,求特征方程的根是困难的。因此在 1877 年和 1895 年两位数学家罗斯(Routh)和赫尔维茨(Hurwitz)提出了对于高阶微分方程的代数判据,沿用至今。1892 年俄国数学家李亚甫诺夫发表了《论运动稳定性的一般问题》,他用严格的数学分析方法全面地论述了稳定性理论及方法,为控制理论奠定了坚实的基础。

到了 20 世纪 30 年代,美国贝尔实验室建设了一条长距离电话网,使用了高增益的负反馈放大器。可是在使用中,放大器有时会变成振荡器。针对这个问题,1932 年奈奎斯特

(H. Nyquist)提出了放大器的稳定性判据。与前面不同的是,这是一个频域判据,它不但能判断系统的稳定性,而且能给出稳定裕量。1940年伯德(H. W. Bode)引入对数坐标,使它更适合工程应用。

随着第二次世界大战的爆发,对先进武器的研究,使自动控制理论得到了空前的发展。1942年哈里斯(Harris)提出了传递函数的概念,并把它应用到了控制领域。传递函数可以把高阶微分方程变成代数方程,为高阶微分方程的分析提供了实用方法。1948年依万斯(W. R. Evans)提出了根轨迹法,该方法指出如何靠改变系统中的某些参数来改变控制系统的特性。由于计算机的出现,雷加基尼(Ragazzini)和查德(Zadeh)研究了线性采样系统。至此,对于单输入、单输出为主要研究对象,以传递函数作为系统的基本描述、以频率法和根轨迹法作为系统分析和设计方法的自动控制理论建立起来了,通常称为经典控制理论。有了理论的指导,工业得到了很快的发展。在军事上,如飞机的自动导航、反情报雷达、炮位跟踪系统等均应用了反馈控制理论。

随着工业过程控制和空间宇航技术的发展,控制系统逐渐复杂起来,出现了信号多、回路多、变量多而且相互之间有耦合的多输入、多输出系统。这时,古典控制理论就显示出了它的局限性。因此,1956年苏联数学家庞德里亚金提出了极大值原理;1957年美国学者贝尔曼(Bellman)提出了动态规划;1960年卡尔曼(Kalman)提出了状态空间分析技术。这些理论当时被称为现代控制理论,开创了控制理论研究的新篇章。线性系统理论、最优控制、最佳滤波、系统辨识、自适应控制等理论都是这一领域研究的主要课题。与古典控制理论不同的是,现代控制理论是用一阶微分方程组来描述系统,可以反映系统内部变量的全部信息,是研究多变量系统、非线性系统、时变系统的强有力的工具。有了现代控制理论的指导,宇宙飞船飞上了天空。

从1980年到现在,现代控制理论的研究主要集中于鲁棒(robust)控制、人工智能控制方面。目前,现代控制理论正随着现代科学技术的发展日新月异地向前发展着。

1.2 自动控制系统的组成与原理方框图

1.2.1 自动控制系统的组成

图1-1所示是一个电加热系统。该控制系统的控制目标是通过调整调压器滑动端的位置,来改变电阻炉的温度,并使其恒定不变。下面用此实例来分析自动控制系统的必要组成。

(1) 系统必须有被控对象(电阻炉)。被控对象的输出(电阻炉的温度 t)是被控量或输出量。

(2) 根据工艺要求要有一个给定温度。给定电压对应给定温度,称为给定量或输入量。

(3) 系统必须有控制装置。电阻炉温度通过改变调压器滑动端的位置进行控制。

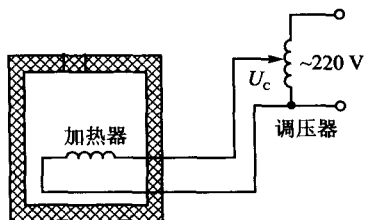


图1-1 简单温度控制系统

图1-1所示是一个简单的温度控制系统。当控制精度要求较高时,该控制系统不能满足要求。这是因为当系统出现扰动时,例如环境温度变化、电源电压波动等,都将使电炉温度偏离给定值。为了使系

统在各种扰动作用下,都能使温度保持恒定,必须采用图 1-2 所示闭环温度控制系统。与图 1-1 相比,还必须增加下列装置:

(1) 必须有一个温度检测装置(例如一个热电偶温度计),用来测出电阻炉的实际温度,并转化成相应的电压 U_i ,再把 U_i 反馈到系统的输入端与给定电压 U_g 相比较(通过两者极性反接实现),两电压之差 ΔU 称为偏差电压(或误差信号),此电压作为控制器(本例为运算放大器)的输入电压。例如当系统出现扰动使炉温升高时, U_i 增加, ΔU 减小;反之, ΔU 增加。

(2) 必须有一个控制校正装置,将偏差电压 ΔU 按照一定的控制规律或算法进行运算和放大,发出相应的控制信号。

(3) 必须有一个执行调节装置(本例为可逆伺服电动机 M 加上变速装置),根据控制器输出电压的大小,带动自耦变压器的滑动端向上或向下运动,使炉温保持在给定值上。

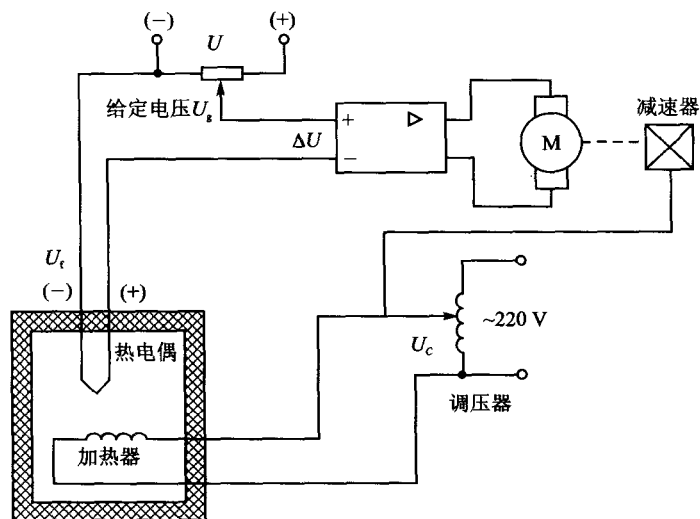


图 1-2 温度闭环控制系统

可见,一个自动控制系统必须由被控对象、检测装置、控制校正装置与执行调节机构等几部分组成。

1.2.2 自动控制系统的原理方框图

为了在理论上对一个自动控制系统的工作原理及其控制过程中的一些共性规律进行分析研究,常用自动控制原理方框图(或系统结构图)来表示一个系统。这种图把系统中的各个组成部分都用一个方框表示,称之为“环节”,并且着重注意分析每个环节之间信号的相互作用和传递关系。图 1-3 就是所举例子的自动控制原理方框图。图中的“○”为信号的比较点,指向比较点的信号线,当信号之间的关系是相加时为“+”,相减时为“-”。把各组成部分对应的实物标注在方框内或方框外。

自动控制原理方框图的画法是不唯一的。这是因为,按照研究目的不同,可以对环节任意划分。当然各个环节之间的相互关系必须符合实际情况。

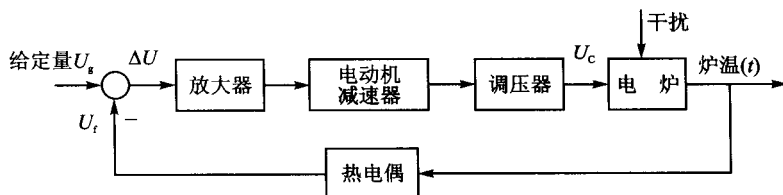


图 1-3 温度闭环控制系统结构图

1.3 自动控制系统的分类

自动控制系统根据分类的目的不同,有多种分类方法。

1.3.1 按自动控制方式分类

1. 开环控制系统

开环控制系统是指控制装置与被控对象之间只有顺向作用,而没有反向联系的控制过程。图 1-1 简单温度控制系统即为开环控制系统。又如如图 1-4 经济型数控机床是典型的开环控制系统。数控机床是一种利用数控技术,准确地按照事先安排的工艺流程,实现规定加工动作的金属切削机床。系统由输入量、控制装置、执行机构、被控对象及输出量组成。输入量作用于系统的输入端,它的作用是在数控机床加工工件时,把根据该工件的尺寸、形状和技术条件编出的加工程序输入计算机控制装置。计算机控制装置经过运算、处理后,发出指令脉冲(又称进给脉冲),经驱动电路放大后,驱动步进电动机。步进电动机为该系统的执行机构(又称伺服系统)。一个进给脉冲使步进电动机转动一个角度,通过齿轮丝杠传动使工作台移动一定距离。系统的被控对象是工作台,被控量是工作台位移。工作台的位移量与步进电动机转动角位移成正比,改变进给脉冲的数目和频率,就可以控制工作台的位移和速度。此系统中没有检测装置,指令信号单方向传递,并且指令发出后,不再反馈回来。如果系统参数发生变化,或受到扰动的影响,系统的输出量(即被控量)就会出现误差;而开环系统对这种误差是无能为力的。所以,开环控制精度不是很高。但它结构简单、调试方便、容易维修、成本较低,而且不会出现不稳定问题。目前国内大力发展的经济型数控机床,普遍采用开环式数控系统。

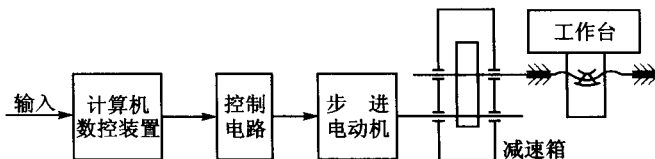


图 1-4 开环式数控机床系统

2. 闭环控制系统

开环控制系统的控制精度不高,主要是没有检测工作台移动的实际位置,也就没有纠正实际偏差的能力。图 1-5 是闭环控制数控机床,安装在工作台上的检测元件将工作台实际位移量反馈到计算机中与所要求的位置进行比较,用比较的差值送给控制电路进行控制直到差值消除为止,从而使加工精度大大提高。速度检测元件的作用是将伺服电动机的实际转速变换

成电信号送到速度控制电路中,进行反馈校正,以保证电动机转速保持恒定不变。常用速度检测元件是与电动机同轴的测速发电机。

闭环控制的特点是加工精度高,移动速度快。这类数控机床采用直流伺服电机或交流伺服电机作为驱动元件,电机的控制电路比较复杂,检测元件价格昂贵,因此调试和维修比复杂。

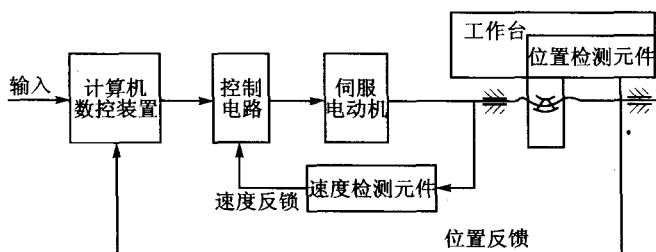


图 1-5 闭环式控制数控机床

图 1-2 的温度控制系统,也是闭环控制系统。总之,闭环控制系统在控制器与被控对象之间,不仅存在着正向作用,而且存在着反馈作用,即系统的输出信号对控制量有直接的影响。将检测出来的输出信号送回系统的输入端,并与输入信号比较的过程称为反馈。闭环控制又称为反馈控制,若反馈信号与输入信号相减则称为负反馈,若相加,则称为正反馈。输入信号与反馈信号之差,称为误差(或偏差)信号。偏差信号作用于控制器上,使系统的输出信号趋向于希望的数值。闭环控制的实质是:“基于偏差,又消除偏差”。

3. 复合控制系统

当生产机构对自动控制系统提出很高的要求时,单独采用开环控制或者闭环控制都是有困难的。这时,可以设计一种开环控制和闭环控制相结合的复合控制系统,如图 1-6 所示。在这种系统中,开环系统可以按输入量进行控制或按扰动量进行控制(当扰动量可测量时)。

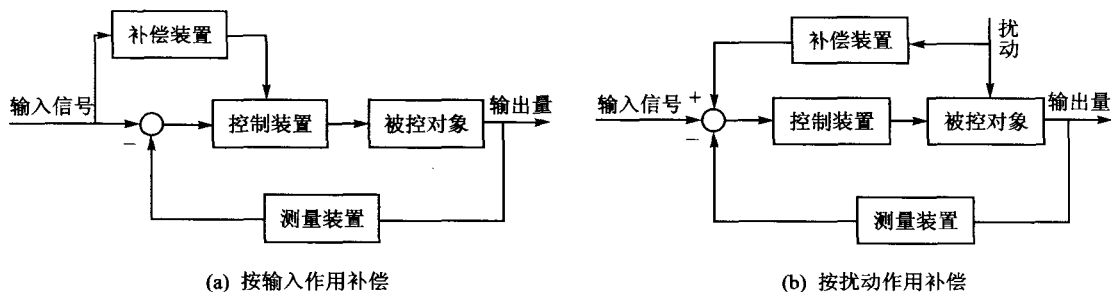


图 1-6 复合控制典型方框图

1.3.2 按输入信号特征分类

1. 恒值控制系统

恒值控制系统的任务是当输入量为给定量时,能克服扰动量对系统的影响,使输出量为对应于输入量的恒定值。图 1-2 所示的温度控制系统和图 1-7 所示的电动机转速闭环控制系统都是恒值控制系统。

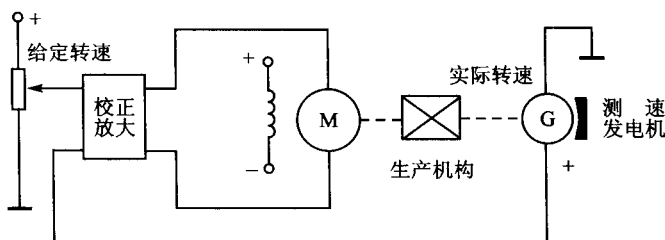


图 1-7 电动机转速闭环控制系统

2. 随动系统

如果输入信号为预先未知的随时间任意变化的函数,要求输出量精确地、快速地跟随输入信号,称这类系统为随动系统。随动系统在工业生产和国防建设中有着极为广泛的应用,如火炮控制系统、雷达跟踪系统、函数记录仪、舰船操舵系统等都是典型的随动系统。

图 1-8 为火炮控制系统示意图。在此系统中,当输入一个角度时,如果输出角度与输入角度不同则同位仪(两个电位器)输出一个偏差信号到控制与放大器的输入端,其输出端输出一个相应的电压,致使直流电动机带动炮架转动。与此同时,又把炮架的位置反馈到同位仪检测装置,直至输出角度与输入角度相等,放大器的输入、输出为零,电动机停止旋转,炮架的输出角度总是跟踪输入角度。火炮跟踪系统框图如图 1-9 所示。

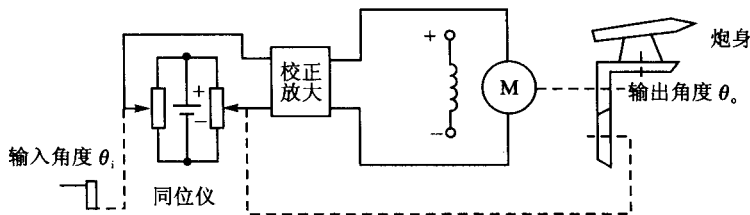


图 1-8 火炮跟踪系统示意图

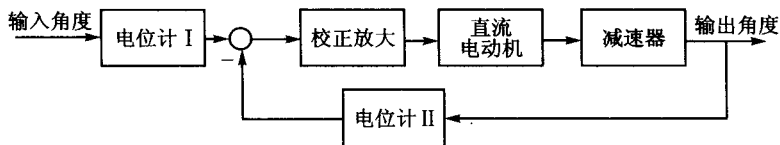


图 1-9 火炮跟踪系统框图

3. 程序控制系统

如果系统的输入量按既定规律变化,系统的控制过程按预定的程序进行,称这类系统为程序控制系统。如前面讲到的数控机床控制系统,输入命令是根据加工工艺事先编制好的。

1.3.3 按所使用的数学方法分类

1. 连续系统和离散系统

(1) 连续系统

若系统中各元件的输入量和输出量均为时间的连续函数时,称这类系统为连续系统。连续系统的运动规律可用微分方程描述。