

TIEDAO XINHAO
ZIDONGKONGZHI
JICHU

铁道信号 自动控制基础

张凤翥 陈玉年 主编

中国铁道出版社

铁道信号自动控制基础

张凤翥 陈玉年 主编

一九八四年五月九

中国铁道出版社

1984年·北京

前 言

本书是根据铁道部教育局组织制订“铁道信号自动控制基础”教学大纲的要求编写的。

为了适应计算机控制数字系统的需要，本书包括三大部分：自动控制理论、控制元件和运动技术的数据传输理论。

考虑到铁道信号专业的现状和今后发展趋势，本书的自动控制理论部分侧重于古典控制的时域与根轨迹法，并介绍了现代控制理论；控制元件部分是以继电控制元件为主，对有接点与无接点的逻辑电路也做了阐述；数据传输部分重点放在数字调制与解调、各种调制的差错概率的计算，并对差错控制、纠错编码及同步原理进行必要的分析。为便于教学和使同学在学习中加深理解，在每一章后面附有小结与思考题。

本书分十四章，内容包括自动控制基本概念、模型、时域分析、根轨迹法、现代控制理论、继电器、继电逻辑电路基础、故障-安全元件、无接点逻辑电路基础、数据传输的一般原理、数字调制与解调、信道干扰与差错概率、差错控制与纠错编码、同步原理。

本书由北方交通大学张凤翥、陈玉年主编。由吴文洸教授主审。兰州铁道学院王思明同志参加了审稿。具体编写分工是：

第一、二、三、四、五、八、九章由张凤翥编写

第六、七章由上海铁道学院陶启沪编写

第十、十一、十二、十三、十四章由陈玉年编写

本书在编写过程中，上海铁道学院秦钟芳、黄洵石同志提出了宝贵的意见，对此，我们表示感谢。

限于编者水平，书中一定存在不妥之处，切望广大读者提出批评指正。

编 者

1983年5月

目 录

第一篇 自动控制理论

第一章 控制系统的一般概念	1
第一节 引 言	1
第二节 开环控制与闭环控制	2
第三节 控制系统举例	5
第四节 控制系统的组成与对控制系统的基本要求	11
第五节 现代控制理论	12
本章小结	13
思考题	13
第二章 模 型	14
第一节 模型的分类	14
第二节 控制系统的数学模型	16
第三节 富氏变换与拉氏变换	17
第四节 传递函数	30
第五节 方框图	36
第六节 反馈控制系统的传递函数	44
本章小结	45
思考题	46
第三章 控制系统的动态分析	47
第一节 引 言	47
第二节 稳定性	51
第三节 一阶系统	57
第四节 二阶系统	59
第五节 稳态误差与误差系数	71
本章小结	77
思考题	77
第四章 根轨迹法	78
第一节 引 言	78
第二节 根轨迹方程	79
第三节 根轨迹的绘制	82
本章小结	90
思考题	90
第五章 状态空间分析法	91

第一节	状态空间分析法的基本概念	91
第二节	系统的状态方程和输出方程	93
第三节	状态方程的解法	97
第四节	状态方程与传递函数的关系	108
第五节	矩阵的特征值与系统的稳定性	110
第六节	状态变量反馈	113
第七节	可控性与可观测性概念	119
第八节	状态变量的线性变换	125
第九节	状态反馈理论与观测器	134
本章小结		145
思考题		145

第二篇 控制元件与电路

第六章	继电器	146
第一节	继电器概述	146
第二节	继电器的主要结构及发展趋势	148
第三节	继电器的机械特性与牵引特性	151
第四节	直流电磁继电器的工作原理	157
第五节	交流继电器的工作原理	167
第六节	继电器的时间特性	173
第七节	继电器接点	182
第八节	继电器的应用	194
本章小结		202
思考题		204
第七章	接点电路逻辑基础	206
第一节	概 述	206
第二节	接点电路逻辑代数的基本定律及应用	207
第三节	接点电路变换的一般公式	211
第四节	桥形电路的变换	216
第五节	带闸门元件的接点电路	217
第六节	接点电路的综合	219
第七节	接点电路的分析	224
本章小结		229
思考题		229
第八章	无接点故障-安全逻辑元件	231
第一节	磁放大器和铁磁继电器	232
第二节	静态逻辑采用冗余法构成的故障安全逻辑元件	238
第三节	相位利用相位和脉冲拍节构成的故障-安全逻辑元件	238
本章小结		247
思考题		248

第九章 数字系统设计基础	249
第一节 基本概念	249
第二节 组合系统设计	250
第三节 电压符号法	250
第四节 时序系统概述	255
第五节 数字系统的模型	257
本章小结	263
思考题	263

第三篇 远动技术的数据传输

第十章 数据传输的一般原理	264
第一节 铁路运输的远程控制	264
第二节 数据传输系统的组成	265
第三节 数据传输系统的主要指标	267
第四节 数字信号的波形和频谱	268
第五节 信道特性与码间干扰	275
第六节 基带码型变换	283
第七节 多电平传输	288
本章小结	289
思考题	290
第十一章 数字调制与解调	292
第一节 调制的功能与分类	292
第二节 线性调制信号的分析	294
第三节 线性调制信号的解调	307
第四节 数字调频	313
第五节 数字调相	326
本章小结	342
思考题	343
第十二章 信道干扰与差错概率	345
第一节 信道	345
第二节 随机噪声的分析	355
第三节 匹配滤波器	370
第四节 最佳基带传输系统	374
第五节 相关检测	377
第六节 动态滤波器	387
本章小结	392
思考题	393
第十三章 差错控制与纠错编码	395
第一节 引言	395
第二节 差错控制技术	396

第三节	分组码和最大似然译码	399
第四节	常用的检错码	404
第五节	近世代数的基础知识	406
第六节	线性分组码	410
第七节	循环码	420
第八节	<i>BCH</i> 码	433
本章小结	435
思考题	436
第十四章	同步原理	438
第一节	同步的意义	438
第二节	锁相原理简介	439
第三节	载波同步	441
第四节	位同步	444
第五节	群同步 (帧同步)	453
本章小结	458
思考题	458

第一篇 自动控制理论

第一章 控制系统的一般概念

第一节 引言

二十世纪中叶以来，在工程方面和在科学技术的发展过程中，自动控制技术的发展起着极为重要的作用。所谓自动控制就是在没有人直接参与的情况下，通过控制器使被控制对象或生产过程自动地按照预定的规律运行。

在空间技术方面，导弹能够正确地命中目标，人造卫星能按预定的轨道运行并返回地面，宇宙飞船能准确地月球着陆，并重返地球，都是由于自动控制技术高速发展的结果。

在工业生产的过程中，如对压力，温度，湿度，流量，频率以及原料，燃料成分比例等方面的控制，也都是自动控制技术的重要组成部分。

交通运输业是国民经济重要组成部分，随着计算机的应用，对城市交通采用按时基控制的交通管制系统在我国的大城市中已很普遍。但是由于近几年来城市交通车辆的增加，势必要求对交通管制进行提高，对等待通行信号的汽车数量进行不断的测量，并将这种信息传递到发出运行信号的中心控制计算机，则这种系统就变成了更高阶段的闭环控制系统。

铁路运输要求有更多的控制系统为它服务才能发挥其运输效能。例如自动列车控制设备是在每一个列车上加装这种设备来实现列车运行的自动化。为了实现铁路一个区段内运行的列车能够集中自动控制，需要有列车集中控制装置（简称CTC），以及电子计算机列车控制系统来实现全区段的全盘自动化。

自动控制技术各个领域中的广泛应用，不仅提高了劳动生产率和产品质量，改善了劳动条件，而且在人类征服自然、探索新能源、发展空间技术和改善人民物质生活等方面都起着极为重要的作用。自动控制理论就是研究自动控制共同规律的技术科学，它的发展初期，是以反馈理论为基础的自动调节原理，随着工业生产和科学技术的发展，现已发展成一门独立的学科——控制论。控制论包括工程控制论、生物控制论和经济控制论。工程控制论主要研究自动控制系统中的信息变换和传送的一般理论及其在工程设计中的应用。而自动控制原理则仅仅是工程控制论的一个分支，它只研究控制系统分析和设计的一般理论。

在国外，自第二次世界大战以后，由于生产和军事的需要，自动控制技术开始迅速地发展起来。到五十年代末期，自动控制理论已经形成比较完整的理论体系，并在工程实践中得到成功的应用。一般把这个时期以前应用的自动控制理论称为经典（古典）控制理论。五十年代末，由于宇航技术的发展，要求组成高性能、高精度的复杂控制系统，这样一来，经典控制理论已不能完全满足要求；而另一方面，电子计算机的高度发展，又在客观上提供了必要的技术手段，使得自动控制理论又发展到一个新的阶段——现代控制理论。

“经典控制理论”，它的内容主要以传递函数为基础，研究单输入，单输出一类自动控制系统的分析和设计问题。这些理论由于其发展较早，现已臻成熟。在工程上，也比较成功

地解决了自动控制系统的实践问题。

“现代控制理论”，是六十年代在“经典控制理论”的基础上，随着科学技术发展和工程实践的需要而迅速发展起来的。它无论在数学工具，理论基础，还是在研究方法上都不是经典理论的简单延伸和推广，而是认识上的一次飞跃。

“现代控制理论”主要以状态空间法为基础，研究多输入、多输出、变参数、非线性、高精度、高效能等控制系统的分析和设计问题。最优控制、最佳滤波、系统识别、自适应控制等理论都是这一领域研究的主要课题。特别是近年来由于电子计算机技术和现代应用数学研究的迅速发展，使现代控制理论又在研究庞大的系统工程的大系统理论和模仿人类智能活动的智能控制等方面有了重大发展。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。

第二节 开环控制与闭环控制

一、自动控制系统 能够对被控制对象的工作状态进行自动控制的系统，称为自动控制系统。它一般由控制装置和被控制对象组成。被控制对象(简称被控对象)是指要求实现自动控制的机器，设备或生产过程。例如，飞机、火车、机床以及铁路行车指挥过程或工业生产的某种过程等。控制装置则是指对被控对象起控制作用的设备总体。

自动控制系统可以按照多种方式组成。

二、开环控制 开环控制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。因此，开环控制系统的输出量不对系统的控制作用发生影响。目前用于国民经济各部门的一些自动化装置，如自动售货机、自动洗衣机、产品自动生产线、自动车床，按时基控制的交通管理系统、铁路车站信号机的控制系统等，一般都是开环控制系统。

图 1—1 所示电阻丝加热炉是一个开环控制系统。炉子是被控对象，炉温是要求实现自动控制的物理量，称为被控制量(或输出量)。加热电阻丝的开关 K 受时间继电器控制，按照规定的时间(称为输入信号)接通或断开电源，对炉温进行控制，使其保持在希望值的一定范围内。开关 K 与电阻丝对被控制量起控制作用，故称其为控制装置。开关 K 的接通或断开时间，一般是参照在正常情况下炉温可以达到希望值的经验数据来确定的，虽然实际炉温可能稍高于或稍低于希望值，但仍满足恒温要求。然而，如果工作条件变化，例如炉门的开闭次数增加，则炉温的散失增大，实际炉温将不再等于希望值而出现偏差。这种使被控制量(炉温)偏离希望值的因素(炉门开闭次数)称为对系统的扰动(或干扰)作用。由于开环控制的特点是控制装置只按照给定的输入信号对被控对象进行单向控制，而不对被控制量进行测量并反向影响控制作用，因此当炉温偏离希望值时，这种开环控制系统不具有修正由于扰动而引起的使被控制量偏离希望值的能力。

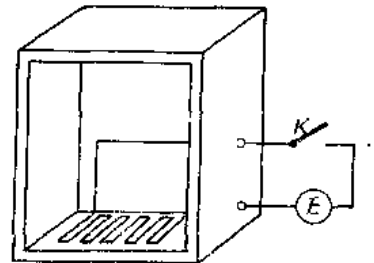


图 1—1 电阻丝加热炉

开环控制系统可用图 1—2 所示方框图表示。图中，控制装置与被控对象分别用方框表示，系统中感兴趣的物理量，如电流、电压、温度、力等，称为控制信号。在图中用箭头表示信号的传递，进入方框的箭头表示输入信号(也称输入量)，离开方框的箭头表示输出量(也称输出信号)。系统的输出量即是被控制量，它的希望值是系统输入信号的函数。

在开环控制中，对于系统的每一个输入信号，必有一个固定的工作状态和一个系统输出量与之对应。例如，一定的时间间隔对应于电阻丝的通电和断电状态以及相应的炉温。这种对应关系调整越准确，开环系统的工作精度便越高。但由于开环控制的抗干扰能力差，因此在使用时有必要加强保护。

三、闭环控制 闭环控制是指控制装置与被控对象之间既有顺向作用，又有反向联系的控制过程。闭环控制是自然界中一切生物控制自身运动的基本规律，也是现代控制的基本原理，它可以实现复杂而准确的控制。

人本身就是一个具有高度复杂控制能力的闭环系统。例如，人可以用手准确地拿去放在桌上的书、笔等物。这个出现于日常生活中习以为常的现象，正好体现了闭环控制的原理。当人去拿书时，大脑送出一个信号令手执行任务。这时，眼睛连续观测手的位置，并将这个信息送入大脑；然后，由大脑判断手对于书的偏差，并根据其大小发出命令控制手臂移动，使偏差减小。只要这个偏差存在，上述过程就要反复进行。一旦手拿到书，偏差减小到零，人便完成了用手拿书的控制过程。在此，手是被控对象，手的位置即为被控制量，控制目的是使手的位置与书的位置一致，控制作用是通过眼睛，大脑和手臂来实现的。人作为一个闭环控制系统可用图 1—3 所示方框图表示。

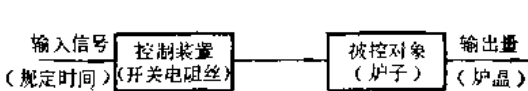


图 1—2 开环控制方框图

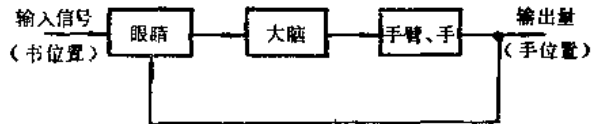


图 1—3 人作为闭环系统的方框图

通常我们把输出量送回到输入端并与输入信号比较的过程称为反馈。若反馈的信号是与输入信号相减而使偏差值越来越小，则称为负反馈；反之则称为正反馈。图 1—3 中，由于眼睛不断观测手的位置并反应到大脑进行判断，产生了手与大脑之间的反向联系即反馈，然后，大脑根据偏差控制手臂移动使偏差减小，形成了负反馈控制。显然，负反馈控制是一个利用偏差进行控制并最后消除偏差的过程，因此也称为按偏差的控制。同时，由于有反馈存在，整个控制过程是闭合的，因此负反馈控制也称闭环控制。

在工程实践中，为了实现对被控对象的闭环控制，系统中必须配置具有人的眼睛，大脑和手臂功能的装置，用来对被控制量进行连续测量和反馈，并进行按偏差的控制。这些装置分别称为测量装置，比较装置，放大装置和执行机构，并统称为控制装置（控制器）。

一种可以自动修正炉温偏离的电阻丝加热炉如图 1—4 所示，它是一个闭环控制系统。电阻丝电源的通断由接触式水银温度计控制，水银温度计的两个触点 a 和 b 接在常闭继电器的线圈电路中，它们随着水银柱的升降而接通或断开，从而控制继电器接点 K ，以便切断或接通电阻丝电源 E_2 。例如，若炉温高于希望值，则由于水银柱升高，接点 a 和 b 接通，使继电器启动接点 K 而切断电阻丝电源 E_2 ，停止加热。调整水银温度计触点的位置，可以改变炉温的希望值。

闭环控制的电阻丝加热炉可用图 1—5 所示方框图表示。图中，炉温（被控制量）由温度计测量并与希望值进行比较，一旦出现偏差，即通过继电器和电阻丝对炉温进行控制，以消除偏差，保持恒温。在此，炉子是被控对象，控制装置由温度计，继电器和电阻丝组成。

与开环控制的电阻丝加热炉相比，由于采用了接触式水银温度计，可以不断地对炉温进行测量和比较，从而根据炉温的实际偏离进行控制，提高了抗扰动的能力。

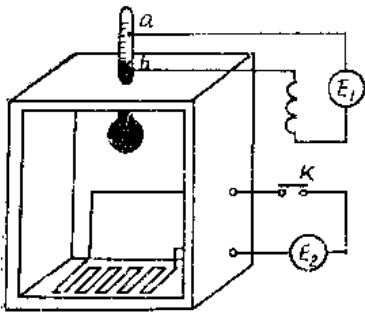


图 1-4 电阻丝加热炉闭环系统

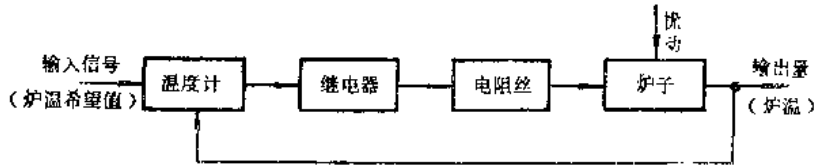


图 1-5 电阻丝加热炉系统方框图

在闭环控制中，被控制量一般是由测量装置测量并反馈到输入端，然后由比较装置将它与输入信号进行综合而得到偏差（或误差）。有时，测量与综合作用是由同一个装置完成的，因此，往往把测量装置和比较装置合称为误差检测器。一个闭环控制系统的典型方框图表示在图 1-6 中，图中，用“ \otimes ”表示误差检测器，“-”号则表示负反馈。

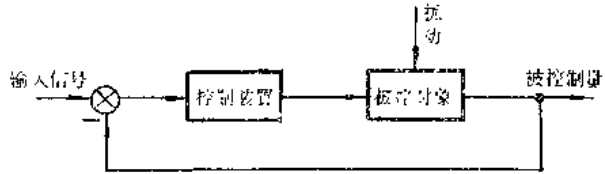


图 1-6 闭环控制系统典型方框图

必须指出，只有按负反馈原理组成的闭环系统才能实现自动控制的任务。例如，在电阻丝加热炉闭环系统中，负反馈能使炉温对于希望值的偏离逐渐减小；而正反馈则相反，将使炉温偏离越来越大，从而不可能达到自动控制的目的。

根据上述分析我们看出，闭环控制系统的突出优点就是不管什么原因引起被控制量偏离其希望值，而产生偏差时，就一定会有相应的控制作用产生，而这个控制作用将去消除偏差，使被控制量重新恢复到希望值。因此，从原理上说，反馈闭环控制系统具有抑制内部和外部各种干扰对系统输出的影响的能力。

通过以上的论述，建立起有关开环控制和闭环控制的基本概念之后，可以将开环控制与闭环控制做如下简要的比较。

在闭环控制系统中，由于采用了负反馈，因而被控制量对于外部和内部的干扰都不甚敏感。因此，有可能采用不太精密和成本低廉的元件来构成控制质量较高系统。而对开环控制系统来说，由于在被控制量和控制量之间没有任何联系，所以对于干扰造成的误差，系统不具备修正的能力。于是这种系统的控制精度便完全由采用高精度元件和采取有效的抗干扰措施来保证。但开环控制系统容易实现，它不必对被控制量进行测量和反馈，因而结构简单。从系统的稳定性来考虑，开环控制系统在这个问题上容易解决，因而不是十分重要的问题。但对闭环控制系统来说，稳定性始终是一个十分重要的问题。

一般说来，当系统控制量的变化规律能预先确知，并且对系统中可能出现的外界干扰，可以做到有效的抑制或有一定的安全保护措施，这时采用开环控制系统是有很优越性的。只有当系统的控制量和扰动量均无法事先预计的情况下，闭环控制系统才有其明显的优越性。还应指出，并不是一说到开环控制，其控制质量就一定不高。实际上，依据开环控制原

理设计的控制设备如铁路信号行车自动控制设备及机床程序控制设备。如果能设法保证设备工作的可靠性并不受外界干扰的影响，同时采用高精度的元件，实践证明，整个设备可以达到不低于闭环控制系统所具有的较高的控制精确度和准确性。

如果要求实现复杂而准确的控制任务，则可将开环控制与闭环控制适当结合起来，组合一个比较经济而性能好的控制系统。

复合控制 复合控制就是开环控制和闭环控制相结合的一种控制方式。实质上，它是在闭环控制的基础上，用开环通路提供一个附加的输入作用，以提高系统的控制精度和动态性能。开环通路通常是由对输入信号的补偿装置或对扰动作用的补偿装置组成，分别称为按输入的补偿和按扰动的补偿，如图 1—7 所示。补偿装置的参数按照不变性原理选择。所谓不变性，是指系统能达到与作用在其上的扰动完全无关。

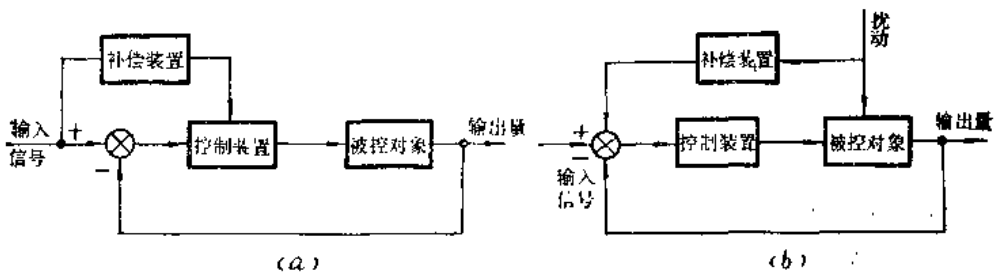


图 1—7 复合控制方框图

复合控制与仅按偏差的控制相比，有更高的精度和快速性，而且结构简单、可靠，因此获得了广泛应用。目前在许多随动系统广泛使用复合控制线路。

第三节 控制系统举例

一、随动系统

就反馈控制系统来说，如果其控制信号 $r(t)$ 为一任意的时间函数，其变化规律无法预先予以确定，且当控制信号作用于系统之后，要求系统准确复现上述控制信号时，我们将承受这类控制信号的反馈控制系统叫做随动系统。随动系统在工业生产中有着极为广泛的应用。如函数记录仪，雷达导引系统等都是典型的随动系统。下面以函数记录仪为例加以说明。

函数记录仪 函数记录仪是一种通用的自动记录仪，它可以在直角坐标上自动描绘两个电量的函数关系；同时，记录仪还带有走纸机构，用以描绘一个电量对时间的函数关系。铁路行车自动控制系统中的运行图记录仪就是函数记录仪的一种应用。

函数记录仪一般采用负反馈原理，其结构通常由衰减器，测量电路，放大装置、伺服电动机——测速机组、齿轮系及绳轮组成，其原理示意图见图 1—8。系统的输入信号是待记录电压。这个电压也可以是被记录的其他物理量，如列车运行图记录仪所记录的是列车运行的地理位置。记录仪的被控对象为记录笔，其位移即为被控制量。函数记录仪控制系统的任务是控制记录笔位移，使其在记录纸上描绘出待记录的电压曲线。

图 1—8 中，测量电路是由电位器 R_0 和 R_M 组成的桥式线路，记录笔就固定在电位器 R_M 的电刷上，因此测量电路的输出电压 u_r 与记录笔位移成正比。当存在输入信号 u_i 时，在放大装置输入口得到偏差电压 $\Delta u = u_i - u_r$ ，经放大后驱动伺服电动机，并通过齿轮系及绳

轮而带动记录笔移动，使偏差电压减小。当偏差电压 $\Delta u = u_r - u_p = 0$ 时，电动机停止转动，记录笔也静止不动。此时， $u_p = u_r$ ，即记录笔位移与输入信号相对应。如果输入信号随时间连续变化，记录笔便描绘出随时间连续变化的相应曲线。

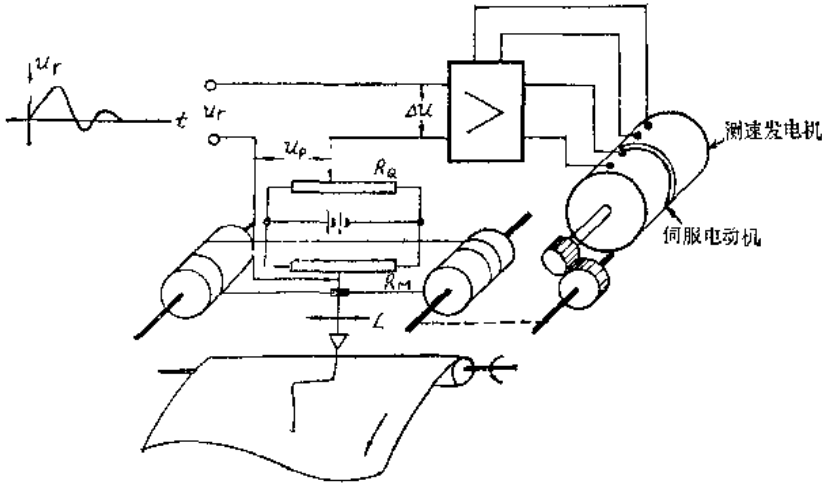


图 1-8 函数记录仪原理示意图

函数记录仪控制系统方框图如图 1-9 所示。图中，测速发电机反馈一个与电动机转速成正比的电压信号，以增大系统阻尼而达到改善系统性能的目的。

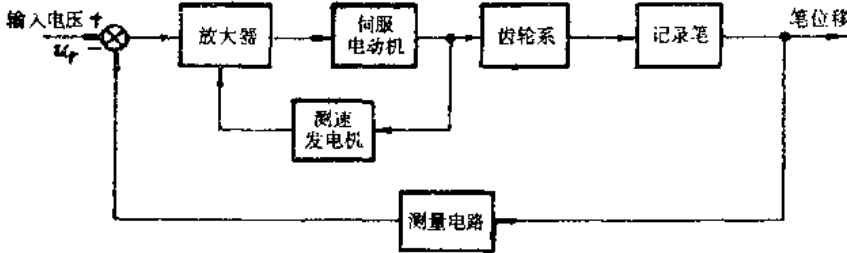


图 1-9 函数记录仪系统方框图

由于函数记录仪输入信号（待记录电压）的变化规律一般事先是不知道的，它可以是时间的任意函数，故这种控制系统通常称为随动系统。

二、稳定系统

如果反馈控制系统的控制信号 $r(t)$ 为恒定的常数，即 $r(t) = r_0 = \text{常量}$ （特殊情况下为 $r(t) = 0$ ），而要求被控制信号也保持在相应的常量上时，则将这类反馈控制系统叫做稳定系统。稳定系统也称恒值调整系统或恒值系统。这类系统在工业生产中的应用也非常广泛。如压力控制系统，电压控制系统，速度控制系统等等。下面我们介绍一些简单的具体例子。

压力控制系统 在图 1-10 上表示一个压力控制系统。炉内的压力由挡板的位置控制，并由压力测量元件进行测量。测出的压力值作为控制信号传递到控制器中，与希望值进行比较。比较后若有差值即误差存在，控制器便将输出量送往执行机构，后者根据差值而相应地转动挡板，达到使误差减至最小，实现恒定压力控制的目的。

上面第二节所讲的电阻丝加热炉的温度自动控制是恒温控制系统的实例。

速度控制系统，电动机转速的自动控制系统如图 1-11 所示。

图中电动机 D 的工作原理是当电位器 R_w 给出一定电压 U_p 后，可控硅功率放大器的触发

电路便产生一串与电压 U_p 相对应的，具有一定相位的触发脉冲去控制可控硅的导通角，从而控制可控硅功率放大器的输出电压 U_a 。由于电动机 D 的激磁绕组中加的是恒定激磁电流 i_f ，因此随着电枢电压 U_a 的变化，电动机便以不同的速度 n 带动负载转动。在这个系统中，要求 n 保持恒定，因此对系统的输出量 n 必须进行测量，图中用 CF 测速发电机为测量元件。其输出电压与转速 n 成正比，即 $U_{CF} = K_c \cdot n$ 。测速发电机完成了测量转速并把速度变换为相应电压的任务，故有时称为测量转换元件。

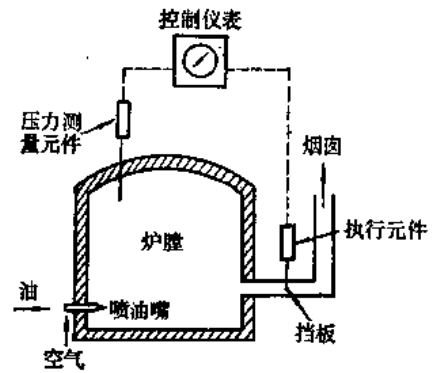


图 1-10 压力控制系统

电压 U_r 为给定的基准电压，其设置值与电动机转速的希望值相对应。因此把 U_{CF} 与 U_r 相比较就可以判断电动机转速是否与希望值产生偏差。在这里，电压 U_r 是系统的控制量，电压 U_{CF} 则是与被控制量 n 成比例的反馈量。

反馈量 U_{CF} 和控制量 U_r 比较后得到的电压差 $\Delta U = U_r - U_{CF}$ 为偏差量。如果偏差量 ΔU 不为零，便意味着电动机转速偏离了它的希望值。

图 1-11 中， K 为放大器。它的作用是将偏差信号放大，从而去控制伺服电动机 SD ，这是因为一般偏差 ΔU 很小，所以需要放大，放大后的信号才能驱动 SD 。用 SD 转动而产生的角位移，通过减速装置 i_2 移动电位器 R_u 的滑臂，从而改变电压 U_p 的数值。由于 U_p 的改变使电动机 D 的转速得到控制。上述自动控制过程直到 ΔU 被消灭，使转速 n 的希望值得到恢复为止。

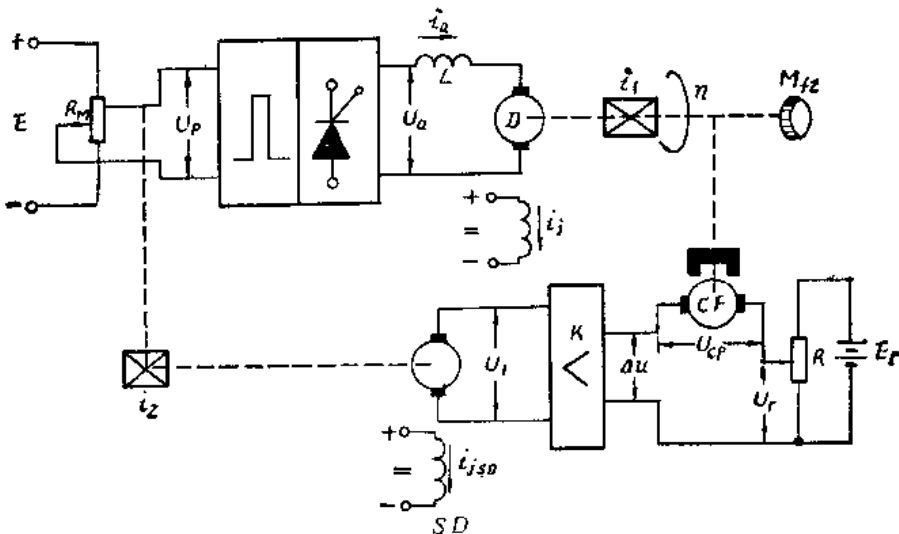


图 1-11 电动机转速的自动控制

三、数字控制系统

数字控制是一种用数字来控制设备运动的方法。所谓数字是与上而所举控制实例中的模拟相对应的。前而所分析的控制过程，在系统中通过传递连续变化量（模拟量）对系统进行自动控制，如系统的压力控制，速度控制，电压控制等等。在数字系统中对象的控制是通过二进制信息来实现的。

在这种控制系统中，利用电的（或其他形式的）信号，可以将数字符号转化为物理量（大小或数量），这样就把电码译成直线运动或圆周运动。因此在整个系统中所采用的控制信号或者是数字的（脉冲），或者是模拟的（时变电压）。

下面以机床的数字控制与电机速度的数字控制为例加以说明。

图 1—12 表示出机床数字控制的原理图。系统的输入端按照对加工工件 P 的要求，用纸带穿孔机对纸带进行二进制编码。当设备起动后，将纸带上的信息通过读出器送进系统。输入调频脉冲信号与反馈脉冲信号进行比较，随后数—模转换器将脉冲信号转变为模拟信号，即转变为具有一定数值的电压值，从而使伺服马达转动起来。刀架的位置由伺服马达的输入信号控制。与刀盘连结在一起的转换器，将刀具的运动转变为电信号，然后通过模—数转换器，又将它转变为脉冲信号。这一脉冲信号与输入脉冲信号进行比较。控制器根据脉冲信号的差值进行数学运算。如果在两个脉冲信号之间存在某一差值，便有信号电压输送到伺服马达，以减小这一差值。

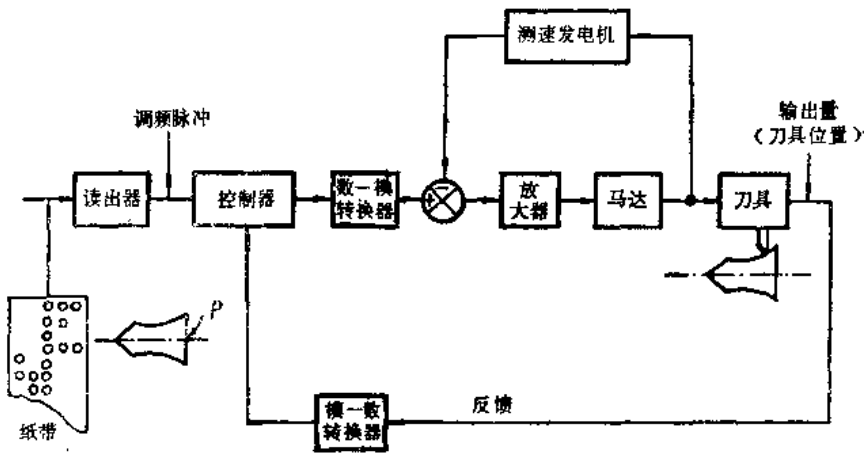


图 1—12 机床的数字控制

机床用数字控制可以实现最大的速度加工复杂的零件，使产品的公差保持不变。

作为数字控制系统的另一个实例是锁相伺服系统。

图 1—13 表示锁相伺服系统的职能方框图。

光学编码器是一个光电器件，电机轴每转一转，该器件就发出几个脉冲，因此编码器输出信号的频率正比于电机的转速。

鉴相鉴频器是一个数字电路，它在系统中实际上是一个比较环节，通过它将给定值（希望值） S_1 脉冲序列和反馈信号 S_2 脉冲序列进行相位和频率比较，并输出比例于相位差和频率差的偏差电压信号给滤波器。

鉴相鉴频器具有锁定和有频差两种工作状态。

在锁定工作状态下，即当 S_1 的频率 f_1 与 S_2 的频率 f_2 相同，且相位差 $\Delta\theta$ 为恒定值时，鉴相鉴频器将输出同定的平均电压 U_{sc} 。由于输出脉冲的宽度比例于相位差 $\Delta\theta$ ，因此平均输

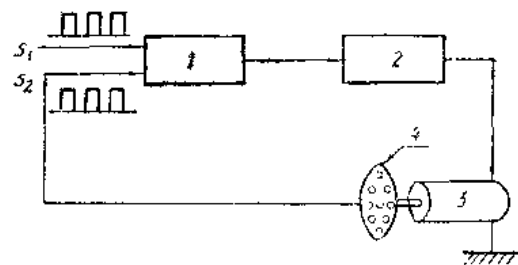


图 1—13 锁相伺服系统的职能方框图
1 — 鉴相鉴频器；2 — 带有滤波器的放大器；
3 — 伺服电机；4 — 光学编码器。

出电压 U_{sc} 与相位差 $\Delta\theta = \theta_1 - \theta_2$ 成比例。 θ_1, θ_2 分别为 S_1 和 S_2 的相角。锁定状态下的平均输出特性示于图 1-14(a)。

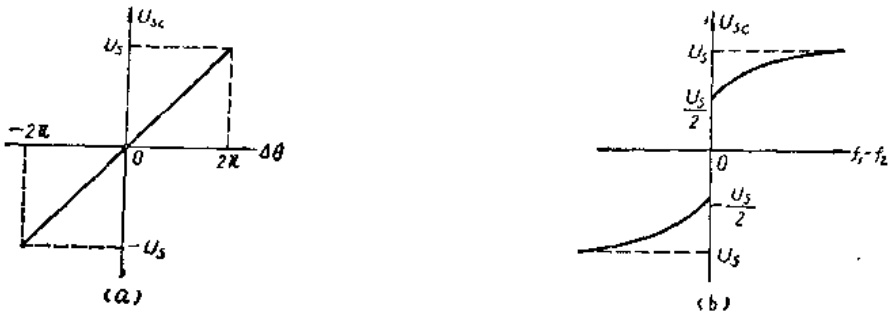


图 1-14 鉴相鉴频器的工作状态
(a) 锁相状态下的平均输出特性 (b) 有频差状态下的平均输出特性

在有频差状态时，即当 $f_1 > f_2$ 时，鉴相鉴频器的输出 U_{sc} 在 0 和 $+U_s$ 之间切换。当两个频率接近相同时，输出停留在“0”和“ $+U_s$ ”两种状态的时间相等，导致输出电压为 $U_s/2$ 。如 f_1 增加，则停留在“ $+U_s$ ”状态的时间大于停留在“0”状态的时间，结果使平均输出 U_{sc} 增加。因此，平均输出电压 U_{sc} 随着频率差的增加而增加。此电压经滤波、放大，校正后去控制电动机，使电动机的转速增加，调整 f_2 ，最后使 $f_2 = f_1$ 。此刻系统进入锁定状态。有频差时平均输出特性示于图 1-14(b)。电动机转速高于给定值，即当 f_2 大于 f_1 时，其控制过程与上面讨论的 f_2 小于 f_1 时的过程相似，见图 1-14(b) 中 $f_1 - f_2 < 0$ 时的特性曲线。

图 1-13 所示锁相伺服系统的工作原理如下：根据要求的电机转速 n ，设置相应频率的控制信号 S_1 脉冲序列，并将此 S_1 送至鉴相鉴频器 1。鉴相鉴频器将来自光学编码器 4 的比例于实际的电机转速 n 的反馈信号 S_2 脉冲序列与 S_1 进行相位和频率比较，并产生比例于相位差与频率差的偏差信号电压。此偏差电压经滤波，放大和校正送到电机控制绕组去控制电机转速，实现反馈信号与控制信号间的同步。

上面介绍的锁相式电机转速控制系统和第二节谈到的电机转速控制系统的不同之处在于，锁相系统是一个数字式离散型控制系统，而第二节中介绍的则是连续型控制系统。在连续型控制系统中，信息的传递到处都是以连续的时间函数形式进行的。而在离散型控制系统中，在信息传递通道的全部或局部上，信息是以离散形式（或数字形式）传递的。随着控制工程实践对系统控制精度要求的不断提高，特别是电子计算机做为控制器在控制系统中的出现，目前数字控制系统在国民经济的各个领域，应用得越来越广泛。在铁路运输的自动控制系统中，数字控制系统正被用来直接控制生产过程。

四、计算机控制系统

近年来，除了大幅度地发展通用计算机之外，用来直接控制生产过程的专门计算机也得到了发展。这种计算机牺牲了通用性，就能大为简化设计，增加操作的可靠性，增加在控制过程中出现问题的解题速度，使得反应速度能提高到相当于在被控对象过程的反应速度。

生产过程控制机与计算机相比，主要差别在于，它们是直接通过输入测量仪表和输出执行元件与外界相联系的。这就不需要人参与该系统的工作了，整个计算机控制系统就是：被控对象 + 控制计算机。

图 1-15 是一个地下铁道行车自动控制系统的实例。

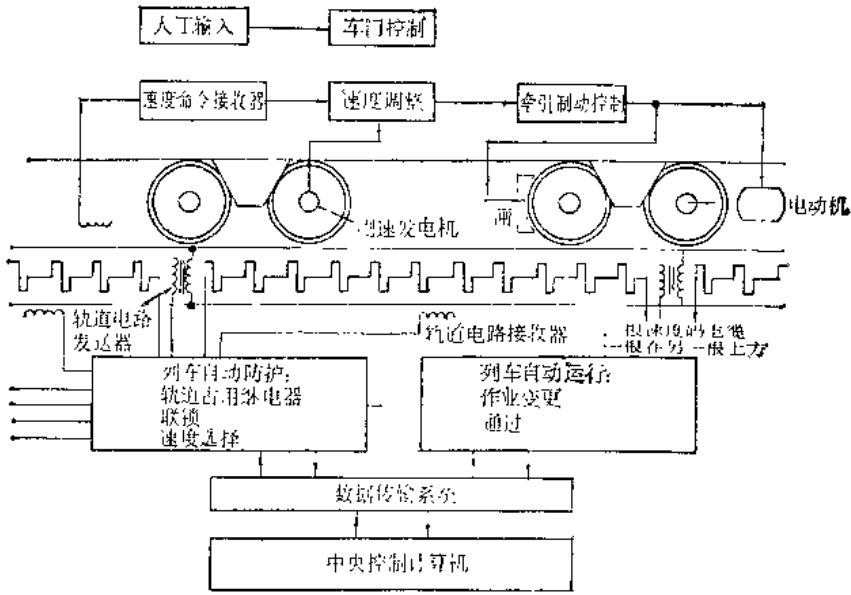


图 1—15 地下铁道行车自动控制系统

在这个系统中，中央控制计算机是整个行车指挥系统的控制中心。计算机的输入是根据运输需要预先安排好的列车运行图、列车自动运行的数据以及列车自动防护设备所提供的数据。计算机根据这些给定数据进行运算，然后做出指挥列车运行的决策，产生命令通过有线或无线通道发往机车。在机车上所接收到的速度命令信号是由不同频率产生的脉冲组合。

速度命令接收器将速度命令信号变换为相应的电压送至速度自动调整系统，这是一个连续量的自动控制系统，用来实现列车运行速度的自动控制。

图 1—15 所示的计算机控制系统是铁路信号自动控制系统的典型实例。目前这种系统在我国地下铁道自动控制以及世界各国的铁路自动控制被广泛地应用着。不过这里只给出它的原理框图，而各国所采用的实际系统是有着千差万别的。

这个原理框图给读者描绘了一个行车指挥自动控制的概貌，同时利用这个实例也可以说明这门技术基础课所要研究的基本内容。

首先，在机车上必须装备一套速度自动调整设备，为了记录列车运行情况在控制中心装有运行图记录仪，前者是定值自动调整系统，后者则是随动系统。关于这方面的理论分析则是本书第一篇的主要内容。

为了实现列车运行的安全，在铁路现场还装有信号、联锁、闭塞等设备（即图中的列车自动防护），这些设备则属于控制论中离散自动机理论，也常称为继电电路理论。离散自动机理论对于分析和综合复杂的继电电路是非常重要的。关于这方面的基础知识则是本书第二篇的主要内容。

在控制计算机与离散自动机之间，从框图中可以看到，有一套数据传输系统，这是一套多路通信设备，它以传递离散信息为主的通信系统。关于这方面的理论基础则是本书第三篇的内容。

关于计算机控制理论的研究，还有专设的计算机控制课程，并不是本课的任务。本课程是为学习铁道信号自动控制专业课讲述必要的理论基础。