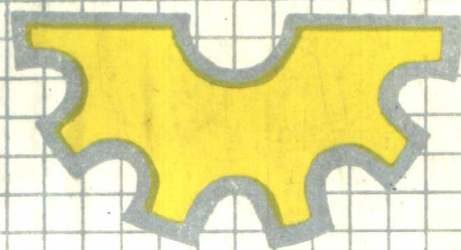


机床数字调节技术



王文熙 编著

中国科学技术出版社

机床数字调节技术

王文熙 编著

中国科学技术出版社

内 容 提 要

本书从实际应用出发,阐述了机床数字调节技术的基础知识、理论研究以及有关的设计和试验方法,并给出应用实例。

本书将机、电融为一体,向读者提供了许多有用的公式、图表和数据,选材先进,内容实用。

本书可供机械制造、电气、机电一体化、自动控制及计算机应用等专业人员作为一本有实用价值的参考书,

(京)新登字175号

机床数字调节技术

王文熙 编著

责任编辑:张秀智

特约编辑:黄 冰

席庆义

技术设计:武万荣

*

中国科学技术出版社出版(北京海淀区白石桥路32号)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京市燕山联营印刷厂印刷

*

开本:787×1092 毫米 1/16 印张:17.75 字数:443千字

1992年7月第1版 1992年7月第1次印刷

印数:1—6100册 定价:10.50元

ISBN 7-5046-0730-8/TH·21

序

随着计算机特别是微处理机的迅猛发展,计算机技术已经渗透到工业、农业、国防、企业管理和日常生活的各个领域。用微电子技术武装和改造机械工业,已成为提高我国工业水平的战略措施之一。

60年代以来,现代控制理论有了显著发展,使得控制技术得到了新的突破,并在各个领域获得广泛应用。

机床数字调节技术是机床技术、计算机技术和控制技术相结合的产物。80年代以来,它在机械制造工业中的应用和研究有力地推动了机床控制技术的发展。

尽管在机床数字调节技术方面取得了许多成就,并发表了众多的论文,但是系统地加以整理、提炼和总结,并使之成为一本专著,这在我国国内还是一种尝试。

本书提供了应用和掌握机床数字调节技术所必需具备的基础知识,阐述了有关的设计和研究成果,总结了机床数字调节技术在研究和应用中的实践经验,是一本具有较高学术价值和实用意义的著作。

本书内容新颖,语言流畅,深入浅出。书中向读者提供了许多有用的公式、图表和数据,有些内容是在其它科技文献中不易找到的,因而是一本难得的参考书。我乐意向读者推荐这本书,希望有助于从事机电一体化工作的机械、电气、控制工程及计算机应用的教学、科研人员和工程师们。

酆 明

1991年9月19日 于中国科学技术大学

前 言

“机床数字调节技术”是一门新兴的综合技术。它是机床技术、计算机技术、自动控制、精密测量和电子技术结合的产物。由于廉价的微处理机的出现,才使得经济地实现机床数字调节成为可能。机床数字调节技术在80年代迅速发展起来,并在工业应用中获得令人瞩目的成就,但有关专著在国内尚未见到。

作者集多年来在国内外从事这方面研究的经验和体会,参考了大量的文献和资料,力图编写一本选材先进、内容实用的专著,以期在机制专业和机电一体化领域的教学、科研和生产应用中起到一个积极的作用。本书在内容上具有如下特点:

1. 实用性强。本书从工程应用的角度出发,系统地介绍了许多实用知识,以使读者尽快地掌握和运用这门技术。

2. 机电有机结合。本书在机电参数设计、分析、测量和调试等方面作了详细的阐述,为数控机床和机电一体化产品的设计制造提供了有益的理论根据和实验数据。

3. 重点突出、兼顾其它。本书重点在于机床的数字位置调节技术,并围绕主题有选择地介绍了有关基础知识。作为应用,既讨论了国内量大面广的车床微机数控与数字调节技术,又介绍了国外工业机器人的数字调节技术新进展。

本书共分九章。第一章引论,介绍一些基本概念和机床数字调节系统结构。第二章数控机床,介绍机床方面的知识,论述机械参数及其影响。第三章伺服电动机及其选择,介绍步进电动机、直流伺服电动机以及交流伺服电动机性能及其选择。第四章调节理论基础,在经典和现代控制理论基础上,详细介绍数字调节器并给出实验装置。第五章进给驱动系统建模与伺服性能分析,介绍了理论建模与实验辨识方法,并给出工程实用的几种数学模型。第六章进给驱动系统的设计,从数字调节的要求出发,介绍了系统设计、电气驱动部件设计和机械传动部件设计,并给出设计实例。第七章传感器及其信号处理,涉及机床数字调节技术中的许多重要内容,如传感器信号处理、量化误差、有限字长和采样频率等问题,具有很强的实践性。第八章微机数控与数字调节系统,以单片机控制的车床数控系统为例,介绍了有关的硬件和软件。第九章机床数字调节技术应用实例,以车床、铣床以及工业机器人为例阐述了机床数字调节技术的实际应用。

本书是从事机电一体化工作的教学、科研人员和工程技术人员的一本有实用价值的参考书。

中国科学技术大学郦明教授审阅了本书全稿,并提出了许多宝贵意见,特表示衷心的感谢。本书在编写过程中得到安徽工学院数控机床研究所许多同志的支持和帮助,廖铭、王玉琳、罗磊和熊学坤等同志在书稿的绘图和抄写工作中付出了艰苦的劳动,在此也一并致谢。

由于作者水平有限,书中缺点和错误在所难免,恳请读者批评指正。

王文熙

1991年8月 于安徽工学院

目 录

第一章 机床数字调节技术引论	1
1.1 基本概念	1
1.1.1 机床自动控制的分类	1
1.1.2 控制和调节	1
1.1.3 过程控制计算机	2
1.1.4 数字测量和调节技术	3
1.1.5 机床和工业机器人	3
1.2 数字调节技术的优点	3
1.3 机床数字调节系统的结构	4
第二章 数控机床	7
2.1 数控机床简介	7
2.1.1 数控与程控	7
2.1.2 数控机床的组成	7
2.1.3 数控机床的应用范围	8
2.1.4 数控主机的结构特点	8
2.1.5 数控机床的发展趋势	9
2.2 进给驱动系统	9
2.2.1 稳定性	10
2.2.2 快速性	10
2.2.3 准确性	10
2.3 机械参数及其影响	11
2.3.1 阻 尼	11
2.3.2 刚 度	12
2.3.3 惯 量	12
2.3.4 谐振频率	12
2.3.5 失 动	13
2.4 数字调节技术对伺服性能的影响	13
第三章 伺服电动机及其选择	14
3.1 步进电动机及其选择	14
3.1.1 步进电动机的工作原理	14
3.1.2 步进电动机的类型与结构	16
3.1.3 步进电动机的选择	18
3.2 直流伺服电动机及其选择	22
3.2.1 直流伺服电动机的工作原理	23
3.2.2 直流伺服电动机的类型	24

3.2.3 直流伺服电动机的选择	25
3.2.4 无刷直流电动机	28
3.3 交流伺服电动机及其选择	29
3.3.1 永磁式交流同步电动机	29
3.3.2 鼠笼式交流异步电动机	30
3.3.3 交流伺服电动机的选择	31
第四章 调节理论基础	32
4.1 基本概念	32
4.1.1 调节环	32
4.1.2 调节环信号	32
4.1.3 非线性与线性化	33
4.2 经典控制理论	36
4.2.1 时域特性分析	36
4.2.2 频率特性分析	45
4.2.3 用方框图表示的调节环	48
4.2.4 系统的稳定性	50
4.3 现代控制理论	53
4.3.1 状态空间表达式	53
4.3.2 传递矩阵	54
4.3.3 状态方程的求解	54
4.4 离散系统控制理论	57
4.4.1 引言	57
4.4.2 线性、定常、离散系统	57
4.4.3 线性常系数差分方程	58
4.4.4 Z变换	58
4.4.5 用Z变换求解差分方程	59
4.4.6 Z传递函数	59
4.4.7 离散状态空间表达式	60
4.4.8 离散系统的传递矩阵	61
4.4.9 离散状态方程的求解	61
4.4.10 离散信号的连续化	62
4.4.11 连续系统的离散化	62
4.5 数字调节器	65
4.5.1 概述	65
4.5.2 模拟PID调节器	66
4.5.3 数字PID调节器	68
4.5.4 模拟状态调节器	70
4.5.5 数字状态调节器	71
4.5.6 状态观测器	75
4.6 数字调节器试验装置	77
4.6.1 系统的硬件结构	78
4.6.2 数字调节器软件功能	78

4.6.3 应用举例	79
第五章 进给驱动系统建模与伺服性能分析	81
5.1 概 述	81
5.1.1 调节类型	81
5.1.2 数控机床进给驱动系统的分类	81
5.1.3 获得机床数学模型的方法	82
5.2 进给驱动系统的理论建模	83
5.2.1 工程简化	83
5.2.2 建立数学模型	83
5.3 进给驱动系统伺服性能分析	86
5.3.1 进给驱动系统的稳定性	86
5.3.2 进给驱动系统的快速性	91
5.3.3 进给驱动系统的伺服精度	96
5.4 进给驱动系统的测量和实验辨识	93
5.4.1 概 述	93
5.4.2 系统增益的测定	99
5.4.3 速度环的实验辨识	100
5.4.4 机械传动部件的实验辨识	104
5.4.5 进给驱动系统的实验辨识	107
5.4.6 工程应用的几种数学模型	107
第六章 进给驱动系统的设计	103
6.1 概 述	103
6.1.1 位置调节系统的结构	103
6.1.2 进给驱动系统的设计要求	111
6.2 系统增益的设计	111
6.2.1 三阶系统的系统增益设计	111
6.2.2 五阶系统的系统增益设计	112
6.2.3 多坐标系统的系统增益设计	113
6.3 电气驱动部件的设计	114
6.3.1 静态设计	114
6.3.2 动态设计	118
6.4 机械传动部件的设计	122
6.4.1 概 述	122
6.4.2 谐振频率	122
6.4.3 转动惯量	123
6.4.4 刚 度	125
6.4.5 阻尼比	126
6.4.6 非线性	127
6.4.7 工作台导轨	130
6.4.8 滚珠丝杠螺母传动装置	131
6.4.9 同步齿带传动装置	137

6.4.10 机械传动部件设计举例	138
第七章 传感器及其信号处理	146
7.1 位置传感器及其应用	146
7.1.1 概 述	146
7.1.2 旋转变压器	147
7.1.3 感应同步器	148
7.1.4 光 栅	151
7.1.5 磁 栅	154
7.1.6 编码盘	155
7.2 速度传感器及其应用	157
7.2.1 直流测速发电机	157
7.2.2 感应式速度传感器	158
7.2.3 用位置传感器测量速度	158
7.2.4 速度传感器的应用	158
7.3 加速度传感器及其应用	159
7.3.1 电阻应变式加速度传感器	159
7.3.2 压电式加速度传感器	159
7.3.3 加速度传感器的应用	160
7.4 传感器信号的处理	160
7.4.1 加速度反馈信号的处理	160
7.4.2 速度反馈信号的处理	161
7.4.3 位置反馈信号的处理	162
7.5 量化误差	162
7.5.1 量化数据的截尾误差	162
7.5.2 量化数据的舍入误差	163
7.5.3 数值误差的影响示例	163
7.5.4 量化误差的来源	164
7.5.5 数模转换器位数的确定	164
7.6 采样频率的选择	165
第八章 微机数控与数字调节系统	167
8.1 概 述	167
8.1.1 微机数控系统的主要特点	167
8.1.2 微机数控系统的硬件组成	167
8.1.3 微机数控与数字调节的软件组成	168
8.2 单片微型计算机硬件结构	169
8.2.1 概 述	169
8.2.2 MCS-51单片机内部总体结构	170
8.2.3 时钟电路和复位电路	177
8.2.4 定时器/计数器	178
8.2.5 串行接口	180
8.2.6 中断系统	183

8.3	MCS-51指令系统	185
8.3.1	概 述	185
8.3.2	寻址方式	186
8.3.3	MCS-51单片机指令系统	187
8.4	CK-I型车床数控系统微机硬件	189
8.4.1	概 述	191
8.4.2	8031单片机	192
8.4.3	程序存贮器的扩展	193
8.4.4	数据存贮器的扩展	195
8.4.5	输入输出口的扩展	197
8.4.6	计数器的扩展	198
8.4.7	键盘、显示接口芯片的扩展	199
8.5	操作管理程序	200
8.5.1	初始化程序	200
8.5.2	键处理及显示程序	200
8.5.3	输入数据处理程序	201
8.5.4	管理程序	203
8.6	插补程序	203
8.6.1	概 述	203
8.6.2	直线插补程序	204
8.7	编程程序	206
8.8	坐标变换程序	208
8.8.1	概 述	203
8.8.2	坐标正向变换	208
8.8.3	坐标反向变换	212
8.8.4	程序编制中注意的问题	215
8.9	控制调节程序	216
8.9.1	步进电动机的输出控制	216
8.9.2	进给速度控制	218
8.9.3	调节程序	219
8.10	诊断程序	220
第九章	机床数字调节技术的应用实例	222
9.1	概 述	222
9.2	经济型CNC车床的数字调节技术	222
9.2.1	前 言	222
9.2.2	准闭环控制	223
9.2.3	自动对刀技术	225
9.2.4	螺纹车削原理	227
9.3	CNC铣床的数字调节技术	232
9.4	工业机器人的数字调节技术	234
9.4.1	概 述	234

9.4.2 状态调节	236
9.4.3 非线性解耦调节	239
9.4.4 最优解耦调节	246
附 录	252
A. 拉普拉斯变换和Z变换表	252
B. 矩阵指数 e^{At} 的计算方法	260
本书常用符号与单位	266
常用下标含义	270
常用缩写词	271
主要参考文献	272

第一章 机床数字调节技术引论

1.1 基本概念

1.1.1 机床自动控制的分类

某种机床如果在调整好和启动以后,无须工人参与操作便能自动地、连续地完成预定的工作循环,则称这种机床为自动机床。自动机床能实现自动工作循环,主要靠自动机床上设置的自动控制系统。自动控制系统主要控制机床各工作部件运动的速度、方向、行程距离和位置、动作的先后顺序和起止时间等。自动控制的方式可以是机械的、液压的、气动的、电气的和电子的,也可以是几种方式的组合。

机床的自动控制主要有以下四类。

(1) 凸轮控制。这种控制在传递信息的同时还传递动力。凸轮控制工作可靠,但凸轮制造和更换比较费工费时,适用于大批量生产。

(2) 档块控制。这种控制主要用于传递信息,借助行程开关等来控制电气、液压等动力部分。档块控制构造简单,改变工作循环比凸轮控制方便,但它实现的工作循环比较简单,定位尺寸不很准确,重复定位精度差。这种控制适用于简单的控制系统。

(3) 随动控制。随动控制有两类,一类为直接随动,同时进行信息和动力传递;另一类为间接随动,它只传递信息,动力则通过功率放大部分传递。随动控制可实现复杂的控制,但靠模制造和改变困难,一般用于大批量生产。有些零件,如涡轮机叶片、某些模具等,其表面形状十分复杂。这些零件的轮廓有些是由试验得来的,无法用数学模型描述;有些本来有原始方程,但数学描述十分复杂和困难;或者人们想对某一复杂零件进行仿制,在这些情况下,适合于应用随动控制。

(4) 数字控制。数字控制用于信息传递,经过功率放大部分传递动力。它是一种可编程自动控制,通过数字、字母和符号来控制加工过程。当工件改变时,只要改变程序就可以了,因而具有柔性。编写一个新的程序自然比更改生产装备要容易得多,这是数控的基本优点。它的出现,使得自动化进入了多品种,小批量生产。

随着电子计算机特别是微处理机的迅速发展,计算机已经作为一个控制元件加入数字控制系统。现代的计算机控制系统已经使数字控制发生了质的变化,突破了原先只作程序控制的范畴,能够进行状态控制、最优控制、自适应控制以及智能控制等等,从而使机床的控制进入了广阔的境界。

1.1.2 控制和调节

调节和控制的区别是在于有无被控制量的反馈信号。

图1-1为控制系统方块图。这种系统又叫开环系统。它既不对输出量(这里是指工作台的运动位置)进行测量,也不将输出量反馈到系统输入端与输入量进行比较。由于没有位置检测装置,其位移精度主要决定于步进电机和传动元件(齿轮、滚珠丝杠等)的累积误差。

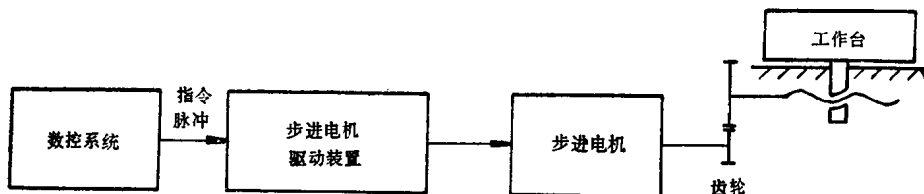


图 1-1 控制系统方块图

开环系统结构简单,调试维修方便,系统稳定性好,价格低廉。我国的经济型数控机床大多为开环系统。但是这种系统精度较低;系统发出的指令,执行件执行如何,无从知道;当系统受到干扰时,控制系统无能为力。

图 1-2 为一调节系统方块图。这是一个闭环系统。位置检测装置测量出工作台的实际位移并进行反馈和指令值加以比较,若有偏差,经放大后控制执行元件,驱动工作台向消除偏差的方向运动,直至偏差值等于零为止。

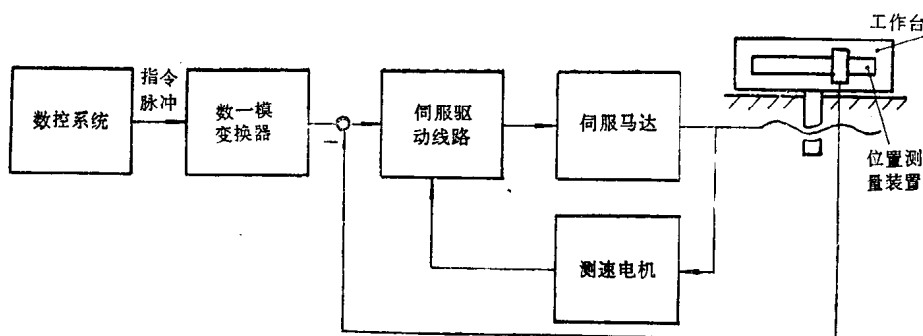


图 1-2 调节系统方块图

调节系统比开环系统复杂,系统设计和调试也困难些,但是它在位置精度,运动速度方面远比开环系统优越。调节系统能够进行更加复杂的控制,比如使系统获得最优控制及自适应控制能力,甚至智能控制能力,它是现代控制系统的发展方向。

本书研究的是机床数字调节技术。机床数字调节技术是一门包括机床、计算机、自动控制和传感器等在内的综合性技术,近年来在工业发达国家发展很快。

需要指出的是,在有些著述里并不区分控制和调节的概念,而统称为控制,或加上限制性定语如反馈控制,闭环控制等,但是这些名词的不同并不妨碍我们去研究调节系统。

1.1.3 过程控制计算机

计算机配上存贮器和输入输出设备,就能组成过程控制计算机。

过程控制计算机要比普通计算机具有更高的可靠性。为了适应工业控制的恶劣环境,比如震动、灰尘、潮湿、有害气体和各种电磁干扰,工业控制机需要采取许多质量保证措施。为了实现机电一体化,工业过程控制计算机应当不需要任何机房条件即可工作,甚至可直接安装在机器上。例如美国PRO-LOG公司生产的STD总线系列产品,采用了标准化、

模块化、组合化的方式,它具有很高的可靠性,可提供五年的保修期。

从1960年起,过程控制计算机开始用于过程自动化。70年代,过程控制计算机便成为很多自动化系统的标准设备,用来数据处理、记录、监视、控制和调节。数字信号处理渗透到测量和调节技术的第一阶段是以“集中控制”为特点的。

利用微处理机,再配上大规模集成的半导体存贮器和输入输出设备,就能组成廉价的微型过程控制计算机,于是可将一台大型过程控制计算机的任务分派给各个微型过程控制计算机。再用功能强一点的上一级过程控制计算机进行管理和实现相互通讯,就能组成各式各样的能够适应不同过程的积木式自动化结构。这样的分级分布控制系统性能好、成本低,为生产线及车间自动化提供了较现实的可能性。事实表明,数字过程控制的第二阶段是以“分散控制”为特点的。

1.1.4 数字测量和调节技术

微型过程控制计算机除用于分散型自动化系统之外,现在越来越多地用于测量仪表和调节装置中。1975年首批在市场上出现的以微处理机为基础的数字调节器可以调节和控制8至16个变量,并可用于监视。

数字调节器能代替模拟仪表和模拟调节器。它通常有数/模和模/数转换器。如果将数字化扩展到传感器和执行器,则不仅能去掉数/模和模/数转换器,而且可解决干扰问题。步进电机就是采用数字控制的执行器。

数字调节器除了能完成模拟仪表和模拟调节器的功能外,还能完成许多新的功能,例如:与其它数字调节器通讯,相互冗余,故障的自动识别和诊断,选择各种调节算法,实现更复杂更高级的控制算法等。

可以预计,数字测量和调节技术将与久经考验的模拟测量和调节技术并驾齐驱,并将取而代之。

1.1.5 机床和工业机器人

自从1952年第一台数控机床(NC机床)在美国诞生以来,自动化技术发展迅速。80年代我们进入了柔性制造系统(FMS)和工厂自动化(FA)时代。

工业机器人(IR)在时间和空间上比机床具有更大的柔性和适应性,它是人工智能可能取得重大进展的潜在领域,在工业发达国家它收回成本的偿还期只有两年左右,它可以昼夜工作,不闹情绪,还不怕对人体有害的物质,所有这些使得工业机器人在世界范围内得到迅速发展。机器人制造业已成为发展最快和最好的经济部门之一。

由于机床数字调节系统的理论和方法同样可以用于机器人数字调节系统,而且工业机器人已被用来进行切削加工,当作机床使用,所以在研究机床数字调节技术时,不可避免地也要涉及到工业机器人。

鉴于数控机床和工业机器人都是数控机器,所以也有人建议把二者统称为数控机。

1.2 数字调节技术的优点

数字计算机具有处理大量数据的能力,以及根据数据合乎逻辑地构成控制策略的能

力,工程师们长期以来就热衷于研究如何把数字计算机纳入控制回路中去。廉价的微处理机的出现,使得经济地实现数字调节技术成为可能,使得数字调节技术在机床上逐渐获得广泛的应用。

同模拟调节技术相比,数字调节技术的主要优点是:

(1) 作为控制系统中数字调节器的数字电子计算机可以多路复用。计算机通过多路转换器可以控制若干通道,每一通道都好像单独使用一个数字电子计算机。计算机的速度愈快,能同时处理的通道愈多,设备的利用率也愈高。

(2) 具有柔性。数字调节器的调节算法和控制算法是用软件(或固件)来实现的。改变调节控制程序可以改变它的特性,因此无需对数字系统的硬件设备作任何改变,就可以改变控制系统的性能。

(3) 调节技术先进。以软件形式提供的调节算法不象模拟调节那样仅仅限于使用有PID作用且标准化的部件,而可以采用更复杂、更高级的算法,从而发展了许多新的过程控制方法。

由于上述优点,控制系统已日益广泛地采用数字调节技术。

数字调节技术的缺点是,与模拟调节相比,数字调节速度还不很高,不能处理频率很高的信号。随着现代科学技术的发展,这个缺点将被逐渐克服。

1.3 机床数字调节系统的结构

机床调节系统中最重要、使用最广泛也是最基本的调节系统,是位置调节系统。下面以机床数字位置调节系统为例来说明机床数字调节系统的结构。

位置调节的任务就是使系统的输出位置尽可能好地跟踪给定轨迹。

我们先分析两个传统的模拟调节系统,然后再来说明是如何实现数字化的。

图1-3为一电机驱动的位置伺服机构。指令信号和反馈信号在差动放大器里加以比较和放大,再通过功率放大器获得强电去控制电机转动,使位置输出按偏差信号进行伺服运动。在这个机构中,指令信号和反馈信号都是电压,是模拟量。这两种信号都是通过机械方法驱动电位器而产生的。

图1-4为一电液位置伺服系统。图中电液伺服阀是一种电液转换装置,它能把电的信

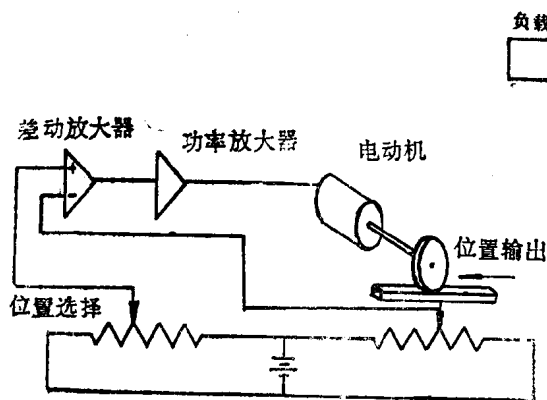


图 1-3 电机驱动位置调节系统

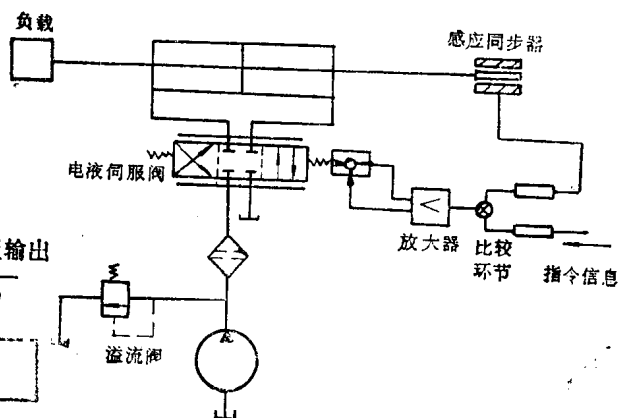


图 1-4 电液位置调节系统

号转换成滑阀的动作，从而控制输出油液的压力和流量。位置检测器将活塞杆的位移（通常为工作台的位移）转变为电信号，并反馈到输入端与指令信号比较。输出与输入的偏差，经放大后输入到电液伺服阀，使活塞按偏差信号进行伺服运动。在这里指令信号和反馈信号都是电压，是模拟量。

以上是机床控制中两种最典型的位置调节系统。尽管它们驱动方式不同（前者为电驱动，后者为电液驱动），但调节原理是一样的。整个调节系统可分为三大部份（图1-5）：
①产生指令信号，②位置调节装置，③调节对象。位置调节装置的作用是将指令信号（输入给定值）和反馈信号（测量出的输出被调量）进行比较，输出与输入不相等，即出现偏差时，系统可自动调节，消除偏差，直至输出等于输入，调节过程结束。随着给定运动轨迹的变化，输入指令信号不断改变，调节系统不断地进行调节，它的工作过程就是一个偏差不断出现，又不断消除的过程。调节对象则包括驱动放大部件和机械传动部件。

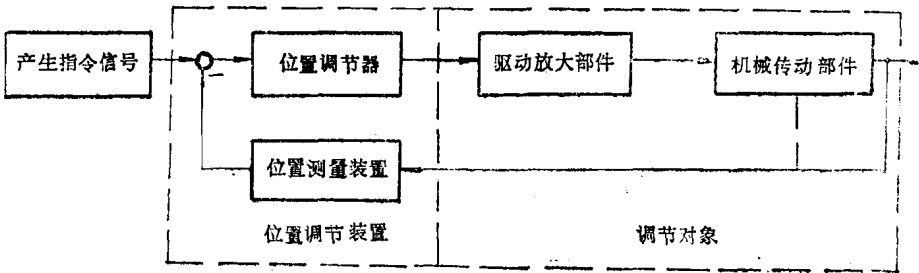


图 1-5 传统的位置调节系统方块图

采用数字调节来代替模拟调节可有两种方式，一种为固定的数字电子线路，另一种是编制调节软件。由于经济上的原因，固定的数字线路调节器目前只用于简单的比例调节，采用数字计算机则可以取消这种限制。

图1-6就是一种用微机作为调节器的数字调节系统。位置测量装置（比如直光栅）测出实际位移量后通过数字变送器进入微处理机。微处理机将测量到的实际值与微机内部算出的给定值进行比较，然后将位置偏差进行加权，再通过数/模转换变成模拟量，去控制具有模拟量的调节对象。调节对象是直流电机和机械传动系统。直流电机轴上有测速发电机，进行速度反馈，构成速度调节内环。在这个系统里，微处理机不但产生指令信号，还进行位置调节，形成数字调节系统。

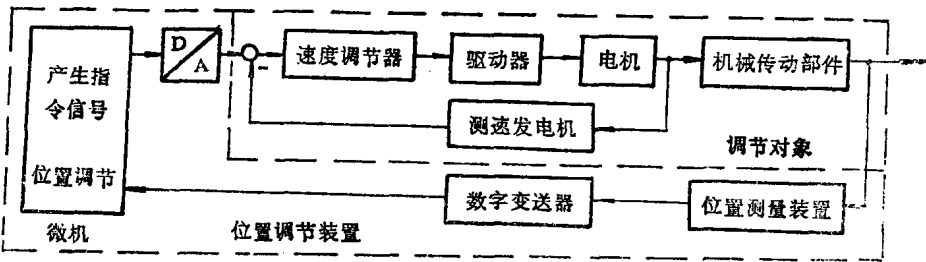


图 1-6 内环为模拟速度调节的数字位置调节系统

象图1-6这样的系统，我们还可进一步数字化，把速度调节内环集成到计算机内。速度反馈信号或者通过测速发电机进行测量，或者通过位移量进行求导。图1-7示出这种进

一步数字化的调节系统。微处理机不仅产生指令信号，进行位置调节，而且通过位移量算出速度，并进行速度调节。

如果位置测量系统给出的是数字量，那么速度计算十分简单。计算机通过单位时间的脉冲数即可算出实际的进给速度。

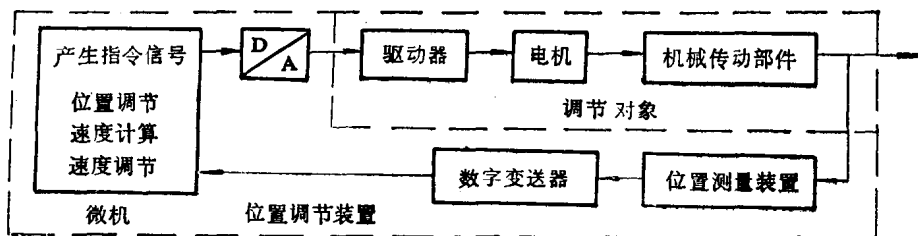


图 1-7 内环为数字速度调节的数字位置调节系统

原则上讲，位置调节系统的数字化可以直至驱动放大器的功率部分，比如直至电驱动系统的晶体管放大器或者液压驱动系统的电磁阀。

采用数字脉宽调制器，进给驱动系统能获得更大的调速范围。图1-8示出这种数字调节系统。它在采样频率为4kHz时，获得了大于1:8000的调速范围，而且还省去了数/模变换器⁽⁶⁹⁾。

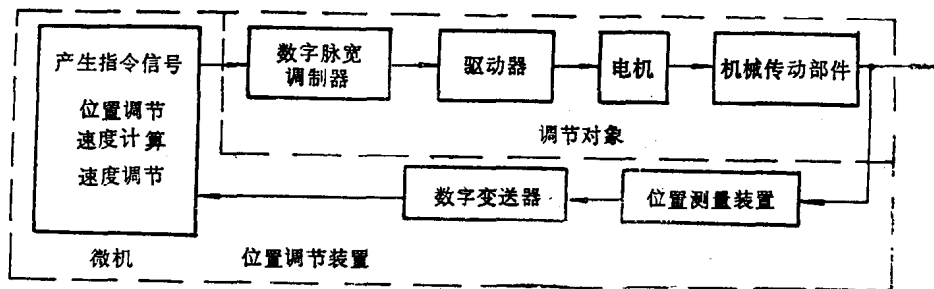


图 1-8 调节对象有数字脉宽调制器的数字位置调节系统

把数字化扩大到功放部分有如下优点：

- (1) 节约控制元件，如速度调节器，测速发电机，信号转换器等。
- (2) 减少潜在的错误源，如测速发电机的故障等。
- (3) 取消测速发电机后可减小电机的惯量和尺寸。
- (4) 速度调节内环的参数也能够通过计算机改变。

必须注意的是，位置测量系统有限的分辨率，特别是在低速时，对速度的计算和速度调节环的性能会产生不利影响。