



GH

高等学校规划教材
工科电子类

微型计算机 控制基础

谢长生 胡亦鸣 钟武清

WEIXINGJISUANJI
KONGZHIJICHU

电子科技大学出版社

[川]新登字 016 号

内 容 提 要

本书围绕电子机械的微机运动控制,论述了微机控制系统的组成与分类,并重点介绍了电子机械中常用的两种执行电机(步进电机及直流电机)的控制原理、微机控制方法及系统;对顺序控制和程序控制,主要讲述了可编程控制器的工作原理和曲线运动控制中的插补方法;书中还介绍了微机过程控制中常用的 PID 控制技术。

本书内容丰富,理论与实践并重,体现了电子机械微机控制中的基本技术和新进展,是高等工科院校电子机械及相近专业的教材。本书亦可供从事电子机械、自动控制、计算机及外部设备、办公自动化设备等方面工作的工程技术人员参考。

微型计算机控制基础

谢长生 胡亦鸣 钟武清

*

电子科技大学出版社出版

(成都建设北路二段四号)邮编 610054

电子科技大学印刷厂印刷

四川省新华书店经销

*

开本 787×1092 1/16 印张 11.25 字数 274 千字

版次 1994 年 5 月第一版 印次 1994 年 5 月第二次印刷

印数 1—3000 册

中国标准书号 ISBN 7-81016-764-2/TP·65

定价: 8.00 元

出版说明

根据国务院关于高等学校教材工作的规定,我部承担了全国高等学校和中等专业学校工科电子类专业教材的编审、出版的组织工作。由于各有关院校及参与编审工作的广大教师共同努力,有关出版社的紧密配合,从1978~1990年,已编审、出版了三个轮次教材,及时供给高等学校和中等专业学校教学使用。

为了使工科电子类专业教材能更好地适应“三个面向”的需要,贯彻国家教委《高等教育“八五”期间教材建设规划纲要》的精神,“以全面提高教材质量水平为中心,保证重点教材,保持教材相对稳定,适当扩大教材品种,逐步完善教材配套”,作为“八五”期间工科电子类专业教材建设工作的指导思想,组织我部所属的九个高等学校教材编审委员会和四个中等专业学校专业教学指导委员会,在总结前三轮教材工作的基础上,根据教育形势的发展和教学改革的需要,制订了1991~1995年的“八五”(第四轮)教材编审出版规划。列入规划的,以主要专业主干课程教材及其辅助教材为主的教材约300多种。这批教材的评选推荐和编审工作,由各编委会或教学指导委员会组织进行。

这批教材的书稿,其一是从通过教学实践、师生反映较好的讲义中经院校推荐,由编审委员会(小组)评选择优产生出来的,其二是在认真遴选主编人的条件下进行约编的,其三是经过质量调查在前几轮组织编写出版的教材中修编的。广大编审者、各编审委员会(小组)、教学指导委员会和有关出版社,为保证教材的出版和提高教材的质量,做出了不懈的努力。

限于水平和经验,这批教材的编审、出版工作还可能有缺点和不足之处,希望使用教材的单位,广大教师和同学积极提出批评和建议,共同为不断提高工科电子类专业教材的质量而努力。

电子工业部电子类
专业教材办公室

前 言

1991年底,电子机械教材编审委员会在武汉召开了计算机方面五本教材教学大纲讨论会,会上制定了《微型计算机控制基础》教学大纲。本书根据这个大纲编写而成,是电子机械类专业《微型计算机控制技术》课程的教材。本书也可供电子机械、自动控制、计算机外部设备等领域的工程技术人员参考。

全书分为五章,以电子机械微机运动控制为重点进行论述。第一章讨论电子机械微机控制系统的组成及分类,对组成控制系统的检测元件、执行机构作了较详细的介绍,对标准总线、微机控制系统的设计方法也作了分析。第二章讲述步进电机微机控制系统。在讨论步进电机结构和工作原理的基础上,着重介绍了驱动电路原理,并讨论了步进电机微机开环及闭环控制技术。第三章介绍直流电机及交流电机的微机控制技术,重点介绍直流电机原理、驱动电路、位置和速度控制系统及双模控制系统。第四章讨论顺序控制系统及数字程序控制系统,前半部主要介绍可编程控制器的工作原理和编程方法,后半部重点介绍曲线运动控制中的插补计算方法。第五章简要介绍微型计算机过程控制技术,其重点是分析PID调节方法。全书参考学时为50学时。

本书后面有三个附录,作为微机控制的实例。它既可作为阅读材料来细化所学的基本原理,也可作为实验的内容。

本书的特点是将微型计算机与电子机械的各元件作为一个有机的运动控制整体来讨论,特别对决定微机控制方案的电机控制作了较详细的分析。对一些新的设计技术也作了介绍。

本书的编写以华中理工大学《电子机械运动控制技术》课程教材的部分内容为基础,参考了国内外的有关书籍和文献,部分内容源于我们自己的科研课题。

本教材是在具备自动控制原理(包括数字控制部分)、微型计算机原理和接口技术知识的基础上使用的。

本书第一、二章由胡亦鸣编写,第三、四章由谢长生编写,第五章由钟武清编写,附录部分由胡亦鸣、谢长生、夏南编写。全书由谢长生统稿。

本书由北京邮电学院吕绍征副教授主审。华中理工大学叶济忠教授、清华大学杨品副教授及吴文虎教授、空军雷达学院卢延寿副教授仔细审阅了全书,并提出许多宝贵意见。华中理工大学张江陵、裴先登、余胜生三位教授对本书的写作予以了大力支持和帮助,在此一并表示感谢。

王立环、刘学清、罗颖、马虹等同志在绘图、打字、校对方面付出了大量劳动,在此表示感谢。

限于时间和作者的经验,书中难免有不尽妥当之处,恳请读者批评指正。

编 者

1993年10月

21531-62

目 录

第一章 微机控制系统组成分类	1
1.1 概论	1
1.2 电子机械实时计算机控制系统的组成	1
1.3 输入输出接口与过程通道	4
1.3.1 模拟量输入通道	4
1.3.2 数字量输入通道	4
1.3.3 模拟量输出通道	5
1.3.4 数字量输出通道	6
1.3.5 输入输出接口	6
1.4 传感器	6
1.4.1 感应同步器	7
1.4.2 光栅及光敏元件	9
1.4.3 增量码盘和绝对码盘	11
1.4.4 激光测量	13
1.4.5 直流测速发电机	14
1.4.6 电子测速器	15
1.4.7 数字测速	17
1.5 执行机构	17
1.5.1 执行元件	17
1.5.2 机械传动系统	18
1.5.3 传动系统轴际参数的换算	18
1.6 控制系统设计方法	20
1.6.1 标准总线模块化设计	21
1.6.2 基于单片机的控制系统设计	23
1.6.3 可编程控制器(PC)控制系统	25
1.7 控制系统分类	25
1.7.1 开环控制系统	26
1.7.2 闭环控制系统	26
1.7.3 速度控制系统	26
1.7.4 位置控制系统	27
1.8 电子机械微机控制系统实例	27
1.8.1 针式打印机打印头-字车驱动系统	27
1.8.2 磁盘驱动器磁头快速定位系统	28
思考题与习题	29

第二章 步进电机的微机控制系统	31
2.1 步进电机的工作原理和结构	31
2.1.1 工作原理	31
2.1.2 类型及结构	33
2.2 步进电机的主要性能指标	36
2.2.1 步距角及步距误差	36
2.2.2 静转矩特性	37
2.2.3 动态特性	38
2.3 步进电机的驱动电路	40
2.3.1 单电压驱动电路	40
2.3.2 高低压驱动电路	41
2.3.3 斩波恒流驱动	44
2.3.4 双极性驱动	46
2.4 步进电机的细分驱动	49
2.5 步进电机的开环控制系统	52
2.5.1 系统组成	52
2.5.2 电路结构	53
2.5.3 相序控制	54
2.5.4 速度控制	55
2.6 步进电机的闭环控制系统	61
2.6.1 换相角与超前角	61
2.6.2 转子位置检测	63
2.6.3 可变延时闭环转速控制	63
2.6.4 使用目标位置伺服的步进电机闭环系统	65
思考题与习题	66
第三章 直流电动机及交流电动机的微机控制系统	67
3.1 直流伺服电动机	67
3.1.1 转矩及反电动势产生原理	67
3.1.2 电流换向原理	68
3.1.3 直流电动机的数学模型	70
3.1.4 直流电动机的特性	72
3.1.5 工作状态和能量关系	74
3.1.6 电机结构形式的选择	74
3.2 直流伺服电动机的线性放大器驱动	75
3.2.1 单向控制与双向控制	75
3.2.2 电压控制与电流控制	76
3.2.3 输出级设计	77
3.3 直流伺服电动机脉宽调制(PWM)放大器驱动	80
3.3.1 脉宽调制器	80
3.3.2 运行方式和特性分析	81

3.3.3 PWM 集成驱动芯片的使用	86
3.4 直流电动机的伺服控制系统	87
3.4.1 概述	87
3.4.2 速度控制系统	88
3.4.3 位置控制系统	90
3.4.4 转矩控制系统	91
3.4.5 混合控制系统	91
3.5 直流电动机微机控制的基本问题	92
3.6 直流电动机微机速度控制系统	93
3.7 直流电动机双模式微机控制系统	96
3.8 交流电动机变频调速的微机控制系统	102
3.8.1 交流电动机及控制简介	102
3.8.2 矢量变换控制的基本概念	102
3.8.3 交流电动机矢量变换控制系统	104
思考题与习题	105
第四章 顺序控制系统及数字程序控制系统	107
4.1 顺序控制概述	107
4.2 可编程控制器(PC)	107
4.2.1 PC 的特点与功能	107
4.2.2 PC 的组成和工作原理	108
4.3 PC 的编程方法	114
4.3.1 程序表达方式	114
4.3.2 PC 的指令及编程方法	116
4.4 数字程序控制	122
4.4.1 概述	122
4.4.2 逐点比较插补法	122
4.4.3 数字积分插补法	128
4.4.4 数字程序控制系统的硬件实现	132
思考题与习题	133
第五章 微机过程控制	134
5.1 概述	134
5.1.1 过程控制	134
5.1.2 直接数字控制系统	135
5.2 PID 控制原理	135
5.3 PID 控制规律的离散化设计	136
5.3.1 PID 控制规律的离散化	137
5.3.2 PID 算法的程序实现	138
5.3.3 二阶工程设计法	138
5.4 标准 PID 算法的改进	140

5.4.1 防止积分整量化误差的方法	140
5.4.2 “饱和”作用的抑制	141
5.4.3 纯滞后的补偿算法	143
5.5 PID 数字控制器的参数选择	146
思考题与习题	150
附录一 用 IBM-PC 并行口实现步进电机开环控制	151
附录二 微机控制直流电机双向 PWM 调速	159
附录三 逐点比较法插补演示程序	163
参考文献	170

第一章 微机控制系统组成分类

1.1 概 论

计算机控制系统是以计算机为核心的自动控制系统。早在 50 年代初,计算机就开始应用于生产过程的监测和控制,但那时的计算机体积庞大,价格昂贵,功能少,可靠性差,仅在钢铁、化工和飞机制造等少数大型生产过程中得到应用。直到 70 年代中期,随着微电子技术特别是微型计算机技术的飞速发展,计算机控制技术也发生了革命性变化。现代的高性能、高可靠性、低成本的微型计算机,同现代控制理论、伺服技术等结合在一起,组成了强有力的微型计算机控制系统,广泛应用于机械制造、计算机、通讯工程、家用电器等领域,几乎完全取代了传统的继电器和分立元件控制系统,极大地增强了系统功能,减小了控制系统的体积,甚至可以把控制装置装入产品内部,成为所谓嵌入式控制系统,完全取消单独的电控柜或电控盒,方便了使用和安装。

微型计算机控制技术、微电子技术和传统的机械产品相结合,产生了一大批高性能、高精度、智能化的机电一体化产品,又称电子机械产品,如计算机外部设备、传真机、复印机、数控加工中心、机器人、录像机、全自动洗衣机等。这些电子机械产品几乎覆盖了从工业到民用的各个领域,其性能同传统机械产品相比有了质的飞跃。可以预见,随着微电子技术、计算机技术、控制技术和机械制造技术的不断发展,电子机械将继续向自动化、柔性化、多功能化和智能化方向发展。

本书主要深入研究微型计算机控制系统在电子机械设备控制中的应用技术,对其在工业过程控制中的应用也作了一般性讨论。

1.2 电子机械实时计算机控制系统的组成

计算机控制系统通常由计算机、总线和接口、过程通道、传感器、执行机构和外部设备等硬件设备,加上控制软件组成。其硬件框图如图 1.1 所示。

计算机是整个系统的核心。它完成程序的存储和执行,对控制对象的各种参数进行监测、判断和处理。视控制对象的不同,控制计算机可采用小型机、微型机、单板机或单片机等。目前,大多数现代小型和微型电子机械均采用单片微型计算机作为控制单元;大型复杂的电子机械系统常采用工业控制微机系统或模块化的基于标准总线的单板机;少数大型高性能系统则采用多级分布式控制方式。

输入输出通道(过程通道)是计算机与控制对象之间的信息传递通道,是计算机控制系统的重要组成部分。其作用是完成主机与被控对象之间的电气隔离、电平转换和负载匹配;将控制对象上传感器送回模拟量或数字信号转换成计算机所能识别的数字量;或反之将计算机输出的数字量变为模拟量或数字信号送往执行机构。

外部设备包括显示器、打印机、键盘等输入/输出设备及磁盘机/磁带机等外存储设备。它主要完成人/机通讯功能,实现工艺参数等的输入及系统状态的显示,以及控制程序和数据的存储。

传感器负责将控制对象上的各种参数,如位移、速度和温度等转换成电信号,送到输入通道,将系统状态及时反馈给计算机。执行机构则包括各种电机、电磁铁和电阻丝等,其作用与传感器相反,是将计算机通过输出通道送来的电信号转变为各种控制动作,完成对系统的控制。

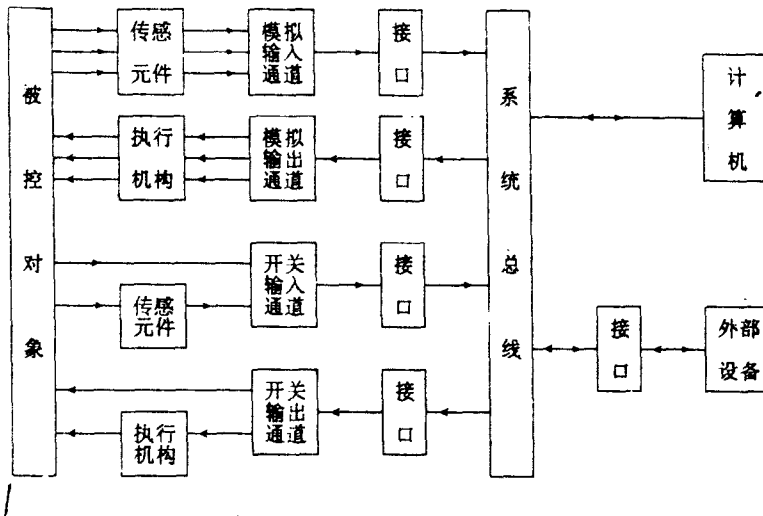


图 1.1 计算机控制系统硬件一般组成框图

总线和接口是计算机内各子系统之间及输入输出通道、外部设备等与计算机之间传递信息的通道。为了降低成本,提高灵活性,目前不少计算机控制中的各总线和接口都趋向于标准化。

图 1.1 所示的是一个完整的计算机控制系统。在实际应用中可根据需要予以取舍。对于电子机械控制常用的单片机控制系统而言,计算机、总线、接口和通道等常常包括在单片机内,整个系统结构大为简化。

不同的控制对象有不同的要求,因而计算机控制系统也有多种结构以满足其要求。这里我们仅讨论在电子机械控制中广泛应用的几种控制方案。

一、巡回检测 and 数据处理系统

巡回检测系统的结构如图 1.2 所示,它是最早的计算机控制方式。

在这种方案中,计算机不断对系统内的各种参数进行巡回检测、计算和统计,并将结果显示和打印,故对生产过程有一定的指导作用。同时,它可进行越界报警,能确保生产安全。但是,由于计算机不直接参与设备的控制,没有充分发挥计算机控制系统的能力,因而,系统性能难以进一步提高。目前,这种控制方式的使用已逐渐减少。

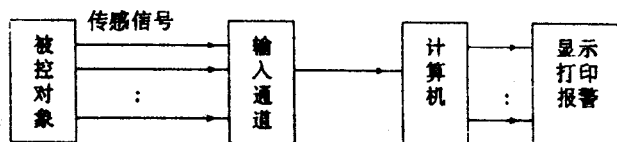


图 1.2 巡回检测和数据处理系统

二、监督控制系统(SCC)

计算机监督控制(SCC——Supervisory Computer Control)系统是一种闭环控制系统,其结构框图如图 1.3 所示。在该系统中,计算机依据一定的数学模型,根据当前受控对象的状态和输入参数,不断对各种模拟控制器或数字控制系统进行整定,以实现最佳控制效果。

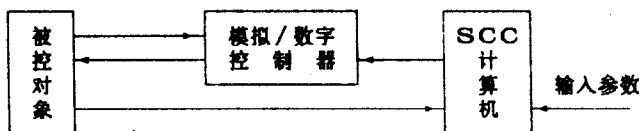


图 1.3 监督控制系统

SCC 机可根据当前系统的反馈信息不断动态调整控制器的设定值,可方便地实现模拟控制器难以实现的变参量控制、前馈控制、自适应控制等,使系统性能有很大的提高。这种控制方式的关键是 SCC 机所依据的数学模型的优劣,一个好的数学模型可以使控制效果达到最优,而当数学模型不够理想时,控制效果也不会理想。

三、直接数字控制(DDC)

直接数字控制(DDC——Direct Digital Control)是目前应用最为普遍的一种方式。在这种方式中,计算机直接处理输入信息,并直接控制执行机构,完全不需传统的模拟控制器。其结构框图如图 1.4 所示。

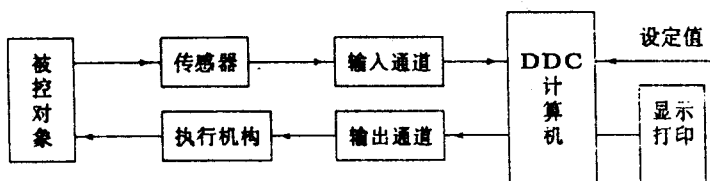


图 1.4 直接数字控制系统

DDC 系统具有结构简单,可靠性高,性能稳定等优点。它不仅能实现传统模拟调节器

的 PID 控制功能,而且,通过精心选择合适的数学模型和仔细的软件设计,还能实现各种复杂的控制,如前馈控制,最优控制等,因而 DDC 非常适用于现代电子机械系统。

四、多级分布式控制系统

多级分布式控制系统是近年来新发展起来的一种控制方式,它使用多台计算机,按多级方式有机地组合成一个完整系统。其基本级通常为基于单片机或单板机的 DDC 控制器,用以完成某个子系统的控制。各基本级控制器通过通讯网络与上级机相联,上级机通常是高性能的 16 位或 32 位微型计算机系统,作为 SCC 机,对各下级机进行控制、整定。

多级分布式控制系统性能很高,但系统复杂,成本较高,故目前主要只用于较大的过程控制系统和大型复杂的机电设备控制。随着微型计算机及控制技术的发展,多级分布式控制系统将得到越来越广泛的应用。

1.3 输入输出接口与过程通道

电子计算机只能处理数字量,但在一个电子机械系统中,存在着各种非数字量信息,如电压、速度、压力、温度等。为了使计算机能处理这些信息,必须在计算机与控制对象之间增设一组信息传送变换用的硬件电路即输入输出通道(又称过程通道)。

输入通道是将被控对象上的各种模拟信号和数字信号变换成数字量的各种电路和设备的总称。常见的输入通道有模拟量输入通道和数字量输入通道。

输出通道则是将计算机的数字量变为被控对象中各种模拟信号和数字信号的电路与设备的总和,常见的输出通道包括模拟量输出通道和数字量输出通道。

1.3.1 模拟量输入通道

模拟量输入通道通常由前置放大电路、采样保持电路和 A/D(模/数)转换电路组成。

电子机械设备和生产过程中的各种模拟量,经传感器后一律转变为连续变化的电压/电流,送至模拟量输入通道,再由模拟量输入通道变换成数字量送往计算机。

从传感器送来的信号幅度千差万别,为此,通道中必须采用前置放大/衰减电路对信号电压进行标度变换,将之转换成 A/D 转换器的输入电压范围内的信号电平(例如,将±200V 的信号和 0~50mV 的信号一律变换成 0~5V 的电压信号)。另外,为减少干扰,提高系统的可靠性,通常计算机控制系统的电路不能与被控设备的电气回路发生电气上的联系,必须采用隔离变压器等措施进行电气隔离。此外,在受外界干扰较大的情况下,常常还要增设输入滤波器等抗干扰措施。

由于 A/D 转换器需要一定的转换时间,为了避免在转换过程中信号发生变化导致转换误差,在前置放大电路和 A/D 转换器之间须设置采样/保持电路。经过标度变换的信号通过采样/保持电路送至 A/D 转换器,再变成数字量,最后由接口将数字量送回主机。

1.3.2 数字量输入通道

除了模拟量之外,电子机械设备中还存在大量的两种状态的数字量需要检测,如电机的合闸情况,各种行程开关和限位开关的状态等,因而需要数字量输入通道。

与模拟量输入通道相比,数字量输入通道较为简单,通常将之变换到逻辑电平后,便

可用微机的各种并行输入输出芯片(PIO)直接读入其状态。不过,在工业控制系统中,很多数字量都与强电系统相联,同时工业环境中的各种干扰也会产生假信号,和模拟量输入通道中的情况相似,为了提高控制设备的安全性和可靠性,一般同样要在数字量传感器和PIO之间采用电气隔离等可靠性措施。

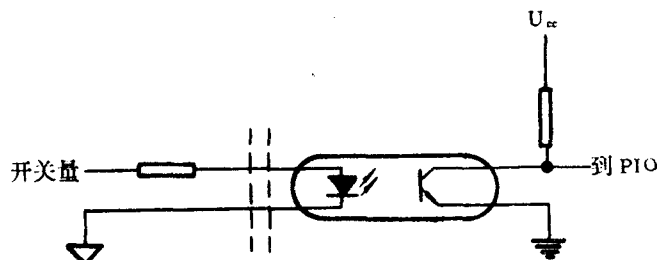


图 1.5 使用光电耦合器件的数字量隔离电路

最常用的数字量隔离器件为光电耦合器件。它具有输入输出隔离好,无触点,响应快,易与逻辑电路配合以及寿命长等优点。图 1.5 是一个采用光电耦合器作为数字量输入隔离器的例子。当数字量为高电平时,光耦中的发光二极管导通发光,使其中的另一端的光敏三极管导通接地,将一个低电平信号送到 PIO。同样,当输入数字量为低电平时,发光二极管熄灭,光敏三极管截止,将一个高电平信号送至 PIO。可见,光耦两端电路仅在信号上相关联,而完全没有电气上的联系,防止了输入端的高压对输出端的干扰破坏。另外,通常光耦的输出与 PIO 之间距离很近(通常在同一电路板上或同一机箱内),外界干扰影响较小,而从数字量传感器到光耦输入端的引线可能很长,但由于干扰形式多表现为共模干扰,对发光二极管的发光情况影响很小,因而采用光耦器件也有力地抑制了干扰。

1.3.3 模拟量输出通道

模拟量输出通道通常由输出控制器、D/A 转换电路和输出放大/衰减电路组成,如图 1.6 所示。

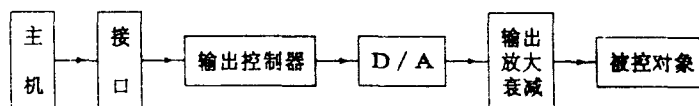


图 1.6 模拟量输出通道

输出控制器完成主机数字量锁存、D/A 时序控制等功能。D/A 转换器将数字量变为模拟电压或电流,再由输出放大/衰减电路将之变换成所需的各种幅度。如果需要的话,输出级还可能包括隔离电路、功率放大电路等。

除了常见的用 D/A 转换器组成的模拟量输出通道外,近年来,采用脉宽调制方式(PWM)的模拟量输出通道得到越来越广泛的应用。

PWM 的工作原理是通过软件或硬件方法改变输出波形(通常为方波)的占空比,来改变输出的平均电压,如图 1.7 所示。

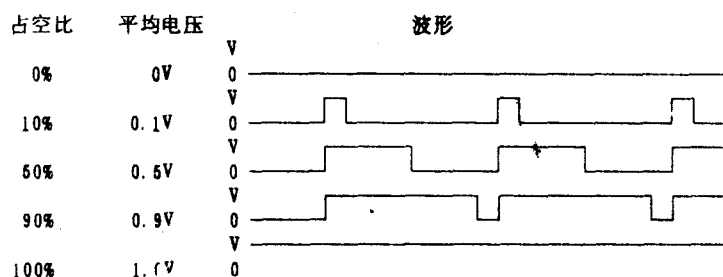


图 1.7 PWM 原理波形图

在电子机械设备控制中,PWM 模拟输出最典型的应用是直流电机速度控制。PWM 输出通常直接控制 MOS 管或开关晶体管来驱动电机。通过改变输出占空比,便可改变加在电机上的平均电压,从而实现电机调速。在这种方式下,功率驱动电路工作在开关状态,功耗很小,与采用 D/A 转换器加线性功率驱动电路的方案相比,效率大为提高。

采用 PWM 也可实现 D/A 功能。将 PWM 波形通过一个低通滤波器,滤去高频信号,便可获得所需的直流电压,其值为 PWM 波形电压平均值。与采用 D/A 转换器的方案相比,结构简单,成本低,非常适合于需要多路低频或直流模拟信号输出的场合。通过选择合适的 PWM 产生方案和滤波电路,可获得较高的精度和分辨率。目前产品已能做到 16 位以上分辨率和 12 位以上的线性度,足以满足大多数应用要求。

PWM 模拟输出通道具有结构简单(只占用一个 CPU 输出脚),效率高等优点,得到了广泛应用。特别是目前新一代的单片机,如 Intel 8096/98 等,都直接支持 PWM 输出方式,因而可以预见,这种方式在电子机械设备控制中的应用范围将不断扩大。

1.3.4 数字量输出通道

与数字量输入通道相似,数字量输出通道的结构也较简单,通常可由 PIO 加上输出驱动电路实现,因而不赘述。

1.3.5 输入输出接口

过程通道完成了计算机数据与被控对象信号之间的变换。但是,它通常不能直接接到计算机上。在计算机和过程通道以及其它外部设备之间,必须设置接口电路,以完成地址选择、数据缓冲、中断及 DMA 控制等功能。有关接口方面的内容已在《微型计算机原理》和《接口技术》等课程中讨论过,读者对之应很熟悉,这里不再作深入的讨论。

1.4 传 感 器

传感器又称检测元件,它能将被测量变换成另一种可度量的量(通常为电量)。任何一

个闭环系统都必须有检测元件,以便检测被控部件的瞬时精确信息,以与命令信息作比较来进行误差校正,或供反馈校正之用。这些信息包括位置、速度、运动方向等。

检测元件种类繁多,大致可分为数字式和模拟式两大类,前者输出为脉冲或数字信号,后者输出为模拟量信号。电子机械中的控制系统多数是数字控制系统,它利用离散的输入信号进行控制。在使用模拟传感器时,就要将它的输出信号转换成脉冲或数字输出(分别称为增量式和绝对值式输出),每一个脉冲或单位数字量代表一定的位移(或速度等),称为脉冲当量。

目前常用的位置检测元件见表 1.1。检测元件的选择取决于要测量的量、测量装置的安装位置、反馈数据的要求及所要求的精度。对检测元件的主要要求是:工作可靠、抗干扰性强;使用维护方便、适应工作环境;满足测量精度和速度要求以及成本低等。对不同的控制系统,要求各有侧重。如对闭环系统,由于该系统是依靠信息反馈来进行误差校正的,故检测元件的精度决定着系统的精度,因而要求检测元件的精度相当高。

常用的速度检测元件有直流测速电机和各种电子测速器等。速度检测元件在控制系统中有两个用途:一个是作为速度指示器,给出被测部件速度的直接读数;另一个是用作速度反馈信号,这是它最主要的用途。在速度控制系统里,速度传感器提供控制对象的速度信息,与系统的设定速度作比较,两者之差经放大器放大后驱动伺服电动机。因此,速度控制的精度在很大程度上取决于速度传感器的精度。在位置控制系统里,速度反馈为系统提供了阻尼,从而增强了系统总的稳定性。在位置控制系统中,对测速元件的精度要求不像在速度控制系统中那样苛刻。

表 1.1 常用的位置检测元件

类 型	增 量 式	绝 对 值 式
回转型	光电盘,圆光栅旋转变压器,圆形感应同步器,圆形磁尺,伺服盘	编码盘,多极旋转变压器,旋转变压器组合,圆形三速感应同步器
直线型	计量光栅,激光干涉仪,直线感应同步器,磁尺	编码尺,多通道透射光栅,三速感应同步器,绝对值磁尺

速度传感器有回转式和直线式两种,前者用来测回转速度,后者测直线位移速度。从工作原理上分,速度传感器有电磁式和电子式两类。电磁式是传统的检测元件,工作可靠,坚固耐用。电子式的优点是频带宽、调整方便、体积小、成本低,可在要求带宽大的系统中用来提供稳定的速度反馈信号。

本节讨论常用检测元件的工作原理及使用特点。

1.4.1 感应同步器

感应同步器是一种电磁式高精度位移检测元件,它分旋转式和直线式两类,分别用来检测转角和直线位移。其主要优点是精度高,结构简单,工作可靠,寿命长,受环境温度、湿度变化的影响小,抗干扰能力强,而且制造工艺简单,成本较低,便于复制和成批生产。据国外资料介绍,直线式感应同步器精度可达 $1\mu\text{m}$,旋转式感应同步器精度可达 $0.5''$ 。由于感应同步器有上述优点,所以它的应用非常广泛。

旋转式和直线式感应同步器的工作原理和使用方法基本相同,故下面的介绍以直线

式为例。

一、结构和工作原理

直线式感应同步器由定尺和滑尺组成,其绕组布置如图 1.8 所示。滑尺上展开分布着两个印刷电路绕组,它们在空间位置上相距 $(n+1/4)$ 节距(n 为整数),图中 $n=2$,每个节距相当于绕组空间分布的周期,又称极距,一般为 2mm,用 2τ 表示。定尺上的印刷绕组连续分布。滑尺与定尺相互面向平行安装,两者保持 0.2mm 左右的间隔。为易于说明,图中把它们完全错开了。

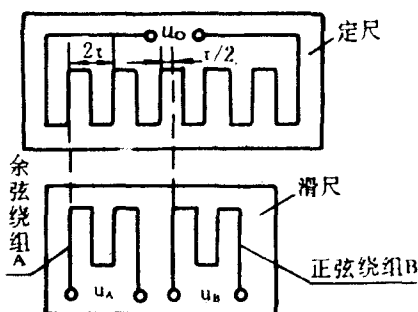


图 1.8 感应同步器绕组布置

感应同步器的工作原理如图 1.9 所示。当定尺绕组加以给定频率(例如 50kHz)的交流激励电压时,滑尺两个绕组将产生与激励电压频率相同、幅值随两尺相对位置而变化的感应电势 e ,滑尺某一绕组与定尺绕组完全重合时,磁通耦合最大,故该滑尺感应的电势最大;两绕组错开 $1/4$ 节距角时,滑尺耦合的正负磁通互相抵消,感应电势为零;互相错开 $1/2$ 节距时,感应的电势与绕组重合时的感应电势幅值相同而相位相反。

可见,它的工作原理与旋转变压器相似,实际上是一种具有印刷绕组、展开的无槽结构的多极旋转变压器,故又称平面变压器。

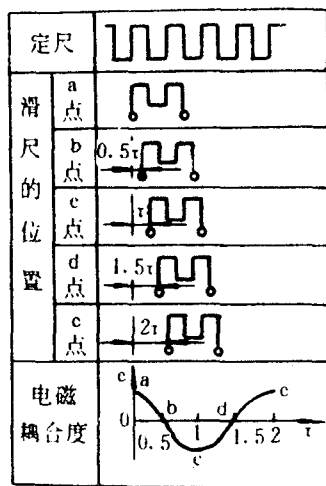


图 1.9 感应同步器的工作原理

设定尺激励电压 $u_0 = u_m \sin \omega t$, 绕组在图 1.8 所示位置时为位移 x 的零点, 则绕组 A 的感应电势为:

$$u_A = K u_0 \cos \theta = K u_m \sin \omega t \cos \theta \quad (1-1)$$

式中 K 为耦合系数, 相移 θ 由下式决定:

$$\theta = \frac{x}{2\tau} 2\pi = \frac{\pi x}{\tau} \quad (1-2)$$

故绕组 A 称为余弦绕组。同理, 绕组 B 的感应电势为

$$u_B = K u_0 \sin \theta = K u_m \sin \omega t \sin \theta \quad (1-3)$$

故绕组 B 称为正弦绕组。

上述输出信号是各极输出信号的平均结果, 误差可以得到均衡补偿, 故精度较高。

二、感应同步器的应用

根据不同的激励方式, 感应同步器可有两种工作状态: 幅值工作状态和相位工作状态。

(一) 幅值工作状态

1. 对定尺激励的方式

定尺激励时, 绕组 A、B 的感应电势表达式分别为式(1-1)和(1-2)。将它们解调后(例如可用模拟乘法器解调)可得到图 1.10 所示的正、余弦电压, 用鉴零电路在每个过零点形成一个脉冲, 则每出现一个脉冲, 相当于滑尺移过 $\tau/2$ 节距。对脉冲进行计数, 就可以

得到总的移动距离。

由两曲线的相对关系还可判别运动方向：

如正走时为 u_A 超前 u_B ，则反走时 u_B 超前于 u_A 。

2. 对滑尺两绕组激磁的方式

若在 A、B 两绕组上加以频率和相位相同，但幅值分别为某已知角度 θ_1 的正弦和余弦函数的激磁电压，即：

$$u_A = u_m \sin \theta_1 \sin \omega t \quad (1-4)$$

$$u_B = u_m \cos \theta_1 \sin \omega t \quad (1-5)$$

则因感应同步器工作在线性状态，定尺绕组感应电势为 u_A 、 u_B 单独激磁时感应电势的叠加。当滑尺右移 θ 度时，有

$$\begin{aligned} u_0 &= Ku_A \cos \theta - Ku_B \sin \theta \\ &= K(u_m \sin \theta_1 \sin \omega t) \cos \theta - K(u_m \cos \theta_1 \sin \omega t) \sin \theta \\ &= Ku_m \sin \omega t \sin(\theta_1 - \theta) \end{aligned} \quad (1-6)$$

其中， θ 为滑尺相对于定尺的相移。由式(1-2)知， $\theta = \pi x / \tau$ 故为滑尺移动某一距离 x 后对应的相角。如果 θ_1 对应于指令位移 x_1 ，因有 $\theta_1 = \pi x_1 / \tau$ ，故式(1-4)反映了位置误差 $(x_1 - x)$ ，当负载位移未达到指令要求的值时， $x \neq x_1$ ，定尺感应电势 $u_0 \neq 0$ ，该电势经检波放大成直流信号控制直流执行电机工作，带动负载移动，直至 $x = x_1$ 时，因 $\theta = \theta_1$ ，使 $u_0 = 0$ 为止。

运动方向的判别：滑尺右移时， u_0 表示式见式(1-6)；若指令位移为 $-\theta_1$ ，则 $u_0 = -Ku_m \sin \omega t \sin(\theta_1 - \theta)$ 。故若 u_0 以 $u_m \sin \omega t$ 为基准，进行相敏检波，即可控制运动方向。

(二) 相位工作状态

若在滑尺 A、B 两绕组上加以频率和幅值相同，但相位差 90° 的交流激磁电压，即：

$$u_A = u_m \sin \omega t \quad (1-7)$$

$$u_B = u_m \cos \omega t \quad (1-8)$$

又设起始时绕组 A 与定尺的感应绕组重合，则当滑尺移动时，定尺上感应的电势为

$$\begin{aligned} u_0 &= Ku_m \sin \omega t \cos \theta + Ku_m \cos \omega t \sin \theta \\ &= Ku_m \sin(\omega t + \theta) \end{aligned} \quad (1-9)$$

式中 $\theta = \pi x / \tau$ 。可见，定尺感应电势 u_0 的相移 θ 与滑尺的直线位移 x 有严格的比例关系，可通过相移测量求得滑尺的直线位移。

1.4.2 光栅及光敏元件

一、光栅的种类及工作原理

光栅是最早使用的位置传感器之一。它的精度高，响应快，数字化电路简单，应用十分广泛。其缺点是不耐冲击和振动(透射光栅以玻璃为材料)，对灰尘和油污等也很敏感，因而不适合恶劣工作环境。常用的光栅是用玻璃片制成的，在玻璃片上刻有大量的宽度和距离都相等的平行线条(刻痕)，刻痕不易透光，两刻痕之间的光滑部分就形成一条透光的窄缝，故光栅是一系列等宽等距的窄缝，这种光栅称为透射光栅。也可以在长条形金属镜

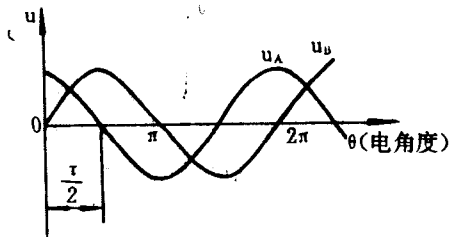


图 1.10 输出电势波形图