



物理科学与技术学院

《计算机控制技术》课程教案

课程名称：计算机控制技术

授课时间：第 6 学期

授课对象：电子信息工程专业

主讲教师：申海

采用教材：《微型计算机控制技术》

沈阳师范大学

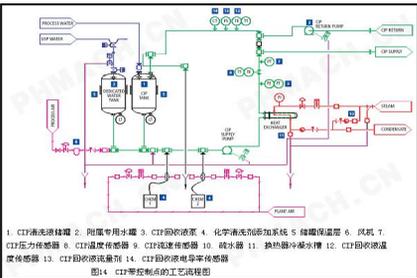
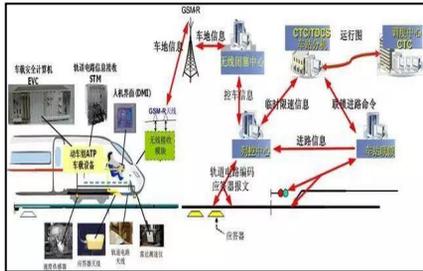
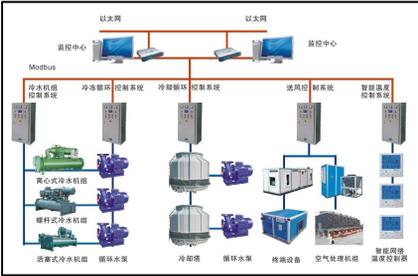
教案

课程基本情况	课程名称	计算机控制技术	课程代码	08301280
	授课对象	电子信息工程专业	课程性质	选修课
	学时	54	学分	3
	考核方式	考查（多元化，多角度过程化考核）		
教学内容学时分配				
	章次	内容	学时	
	第一章	绪论	4	
	第二章	输入输出接口与过程通道	8	
	第三章	数字控制技术	10	
	第四章	常规及复杂控制技术	8	
	第五章	现代控制技术	2	
	第六章	应用程序设计与实现技术	4	
	第七章	人机接口技术与监控组态软件	12	
	第八章	分布式测控网络技术	4	
	第九章	计算机控制系统设计与实现	6	
课程教学目标	<p>坚持立德树人，培养学生正确的人文素养，科学素养和工程素养。通过本课程的学习，培养学生掌握计算机控制的基本概念知识，基本工作原理、基本控制策略等相关应用技术、计算机控制系统的基本分析方法和设计方法，提高学生具备有效地分析和设计计算机控制系统所需的必要的洞察力、知识和理解力。同时，通过项目驱动式的教学活动，使学生受到较好的工程实践训练，使学生具备求解复杂工程问题能力，包括复杂工程问题的研究、分析、设计和调试等综合实践能力，为学生后续的学习和工作打下坚实基础。</p>			
本课程教学方法与手段	<p>(1) 教学方法</p> <p>① 整体说明：本课程采用课堂讲授法、启发式、任务驱动式、互动讨论式和案例分析等多种教学方法。</p> <p>② 采用启发式和任务驱动式教学方法：激发学生主动学习的兴趣，引导学生主动通过实践和自学获得相应的知识，培养学生自己的知识体系，提高独立思考、分析问题和解决问题的能力。</p> <p>③ 采用互动式教学方法：课内课堂提问、课内小组讨论和课外答疑相结合，培养学生表达和团队协作、以及自主学习的能力。</p>			

	<p>④ 采用案例分析教学方法：将理论教学与工程实践相结合，以典型工业控制案例为载体，引导学生将工艺需求分析、硬件架构分析和软件设计等内容进行整体有机融合，提高学生项目分析能力和综合设计能力。</p> <p>(2) 教学手段</p> <p>① 本课程充分利用信息技术手段，如采用多媒体 PPT 课件进行教学，以提高课堂教学信息量，优化教学过程，提高教学效率。</p> <p>② 本课程工程性较强，将复杂工程知识点采用虚拟教学法进行教学，将静止内容动态化，抽象思维直观化，以增强教学直观性，提高课堂教学效果。</p> <p>③ 现代信息技术与传统板书结合方法。</p> <p>④ 网络教学资源平台，包括课件，教学大纲，教学日历，作业，习题库等信息。利用网络教学资源辅助课堂教学。</p>
教材及参考资料	<p>1.主要采用教材</p> <p>[1]于海生等著.《微型计算机控制技术》(第3版).北京:清华大学出版社,2017.5.</p> <p>[2]丁建强等著.《计算机控制技术及其应用》.北京:清华大学出版社,2017.2. (教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会规划教材)</p> <p>2.辅助教材</p> <p>[1]刘川来等著.《计算机控制技术》.北京:机械工业出版社,2015.2.</p> <p>[2]顾德英等著.《计算机控制技术》.北京:北京邮电大学出版社,2012.6.</p> <p>[3]张德江等著.《计算机控制系统》.北京:机械工业出版社,2007.8.</p> <p>[4]陈汝全等著.《实用微机与单片机控制技术》.北京:电子科技大学出版社,1998.9.</p>

第 1 次 课程教案 (1.1-1.2)

授课方式: (√) 理论课 () 实验课 周次: 第1周 第1次 课程 学时: 2 学时

授课章节	课程介绍 1.1 计算机控制系统概述
教学目的及要求	1.了解本课程的应用情况，并可以举例说明。 2.了解本课程所讲内容及基本要求。 3.掌握计算机控制系统的作用、结构、组成及工作原理。
教学重点与难点	教学重点： 1.计算机控制系统作用 2.计算机控制系统定义、结构及组成 教学难点： 1.计算机控制技术在我们身边的广泛应用。 2.在线、离线和实时区别。
教学方法与手段	1.理论讲授与多媒体演示相结合 2.案例分析法 3.情景导入法 4.微视频
教学过程 (课程介绍，1 学时左右) 1.首先介绍本门课程的应用情况，主要说明应用广泛性。 (1) 课程行业背景介绍	<h3>1.课程行业背景介绍</h3> <p>(1) 课程行业背景介绍</p> <p>首先介绍课程行业背景，让学生熟悉本课程的实践应用性，从而激发学生学习的兴趣。</p> <p>自动化是人类文明进步和社会现代化的标志。自动化是关于一切人造系统自动、智能、自主、高效和安全运行的科学与技术。计算机控制技术是实现工业自动化的主要方法和手段。目前工业控制中广泛使用计算机控制技术，如高铁，石油、化工、制药、航天等等。</p> <p>此处让学生们通过观看视频和多个图片来了解。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="420 1487 837 1765">  <p>1. CIP清洗选择阀 2. 附属专用水罐 3. CIP回收滤液 4. 化学清洗添加剂系统 5. 罐罐保温层 6. 风机 7. CIP压力传感器 8. CIP温度传感器 9. CIP流量传感器 10. 储水器 11. 散热器冷却水罐 12. CIP回收液温度传感器 13. CIP回收液流量阀 14. CIP回收液电导率传感器</p> <p>图1-4 CIP控制点的工艺流程图</p> </div> <div data-bbox="890 1480 1313 1751">  <p>该图展示了铁路信号系统的架构，包括车载设备（如ATP、BTM）、地面设备（如轨道电路、应答器）、通信系统（如GSM-R、无线局域网）以及控制中心（如CTC、TDCS）。</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 20px;"> <div data-bbox="424 1778 859 2047">  <p>展示了现代化的工业生产车间，多台黄色的工业机器人正在协同工作，进行精密的制造任务。</p> </div> <div data-bbox="895 1771 1313 2047">  <p>该图展示了工业控制系统的架构，包括监控中心、Modbus通信网络、冷水机组、冷冻机组、冷却系统、通风系统、制冰系统、智能温控系统等。</p> </div> </div>

(2) 身边的衣食住行

(2) 身边的衣食住行

从身边的衣食住行来讲解本课程的应用广泛性，让学生感受到此技术就发生在我们身边，从而更加深切的感受此技术的应用。

(引导+提问方式完成)

- 衣：控制系统举例
- 食：控制系统举例
- 住：控制系统举例
- 行：控制系统举例

2.说明本课程的教学内容、知识架构、课程内容特点、学分学时和学习方式等。

2.教学内容介绍

(1) 目录

介绍本课程所讲内容及章节之间的关系，让学生了解所学内容的构架方式。

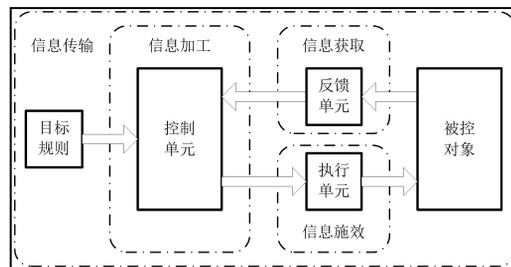
- 第1章 绪论
- 第2章 输入输出接口与过程通道
- 第3章 数字控制技术
- 第4章 常规及复杂控制技术
- 第5章 现代控制技术（自学）
- 第6章 应用程序设计与实现技术
- 第7章 人机接口技术与监控组态软件
- 第8章 分布式测控网络技术
- 第9章 计算机控制系统设计与实现

(1) 目录

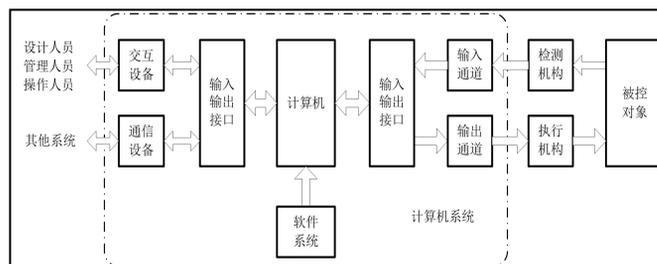
(2) 知识架构说明

(2) 知识架构说明

① 先说明本课程简要架构，让学生对本课程知识架构有个整体了解。



② 然后对知识架构进行详细介绍



- 传感与检测：包括各类传感器、测量信号的处理与变送、抗干扰技术、信号检测与诊断等。
- 变换与传输：包括 A/D 与 D/A 变换、信号传输与通信、网络与总线等。
- 计算与处理：包括数字信号处理、数据结构、操作系统、算法基础、模式识别等。

(3) 课程内容特点

- 控制与智能：包括经典控制理论、现代控制理论、智能控制、自适应控制、最优控制、稳定性与鲁棒性等。
- 执行与驱动：包括驱动环节、各种基于机电液气和光机电一体化机理的执行器、自动化仪表等。
- 对象与建模：包括系统辨识与参数估计、各类系统建模技术、CAD 仿真技术等。

(3) 课程内容特点

- ① 综合性
 - 设计要素的综合性
 - 硬件与软件的综合：
—硬件（89C51、PLC 等）+应用程序（监控程序，采集程序等）
 - 元件与系统的综合：
—控制系统= 总线+芯片+板卡+程序等等
 - 弱电与强电的综合
 - 电力系统
 - 模拟信号与数字信号的综合：
—电流/电压//液位等信号+开/关/脉冲等信号
 - 算法研究与程序实现的综合：
—逐点比较法算法并实现
—PID 控制算法并实现
 - 设计过程的综合性
 - 相关课程的综合性
- ② 应用性：应用十分广泛。
- ③ 实践性：课内必修实验、选修实验、小学期训练、大学生科研竞赛、毕业论文。

3.本课程学习要求基本说明，包括学分学时、学习平台介绍和学习方法介绍。
(1) 学时学分等

3.学习要求说明

(1) 学时学分等：重点说明考评方法中的过程考核包括的内容。

- 学时：54=40（理论）+14（实验）
- 学分：3 学分
- 课程类型：选修（核心课）
- 学习方式：线上+线下
- 考评方法：线上、提问、平时、实验、作业、两次阶段性测试等。

(2) 线上平台介绍及说明

(2) 线上平台介绍及说明：学生和教师都打开学习通平台，教师向同学们介绍平台内容及学习方式。

包括课程，视频，章节测试，思政内容，作业，签到，讨论和通知等等。



(3) 学习方法

(3) 学习方法

- 原则
 - 系统化
 - 信息化
 - 规范化
 - 实用化
- 过程
 - 简单到复杂
 - 从概貌到细、
 - 从外特性到内特性
 - 从分析到综合来进行
- 工具
 - 注意掌握多种辅助工具

4.思政讲解

4.【大国重器：爱国报国】

带学生们收看《大国重器》视频，并进行简要介绍。说明我国控制技术的先进性，让学生了解我国技术先进性，进而激发学生学习报国热情。

《大国重器》以独特的视角记录了中国装备制造业创新发展的历史。该片将镜头对准了普通的产业工人和装备制造业企业转型升级创新中的关键人物，真实记录了他们的智慧、生活和梦想，通过人物故事和制造细节，鲜活地讲述了充满中国智慧的机器制造故事，再现了中国装备制造业从无到有，赶超世界先进水平背后的艰辛历程，展望了中国装备制造业迈向高端制造的未来前景。

- 第1集 构筑基石
- 第2集 发动中国
- 第3集 通达天下
- 第4集 造血通脉
- 第5集 布局海洋
- 第6集 赢在互联
- 第7集 智造先锋
- 第8集 创新体系

本系列视频分《大国重器第一季》和《大国重器第二季》。本课程目前列出了第二季视频。第二季共有8集。本节课程收看1集，其他内容可在平台自行收看。



教学过程
(新课授课,
1 学时左右)
0.新章节导入

0.新章节导入：首先介绍第一章学习内容和学习要求。

知识目标：

- (1) 掌握计算机控制系统定义、系统结构、工作原理和应用领域。
- (2) 熟悉计算机控制系统组成，熟悉常用计算机控制系统主机方式及特点。了解计算机控制系统的的发展过程和发展趋势。
- (3) 掌握计算机控制系统的典型形式，掌握 DDC、DCS 和 FCS 三种典型形式特点。

能力目标：

根据所学内容，能够举例说明计算机控制技术的具体应用情况及其基本工作原理。

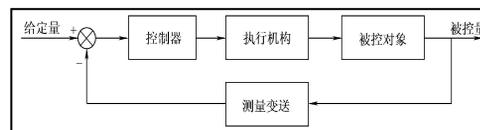
1.1 计算机控制系统概述

1.1 计算机控制系统概述

1.1.1 自动控制系统

1.1.1 自动控制系统

自动控制：就是在没有人直接参与的情况下，通过控制器使生产过程自动地按照预定的规律运行。自动控制系统原理框图如下：



典型的工业生产过程：

连续过程：产品是流体

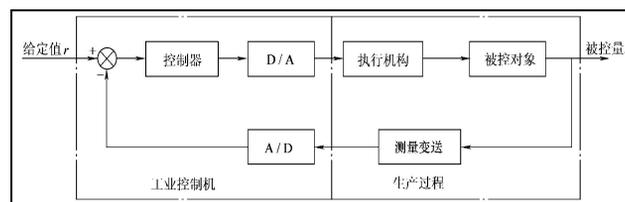
离散过程：产品是固体、按件计量

批量过程：连续、离散间歇性交替

1.1.2 计算机控制系统

1.1.2 计算机控制系统

计算机控制系统：就是利用计算机(通常称为工业控制计算机，简称工业控制机)来实现生产过程自动控制的系统。



1.计算机控制系统的工作原理

①实时数据采集：对来自测量变送装置的被控量的瞬时值进行检测和输入。

②实时控制决策：对采集到的被控量进行分析和处理，并按已定的控制规律，决定将要采取的控制行为。

③实时控制输出：根据控制决策，适时地对执行机构发出控制信号，完成控制任务。

2.在线方式和离线方式

在线方式 (on-line): 生产过程和计算机直接连接, 并受计算机控制的方式称为在线方式或联机方式。

离线方式(off-line): 生产过程不和计算机相连, 且不受计算机控制, 而是靠人进行联系并做相应操作的方式称为离线方式或脱机方式。

3. 实时的含义

实时(real-time): 指信号的输入、计算和输出都要在一定的时间内完成, 亦即计算机对输入信息, 以足够快的速度进行控制, 超出了这个时间, 就失去了控制的时机, 控制也就失去了意义。

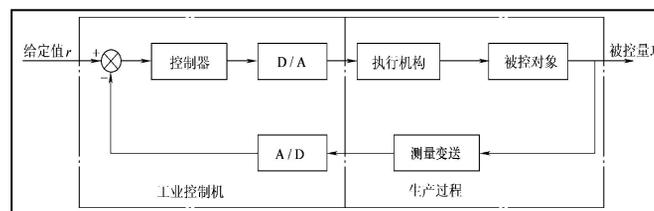
这个时间范围的大小与被控对象关系非常紧密, 不同的被控对象, 对时间范围的要求不同。

一个在线的系统不一定是一个实时系统, 但一个实时控制系统必定是在线系统。

1.1.3 计算机控制系统的组成

1.1.3 计算机控制系统的组成

- 计算机控制系统由计算机(工业控制机)和生产过程两大部分组成。工业控制机包括硬件和软件;
- 生产过程包括被控对象、测量变送、执行机构、电气开关等装置。



1.1.4 常用的计算机控制系统主机

1.1.4 常用的计算机控制系统主机

1. 可编程序控制器 (PLC)
2. 工控机 (IPC)
3. 嵌入式系统 (MPU、单片机、DSP、SOC)
4. 智能调节器
5. 其它类型主机

基本知识点测试

练习题

1.自动控制系统是指_____。

答案: 在没有人参与的情况下, 通过控制器使生产过程自动地按照预定规律运行的系统;

2.在现代工业中, 计算机控制系统的工作原理包括_____, _____、_____三个基本步骤。

答案: 实时数据采集; 实时控制决策; 实时控制输出;

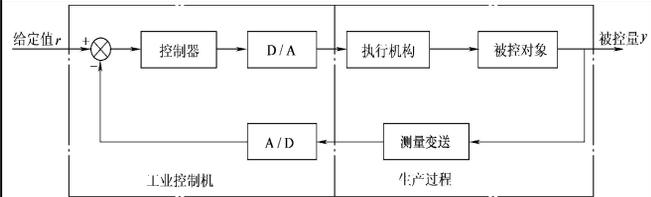
3.在现代工业中, 计算机控制系统由_____和_____两大部分组成。

答案: 计算机; 生产过程;

4.工业控制机是指_____而设计的计算机, 它包括硬件和软件两个组成部分。

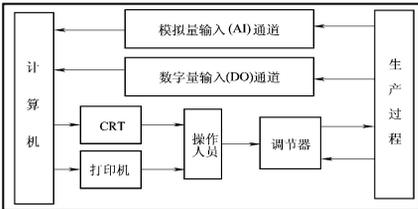
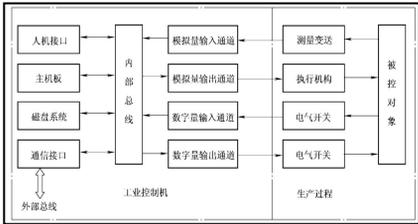
答案: 按生产过程控制的特点和要求。

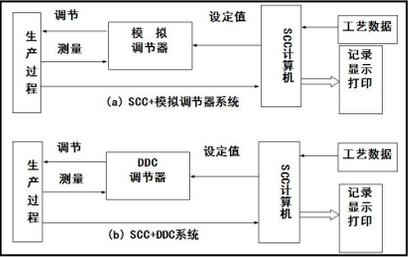
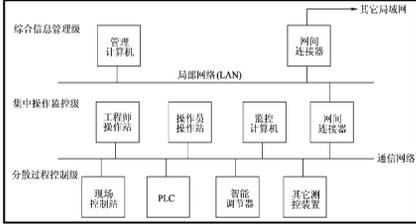
5.计算机控制系统的硬件由_____, _____、_____, _____、_____和_____组成。

	<p>答案：主机板；内部总线和外部总线；人机接口；磁盘系统；通信接口；输入输出通道；</p> <p>6.计算机控制系统中常用的控制器有_____、_____、_____、_____等。</p> <p>答案：可编程序控制器；工控机；嵌入式系统；智能调节器；</p>
<p>教学过程 (总结、作业)</p>	<p>总结</p> <p>1.课程介绍：课程行业背景、学习内容和学习要求等介绍。</p> <p>2.计算机控制系统概述：定义、工作原理、组成和系统常用主机等。</p> <p>作业</p> <p>1.完成线上讨论题。</p> <p>2.完成线上问卷。</p>
<p>板书</p>	<p>课程介绍（第1课时）</p> <p>1.行业背景：工业中各个领域，衣食住行。</p> <p>2.教学内容：目录、知识架构、特点。</p> <p>3.学习要求：学时，学分，测试；学习方式：混合式；学习方法。</p> <p>第一章 绪论（第2课时）</p> <p>1.1 计算机控制系统概述</p>  <pre> graph LR r[给定值 r] --> Sum((+)) Sum --> Controller[控制器] Controller --> DA[D/A] DA --> Exec[执行机构] Exec --> Obj[被控对象] Obj --> y[被控量 y] Obj --> Meas[测量变送] Meas --> AD[A/D] AD --> Sum subgraph "工业控制机" Sum Controller DA end subgraph "生产过程" Exec Obj Meas AD end </pre>

第 2 次 课程教案 (1.3-1.4)

授课方式： (√) 理论课 () 实验课 周次： 第1周 第2次 课程 学时： 2 学时

授课章节	1.2 计算机控制系统的典型形式 1.3 工业控制机的组成结构及特点 1.4 计算机控制系统的发展概况和趋势
教学目的及要求	1.掌握计算机控制系统的典型形式 2.熟悉工业控制机的组成结构及特点 3.了解计算机控制系统的发展概况和趋势
教学重点与难点	教学重点：掌握计算机控制系统的典型形式 教学难点：计算机控制系统典型形式间的区别
教学方法与手段	1.理论讲授与多媒体演示相结合 2.案例分析法 3.启发式教学方法
教学内容 (复习/导入)(15分钟,由于第一章重点内容在1.1节,因此此处多复习一些。)	1. (复习) ① 以下选项中不属于控制系统的要素是 (D) A.被控对象; B.测量变送器; C.执行机构; D.数据采集器 ② 以下不属于计算机控制系统过程步骤的是 (B) A.实时数据采集; B.实时数据转换; C.实时控制决策; D.实时控制输出 2. (复习) 总结学生们在线上平台讨论情况。 3. (导入) 说明本节课所讲内容及学习要求。
教学内容 (新课授课) 1.2 计算机控制系统的典型形式 1.操作指导控制系统 2. 直接数字控制系统 (DDC) 3.监督控制系统 SCC	<p>1.2 计算机控制系统的典型形式</p> <p>针对计算机控制系统的典型形式,给出相应的系统框图,指出实现自动控制的过程,并且给出每种典型形式各自的优缺点。</p> <p>1.操作指导控制系统</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p>2.直接数字控制系统 (DDC) , 通过案例讲解。</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p>3.监督控制系统 SCC</p>

	
4.分散型控制系统 DCS	4.分散型控制系统 DCS，通过案例讲解。
5.现场总线控制系统 FCS	5.现场总线控制系统 FCS，通过案例讲解。
6.综合自动化系统	
基本知识点 测试 1.3 工业控制机的组成结构及特点	6.综合自动化系统 (1) 两类行业 计算机集成制造系统(CIMS-Computer Integrated Manufacture System)— 制造业； 计算机集成过程系统（CIPS-Computer Integrated Process System）—流程工业。 (2) 综合自动化系统的整体解决方案： 企业资源信息管理系统ERP (Enterprise Resources Planning)； 生产执行系统MES（Manufacturing Execution System）； 生产过程控制系统PCS (Process Control System) 。 练习题 1.操作指导控制系统的最大优点是_____。 答案：结构简单，控制灵活和安全。 2.SCC系统的最大优点是_____。 答案：可靠性高。 3.综合自动化系统三层结构包括_____、_____、_____。 答案：企业资源信息管理系统（ERP）；生产执行系统（MES）；生产过程控制系统（PCS）； 4.画出 DDC，DCS 和 FCS 三种系统的简要结构。 （提问+点评完成，通过对比方式说明他们的结构和区别） 1.3 工业控制机的组成结构及特点 首先介绍工业控制机，列举图片。

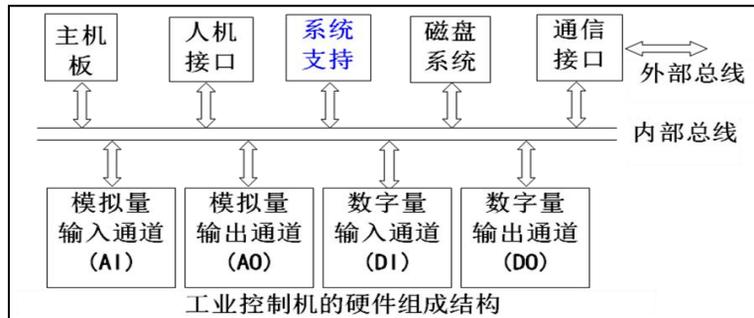
并找同学说明与个人PC间区别。



1.3.1 工业控制机的组成

1.3.1 工业控制机的组成

工业控制机包括硬件和软件两部分。硬件包括主机(CPU、RAM、ROM)板、内部总线和外部总线、人机接口、系统支持板、磁盘系统、通信接口、输入输出通道。



软件是工业控制机的程序系统，它可分为系统软件、支持软件、应用软件三个部分。

(1) 系统软件

实时多任务操作系统、引导程序、调度执行程序，如 Intel 公司的 iRMX86 实时多任务操作系统；Ready System 公司的嵌入式实时多任务操作系统 VRTX/OS；MS-DOS；Windows 等。

(2) 支持软件

汇编语言、高级语言、编译程序、编辑程序、调试程序、诊断程序等。

(3) 应用软件

系统设计人员针对某个生产过程而编制的控制和管理程序。它包括过程输入程序、过程控制程序、过程输出程序、人机接口程序、打印显示程序和公共子程序等。

1.3.2 工业控制机的特点

1.3.2 工业控制机的特点

- (1) 可靠性高和可维修性好。
- (2) 环境适应性强。
- (3) 控制的实时性。
- (4) 完善的输入输出通道。
- (5) 丰富的软件。
- (6) 适当的计算机精度和运算速度。

1.4 计算机控制系统的发展概况和趋势

1.4 计算机控制系统的发展概况和趋势

1.4.1 计算机控制系统的发展概况

1. 计算机技术的发展过程

- (1) 开创时期 (1955~1962 年)

1.4.1 计算机

控制系统的发展概况

- (2) 直接数字控制时期 (1962~1967 年)
- (3) 小型计算机时期 (1967~1972 年)
- (4) 微型计算机时期 (1972 年至今)

2.计算机控制理论的发展过程

- (1) 采样定理
- (2) 差分方程
- (3) Z 变换法
- (4) 状态空间理论
- (5) 最优控制与随机控制
- (6) 代数系统理论
- (7) 系统辨识与自适应控制
- (8) 先进控制技术

1.4.2 计算机控制系统的
应用现状和
发展趋势

1.4.2 计算机控制系统的应用现状和发展趋势

1.推广应用成熟的先进技术

- (1) 普及应用可编程序控制器 (PLC)
- (2) 广泛使用智能调节器
- (3) 采用新型的 DCS 和 FCS

2.大力研究和发​​展先进控制技术

模糊控制技术、神经网络控制技术、专家控制技术、自适应控制技术、预测控制技术、内模控制技术、分层递阶控制技术、鲁棒控制技术、学习控制技术已成为先进控制的重要研究内容。

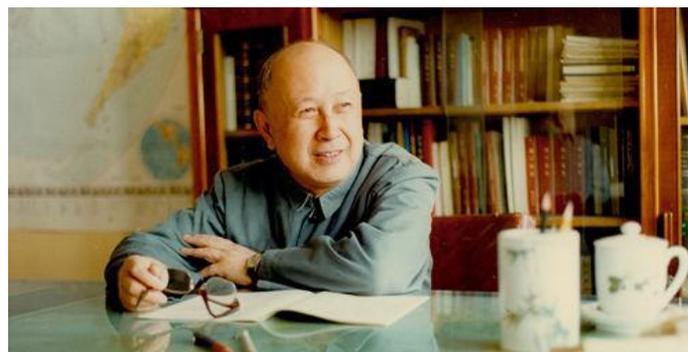
3.计算机控制系统的发展趋势

- (1) 控制系统的网络化 (有线、无线)
- (2) 控制系统的扁平化
- (3) 控制系统的智能化
- (4) 控制系统的综合化

思政讲解

【钱学森：科学家精神】

通过视频介绍控制领域的人物：钱学森。让学生了解我国科学家，了解理想的意义，学习科学家身上的精神。



- 一是学习钱学森先生表现出来的伟大的爱国主义精神。
- 二是钱学森先生表现出来的淡薄名利精神。
- 三是钱学森先生的终生治学精神。

<p>教学内容 (总结、作业)</p>	<p>总结 总结本章所讲内容。本章主要介绍了计算机控制系统概述、计算机控制系统的典型形式、工业控制机的组成结构及特点、计算机控制系统的发展概况和趋势。</p> <p>作业 1.完成线上平台本章基本知识点的测试。 2.完成书后作业。 3.完成线上思政内容阅读。</p>
<p>板书</p>	<p>1.2 典型形式（第 1 课时） 1.操作指导 2.直接数字 DDC 3.监督控制 4.集散控制 DCS 5.现场总线 FCS 6.综合自动化</p> <p>1.3 工业控制机（第 2 课时） 1.组成：硬件+软件 2.总线结构 3.特点 1.4 发展概况和趋势 1.概况：技术、理论 2.趋势：网络、扁平、智能、综合</p>

第 3 次 课程教案 (2.1-2.2)

授课方式: 理论课 实验课 周次: 第 2 周 第 1 次 课程 学时: 2 学时

授课章节	第二章 输入输出接口与过程通道 2.1 工控机的总线技术 2.2 输入输出接口与过程通道设计原理: 数字量输入输出通道
教学目的及要求	1.掌握工控机总线技术的定义、分类及常用总线作用。 2.掌握数字量输入/输出通道的作用及结构。 3.能够根据控制要求, 设计数字量输入和输出通道。
教学重点与难点	教学重点: 1.工控机总线技术的定义、分类及常用总线作用。 2.数字量输入/输出通道的作用及结构。
	教学难点: 根据控制要求, 设计数字量输入和输出通道。
教学方法与手段	1.理论讲授与多媒体演示相结合 2.案例分析法 3.启发式教学方法
教学过程 (新章节导入, 15 分钟左右)	1. (新章节导入) 说明本章节学习内容及学习要求 知识目标: (1) 工控机的总线技术: 掌握定义、分类及常用总线作用。 (2) 输入输出通道: 掌握数字量输入/输出通道和模拟量输入/输出通道的功能、结构及每部分作用。 (3) 基于系统总线的计算机控制系统硬件设计: 掌握基于研华板卡的控制 系统硬件设计方法和。 (4) 基于外部总线的计算机控制系统硬件设计: 掌握基于 RS485 控制系统 硬件设计方法。 能力目标: (1) 根据控制要求, 能够进行控制系统硬件设计。 (2) 利用 Proteus 实现 CPU, 数入/数出, 模入/模出和通信的综合设计。 2. (本节导入) 说明本节课所学内容及学习要求。
教学过程 (新课授 课) 2.1 工控机的 总线技术, 1 学时左右	2.1 工控机的总线技术 2.1.1 总线的定义、层次结构及种类 1.总线定义 计算机各模块之间互联和传送信息 (指令、地址和数据) 的一组信号 线。 2.总线分类 ■ 内部总线: 分为片级总线和系统总线。 ■ 片级总线: 包括数据总线、地址总线、控制总线、I2C 总线、SPI 总线、 SCI 总线等。

- 系统总线：包括 ISA 总线、EISA 总线、VESA 总线、PCI 总线、PCI-E 总线等。
- 外部总线：包括 RS-232C、RS-485、IEEE-488、USB 等总线。

2.1.2 系统总线简介

简要介绍，说明其作用。

2.1.3 串行外部总线简介

1. RS-232

RS-232-C 是美国电子工业协会 EIA (Electronic Industry Association) 制定的一种串行物理接口标准。

- RS 是英文“推荐标准”的缩写，232 为标识号，C 表示修改次数。
- 目前 RS-232 是 PC 机与通信工业中应用最广泛的一种串行接口。被定义为一种在低速率串行通讯中增加通讯距离的单端标准。
- 采取不平衡传输方式，即所谓单端通讯。
- RS-232-C 物理接口连接器一般使用型号为 DB-9 插头座，通常插头在 DCE 端，孔插座在 DTE 端。PC 机的 RS-232 为 9 芯针插座。
- RS-232 传输线采用屏蔽双绞线。
- RS-232-C 电平与 TTL/CMOS 电平不兼容，故两者连接时，必须进行电平转换。

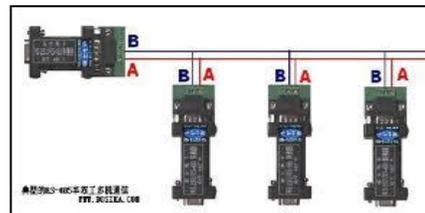
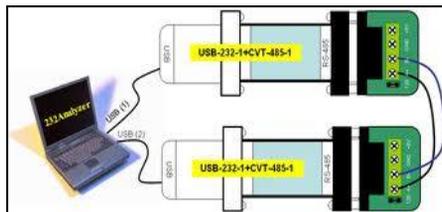


RS232 DB-9 Connector Pin Out

Pin #	Signal Name	Signal Description
1	CD	Carrier Detect
2	RXD	Receive Data
3	TXD	Transmit Data
4	DTR	Data Terminal Ready
5	GND	Signal Ground / Common
6	DSR	Data Set Ready
7	RTS	Request To Send
8	CTS	Clear To Send
9	RI	Ring Indicator

2. RS485 总线

RS-485 是一种多发送器的电路标准，是 RS-422A 改进。其性能指标：最大传输距离可达 1200m，传输速率可达 100kbps(1200m)~10Mbps(12m)。目前在控制系统中得到了广泛的应用。



3. USB 总线

- (1) 具有热插拔功能
- (2) USB 采用“级联”方式连接各个外部设备
- (3) 适用于低速外设连接

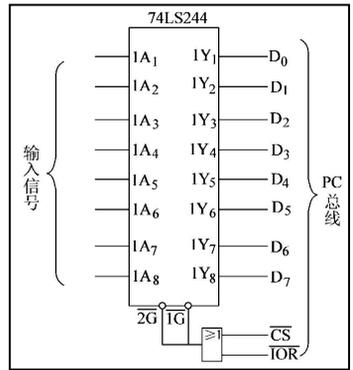
2.2 输入输出接口与过程通道设计原理

通过数字量输入输出通道结构图，掌握设计原理，及电路设计方法。

2.2 输入输出接口与过程通道设计原理
(1 学时左右)

简单分析D/A转换器及其与PC总线工业控制机接口技术，接口电路与工作
时序，以此为基础，设计数字量输入/出通道。

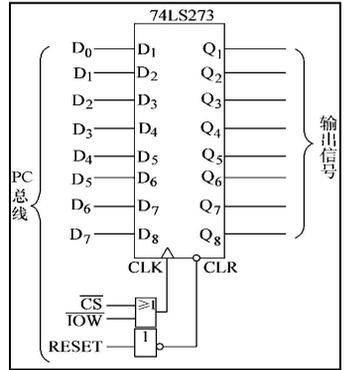
1.数字量输入接口



```
汇编:  MOV DX,220H
        IN  AL,DX
```

```
C语言:  a=inportb(0x220)
```

2.数字量输出接口

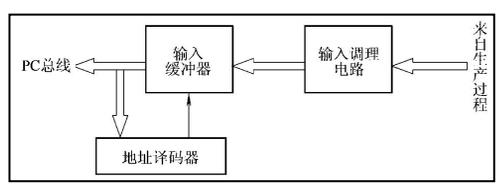


```
MOV AL,8FH
MOV DX,221H
OUT DX,AL
outportb(0x221,0x8f)
```

2.2.1 数字量输入接口与过程通道

2.2.1 数字量输入接口与过程通道

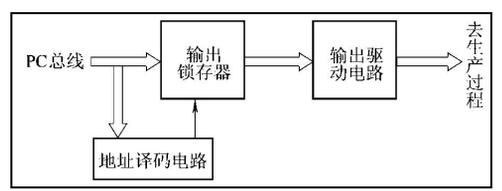
- 1.数字量输入通道结构
先说明作用然后讲解结构
- 2.输入调理电路（简要说明，仅说明作用即可）
 - (1)小功率输入调理电路
 - (2)大功率输入调理电路



2.2.2 数字量输出接口与过程通道

2.2.2 数字量输出接口与过程通道

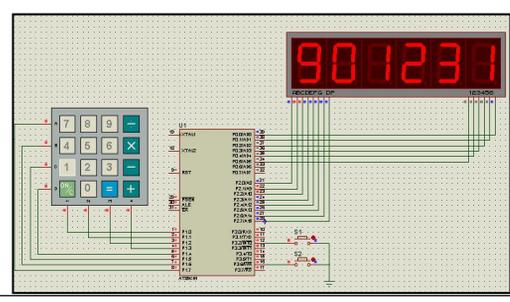
- 1.数字量输出通道的结构
先说明作用然后讲解结构
3. 输出驱动电路
(简要说明，说明作用)
 - (1)小功率直流驱动电路
 - ①功率晶体管输出驱动继电器电路
 - ②达林顿阵列输出驱动继电器电路
 - (2)大功率交流驱动电路



2.2.3 拓展案例

2.2.3拓展案例：按键显示

利用单片机proteus仿真软件演示按键的显示，并进行讲解。



基本知识点
测试

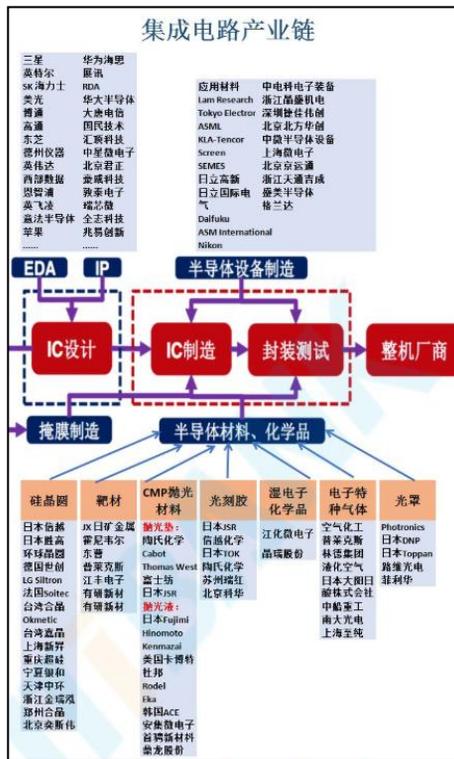
练习题

- 1.计算机与外设交换数据分为_____、_____、_____。
答案：数字量；模拟量；开关量。
- 2.过程通道是在_____和_____之间设置的信息传送和转换的连接通道，它包括_____、_____、_____、_____。
答案：在计算机；生产过程；模拟量输入通道；模拟量输出通道；数字量（开关量）输入通道；数字量（开关量）输出通道
- 3.数字量输入通道主要由_____、_____和_____等组成。
答案：输入缓冲器；输入调理电路；输入地址译码电路
- 4.数字量输出通道主要由_____、_____和_____等组成。
答案：输出锁存器；输出驱动电路；输出地址译码电路

思政讲解

【集成电路：爱国报国】

介绍我国集成电路行业的发展及现有的芯片企业和半导体企业，让学生了解我国这方面的发展，增强爱国意识和学习报国意识。



教学过程
(总结、作
业)

总结

- 总结本节课程所讲内容
- 1.要求掌握总线定义，作用和分类。
 - 2.要求了解系统总线作用及都有哪些。
 - 3.要求了解外部总线作用及都有哪些。其中要求掌握 RS232 和 RS485 特点及区别。
 - 4.要求掌握数字量输入输出接口作用及结构，并可以进行设计。

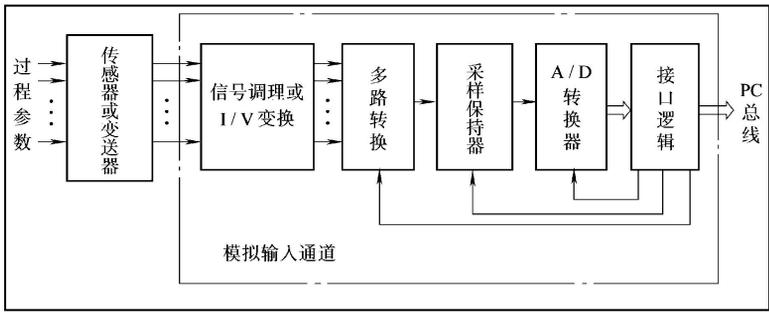
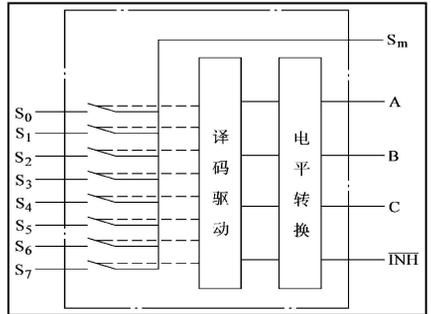
作业

- 1.完成线上平台内容的学习。
- 2.采用 74LS244 和 74LS273 与 PC/ISA 总线工业控制机接口，设计 8 路数字量(开关量) 输入接口和 8 路数字量(开关量)输出接口，请画出接口电路原

	理图，并分别编写数字量输入和数字量输出程序。
板书	2.1 工控机的总线技术（第 1 课时） 1.定义，作用和分类 2.系统总线：PCI 等 3.外部总线：RS232, RS485, USB 等 2.2 输入输出接口与过程通道设计原理（第 2 课时） 1.数字量输入：作用，结构 2.数字量输出：作用，结构

第 4 次 课程教案 (2.2)

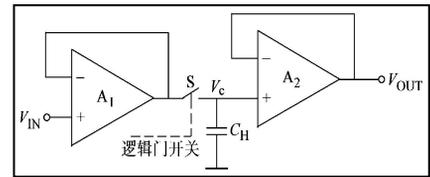
授课方式: 理论课 实验课 周次: 第 2 周 第 2 次 课程 学时: 2 学时

授课章节	2.2 输入输出接口与过程通道设计原理：模拟量输入输出
教学目的及要求	1.掌握模拟量输入/输出通道的功能、作用及每部分结构。 2.能够根据控制要求，设计模拟量输入通道和模拟量输出通道。
教学重点与难点	教学重点：模拟量输入/输出通道的结构及每部分作用。 教学难点：根据控制要求，设计模拟量输入通道和输出通道。
教学方法与手段	1.理论讲授与多媒体演示相结合 2.启发式教学方法 3.案例分析法
教学过程 (复习/导入)	1. (复习提问) 数字量输入/输出通道的作用及其结构。 (采用提问方式) 2. (导入提问) 举例说明哪些是模拟量输入控制系统，哪些是模拟量输出控制系统。 (采用提问和启发式教学方法)
教学过程 (新课授课, 1 学时左右) 2.2.3 模拟量输入接口与过程通道, 1. 模拟量输入通道的作用及组成 2. 信号调理电路 3. 多路转换器	<p>2.2.3 模拟量输入接口与过程通道</p> <p>1.模拟量输入通道的作用及组成</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p>2.信号调理电路</p> <p>主要通过非电量的转换、信号的变换、放大、滤波、线性化、共模抑制及隔离等方法，将非电量和非标准的电信号转换成标准的电信号。</p> <p>(1) 非电信号的检测——不平衡电桥</p> <p>(2) 信号放大电路</p> <p>(2) I/V 变换：无源 I/V 变换、有源 I/V 变换</p> <p>3.多路转换器</p> <p>多路转换器又称多路开关，多路开关是用来切换模拟电压信号的关键元件。常用的多路开关有 CD4051（或 MC14051）、AD7501、LF13508 等。</p> <div style="text-align: center;">  </div>

4. 采样保持器

4. 采样/保持器

- (1) 采样保持作用：采样保持器的作用是保证了 A/D 转换期间输入恒定。
- (2) 采样保持原理
- (3) 常用的采样保持器器件有 LF398、AD582 等。



5. A/D 转换器及其接口技术

5. A/D 转换器及其接口技术

- (1) 8 位 A/D 转换器 ADC0809
 - 此芯片前序课程曾经讲授过，本课程中通过提问+回顾方式完成这个芯片的学习。
- (2) 12 位 A/D 转换器 AD574A
- (3) AD574A/1674 与 PC 总线工业控制机接口

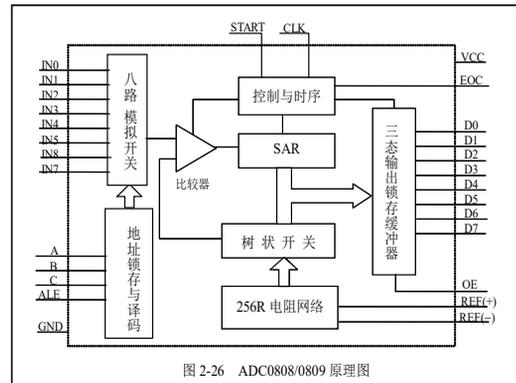
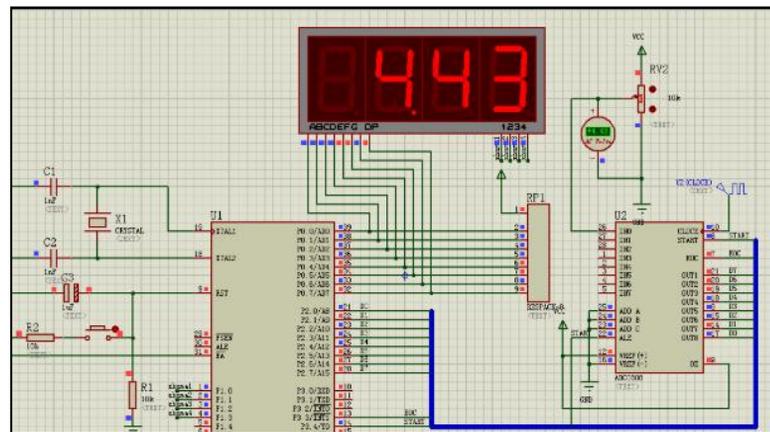


图 2-26 ADC0808/0809 原理图

6. 拓展案例

6. 拓展案例：数字电压

基于 Proteus 和 Keil 单片机仿真软件，讲解数字电压的模拟量输入通道案例。



7. 思政讲解

7. 【合作分工：职业素养】

通过模拟量输入通道的讲解引申说明工作当中要分工合作来完成，养成良好职业素养。

2.2.4 模拟量输出接口与过程通道

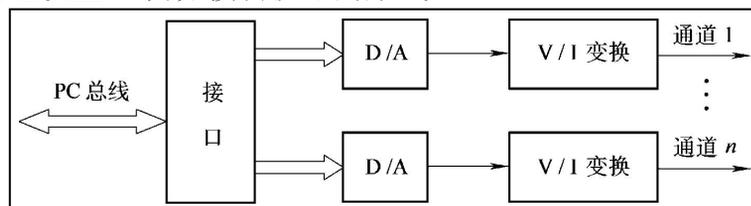
(1 学时左右)

1. 模拟量输出通道的结构型式

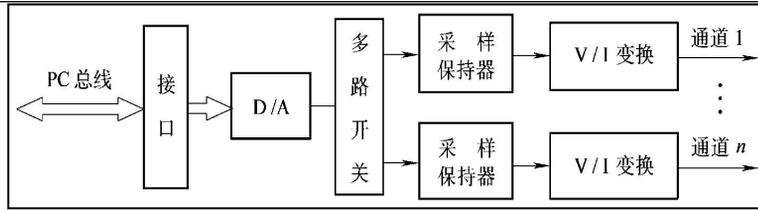
2.2.4 模拟量输出接口与过程通道

1. 模拟量输出通道的结构型式

- (1) 一个通道设置一个数/模转换器的形式



- (2) 多个通道共用一个数/模转换器的形式



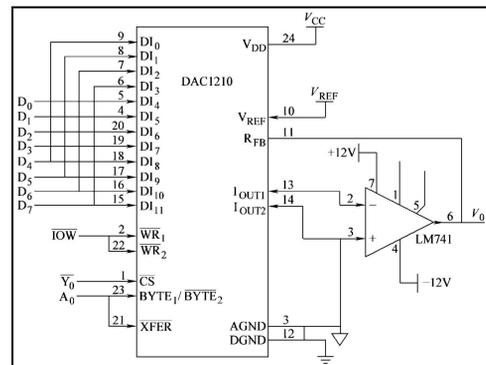
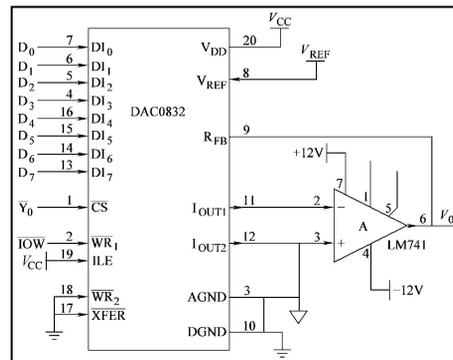
2. D/A 转换器及其接口技术

2. D/A 转换器及其接口技术

(1) 8 位 D/A 转换器接口及编程: DAC0832

此芯片前序课程曾经讲授过，本课程中通过提问+回顾方式完成这个芯片的学习。

(2) 12 位 D/A 转换器接口及编程



3.单极性与双极性电压输出电路

4.V/I 变换

3.单极性与双极性电压输出电路

简单说明，说明作用即可。

4.V/I 变换

简单说明，说明作用即可。

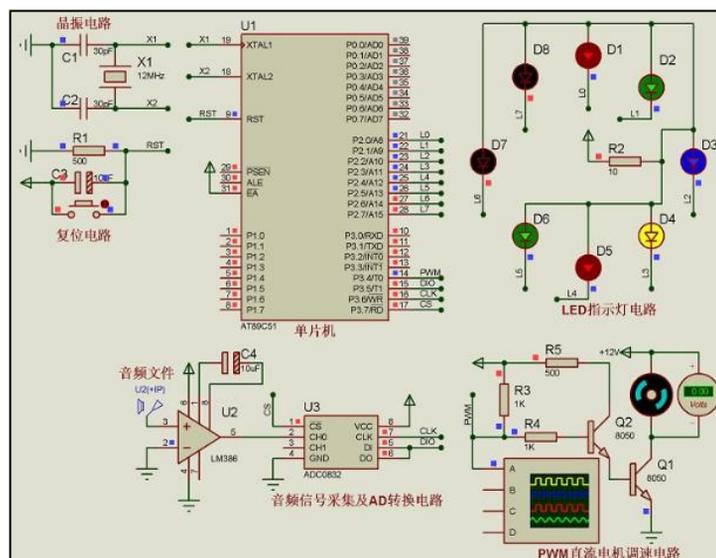
(1) 集成 V/I 转换器 ZF2B20

(2) 集成 V/I 转换器 AD694

5.拓展案例

5.拓展案例：直流电机运转

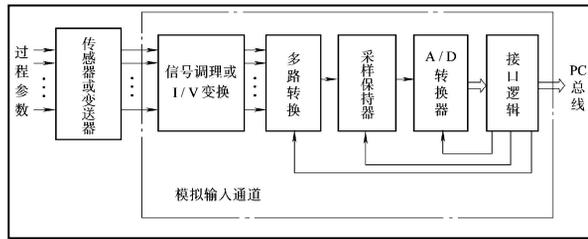
基于 Proteus 和 Keil 单片机仿真软件，讲解驱动直流电机运转的模拟量输出案例。



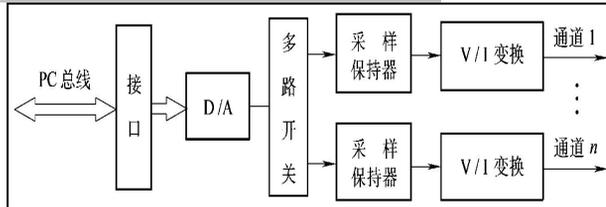
<p>基本知识点 测试</p>	<p>练习题</p> <p>1.模拟量输入通道是由_____、_____、_____、_____、_____组成的。其中用来切换模拟电压信号的关键元件的是_____。 答案：I/V 变换；多路转换器；采样保持器；A/D 转换器；接口及控制逻辑电路；多路转换器</p> <p>2.A/D 转换器的结束信号的作用是_____。 答案：A/D 转换器的结束信号的作用是用以判断本次 A/D 转换是否完成</p> <p>3.把时间连续的信号变成一连串不连续的脉冲时间序列的过程成为_____。采样信号是_____的信号，该信号不能直接进入微型计算机。必须_____经后成为数字信号，才能为微型计算机接受。 答案：采样过程；是时间上离散而幅值上连续；量化</p> <p>4.DAC0832 的工作方式有_____、_____和_____。 答案：直通方式；单缓冲；双缓冲</p> <p>5.采样/保持器有两种工作方式。在采样方式中，采样-保持器的输出_____。在保持状态时，采样-保持器的输出_____。 答案：跟随输入变化；保持不变</p> <p>6.由于计算机只能接收数字量，所以在模拟量输入时需经_____转换。 A. A/D 转换器； B. 双向可控硅； C. D/A 转换器； D. 光电隔离器 答案：A</p> <p>7.若系统欲将一个 D/A 转换器输出的模拟量参数分配至几个执行机构，需要接入_____器件完成控制量的切换工作。 A. 锁存器锁存； B. 多路开关； C. A/D 转换器转换 答案：B</p>
<p>教学过程 (总结、作业)</p>	<p>总结</p> <p>总结本次课程所讲内容</p> <p>1.模拟量输入接口与过程通道：作用、结构图及各部分功能。 2.模拟量输出接口与过程通道：作用、结构图及各部分功能。</p> <p>作业</p> <p>1.用 12 位 A/D 转换器 AD574 与 PC/ISA 总线工业控制机接口，实现模拟量采集。请画出接口电路原理图，并设计出 A/D 转换程序。 2.试用 AD574、LF398、CD4051 和 PC/ISA 总线工业控制机接口，设计出 8 路模拟量采集系统，请画出接口电路原理图，并编写相应的 8 路模拟量数据采集程序。 3.采用 DAC1210 和 PC/ISA 总线工业控制机接口，请画出接口电路原理图，并编写 D/A 转换程序。</p>

板书

2.2.3 模拟量输入接口与过程通道 (第 1 课时)

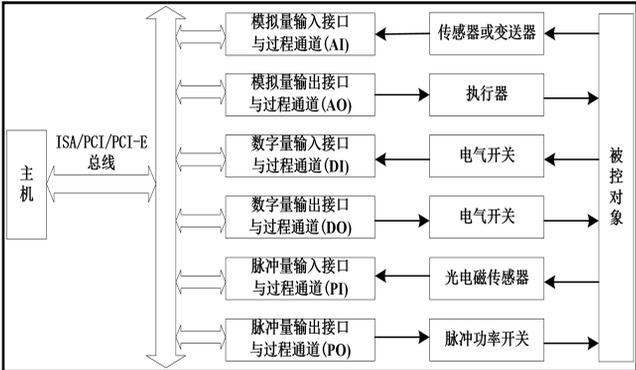


2.2.4 模拟量输出接口与过程通道 (第 2 课时)



第 5 次 课程教案 (2.3-2.4)

授课方式: (√) 理论课 () 实验课 周次: 第 3 周 第 1 次 课程 学时: 2 学时

授课章节	2.3 基于系统总线的计算机控制系统硬件设计 2.4 基于外部总线的计算机控制系统硬件设计
教学目的及要求	1.熟悉研华数字量/模拟量输入输出模板。 2.掌握基于系统总线的计算机控制系统硬件设计方法。 3.了解基于外部总线的硬件设计方案分类及区别,熟悉 RS485 的控制系统硬件设计方法。 4.掌握基于外部总线数据通信方案的设计方法。 5.能够根据给出的控制目标,进行系统的外部总线和系统总线的硬件设计。
教学重点与难点	教学重点: 1.基于研华板卡的硬件方案设计方法。 2.RS485 的控制系统硬件设计方法。 教学难点: 1.掌握基于系统总线数据通信方案的一般设计方法。 2.掌握基于外部总线数据通信方案的一般设计方法。
教学方法与手段	1.理论讲授与多媒体演示相结合 2.案例分析法 3.启发式教学方法 4.微视频
教学过程 (复习/导入)	1.复习系统总线概念并举例。(提问方式) 2.复习外部总线概念,并举例。 3.说明过程通道作用和结构。(提问方式) 4.说明本节课学习内容及学习要求。
教学过程 (新课授课)	<p>2.3 基于系统总线的计算机控制系统硬件技术</p> <p>2.3.1 基于系统总线的硬件设计方案</p> <p>1.基于系统总线的硬件结构图</p>  <p>2.系统总线板卡</p> <p>(1) 数字量输入/输出通道模板: 研华 32 通道隔离型板卡 PCL-730</p> <p>(2) 模拟量输入通道模板: 研华数据采集卡 PCL-813B</p> <p>(3) 模拟量输出通道模板: 研华 D/A 卡 PCL-726</p> <p>说明:</p>

- ❖ 相同点：物理形式相同，板卡；连接方式相同，插接、基本使用方法相同；.....。
- ❖ 不同点：具体作用；指标、参数；具体使用方法，配置；.....。

2.3.2 基于系统总线的硬件

2.3.2 数字量输入/输出通道模板举例

由于下面几个例子涉及的公司都为研华公司所生产的，因此先简要介绍研华企业情况。

1.PCL-730

1.PCL-730

- 作用：提供隔离数字量输入通道和隔离数字量输出通道。
- 应用：隔离保护电压可达到 2500VDC，而且，所有输出通道都提供高电压保护。因此是要求采取高电压隔离工业应用的理想选择。
- 特征参数：
 - 32 通道隔离 DIO(16 道输入，16 道输出)；
 - 32 通道 TTL 电平 DIO(16 道输入，16 道输出)
 - 高输出驱动力；中断能力；
 - 2 个 20 芯隔离数字输入/输出通道连接器；
 - 2 个 20 芯 TTL 数字输入/输出通道连接器；
 - D-型隔离输入输出通道连接器；输出通道高压隔离。

2.PCL-813B

2.PCL-813B

- 作用：12 位 32 路通道单端带光电隔离，把被控对象的模拟量信号（如温度、压力、流量、料位或成分等）转换成计算机可以接收的数字量信号。
- 应用：可以连接变送器和传感器以获取波形。由于它能够对每路模拟量输入提供电压保护，是工业测量和监控的理想解决方案。

3.PCL-726

3.PCL-726

6 路 12 位模拟量输出通道的全长卡。PCL-726 是专门为工业环境设计的，对需要输出多路模拟量或电流环的应用是一项理想，经济的解决方案。除了模拟量输出以外，PCL-726 还提供了 16 位数字量输出和 16 位数字量输入。TTL 兼容的 D/I 和 D/O 端口可以很容易得与我们在工业开/关控制及监测应用中使用的端子板连接。

2.3.3 附加案例

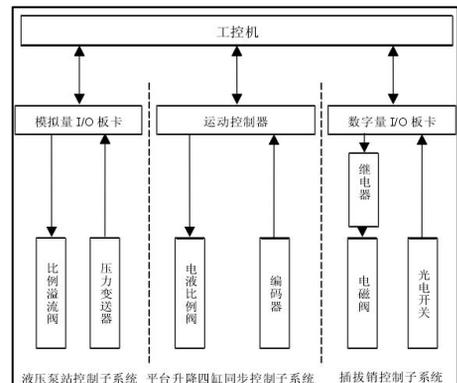
2.3.3 附加案例：矿用液压支架试验台计算机控制系统

步骤 1. 了解项目背景

介绍矿用液压支架试验台：对液压支架进行检修和检测，是整个生产中的重要工作。遵照执行能源部《关于综采液压支架的检测标准》和国家《机械设计标准手册》设计制造支架检测试验装置，经主管部门验收，无论是液压原理，还是承载主体的机械性能等技术指标，均需符合要求。对其进行研究具有重要意义。

步骤 2. 被控对象分析

- (1) 集中/分散：单点设备（不用考虑网络设备）



- (2) 选择控制器：单片机、计算机(工控机)、PLC，智能控制器？
- (3) 考虑因素：负载大小，运算能力、集中控制，模拟量/数字量等。
- (4) 采用方案：计算机或 PLC 集中式控制，功能多、运算能力强，可方便进行信号分析、数据处理、存储、传输以及显示功能。
- (5) 被控量分析：模拟量、数字量、运动系统。计算机或 PLC 均可。
- (6) 进一步选择：工控机还是 PLC?外部设备分析决定控制器为计算机。
- (7) 控制器为计算机：采用板卡式的过程通道。

步骤 3. 设备选型

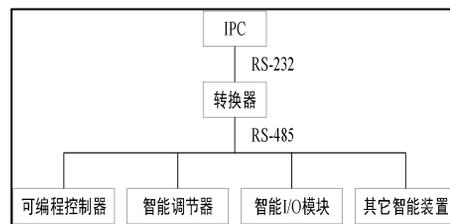
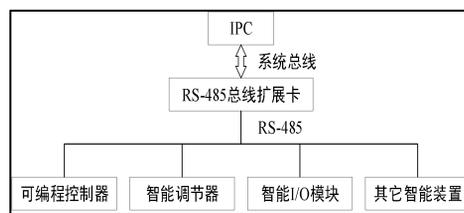
2.4 基于外部总线的计算机控制系统硬件技术
2.4.1 基于外部总线的硬件设计方案

2.4 基于外部总线的计算机控制系统硬件技术

说明本节课学习内容和学习要求。

2.4.1 基于外部总线的硬件设计方案

- 1. 基于 IPC+RS-232/RS-485 转换器的硬件设计方案
- 2. 基于 ISA/PCI/PCI-E 总线 RS-485 卡的硬件设计方案



2.4.2 远程模块

2.4.2 远程模块（简要介绍其作用）

- 1. ADAM-4000 系列模块
- 2. ADAM-5000 系列
- 3. 典型 ADAM-4000 系列 I/O 模块举例

2.4.3 其它测控装置

2.4.3 其它测控装置（简要介绍其作用）

- 1. 智能调节器：
- 2. 可编程序控制器(PLC)
- 3. 运动控制器

2.4.4 附加案例

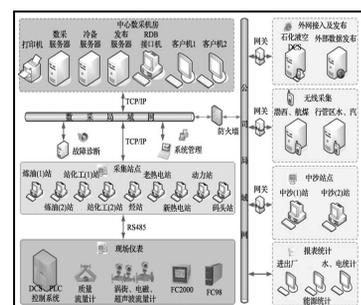
2.4.4 附加案例：计量仪表 RS485 总线及数据采集结构设计

步骤 1. 了解项目背景

计量仪表在企业生产经营优化、计量结算、民用生活等方面发挥至关重要的作用。

设计自动采集系统要为生产经营提供及时准确计量数据。

- 仪表采集点数 3300 余点，分散在区域内不同地理位置。
- 每年管输能源物料如天然气 (3.42 亿)、原油(1202 万)、成品油 (170.96 万)、新鲜水 (101.38 万)、蒸汽 (1033.06 万)、氮氧气 (2.35 亿)。
- 这些数据都需要进行采集录入公司的 SCADA 系统，为公司级管理系统如实时数据库、计量管理信息系统、MES 等提供数据支撑。



步骤 2. 了解各设备情况：分散/接口/采集量等。确定通信方式。

- 物理地点：分散，采用网络通信方式。

	<ul style="list-style-type: none"> ● 地理范围：广域，RS232，RS485，USB，无线。 ● 工作环境：恶劣，RS485。 ● 接口：RS485。 <p>步骤 3. 设计通信结构</p>
教学过程 (总结、作业)	<p>总结</p> <p>总结本节课程所讲内容</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.熟悉研华数字量/模拟量输入输出模板。 2.掌握基于系统总线的计算机控制系统硬件设计方法。 3.了解基于外部总线的硬件设计方案分类及区别，熟悉 RS485 的控制系统硬件设计方法。 4.掌握基于外部总线数据通信方案的设计方法。 5.能够根据给出的控制目标，进行系统的外部总线和系统总线的硬件设计。 <p>作业</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.完成线上平台本章基本知识点的测试。 2.完成线上平台第二章思政内容的学习。 3.阅读线上平台资料，进行控制系统硬件总体设计。 4.拓展作业（选做）。基于单片机，利用 Proteus 实现 CPU，数入/数出，模入/模出和 RS485 的综合设计。
板书	<p>2.3 基于系统总线的计算机控制系统硬件设计（第 1 课时）</p> <p>2.3.1 基于系统总线的硬件设计方案：原理</p> <p>2.3.2 系统总线板卡：AI，AO，DI，DO。研华 具体应用：煤矿</p> <p>2.4 基于外部总线的计算机控制系统硬件设计（第 2 课时）</p> <p>2.4.1 RS485：2 种方案</p> <p>2.4.2 远程 I/O 模块</p> <p>2.4.3 其它 具体应用：水务集团</p>

第 6 次 课程教案 (3.1)

授课方式： 理论课 实验课 周次： 第3周 第2次 课程 学时： 2 学时

授课章节	第3章 数字控制技术 3.1 数字控制基础
教学目的及要求	1.明确掌握数字控制技术的作用，定义和控制方式。 2.熟悉数字控制技术发展过程及应用背景。 3.了解开环数控系统、半闭环数控系统和闭环数控系统的特点，以及数控系统分类。
教学重点与难点	教学重点： 1.数字控制技术的作用。 2.数字控制技术的控制方式。
	教学难点： 1.数字控制技术工作原理。 2.数字控制系统三类系统及其区别。
教学方法与手段	1.理论讲授与多媒体演示相结合 2.微课视频法 3.启发式教学方法
教学过程 (新章节导入)	1.导入 先通过数控视频引入本章学习的作用和意义，同时介绍切割和电机在工业生产中的应用广泛性，让学生了解本章学习的重要性。 2.介绍本章节学习内容和学习要求 (1) 明确掌握数字控制原理和控制方式，熟悉数字控制技术发展过程及应用背景，了解开环数控系统、半闭环数控系统和闭环数控系统的特点，以及数控系统分类。 (2) 掌握直线逐点比较法插补技术及实现方法，并可进行仿真插补。 (3) 掌握圆弧逐点比较法插补技术及实现方法，并可进行仿真插补。 (4) 了解多种电机驱动原理，掌握步进电机驱动原理和技术，并可进行实践应用。 (5) 本章教学重点是数字控制原理、逐点比较法插补原理，电机驱动原理及作用。 (6) 本章教学难点是圆弧逐点比较法插补技术和步进电机驱动原理。
教学过程 (新课授课) 第3章 数字控制技术 3.1 数字控制基础	第3章 数字控制技术 3.1 数字控制基础 ■ 数字控制 (Numerical Control, NC)：生产机械由数字计算机给定数字信号，按规定的工作顺序、运动轨迹、运动速度等规律自动完成工作的控制方式。简单的说数字控制就是利用数字化信号对机床运动及其加工过程进行控制。 广泛应用于如铣床、车床、加工中心、线切割机以及焊接机、气割机等自动控制系统中。 ■ 数控机床：装有数字程序控制系统的机床叫做数控机床。 数控机床具有能加工形状复杂的零件、加工精度高、生产效率高、便于改变加工零件品种等许多特点，它是实现机床自动化的一个重要发展方向。数控技术和数控机床是实现柔性制造 (Flexible Manufacturing, FM)和计算机集成制

造 (Computer Integrated Manufacturing, CIM)的最重要的基础技术之一。

3.1.1 数控技术发展概况

1.定义

3.1.1 数控技术发展概况

1.定义

1952年由MIT牵头开发、目的是实现二维高精度和高效率零件加工、早期用数字逻辑电路控制,计算机发展后,用计算机和程序代替控制装置。出现了计算机数控 (Computer Numerical Control, CNC)。

数控机床的产生:帕森斯公司正式接受委托,与麻省理工学院伺服机构实验室 (Servo Mechanism Laboratory of the Massachusetts Institute of Technology) 合作,于1952年试制成功世界上第一台数控机床试验性样机。1959年,美国克耐·杜列克公司 (Keaney & Trecker) 首次成功开发了加工中心 (Machining Center)。

2.数控技术发展的历史与现状

2.数控技术发展的历史与现状

特征阶段	年代	典型应用	工艺方法	数控功能	驱动特点
研究开发	1952~1969	数控机床、铣床钻、铣床	简单工艺	NC控制	3轴以下步进、液压电机
推广应用	1970~1985	加工中心、电加工、锻压	多种工艺方法	CNC控制,刀具自动交换、五轴联动、较好的人机界面	直流伺服电机
系统化	1982	柔性制造单元(FMU)、柔性制造系统(FMS)	复合设计加工	友好的界面	交流伺服电机
高性能集成化	1990至今	计算机集成制造系统(CIMS)、无人化工厂	复合设计加工	多过程、多任务调度、模块化和复合化、数字智能化	直线驱动

3.数控系统组成

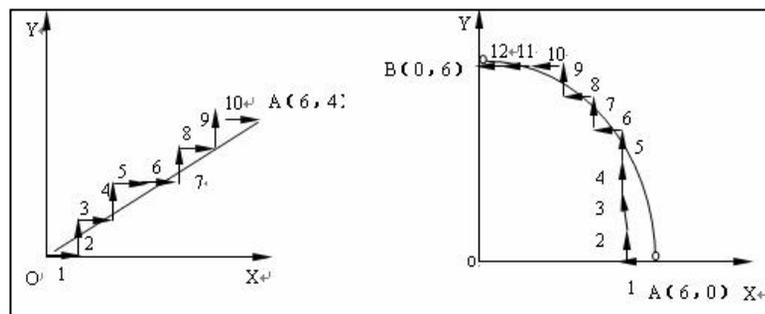
3.数控系统组成

- 数控装置:能接受零件图样加工要求的信息、进行插值运算、并实时向各坐标轴发出速度和运动指令。由输入装置,输出装置,控制器和插补器等四大部分组成。其中,控制器和插补器功能以及部分输入输出功能由计算机承担。
- 驱动装置:快速响应跟踪指令信号。
- 检测装置:实际检查坐标值,反馈给调节装置,及时纠正运动偏差。

3.1.2 数字控制原理

3.1.2 数字控制原理

从理论上讲,插补的形式可用任意函数形式,但为了简化插补运算过程和加快插补速度,常用的是直线插补和二次曲线插补两种形式。



直线插补是指在给定的两个基点之间用一条近似直线来逼近,也就是由此定出中间点连接起来的折线近似于一条直线。直线插补法常用的有:逐点比较法、数字积分法 (DDA)、数字脉冲乘法器等。逐点比较法使用最广。



3.1.3 数字控制方式

1. 点位控制

3.1.3 数字控制方式

1. 点位控制

点位控制系统中，要求刀具行程终点的坐标值，移动过程中不做加工。到了终点坐标后才开始加工。

如钻床、镗床和冲床等孔加工业务。

2. 直线控制

2. 直线控制

也是控制行程的终点坐标值。不过还要求刀具相对于某一坐标值作直线运动，同时在运动过程中已经进行切削加工。

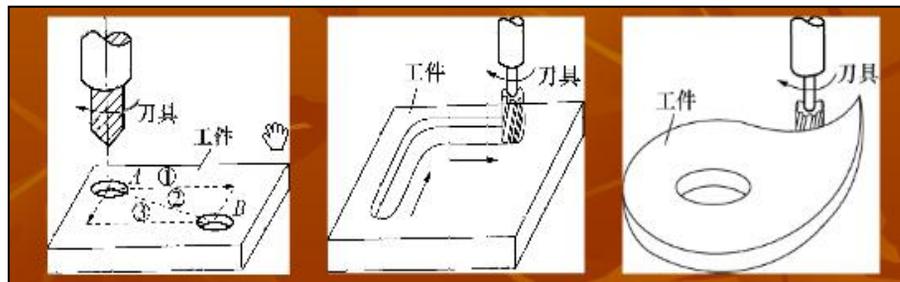
如铣床、车床和磨床等。

3. 轮廓控制

3. 轮廓控制

要控制刀具沿工件轮廓曲线不断运动，并在运动过程中将工件加工成某一种形状。需要根据插补器计算结果修订运动方向，距离和速度等。

如铣床、车床、切割机等等。



3.1.4 数字控制系统

1. 开环数字控制

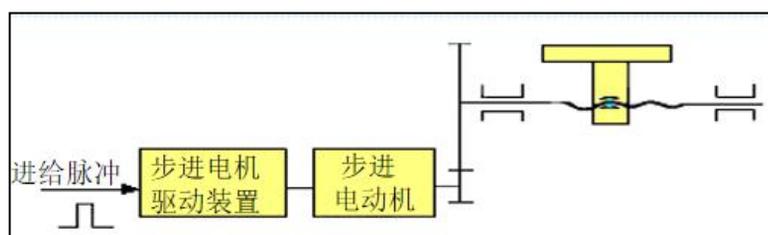
3.1.4 数字控制系统

1. 开环数字控制

特征：没有反馈检测元件，工作台由步进电机驱动。



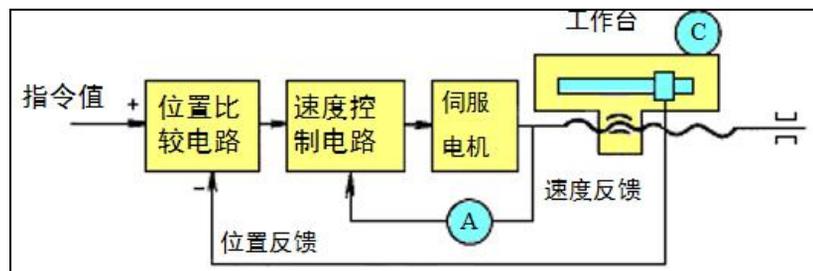
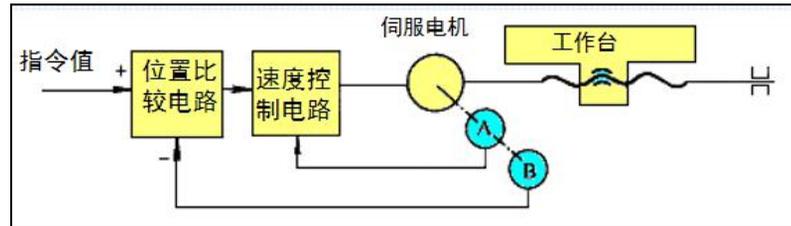
步进电机接收步进电机驱动电路发来的指令脉冲作相应的旋转，把刀具移动到与指令脉冲相当的位置，至于刀具是否到达了指令脉冲规定的位置，那是受任何检查的，因此这种控制的可靠性和精度基本上由步进电机和传动装置来决定。



2. 闭环数字控制

2. 闭环数字控制

这种结构的执行机构多采用直流电机（小惯量伺服电机和宽调速力矩电机）作为驱动元件，反馈测量元件采用光电编码器（码盘）、光栅、感应同步器等，该控制方式主要用于大型精密加工机床，但其结构复杂，难于调整和维护，一些常规的数控系统很少采用。



3.1.5 数控系统的分类

3.1.5 数控系统的分类

1. 传统数控系统

1. 传统数控系统

又叫硬件式数控，零件程序的输入、运算、插补及控制均由硬件来完成，这是一种封闭体系结构。功能简单，柔性适应性差。

2. 开放式数控系统

2. 开放式数控系统

(1) PC IN NC 结构式数控系统

把 PC 和 NC 联系在仪器，既有原数控系统工作可靠，比原系统开放灵活，人机界面灵活，方便使用。

(2) NC IN PC 结构式数控系统

运动控制卡插入 PC，就可以构成一套可单独使用的数控系统。具有可靠、功能强大、性能好的特定，获得广泛使用。

3. 网络化数控系统

3. 网络化数控系统

此系统是数控技术发展的新亮点。数控机床走向网络化、集成化，信息技术应用提高了生产规模和加工效率。目前数控的网络化采用以太网和现场总线（有线和无线），现代化生产模式发展迅速。



<p>基本知识点 测试</p>	<p>练习题</p> <p>1.所谓数字控制，就是生产机械（如各种加工机床）根据_____，按规定的_____、_____、_____等规律自动地完成工作的控制方式。 答案：数字计算机输出的数字信号，工作顺序，运动轨迹，运动距离，运动速度</p> <p>2.数字程序控制系统一般由_____、_____、_____、_____等4部分组成。 答案：输入装置，输出装置，控制器，插补器</p> <p>3.数控系统是_____系统，它包括_____、_____两部分 答案：采用数字电子技术和计算机技术，对生产机械进行自动控制的；顺序控制和数字程序控制</p> <p>4.顺序控制是以_____为依据，按预先_____完成工作的自动控制。 答案：预先规定好的时间或条件；规定好的动作次序顺序地</p> <p>5.数字程序控制就是计算机根据_____，控制生产机械（如各种机床）按_____、_____、_____等规律自动地完成工作的自动控制。 答案：输入的指令和数据；规定的工作顺序、运动轨迹、运动距离、运动速度</p> <p>6.数字程序控制系统一般由输入装置、输出装置、控制器、_____等4部分组成。 A、反馈装置；B、驱动器；C、插补器；D、测量装置 答案：C</p> <p>7.下列不属于数字控制方式的是（_____） A、点位控制；B、直线控制；C、网格控制 D、轮廓控制 答案：C</p> <p>8.下面不属于闭环数字控制的结构特点的是_____。 A、以步进电机作为驱动元件；B、精度高，结构复杂 C、以宽调速力矩电机为驱动元件；D、具有反馈测量元件 答案：A</p> <p>9.下面不属于数字控制系统的结构是_____。 A、开环数字控制；B、闭环数字控制； C、开放式数字控制；D、半闭环数字控制 答案：C</p>
<p>教学过程 (总结、作业)</p>	<p>总结</p> <p>总结本节课程所讲内容</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.明确掌握数字控制原理和控制方式。 2.熟悉数字控制技术发展过程及应用背景。 3.了解开环数控系统、半闭环数控系统和闭环数控系统的特点，以及数控系统分类。 <p>作业</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.完成本章线上平台思政内容的学习。 2.阅读线上平台数控方面的材料，以加深本节课程所学知识。
<p>板书</p>	<p>第3章数字控制技术（第1课时）</p> <p>3.1 数字控制基础 定义、应用、数控机床</p>

3.1.1 数控技术发展概况

定义、历史、组成

3.1.2 数字控制原理（第 2 课时）

直线插补

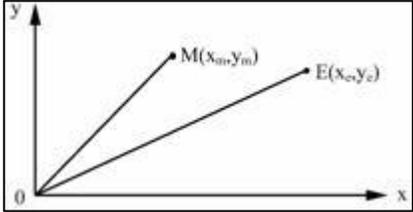
3.1.3 数字控制方式：点、直线、弧

3.1.4 数字控制系统：开、半开、闭

3.1.5 数控系统的分类：传统、开放、网络

第 7 次 课程教案 (3.2)

授课方式: (√) 理论课 () 实验课 周次: 第 4 周 第 1 次 课程 学时: 2 学时

授课章节	3.2 运动轨迹插补原理 3.2.1 逐点比较法的直线插补
教学目的及要求	掌握直线逐点比较法插补技术及实现方法, 并可进行实践应用。
教学重点与难点	教学重点: 直线逐点比较法插补技术第一象限实现方法。 教学难点: 直线逐点比较法插补技术第二三四象限实现方法
教学方法与手段	1.理论讲授与多媒体演示相结合 2.案例分析法 3.启发式教学方法
教学过程 (复习/导入, 10 分钟左右)	1.什么是数字控制技术, 其应用领域有哪些, 请举例。(复习内容, 提问学生) 2.设想做一个方形铁块应该怎样加工。(启发+讨论) 3.说明本节课课程学习内容和学习要求。
教学过程 (新课授课) 1. 直线插补运算原理	<p>1. 直线插补运算原理</p> <p>(1) 偏差及其计算公式</p> <p>设给定加工直线 OE 位于第一象限, 如图 3.3 所示。直线的起点为坐标原点 O(0, 0), 直线终点在 E(X_e, Y_e)点, 直线的斜率为</p> $K_e = \frac{y_e}{x_e}$ <p>当某一时刻加工点到达 M(X_m, Y_m)点时, 则直线 OM 的斜率为</p> $K_m = \frac{y_m}{x_m}$ <p>点 M 偏离给定直线 OE 的情况可用 OM 与 OE 的斜率之差来表示, 即</p> $F = \frac{y_m x_e - y_e x_m}{x_m x_e}$ <div style="text-align: center;">  </div> <p>图 3.3 第一象限直线示意图</p> <p>当 F=0 时, M 点在直线 OE 上; 当 F>0 时, M 点在直线 OE 上方; 当 F<0 时, M 点在直线 OE 下方。 偏差可表示为</p> $F_m = y_m x_e - y_e x_m$ <p>根据 F_m 的符号就可以判别 M 点的偏离方向。在采用逐点比较法的加工过程中, 每一步的进给方向都是沿平行于坐标轴的方向逼近给定曲线的,</p>

再根据 F_m 的符号来决定下一步的进给方向。

对于第一象限的直线 OE，起始点为坐标原点 $O(0, 0)$ ，那么当 $F_m=0$ 时，M 点在直线 OE 上，此时规定沿 +x 轴方向进给一步；当 $F_m>0$ 时，M 点在直线 OE 的上方，沿 +x 轴方向进给一步；当 $F_m<0$ 时，M 点在直线 OE 的下方，沿 +y 轴方向进给一步。

为了便于编程，我们将偏差计算式进一步简化，以得到偏差计算的递推公式。

对于第一象限的直线，若加工到 M 点时， $F_m \geq 0$ ，则向 +x 轴方向进给一步，新加工点的坐标为 (x_{m+1}, y_{m+1}) ，它与 M 点的坐标关系是

$$x_{m+1} = x_m + 1$$

$$y_{m+1} = y_m$$

则偏差为

$$F_{m+1} = y_m x_e - y_e x_m - y_e = F_m - y_e$$

若加工到 M 点时 $F_m < 0$ 时，则向 +y 轴方向进给一步，新加工点坐标 (x_{m+1}, y_{m+1}) 与 M 点的坐标关系是

$$x_{m+1} = x_m$$

$$y_{m+1} = y_m + 1$$

因而新加工点的偏差为

$$F_{m+1} = y_m x_e - y_e x_m + x_e = F_m + x_e$$

(2) 终点判别

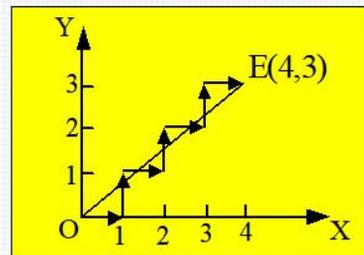
设一个总步数计数器 N_{xy} ，对 x 坐标方向和 y 坐标方向的总步数进行计数。

2. 直线插补计算举例
例题，让学生先做，然后老师讲解。

2. 直线插补计算举例

【例题 1】设加工第一象限直线 OE，起点为 $(0, 0)$ ，终点坐标为 $(6, 3)$ 试进行插补计算，并作出走步轨迹图。

序号	偏差判别	进给	偏差计算	终点判别
0			$F_0=0$	$\Sigma=7$
1	$F_0=0$	+X	$F_1=F_0-Y_e=0-3=-3$	$\Sigma=6$
2	$F_1<0$	+Y	$F_2=F_1+X_e=-3+4=1$	$\Sigma=5$
3	$F_2>0$	+X	$F_3=F_2-Y_e=1-3=-2$	$\Sigma=4$
4	$F_3<0$	+Y	$F_4=F_3+X_e=-2+4=2$	$\Sigma=3$
5	$F_4>0$	+X	$F_5=F_4-Y_e=2-3=-1$	$\Sigma=2$
6	$F_5<0$	+Y	$F_6=F_5+X_e=-1+4=3$	$\Sigma=1$
7	$F_6>0$	+X	$F_7=F_6-Y_e=3-3=0$	$\Sigma=0$

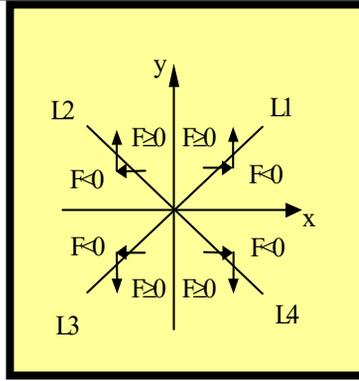


3. 四象限直线插补

3. 四象限直线插补

根据第一象限的插补原理及偏差计算式的推导过程，可得出其他三个象限的进给方向及偏差计算式。（见书）

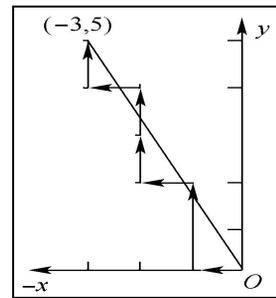
- 不同象限的直线，插补共用一套插补计算公式。
- 不同象限的直线，进给方向不同。
- 在偏差计算中只要将 X_e 、 Y_e 取绝对值。



例题 2, 让学生先做, 然后老师讲解。

【例题 2】试用逐点比较法插补第二象限直线 OA, 起点 O 在坐标原点, 终点坐标(-3,5), 写出插补运算过程, 并画出插补轨迹。

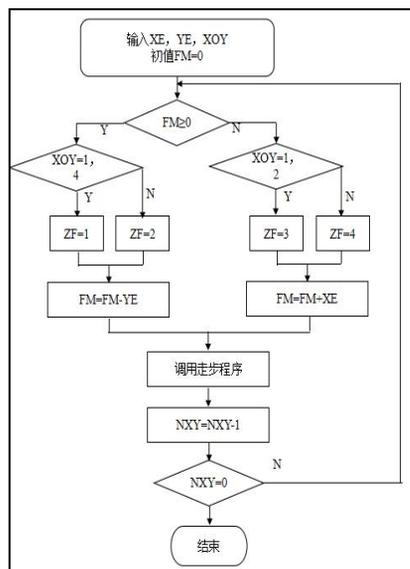
序号	偏差判别	坐标进给	偏差计算	终点判别
1	$F_0=0$	$-X$	$F_1=F_0-Y_0=0-5=-5$	$\Sigma=\Sigma_{-1}=8-1=7$
2	$F_1=-5<0$	$+Y$	$F_2=F_1+X_0=-5+3=-2$	$\Sigma=\Sigma_{-1}=7-1=6$
3	$F_2=-2<0$	$+Y$	$F_3=F_2+X_0=-2+3=1$	$\Sigma=\Sigma_{-1}=6-1=5$
4	$F_3=1>0$	$-X$	$F_4=F_3-Y_0=1-5=-4$	$\Sigma=\Sigma_{-1}=5-1=4$
5	$F_4=-4<0$	$+Y$	$F_5=F_4+X_0=-4+3=-1$	$\Sigma=\Sigma_{-1}=4-1=3$
6	$F_5=-1<0$	$+Y$	$F_6=F_5+X_0=-1+3=2$	$\Sigma=\Sigma_{-1}=3-1=2$
7	$F_6=2>0$	$-X$	$F_7=F_6-Y_0=2-5=-3$	$\Sigma=\Sigma_{-1}=2-1=1$
8	$F_7=-3<0$	$+Y$	$F_8=F_7+X_0=-3+3=0$	$\Sigma=\Sigma_{-1}=1-1=0$



4. 直线插补程序设计步骤

4. 直线插补程序设计步骤

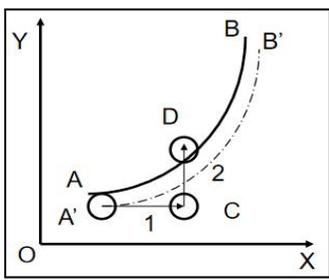
- (1)偏差判别: 即判别上一次进给后的偏差值 F_m 是最大于等于零, 还是小于零;
- (2)坐标进给: 即根据偏差判断的结果决定进给方向, 并在该方向上进给一步;
- (3)偏差计算: 即计算进给后的新偏差值 F_{m+1} , 作为下一步偏差判别的依据;
- (4)终点判别: 即若已到达终点, 则停止插补; 若未到达终点, 则重复上述步骤。



<p>教学过程 (总结、作业)</p>	<p>总结 总结本节课程所讲内容</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 第一象限内的直线插补：第一象限直线插补步骤。 2. 4 个象限内的直线插补：4 个象限的直线插补步骤。 3. 直线插补的实现：计算题，编程题。 <p>作业</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 若加工第一象限直线 OA，起点 O(0, 0)，终点 A(11, 7)。要求 (1)按逐点比较法插补进行列表计算； (2)作出走步轨迹图，并标明进给方向和步数。 2. 试用 Matlab 编写直线插补程序。
<p>板书</p>	<p>3.2.1 逐点比较法的直线插补（第 1 课时）</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 第一象限内的直线插补 <ul style="list-style-type: none"> ■ 偏差判别 ■ 坐标进给 ■ 偏差计算 ■ 终点判断 2. 举例 <p>3. 二、三、四象限，插补步骤（第 2 课时）</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 偏差判别 ■ 坐标进给 ■ 偏差计算 ■ 终点判断 <p>但注意计算题的符号问题</p> <ol style="list-style-type: none"> 4. 直线插补的实现：编程思路

第 8 次 课程教案 (3.2)

授课方式: 理论课 实验课 周次: 第 4 周 第 2 次 课程 学时: 2 学时

授课章节	3.2 运动轨迹插补原理 3.2.2 逐点比较法的圆弧插补
教学目的及要求	掌握圆弧逐点比较法插补技术及实现方法, 并可进行实践应用。
教学重点与难点	教学重点: 圆弧逐点比较法插补技术第一象限实现方法。 教学难点: 圆弧逐点比较法插补技术第二三四象限实现方法。
教学方法与手段	1. 理论讲授与多媒体演示相结合 2. 案例分析法 3. 启发式教学方法
教学过程 (复习/导入, 15 分钟左右)	<p>1. 直线逐点比较法计算过程是哪四步骤, 其他象限又有什么相同和不同。 (复习内容, 提问学生)</p> <p>(1) 直线插补计算, 每走一步都要进行四步插补计算过程, 即 _____、_____、_____、_____。 答案: 偏差判别、坐标进给、偏差计算、终点判断。</p> <p>(2) 四象限直线插补计算时, $Fm \geq 0$ 时, 下一步的偏差计算公式为 _____: _____。 答案: $Fm + Xe$</p> <p>(3) 第三象限直线插补, 当偏差 $Fm > 0$ 时, 下一步的进给方向为 _____。 A、+x; B、-x; C、+y; D、-y 答案: B</p> <p>(4) 以下不属于直线插补计算的步骤是 _____。 A、偏差判别; B、坐标进给; C、偏差计算; D、坐标计算 答案: D</p> <p>(5) 第四象限直线插补, 当偏差 $Fm < 0$ 时, 下一步的进给方向为 _____。 A、+x; B、-x; C、-y; D、+y 答案: C</p> <p>2. 设想做一个螺丝应该怎样加工。(启发+讨论)</p> <p>3. 说明本节课课程学习内容及学习要求。</p>
教学过程 (新课授课)	<p>在圆弧加工中, 圆弧的圆心是坐标的原点。根据圆弧的形成方向和它在坐标中的位置, 可将圆弧曲线分成顺向四个象限和逆向四个象限八种情况。SR1、SR2、SR3 和 SR4 分别表示第 1、2、3、4 象限的顺圆弧; NR1、NR2、NR3 和 NE4 分别表示第 1、2、3、4 象限的逆圆弧。下面以加工 SR1 为例, 讨论其插补计算原理。</p> <div style="text-align: right; margin-top: 10px;">  </div>

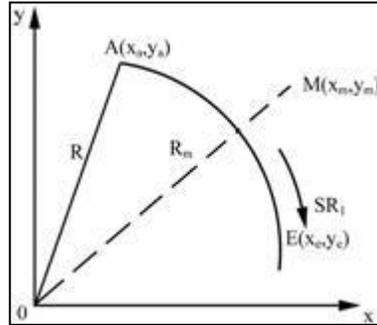
1.第1象限圆弧插补计算原理

1. 第1象限圆弧插补计算原理

(1)偏差及其计算公式

设加工如图 3.4 所示的第一象限顺向圆弧 SR1。圆心是坐标的原点，圆弧起点为 A(xa,ya)，终点为 E(xe,ye)，半径为 R，则有

$$x_a^2 + y_a^2 = R^2$$



第一象限顺圆弧示意图

偏差判别式为

$$F_m = x_m^2 + y_m^2 - R^2$$

若 $F_m=0$ ，则表明加工点 M 在圆弧上； $F_m>0$ ，表明加工点在圆弧外； $F_m<0$ ，表明加工点在圆弧内。

为了使新的加工点逼近给定圆弧，对于 SR1，进给方向应为：当 $F_m \geq 0$ 时，应向 -y 轴方向进给一步；当 $F_m < 0$ 时，应向 +x 方向进给一步。

仿照直线插补的做法，导出圆弧偏差计算的递推公式。

若 $F_m \geq 0$ ，则应沿 -y 轴方向走一步，新加工点的偏差为：

$$F_{m+1} = F_m - 2y_m + 1$$

若 $F_m < 0$ ，则应沿 +x 轴走一步，新加工点的偏差为

$$F_{m+1} = F_m + 2x_m + 1$$

(2)终点判别

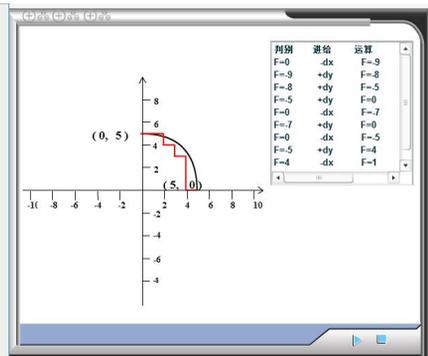
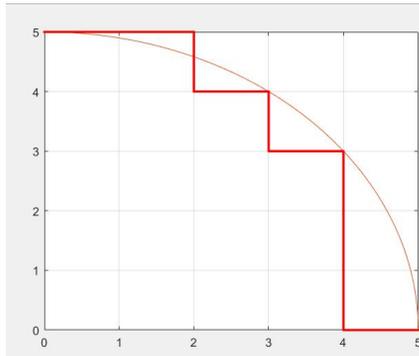
圆弧加工时，终点判别的方法与直线加工时相同，可采用前面讲述过的直线插补终点判别方法之一。

2. 第一象限圆弧插补计算举例

例题 1，让学生先做，然后老师讲解。

2. 第一象限圆弧插补计算举例

【例题 1】设加工第一象限的圆弧，圆弧起点为 A(0, 5)，终点为 E(5, 0)，试进行插补计算并作出走步轨迹图。

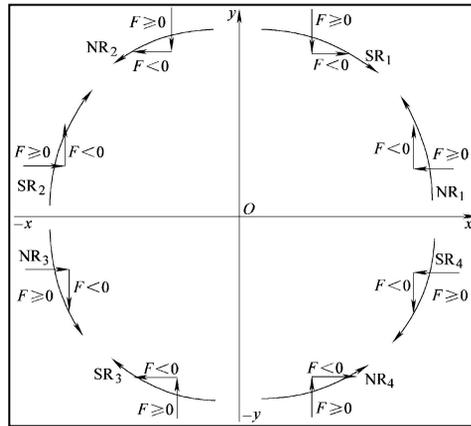


3. 四象限圆弧插补计算

3. 四象限圆弧插补计算

用与推导第一象限顺圆弧插补公式相同的方法很容易推导出其余七种

类型的圆弧插补计算公式。（见书）



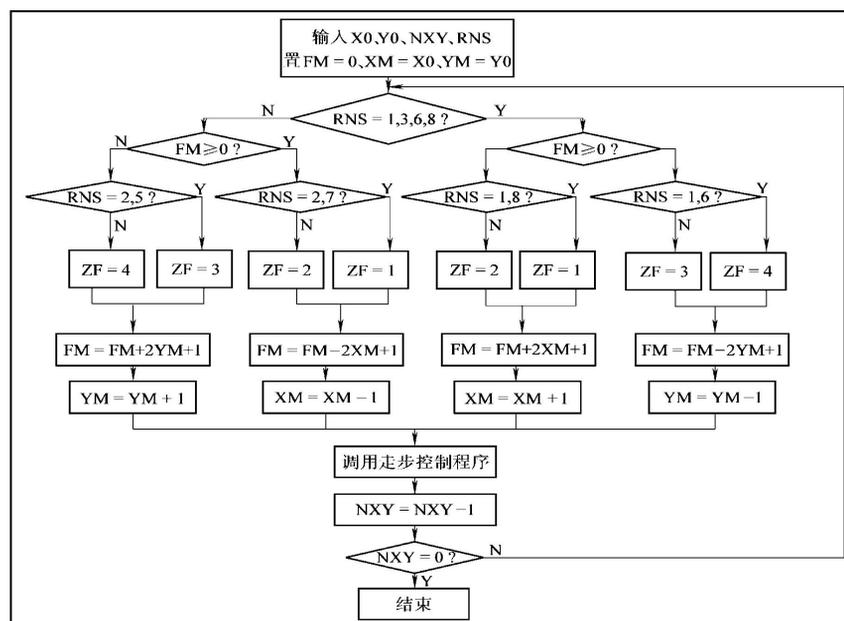
偏差	圆弧种类	进给方向	偏差计算	坐标计算
$F_m \geq 0$	SR_1, NR_2	$-y$	$F_{m+1} = F_m - 2y_m + 1$	$x_{m+1} = x_m$
	SR_3, NR_4	$+y$		$y_{m+1} = y_m - 1$
	NR_1, SR_4	$-x$	$F_{m+1} = F_m - 2x_m + 1$	$x_{m+1} = x_m - 1$
	NR_3, SR_2	$+x$		$y_{m+1} = y_m$
$F_m < 0$	SR_1, NR_4	$+x$	$F_{m+1} = F_m + 2x_m + 1$	$x_{m+1} = x_m + 1$
	SR_3, NR_2	$-x$		$y_{m+1} = y_m$
	NR_1, SR_2	$+y$	$F_{m+1} = F_m + 2y_m + 1$	$x_{m+1} = x_m$
	NR_3, SR_4	$-y$		$y_{m+1} = y_m + 1$

练习题, 让学生先做, 然后老师讲解。

【练习题】设加工第三象限圆弧 AB, 已知起点的坐标为 A(-4,0), 终点的坐标为 B(-4,-4), 试进行插补计算并作出走步轨迹图。

4. 圆弧插补程序编写

4. 圆弧插补程序编写



<p>教学过程 (总结、作业)</p>	<p>总结 总结本节课程所讲内容</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 第一象限内的圆弧插补：第一象限圆弧插补步骤。 2. 4 个象限内的圆弧插补：4 个象限的圆弧插补步骤。 3. 圆弧插补的实现：计算题，编程题。 <p>作业</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 设加工第一象限逆圆弧 AB，起点 A(6, 0)，终点 B(0, 6)。要求： (1)按逐点比较法插补进行列表计算； (2)作出走步轨迹图，并标明进给方向和步数。 2. 试用 Matlab 编写圆弧插补程序。
<p>板书</p>	<p>3.2.2 逐点比较法的圆弧插补（第 1 课时）</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 第一象限内的圆弧插补 <ul style="list-style-type: none"> ■ 偏差判别 ■ 坐标进给 ■ 偏差计算 ■ 坐标计算 ■ 终点判断 2. 举例 <p>3. 二、三、四象限，插补步骤（第 2 课时）</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 偏差判别 ■ 坐标进给 ■ 偏差计算 ■ 坐标计算 ■ 终点判断 <p>但注意计算题的符号问题</p> <ol style="list-style-type: none"> 4. 圆弧插补的实现：编程思路

第 9 次 课程教案 (3.3)

授课方式: (√) 理论课 () 实验课 周次: 第 5 周 第 1 次 课程 学时: 2 学时

授课章节	3.3 电机驱动与位置伺服系统 3.3.1 电机驱动控制方式 3.3.2 位置伺服系统																																								
教学目的及要求	掌握步进电机工作原理和位置伺服电机工作原理,能够基于控制要求对步进电机进行控制。																																								
教学重点与难点	<p>教学重点:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 步进电机工作原理 2. 位置伺服电机工作原理 <p>教学难点: 步进电机计算机控制方式</p>																																								
教学方法与手段	<ol style="list-style-type: none"> 1. 理论讲授与多媒体演示相结合 2. 启发式教学方法 3. 微课教学 																																								
<p>教学过程 (复习 / 导入)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 导入提问: 控制系统结构, 即包括哪几个部分, 每个部分的总体作用是什么? 提问 3 个学生, 然后老师对学生的回答进行点评。 2. 利用 PPT, 图片和视频说明电机应用的广泛性, 从而激发学生对本节内容的学习热情。 <div data-bbox="545 1041 1219 1294" data-label="Image"> </div> <p>思政讲解, 说明我国电机行业的先进性, 如火箭, 高铁等方面都有应用, 从而增强学生爱国报国意识。</p> <table border="1" data-bbox="519 1451 1276 1668"> <thead> <tr> <th rowspan="2">单位: 万千瓦</th> <th rowspan="2">交流发电机</th> <th colspan="4">交流电动机</th> <th rowspan="2">直流电机</th> <th rowspan="2">其他</th> <th rowspan="2">合计</th> </tr> <tr> <th>中小型</th> <th>小型</th> <th>小型绕线</th> <th>其他交流</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2010 年产量</td> <td>1,500</td> <td>2,500</td> <td>7,500</td> <td>350</td> <td>1,300</td> <td>300</td> <td>2,470</td> <td>15,920</td> </tr> <tr> <td>2020 年产量</td> <td>2,500</td> <td>4,000</td> <td>11,500</td> <td>500</td> <td>1,880</td> <td>450</td> <td>5,090</td> <td>25,920</td> </tr> <tr> <td>增幅 (%)</td> <td>66.67</td> <td>60.00</td> <td>53.33</td> <td>42.86</td> <td>44.62</td> <td>50.00</td> <td>106.07</td> <td>62.81</td> </tr> </tbody> </table> <div data-bbox="412 1720 820 2002" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="969 1713 1342 1995" data-label="Image"> </div>	单位: 万千瓦	交流发电机	交流电动机				直流电机	其他	合计	中小型	小型	小型绕线	其他交流	2010 年产量	1,500	2,500	7,500	350	1,300	300	2,470	15,920	2020 年产量	2,500	4,000	11,500	500	1,880	450	5,090	25,920	增幅 (%)	66.67	60.00	53.33	42.86	44.62	50.00	106.07	62.81
单位: 万千瓦	交流发电机			交流电动机							直流电机	其他	合计																												
		中小型	小型	小型绕线	其他交流																																				
2010 年产量	1,500	2,500	7,500	350	1,300	300	2,470	15,920																																	
2020 年产量	2,500	4,000	11,500	500	1,880	450	5,090	25,920																																	
增幅 (%)	66.67	60.00	53.33	42.86	44.62	50.00	106.07	62.81																																	

教学过程
(新课授课)

3.3 电机驱动控制与位置伺服系统

3.3.1 步进电机驱动控制

1. 步进电机定义

2. 步进电机结构

3. 步进电机工作原理

4. 步进电机控制方式

3.3 电机驱动控制与位置伺服系统

3.3.1 步进电机驱动控制

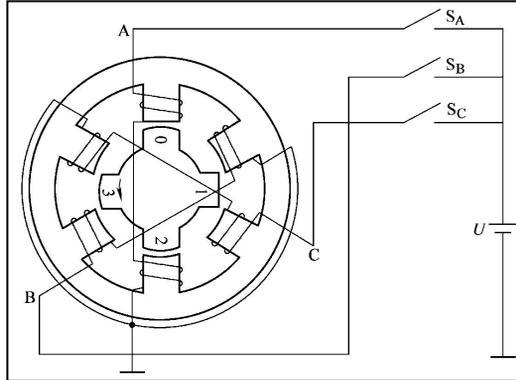
1. 步进电机定义

- 定义：脉冲电机，给一个脉冲电机转一下。它是一种将电脉冲信号转换为角位移的机电式数模（D/A）转换器。
- 应用：数控机床的驱动元件常常是步进电机。步进电机是电机类中比较特殊的一种，它是靠脉冲来驱动的。
- 工作：靠步进电机来驱动的数控系统的工作站或刀具总移动步数决定于指令脉冲的总数，而刀具移动的速度则取决于指令脉冲的频率。
- 方式：步进电机不是连续的变化，而是跳跃的，离散的。

2. 步进电机结构：一句话，内转子和定子构成。

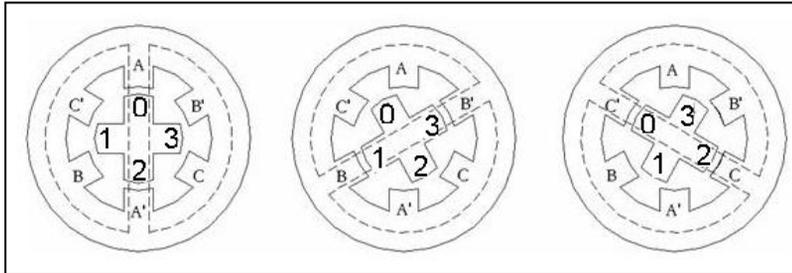
定子：定子上有绕组，教材上这个电机是三相电机，有3对磁极，实际上步进电机不仅有三相，还有四相、五相等等。三对磁极分别为A、B、C，通过开关轮流通电。

转子：上面带齿。



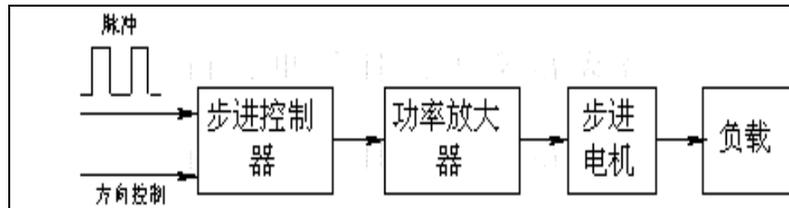
3. 步进电机工作原理

对于三相步进电机的A、B、C这三个开关，每个开关闭合，就会产生一个脉冲，工作过程如下：



4. 步进电机控制方式

(1) 硬件脉冲分配



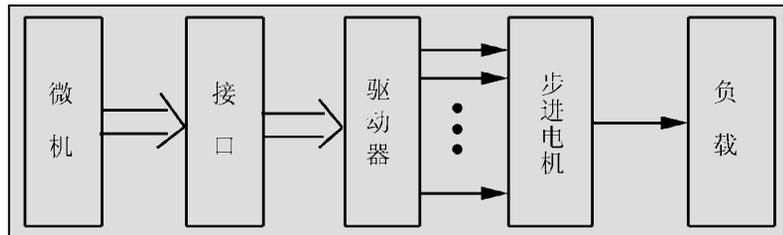
- 步进控制器：由缓冲寄存器、环形分配器、控制逻辑及正、反转控制门等组成。它的作用就是能把输入的脉冲转换成环型脉冲，以便控制步进电机，并能进行正、反向控制。

- 功率放大器：是把控制器输出的环型脉冲加以放大，以驱动步进电机转动。

(2) 软件脉冲分配

- 计算机软件功能：脉冲发生器、脉冲分配器、方向控制

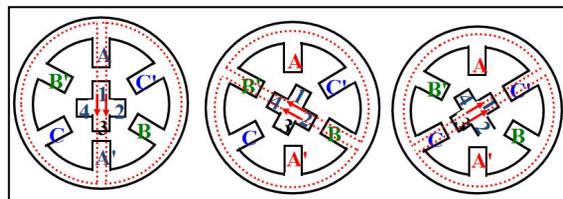
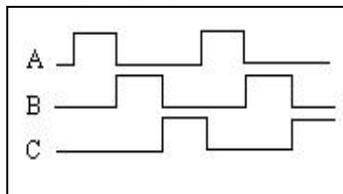
- 优点：简化控制电路，降低成本，提高系统的可靠性和灵活性。



A. 单三拍工作方式

- 绕组的通电顺序： $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A \rightarrow \dots$ 单三拍就是每次只给一个线组通电，其余的绕组断开。

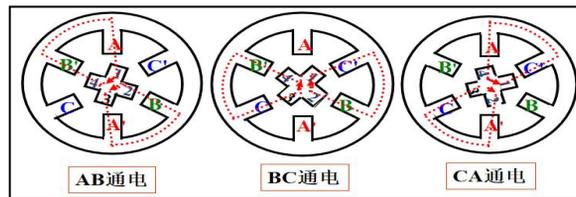
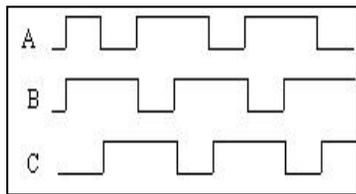
- 电压波形



B. 步进电机的双三拍工作方式

- 绕组的通电顺序： $AB \rightarrow BC \rightarrow CA \rightarrow AB \rightarrow BC \rightarrow \dots$

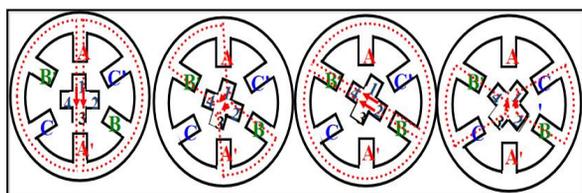
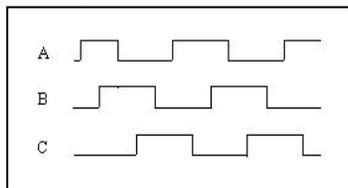
- 电压波形



C. 步进电机的三相六拍工作方式

- 绕组的通电顺序： $A \rightarrow AB \rightarrow B \rightarrow BC \rightarrow C \rightarrow CA \rightarrow A$

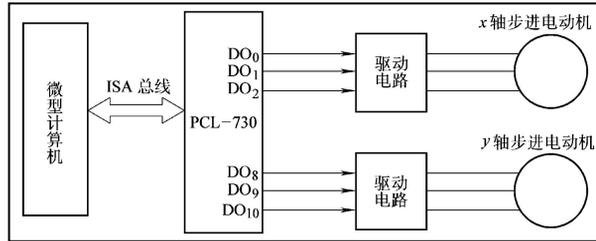
- 电压波形



5.控制接口及输出字表

5.控制接口及输出字表：脉冲的软件分配方式总体实现方法

(1) 控制电路



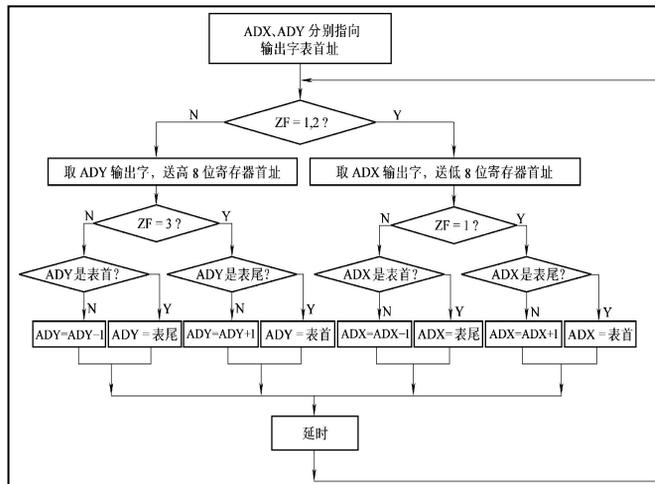
(2) 控制字

x轴步进电机输出字表		y轴步进电机输出字表	
存储地址标号	低八位输出字	存储地址标号	高八位输出字
ADX ₁	00000001=01H	ADY ₁	00000001=01H
ADX ₂	00000011=03H	ADY ₂	00000011=03H
ADX ₃	00000010=02H	ADY ₃	00000010=02H
ADX ₄	00000110=06H	ADY ₄	00000110=06H
ADX ₅	00000100=04H	ADY ₅	00000100=04H
ADX ₆	00000101=05H	ADY ₆	00000101=05H

6.走步控制程序

6.走步控制程序：脉冲的软件分配方式具体实现方法。

定义：用ADX和ADY分别表示x轴和y轴步进电机输出字表的取数地址指针。且用ZF=1、2、3、4分别表示+x、-x、+y、-y走步方向。



基本知识点测试

练习题

1.步进电机又叫_____，它是一种将_____转换为_____的机电式数模转换器。

就决定了数控系统的工作台或刀具的总移动量，就决定了移动的速度。

答案：脉冲电机、电脉冲信号、角位移、指令脉冲的总数、指令脉冲的频率

2.步进电机之所以能转动，其关键原因是_____。

答案：具有错齿

3.步进电机的步距角指_____，齿距角指_____。

答案：通电一次转过的角度；转子上两齿间的夹角

4.步进电机的步距角指_____，齿距角指_____。

答案：通电一次转过的角度；转子上两齿间的夹角

5.三相（A、B、C）步进电机有 3 种通电方式，它们是_____。

答案：单三拍，双三拍，三相六拍（或 A→B→C，AB→BC→CA，A→AB→B→BC→C→CA）

6.在三相步进电机系统中，为了提高控制力矩，常常采用_____方法来实现。

答案：双三拍

7.步进电机常被用于准确定位系统，在下列说法中错误的是（ B ）。

A. 可以直接接受数字量；B. 可以直接接受模拟量

C. 可实现转角和直线定位；D. 可实现顺时针、逆时针转动

3.3.2 位置伺服系统

1.伺服系统介绍

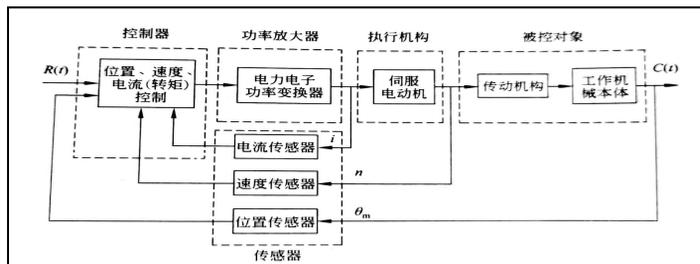
3.4.2 位置伺服系统

1.伺服系统介绍

广义上：指用来控制被控对象的某种状态或某个过程，使其输出量能自动地、连续地、精确地复现或跟踪输入量的变化规律。其控制行为的主要特征表现为输出“服从”输入，输出“跟随”输入，因此，伺服系统也称为随动系统。

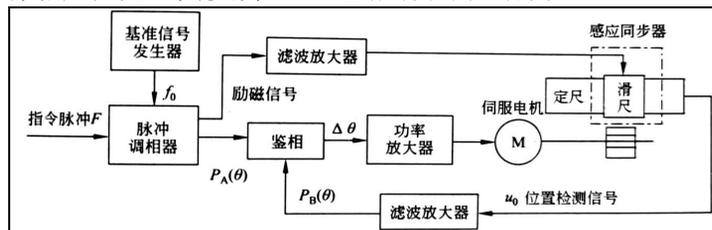
狭义上：对于被控制量(输出量)是负载机械空间位置的线位移或角位移，当位置给定量(输入量)做任意变化时，使其被控制量(输出量)快速、准确地复现给定量的变化，通常把这类伺服系统称为位置伺服系统，或称为位置随动系统。

图所示的伺服系统由以下5大部分组成：传动机构和工作机械、伺服电机功率放大器控制器和传感器。



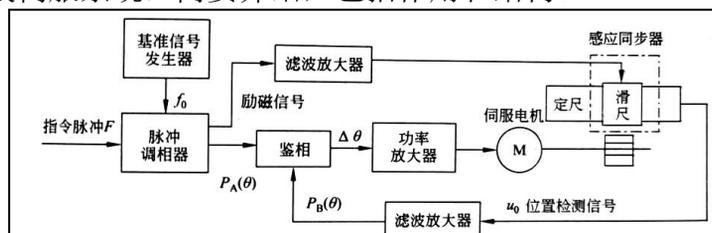
2.脉冲比较伺服系统

2.脉冲比较伺服系统：简要介绍，包括作用和结构。



3.相位比较伺服系统

3.相位比较伺服系统：简要介绍，包括作用和结构。



<p>教学过程 (总结、作业)</p>	<p>总结</p> <p>3.3.1电动机驱动控制方式</p> <p>1.步进电动机驱动控制 定义(重点)、结构(重点)、原理(难点)、控制方法、控制接口及输出字表、走步控制程序(难点)</p> <p>2.伺服电动机驱动控制: 伺服定义、直流、交流</p> <p>3.3.2 位置伺服系统 定义及作用(1.脉冲2.相位3.幅值)图</p> <p>作业</p> <p>1. 三相步进电机有哪几种工作方式? 分别画出每种工作方式的各相通电顺序和电压波形图。</p> <p>2. 采用 PC (ISA 或 PCI) 总线和 8255A 设计 x 轴步进电机和 y 轴步进电机的控制接口, 要求: (1)画出接口电路原理图; (2)分别列出 x 轴和 y 轴步进电机在三相单三拍、三相双三拍和三相六拍工作方式下的输出字表。</p> <p>3.完成线上本章基本知识点的测试</p> <p>4.完成本章线上平台所有内容的学习。</p>
<p>板书</p>	<p>3.3.1电动机驱动控制方式</p> <p>3.3.1步进电动机驱动控制</p> <p>1.定义</p> <p>2.结构</p> <p>3.原理</p> <p>4.控制方法</p> <p>5.控制接口及输出字表</p> <p>6.控制程序</p> <p>3.3.2 位置伺服系统</p> <p>1.定义</p> <p>2.结构</p> <p>3.脉冲、相位、幅值</p>

第 10 次 课程教案 (4.1)

授课方式: (√) 理论课 () 实验课 周次: 第 5 周 第 2 次 学时: 2

授课章节	4.1 数字控制器的连续化设计技术 4.1.1 数字PID控制技术介绍 4.1.2 数字PID控制器的设计
教学目的及要求	1.了解PID控制技术作用。 2.掌握数字PID控制器的设计方法,包括模拟PID控制器和数字PID控制器。
教学重点与难点	教学重点: 数字 PID 控制技术中 P, I, D 三部分作用。 教学难点: 数字 PID 位置型控制算法和数字 PID 增量型控制算法。
教学方法与手段	1.整体授课采用理论讲授与多媒体演示相结合; 2.教学重点采用案例分析法; 3.教学难点采用讲授法和练习法。
教学过程 (新章节导入, 15 分钟左右)	1.说明本章内容在本门课程知识体系中的作用。 2.介绍本章节学习的主要内容: (1) 4.1 节为常规控制技术讲解,为后面课程打下基础。 (2) 4.2 节和 4.3 节为复杂控制技术介绍,通过案例教学进行讲解。 (3) 4.3 节为实验,将所学内容转化为实践操作。 3.说明本章学习要求。 4.说明本节课学习内容及要求。
教学过程 (新课授课) 4.1.1 数字 PID 控制技术介绍 (30 分钟左右)	4.1.1 数字 PID 控制技术介绍 1.定义 根据偏差的比例 (P, Proportion;)、积分 (I, Integration;)、微分 (D, Differentiation) 进行控制,简称PID控制,是控制系统中应用最广泛的控制规律。 2.作用 (通过实例进行讲解) 日常熟知的飞机飞行和工业中的管式加热炉的例子引出数字控制器,重点介绍数字PID技术的作用。主要是使得控制系统保证控制的稳定性和准确性。PID控制器三部分作用,通过举例解释说明。 ■ 比例调节的特点 比例调节器对于偏差是即时反应,偏差一旦产生,调节器立即产生控制作用使被控量朝着减小偏差的方向变化,控制作用的强弱取决于比例系数。只有当偏差发生变化时,控制量才变化。缺点是不能消除静差;比例值过大,会使动态质量变坏,引起被控量振荡甚至导致闭环不稳定。 ■ 积分调节的特点 调节器的输出与偏差存在的时间有关。只要偏差不为零,输出就会随时间不断增加,并减小偏差,直至消除偏差,控制作用不再变化,系统才能达到稳态。缺点是会降低响应速度。 ■ 微分调节的特点 在偏差出现或变化的瞬间,产生一个正比于偏差变化率的控制作用,它

总是反对偏差向任何方向的变化，偏差变化越快，反对作用越强。故微分作用的加入将有助于减小超调，克服振荡，使系统趋于稳定。它加快了系统的动作速度，减小调整时间，从而改善了系统的动态性能。缺点是微分值太大，易引起系统不稳定。

3.介绍数字控制器的特性和广泛应用性。(通过讲授，图片和视频结合进行讲解)

PID调节器之所以经久不衰，主要是有以下优点：技术成熟，通用性强；原理简单，易被人们熟悉和掌握；不需要建立数学模型；控制效果好。

4.1.2 数字PID控制器的设计

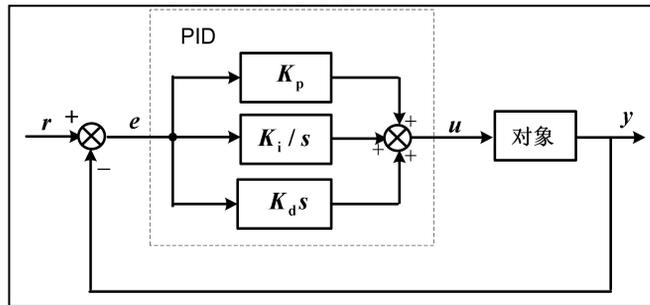
(1学时左右，具体以讲授为主)

1.模拟PID调节器

4.1.2 数字PID控制器的设计

1.模拟PID调节器

PID控制器是一种线性控制器，其结构如下：



$$u(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_I} \int_0^t e(t) dt + T_D \frac{de(t)}{dt} \right]$$

其中， K_p 为比例增益； T_I 为积分时间常数； T_D 为微分时间常数。

2.数字PID控制器

2.数字PID控制器

(1) 数字PID位置型控制算法

$$u(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_I} \int_0^t e(t) dt + T_D \frac{de(t)}{dt} \right]$$

$$u(k) = K_p \left[e(k) + \frac{T}{T_I} \sum_{i=0}^k e(i) + T_D \frac{e(k) - e(k-1)}{T} \right]$$

(2) 数字PID增量型控制算法

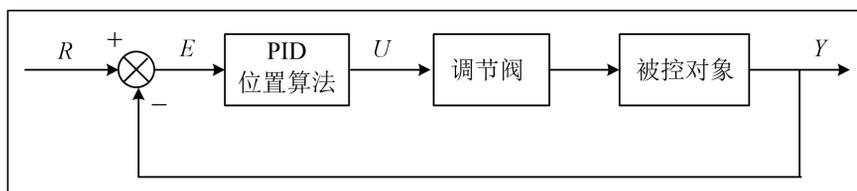
$$u(k-1) = K_p \left[e(k-1) + \frac{T}{T_I} \sum_{i=0}^{k-1} e(i) + T_D \frac{e(k-1) - e(k-2)}{T} \right]$$

$$\begin{aligned} \Delta u(k) &= u(k) - u(k-1) \\ &= K_p [e(k) - e(k-1)] + K_I e(k) + K_D [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)] \end{aligned}$$

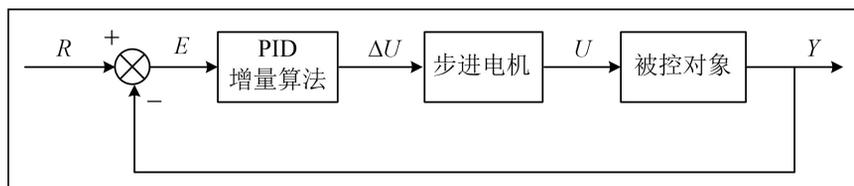
3. 数字PID控制算法实现方式比较

3. 数字PID控制算法实现方式比较

(1) 如执行机构采用调节阀，则控制量对应阀门的开度，表征了执行机构的位置，此时控制器应采用数字PID位置式控制算法。



(2) 如执行机构采用步进电机，每个采样周期，控制器输出的控制量，是相对于上次控制量的增加，此时控制器应采用数字PID增量式控制算法。



4. 增量式控制算法的优点

4. 增量式控制算法的优点

- (1) 增量算法不需要做积分累加，计算误差或计算精度对控制量的计算影响较小。而位置算法则不然。
- (2) 增量式算法给出的是控制量的增量，对执行机构误动作影响小。而位置算法给出的是控制量的全量，误动作影响大。
- (3) 采用增量算法易实现手动到自动的无冲击切换。

基本知识点测试

练习题

1. 在PID控制系统中，P的作用主要是_____，它一般不单独使用的原因是_____。
答案：快速调节；有差调节，无法消除残差
2. 在PID控制系统中，I的作用主要是_____，它一般不单独使用的原因是_____。
答案：消除静差；响应缓慢，容易产生积累
3. 在PID控制系统中，D的作用主要是_____，它一般不单独使用的原因是_____。
答案：超前调节；对高频干扰信号响应剧烈，无法消除不变残差
4. 数字PID控制器有三种常用形式，分别是_____、_____。
答案：位置式、增量式
5. 位置式控制算法提供执行机构的位置 $u(k)$ ，需要用到_____，一般用于以_____或_____作执行器件的控制系统中。
答案：过去的累计误差；可控硅、伺服电机
6. 增量式控制算法提供执行机构的增量 $\Delta u(k)$ ，只需要保持_____即可，一般用在_____作执行机构的控制系统中。
答案：现时及以前2个时刻的偏差值；步进电机

教学过程 (总结、作业)

总结

总结本节课程所讲内容

1. 数字PID控制技术介绍：定义、作用和应用。
2. 模拟PID控制器：表达式。
3. 数字PID控制器：表达式，数字PID位置型控制算法和数字PID增量型控制算法，包括公式和区别。

作业

	<p>1.什么是数字PID 位置型控制算法和增量型控制算法？试比较它们的优缺点。</p> <p>2.已知模拟调节器的传递函数为</p> $D(s) = \frac{1 + 0.17s}{0.085s}$ <p>试写出相应数字控制器的位置型PID算法和增量型PID控制算式，设采样周期 $T=0.2s$。</p>
<p>板书</p>	<p>4.1数字控制器的连续化设计技术（第1课时）</p> <p>4.1.1 数字PID控制技术介绍：</p> <p>1.定义：比例、积分、微分</p> <p>2.作用</p> <p>3.应用</p> <p>4.1.2 数字PID控制器的设计：（第2课时）</p> <p>1.模拟PID</p> <p>2.数字PID</p> <p>(1) 位置式：表达式、特点</p> <p>(2) 增量式：表达式、特点。</p> <div data-bbox="947 748 1346 934" data-label="Diagram"> </div>

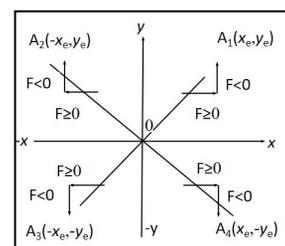
第 11 次 课程教案（逐点比较法实验）

授课方式： 理论课 实验课

周次： 第 6 周 第 1 次

学时： 2 学时

实验题目	逐点比较法插补实验
实验任务	根据逐点比较法原理，编写直线逐点比较法程序并观察插补过程。
实验目的	1.进一步理解逐点比较法插补的原理。 2.掌握在计算机环境中完成直线逐点比较法插补的软件实现方法。
实验器具	计算机，matlab 软件，每人一台设备。
实验重点与难点	实验重点：实现第一象限直线插补程序的编写及运行。
	实验难点：实现其他象限直线插补程序的编写及运行。
实验方法与手段	1.整体采用实验+示教方法。 2.实验重点采用探究法。 3.实验难点采用启发式教学方法。
教学过程 (复习及导入,说明本次实验要求。)	<p>1.实验前复习逐点比较法插补算法原理。（采用提问方式）</p> <p>机床数控系统依据一定方法确定刀具运动轨迹,进而产生基本廓形曲线,如直线、圆弧等。其它需要加工的复杂曲线由基本廓形逼近,这种拟合方式称为“插补”(Interpolation)。“插补”实质是数控系统根据零件轮廓线型的有限信息(如直线的起点、终点,圆弧的起点、终点和圆心等),在轮廓的已知点之间确定一些中间点,完成所谓的“数据密化”工作。逐点比较法的插补过程,每走一步要进行一下四个步骤:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 偏差判别:根据偏差值确定刀具相对加工曲线的位置。 ■ 坐标进给:根据偏差判别的结果,决定控制线沿哪个坐标进给一步以接近曲线。 ■ 偏差计算:计算新加工点相对曲线的偏差,作为下一步偏差判别的依据。 ■ 终点判别:判别是否到达终点,未到达终点则返回第一步继续插补,到终点则停止。 <p>2.实验时首先运行第一象限插补程序,理解程序中各语句及参数含义;然后运行程序,观察插补运动过程。(课上必做)</p> <p>3.参照第一象限直线插补程序,编写其他象限插补程序,并运行。(课上必做)</p> <p>4.参照第一象限直线插补程序,编写圆弧插补程序,并运行。(拓展实验)</p> <p>5.实验后提交实验报告。实验报告包括内容:实验预习,实验目的,实验任务,实验程序和实验结果(图示方式表明,插补过程,进给方向,终点坐标等信息)。</p>



教学过程

1.编写第一象限直线插补程序

(1 学时左右,先讲解程序编写思路,然后方框内容重点内容由学生自己编写并测试)

1.编写第一象限直线插补程序

打开 MATLAB 软件,新建脚本,编写第一象限程序。

```
clear all; %清除工作空间的所有变量和函数;
clc %清除命令窗口的内容;
F=0; %定义偏差;
x=0; %定义初始值 x;
y=0; %定义初始值 y;
dx=1; %定义 x 方向步长;
dy=1; %定义 y 方向步长;
xe=6; %x 终点坐标;
ye=4; %y 终点坐标;
K=ye/xe; %斜率;
xx(1)=x; %xx 数组存储逐步插补过程中的 x 坐标;
yy(1)=y; %yy 数组存储逐步插补过程中的 x 坐标;
index=2; %xx 数组和 yy 数组存储数据从第 2 个开始,之前已经有了 xx(1)=x,
```

```
yy(1)=y;
while(1)
    if(F>=0) %Fm>=0;
        if(xe>0)
            x=x+dx; %进给方向+x;
        end
        y=y; %y 值不变;
        F=F-ye; %偏差计算 Fm+1=Fm-y;
    else %Fm<0;
        if(ye>0)
            y=y+dy;%进给方向+y;
        end
        x=x; %x 值不变;
        F=F+xe; %偏差计算 Fm+1=Fm+x;
    end
    xx(index)=x; %保存插补过程中的 x 坐标;
    yy(index)=y; %保存插补过程中的 y 坐标;
    index=index+1;%存储过程坐标的数组索引自加, xx, yy;
    if((x+y)>=(xe+ye)) %终点判别;
        break; %到达终点, 则跳出循环;
    end
end
```

end

figure(1) %创建目标图窗, 1 号图窗;

hold on %保持原图并接受此后绘制的新曲线,叠加绘图; 多次叠绘;

box on %绘制图窗边框;

xlabel('x') %x 轴标签;

ylabel('y') %y 轴标签;

grid on %网格表示;

plot(xx,yy,'r'); %绘制插补直线

运行第一象限插补程序, 观察运行结果。

2. 基于第一象限插补程序编写方法，编写其他象限插补程序，并观察运行结果。

（教学难点，采用启发式教学方法进行教学）

（提示 1：编写插补循环体，实现插补过程。）

（提示 2：进给方向说明：从原点出发分左右两部分，因此箭头分为>和<。）

2. 基于第一象限插补程序编写方法，编写其他象限插补程序，并观察运行结果。

主要是根据教材 P97 表 3-2 直线插补的进给方向及偏差计算公式来进行编写。

偏差	1象限	2象限	3象限	4象限	偏差公式
$F_m \geq 0$	+x	-x	-x	+x	$F_m = F_m - y_e$
$F_m < 0$	+y	+y	-y	-y	$F_m = F_m + x_e$

具体程序如下：

```
clear all; %清除工作空间的所有变量和函数;
```

```
clc %清除命令窗口的内容;
```

```
F=0; %定义偏差;
```

```
x=0; %定义初始值 x;
```

```
y=0; %定义初始值 y;
```

```
x0=0; %定义初始值 x0;
```

```
y0=0; %定义初始值 y0;
```

```
dx=1; %定义 x 方向步长;
```

```
dy=1; %定义 y 方向步长;
```

```
xe=-6; %x 终点坐标;
```

```
ye=-4; %y 终点坐标;
```

```
K=ye/xe; %斜率;
```

```
xx(1)=x; %xx 数组存储逐步插补过程中的 x 坐标;
```

```
yy(1)=y; %yy 数组存储逐步插补过程中的 x 坐标;
```

```
index=2; %xx 数组和 yy 数组存储数据从第 2 个开始，之前已经有了 xx(1)=x,
```

```
yy(1)=y;
```

```
while(1)
```

```
    if(F>=0) %Fm>=0;
```

```
        if(xe>0) %第一、四象限;
```

```
            x=x+dx; %进给方向+x;
```

```
        else %第二、三象限;
```

```
            x=x-dx; %进给方向-x;
```

```
        end
```

```
    y=y; %y 值不变;
```

```
    F=F-abs(ye); %偏差计算 Fm+1=Fm-y;
```

```
    else %Fm<0;
```

```
        if(ye>0) %第一、二象限;
```

```
            y=y+dy;%进给方向+y;
```

```
        else %第三、四象限;
```

```
            y=y-dy; %进给方向-y;
```

```
        end
```

```
    x=x; %x 值不变;
```

```
    F=F+abs(xe); %偏差计算 Fm+1=Fm+x;
```

```
    end
```

```
    xx(index)=x; %保存插补过程中的 x 坐标;
```

```

yy(index)=y;    %保存插补过程中的 y 坐标;
index=index+1;%存储过程坐标的数组索引自加, xx, yy;
if((abs(x)+abs(y))>=(abs(xe)+abs(ye))) %终点判别;
    break;      %到达终点, 则跳出循环;
end
end
figure(1) %创建目标图窗, 1 号图窗;
hold on  %保持原图并接受此后绘制的新的曲线,叠加绘图; 多次叠绘;
box on   %绘制图窗边框;
xlabel('x') %x 轴标签;
ylabel('y') %y 轴标签;
grid on  %网格表示;
plot(xx,yy,'r');

```

3.拓展实验

3.圆弧逆弧第一象限插补程序。

```

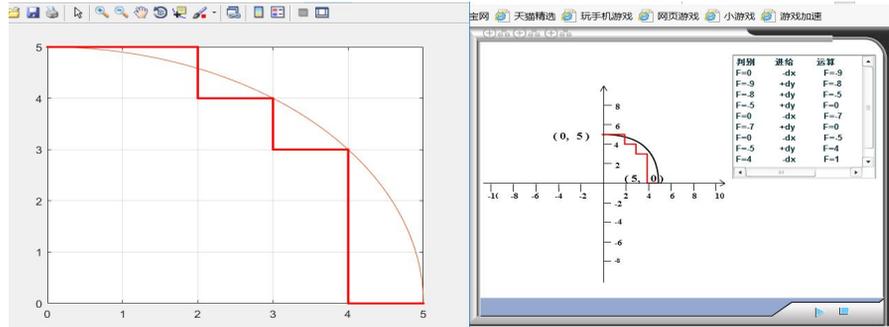
x0=5;
y0=0;
x1=0;
y1=5;
%以下程序是将图形限制在 area 区域内, 并且将网格间距调整为 1 个单位长度
area=max(max(x0,y0),max(x1,y1));
plot([0 0],[area area]);
grid on
set(gca,'XTick',[0:1:area])
set(gca,'YTick',[0:1:area])
hold on;
%以下部分程序是画出需要加工的工件轮廓
r=sqrt(y0^2 + x0^2);    %求圆的半径
theta0=atan(y0/x0);
theta1=atan(y1/x1);
theta=theta0:0.01:theta1
dx=r*cos(theta);
dy=r*sin(theta);
plot(dx,dy);
hold on;
%以下部分程序是模拟走刀路径
num=abs(x0-x1)+abs(y0-y1);
px=x0;
py=y0;
rxy=r;    %当前位置离圆心距离, 初始化为 r
for i=1:num
    lastX=px;
    lastY=py;    %lastX, lastY 为走刀之前的位置坐标
    if (rxy<r)

```

```

        py=py+1;
    else
        px=px-1;
    end
    line([lastX px],[lastY py],'Marker','!','Color','r','LineStyle','-','LineWidth',2);
    rxy = sqrt(px^2+py^2);
    pause(.5);    %每走一步暂停 0.5 秒
end

```



教学过程
(总结、作业)

总结

- 总结本实验课内容及完成情况
- 1.实验过程中遇到的问题进行说明
 - 2.第一象限直线插补实验完成情况。
 - 3.其他象限直线插补实验程序编写情况。
 - 4.圆弧插补实验提示。

作业

- 1.完成本节课实验内容，并撰写实验报告。
- 2.完成拓展实验：圆弧插补实验。

板书

实验课无板书

第 12 次 课程教案 (4.1)

授课方式: 理论课 实验课 周次: 第 6 周 第 2 次 学时: 2

授课章节	4.1 数字控制器的连续化设计技术 4.1.3 数字PID控制改进技术 4.1.4 数字PID控制器的参数整定
教学目的及要求	1.掌握数字PID控制改进方法。 2.掌握数字PID控制器的参数整定方法。
教学重点与难点	教学重点: 1.积分分离改进方法和不完全微分改进方法。 2.扩充临界比例度法和试凑法。
	教学难点: 1.数字 PID 控制改进方法的具体实现方法。 2.数字 PID 控制器的参数整定方法的具体实现方法。
教学方法与手段	1.整体授课采用理论讲授与多媒体演示相结合; 2.教学重点采用讲授法和练习法; 3.教学难点采用案例仿真分析法。
教学过程 (复习及导入, 15 分钟左右)	1. (复习提问)。PID 作用非常重要, 因此再提问一次。 2. (复习) 测试4个小题。 (1) 在 PID 控制系统中, P 的作用主要是 (A)。 A.快速调节; B.超前调节; C.消除静差; (2) 在 PID 控制系统中, I 的作用主要是 (C)。 A.快速调节; B.超前调节; C.消除静差; (3) 在 PID 控制系统中, D 的作用主要是 (B)。 A.快速调节; B.超前调节; C.消除静差; (4) PID 控制器主要针对 (A) 进行控制。 A.模拟量; B.数字量 3.本节学习的主要内容说明
教学过程 (新课授课) 4.1.3 数字 PID 控制改进技术	<p>4.1.3 数字PID控制改进技术</p> <p>首先分别说明积分作用和微分作用的优缺点, 为本节课内容讲授打下基础。</p> <p>■ 积分项</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 积分项的积极作用: 在 PID 控制中的积分项, 其作用是消除静差, 提高稳定度和精度。 ➤ 积分项的副作用: 主要是饱和、超调。 <p>■ 微分项</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 微分项的积极作用: 主要是期望提高系统的响应速度。 ➤ 微分项的副作用: 当阶跃信号输入时, 微分项输出急剧增加, 容易引起超调和输出振荡, 而且微分具有放大干扰信号的特点, 在 PID 控制中, 对具有高频扰动的生产过程, 微分作用响应过于灵敏, 容易引起振荡。

1. 积分项的改进

(1) 积分分离

1. 积分项的改进

(1) 积分分离

■ 原理说明

- 当 $|e(n)| > \beta$ 时：采用PD控制，控制偏差较大时，取消积分作用，以减小超调；
- 当 $|e(n)| \leq \beta$ 时：采用PID控制，控制偏差较小时，再恢复积分作用，以消除余差。

■ 实现方法

编程序时从PID方程式中分离出积分项。

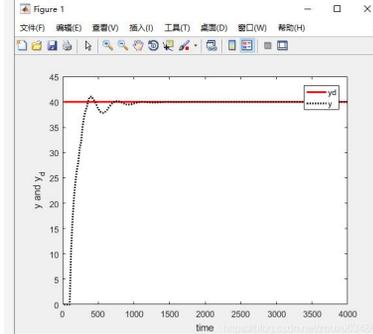
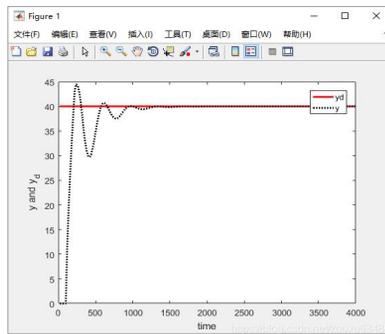
$$u(k) = K_p \{ e(k) + \beta \frac{T}{T_I} \sum_{j=0}^k e(j) + \frac{T_D}{T} [e(k) - e(k-1)] \} \quad \beta = \begin{cases} 1 & |e(k)| \leq \varepsilon \\ 0 & |e(k)| > \varepsilon \end{cases}$$

■ 编程

编程过程中如何处理？并运行演示程序。（先提问，老师进行点评总结，然后运行演示程序再次进行讲解）

```

y_out = error*kp+ts/ki*error+kd*(error-error_1)/ts;
    if (abs(error))<=20
        beta=1;
    else
        beta=0;
    end
y_out = error*kp+beta*ts/ki*error+kd*(error-error_1)/ts;
    
```



(2) 抗积分饱和

(2) 抗积分饱和

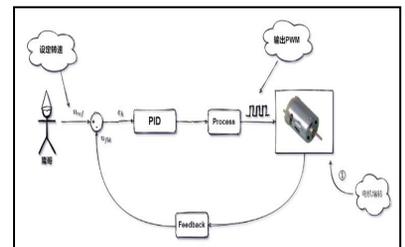
■ 积分饱和定义

当执行机构已到极限位置，仍然不能消除偏差时，由于积分作用，尽管PID差分方程式所得的运算结果继续增大或减小，但执行机构已无相应的动作。

抗积分饱和方法：积分饱和势必使超调量增加，控制品质变坏。

■ 举例说明

设定电机转速为 100，但由于某种原因电机堵转了，此时反馈的转速为 0；这时候仍然处于堵转状态，那偏差就会一直处于很大的状态，积分器对偏差进行累积，便迅速达到一个很大的值，导致 PID 的输出已经接近输出的上限。此时堵转忽然消失，但是前面提到 PID 的输出已经接近输出的上限，因此电机转



速也急剧上升。此时容易引起事故。

■ 防止积分饱和的措施

可对计算出的控制量 $u(k)$ 限幅,同时,把积分作用切除掉。若以8位D/A为例,则有:

- 当 $u(k) < 00H$ 时, 取 $u(k)=00H$, 采用PD控制;
- 当 $00H \leq u(k) \leq FFH$ 时, 采用PID控制;
- 当 $u(k) > FFH$ 时, 取 $u(k)=FFH$, 采用PD控制。

(3) 梯形积分

(3) 梯形积分

■ 原理说明

积分项的作用是消除残差,为了提高积分项的运算精度,将矩形积分改为梯形积分,从而进一步减小了残差。

矩形积分:

$$\int_0^t e dt \approx \sum_{i=0}^k T e(i)$$

梯形积分:

$$\int_0^t e dt \approx \sum_{i=0}^k \frac{e(i) + e(i-1)}{2} T$$

■ 实现方法

编程过程中如何处理? (先提问,老师进行点评总结)

```
y_out = error*kp+ts/ki*error+kd*(error-error_1)/ts;
```

```
y_out = error*kp+ts*(error+error_1)/(2*ki)+kd*(error-error_1)/ts;
```

(4) 消除积分不灵敏区

(4) 消除积分不灵敏区

■ 积分不灵敏区说明

当计算机的运行字长较短,采样周期 T 也短,而积分时间 TI 又较长时,积分项 $\Delta u_I(k)$ 容易出现小于字长的精度而作为“零”处理,此积分作用消失。

■ 实现方法

某温度控制系统,温度量程为0至1275°C, A/D转换为8位,并采用8位字长定点运算。设 $K_P=1, T=1S, TI=10s, e(k)=50^\circ C$, 得

$$\Delta u_I(k) = K_P \frac{T}{T_I} e(k) = \frac{1}{10} \left(\frac{255}{1275} \times 50 \right) = 1$$

如果偏差 $e(k) < 50^\circ C$, 则 $\Delta u_I(k) < 1$, 计算机就作为“零”将此数丢掉,控制器就没有积分作用。只有当偏差达到 $50^\circ C$ 时,才会有积分作用。

■ 消除积分不灵敏区的措施

- 增加 A/D 转换位数, 加长运算字长, 提高运算精度。
- 当积分项 $\Delta u_I(k)$ 连续 n 次出现小于输出精度 ϵ 时, 不把它们作为“零”舍掉, 而是把它们一次次累加起来, 直到累加值 S_I 大于 ϵ 时, 才输出 S_I , 同时把累加单元清零。

2. 微分项的改进

2. 微分项的改进

微分作用对于克服系统的惯性、减少超调、抑制振荡起着重要的作用。但是在数字PID调节器中,微分调节作用并不是很明显,甚至没有调节作用。

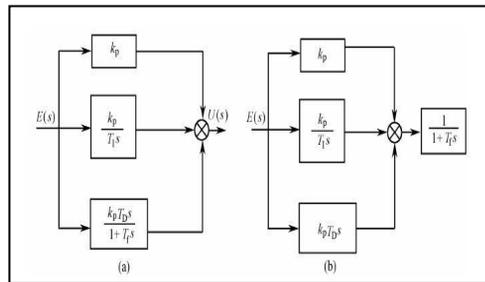
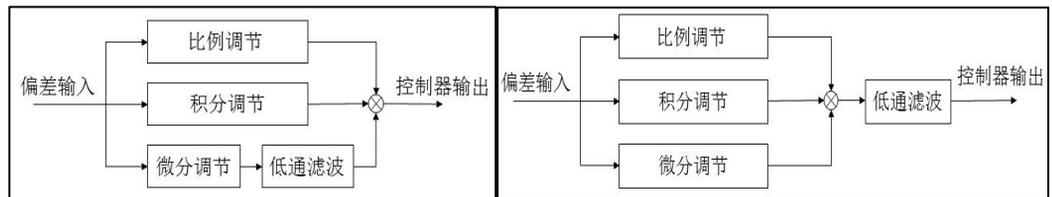
(1) 不完全微分算法

数字 PID 位置控制算法中的微分项为

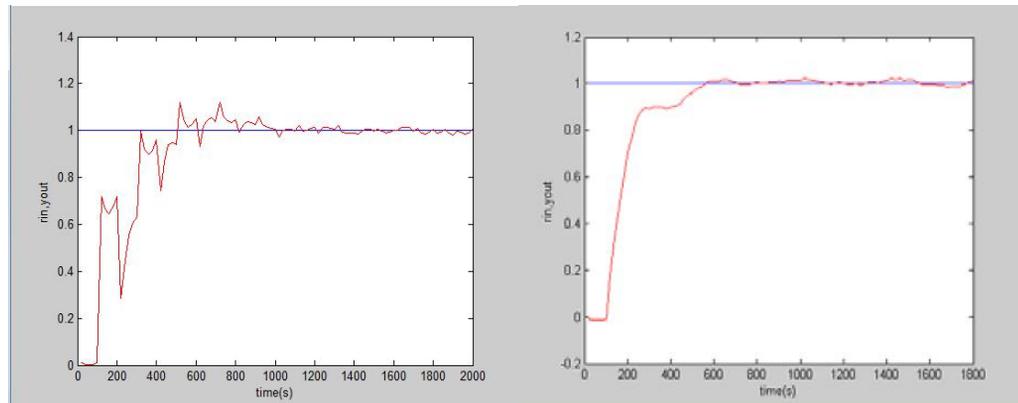
(1) 不完全微分算法

■ 原理说明

在普通 PID 算法中加入一个一阶惯性环节（低通滤波），以获得比较柔和的微分控制。不完全微分就是用实际 PD 环节来代替理想 PD 环节，使微分作用对于偏差的变化不会有太大的反应，同时减小理想微分带来的系统剧烈动作。



■ 仿真演示

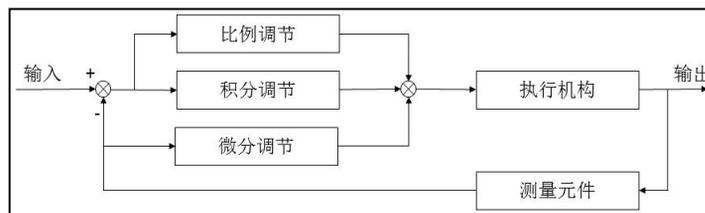


(2) 微分先行

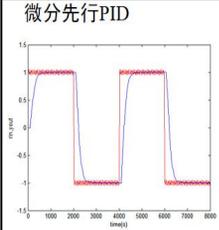
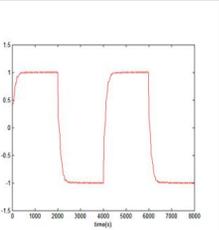
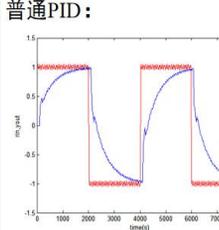
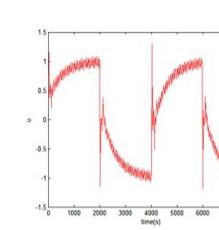
(2) 微分先行

■ 原理说明

只对测量值 $y(t)$ 微分，而不对偏差 $e(t)$ 微分，也即对给定值 $r(t)$ 无微分作用。这样在调整设定值时，控制器的输出就不会产生剧烈的跳变，也就避免了给定值升降给系统造成的冲击。

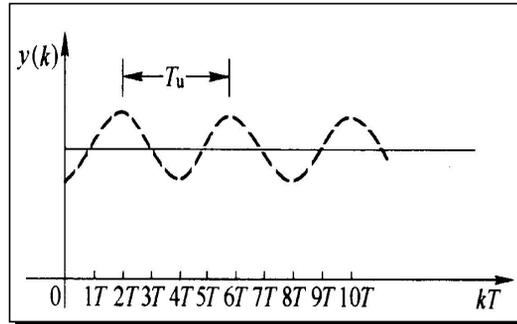


■ 仿真演示

<p>基本知识点测试</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>微分先行PID阶跃响应</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>微分先行PID控制器输出</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>普通PID阶跃响应</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>普通PID控制器输出</p> </div> </div> <p>执行效果：对于给定值频繁升降的场合，引入微分先行后，可以避免给定值升降时所引起的系统震荡，明显改善系统的动态特性。</p> <p>练习题</p> <p>(1)列举你所知道的四种改进的数字 PID 控制器结构_____、_____、_____、_____。</p> <p>答案：积分分离、不完全微分、微分先行、消除积分不灵敏区。</p> <p>(2)为了避免给定值的升降给控制系统带来冲击，如超调量过大，调节阀动作剧烈，常可采用的控制方案是_____。它和标准 PID 控制的不同之处在于，只对被控量 $y(t)$ 微分，不对偏差 $e(t)$ 微分，也就是说对给定值 $r(t)$ 无微分作用。该算法对_____是有效的。</p> <p>答案：微分先行 PID 控制方案、给定值频繁升降的系统</p> <p>(3)下面不属于积分项的改进的是_____。</p> <p>A.分段积分； B.抗积分饱和； C.梯形积分； D.消除积分不灵敏区</p> <p>答案：A</p>
<p>教学过程 (新课授课)</p> <p>4.1.4 数字 PID 控制技术参数整定</p> <p>1. 扩充临界比例度法</p>	<p>4.1.4 数字 PID 控制技术参数整定</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 介绍数字PID控制技术参数整定的重要性：以无人机飞行为例说明。此处有思政讲解，说明我国无人机产业的先进行 ■ 定义：根据被控过程的特性确定PID控制器的参数，以使系统全面满足各项控制指标，这一过程叫做数字PID控制器的参数整定。 ■ 整定的参数： T、K_P、T_I、T_D ■ 方法有四种。 <p>1.扩充临界比例度法</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 方法 <p>Step1: 选择一个足够短的采样周期。 (具体地说就是选择采样周期为被控对象纯滞后时间的十分之一以下)</p> <p>Step2: 用选定的采样周期使系统工作，且此时控制器只保留比例作用。</p> <p>Step3: 在阶跃信号输入下，逐渐加大比例系数，使控制系统出现临界振荡状态。 记下此时比例系数 为临界比例系数，得到临界比例度，并观察临界震荡周期 T_u。</p> <p>Step4: 选择控制度和控制规律。</p> <p>Step5: 根据控制度，查表并计算出相应参数值。</p> <p>Step6: 按照求得的整定参数，投入系统运行，观察控制效果，再适当调整参数，直到获得满意的控制效果为止。</p>

■ 例题

讲解并计算。学生先进行计算，然后进行提问，最后统一讲解。



控制度	控制规律	T	Kp	Ti	Td
1.05	PI	0.03Tu	0.53δ	0.88Tu	--
	PID	0.014Tu	0.63δ	0.49Tu	0.14Tu
1.2	PI	0.05Tu	0.49δ	0.91Tu	--
	PID	0.043Tu	0.47δ	0.47Tu	0.16Tu
1.5	PI	0.14Tu	0.42δ	0.99Tu	--
	PID	0.09Tu	0.34δ	0.43Tu	0.20Tu
2.0	PI	0.22Tu	0.36δ	1.05Tu	--
	PID	0.16Tu	0.27δ	0.4Tu	0.22Tu

2. 扩充响应曲线法

2. 扩充响应曲线法

■ 方法

Step1: 断开数字调节器，使系统在手动状态下工作。当系统在给定值处达到平衡以后，给一阶跃输入。

Step2: 用仪表记录下被调参数在此阶跃作用下的变化过程曲线。

Step3: 在曲线最大斜率处，求得滞后时间、被控对象时间常数，以及它们的比值。

Step4: 根据所得求的值，查表，即可求出控制器的参数值。

■ 例题

已知 $T_p=180$ 、 $\tau=30$ ，采用PID控制结构，计算控制器输出。讲解并计算，计算结果要提问。

3. 归一法

3. 归一法

将其他值转化为比例类型值，然后通过观察比例值控制效果，直到满意为止。

	T	Kp	Ti	Td
PID	$\tau/3$	$1.2 * T_p / \tau$	2τ	0.5τ

4. 试凑法

4. 试凑法

■ 方法

参数整定找最佳，从小到大顺序查，先是比例后积分，最后再把微分加；曲线振荡很频繁，比例值儿来减小，曲线漂浮绕大湾，比例值儿来增大；曲线偏离回复慢，积分时间往下降，曲线波动周期长，积分时间再加长；曲线振荡频率快，先把微分降下来，动差大来波动慢，微分时间应加长；理想曲线两个波，前高后低4比1，一看二调多分析，调节质量不会低。

■ 例题

运行实际测试程序，通过调整不同参数说明下面的调整口诀。

<p>思政讲解</p>	<div data-bbox="581 203 1107 602" data-label="Figure"> </div> <p>■ 【分析调试：工程素养】 此处通过老师的演示，告诉学生在实际工作中也一定仔细且有耐心的进行分析调节，养成良好工程素养。</p>
<p>教学过程 (总结、作业)</p>	<p>总结 总结4.1节课所讲内容。 (4.1.1) 了解数字 PID 控制技术作用： > 定义、特点及作用。 (4.1.2) 掌握数字 PID 控制器连续化设计方法： > 模拟PID、数字PID，特点及区别。 (4.1.3和4.1.4) 掌握数字PID控制器改进方法和参数整定方法。 > 积分改进方法、微分改进方法； > 扩充临界比例度法、扩充响应曲线法、归一法、试凑法。</p> <p>作业 1.自行测试仿真案例，然后了解改进方法作用及参数整定的方法。 2.根据不同的传递函数，用试凑法进行参数整定。 3.完成线上平台思政内容学习。</p>
<p>板书</p>	<p>4.1.3 数字PID控制改进技术（第1课时） 1.积分项的改进：积分分离、抗积分饱和、梯形积分、消除积分不灵敏区 2.微分项的改进：不完全微分、微分先行</p> <p>4.1.4 数字PID控制器的参数整定（第2课时） 1.扩充临界比例度法：方法、实现 2.扩充响应曲线法：方法、实现 3.归一法：方法、实现 4.试凑法：方法、实现</p>

第 13 次 课程教案 (PID 实验)

授课方式: 理论课 实验课

周次: 第 7 周 第 1 次

学时: 2 学时

实验题目	数字 PID 实验
实验任务	根据逐点比较法原理, 编写直线逐点比较法程序并观察插补过程。
实验目的	1.进一步理解数字 PID 控制技术。 2.掌握在计算机环境中完成数字 PID 控制技术的软件实现方法。 3.研究 PID 控制器的参数对系统稳定性及过渡过程的影响。
实验器具	计算机, matlab 软件, 每人一台设备。
实验重点与难点	实验重点: 实现 PID 控制程序的编写及运行。
	实验难点: 实现其他类型 PID 控制程序的编写及运行。
实验方法与手段	1.整体采用实验+示教方法。 2.实验重点采用探究法。 3.实验难点采用启发式教学方法。
教学过程 (复习及导入, 说明本次实验内容和要求)	1.实验前复习 PID 控制技术。 采用提问方式, 提问 PID 定义: 根据偏差的比例 (P, Proportion;)、积分 (I, Integration;)、微分 (D, Differentiation) 进行控制, 简称 PID 控制。 提问 PID 控制器三部分作用。 2.实验时首先编写数字 PID 位置型算法, 序中各语句及参数含义, 然后运调试行程序。(课上必做) 3.基于编写的 PID 控制程序, 分析参数调整带来的影响。(课上必做) 4.基于编写的 PID 控制程序, 编写积分分离 PID 程序。(拓展实验) 5.实验后提交实验报告。实验报告包括内容: 实验预习, 实验目的, 实验任务, 实验程序和实验结果(图示方式表明)。
教学过程 1.PID 控制原理分析	1.PID 控制原理分析 以位置型 PID 控制为例。将连续的 PID 控制转换为数字式时, 微分环节被用差分代替, 积分环节被累加和代替, 比例环节则保持不变。差分的实现非常简单, 只需要用 $e(k+1) - e(k)$ 即 $e(k) - e_1$ 等效即可。积分的实现现在每一次运算的后面都累加原来的误差, 即 $Ee = Ee + e_1$ 。PID 的控制器输出如下: $u(k) = Kp \cdot e(k) + Kd \cdot (e(k) - e_1) + Ki \cdot Ee$ 实现语句如下: <code>u(k)=kp*e(k)+ki*Ee+kd*(e(k)-e_1); %系统 PID 控制器输出序列</code>
2.编写程序 (先进行提	2.编写程序的提示如下: ● 清屏清变量

示,然后将循环体外语句进行讲解,学生自行编写循环体内容程序并测试)

- 建立传递函数并离散化
- 变量初始化
- 循环开始
- 把传递函数转化为差分方程,以实现 PID 控制。
- PID 控制
- 变量重新赋值
- 循环结束
- 绘制曲线:期望值和输出值

将带有提示的程序发给学生,让学生自己编写。完整程序如下:

```
clc
clear all
ts=0.005; %采样时间=0.05s
sys=tf(0.998,[0.021,1]); %建立传递函数。tf是传递函数,即被控对象函数
建立被控对象传递函数
dsys=c2d(sys,ts,'z'); %将传递函数在零初始条件下取 Z 变换。利用 c2d
进行离散 z 变换,Ts 为采样周期,零阶保持器法离散化。
[num,den]=tfdata(dsys,'v'); %将 Z 变换后得到的传递函数分子分母利用
tfdata 取出放到 num den 里面。num 是分子,den 是分母。v 是关键字,返
回列向量形式的分子分母多项式系数。
e_1=0; %前一时刻的偏差
Ee=0; %累积偏差
u_1=0.0; %前一时刻的控制量
y_1=0; %前一时刻的输出
kp=0.22; %PID 参数设置
ki=0.13; %PID 参数设置
kd=0; %PID 参数设置
u=zeros(1,1000);%预先分配内存
time=zeros(1,1000);%时刻点(设定 1000 个)
for k=1:1:1000
    time(k)=k*ts; %时间参数
    r(k)=1500; %期望值
    %把传递函数转化为差分方程,以实现 PID 控制。
    y(k)=-1*den(2)*y_1+num(2)*u_1+num(1)*u(k);%系统响应输出序列,从
n 阶定常离散系统差分方程变化来的。
    e(k)=r(k)-y(k); %误差信号
    u(k)=kp*e(k)+ki*Ee+kd*(e(k)-e_1);%系统 PID 控制器输出序列
    Ee=Ee+e(k); %误差的累加和
    u_1=u(k); %前一个的控制器输出值
    y_1=y(k); %前一个的系统响应输出值
    e_1=e(k); %前一个误差信号的值
end
% (仅绘制过渡过程的曲线, x 坐标限制为[0,1])
p1=plot(time,r,'-');xlim([0,1]);hold on;%指令信号的曲线(即期望输入)
p2=plot(time,y,'--');xlim([0,1]);%输出值
hold on;
```

3.分析参数调整带来的影响
(让学生进行不断的测试,来了解参数的作用)

4.拓展实验
(先说明积分分离原理,然后让学生找出关键词句自行进行修改程序)

3.基于编写的PID控制程序,分析参数调整带来的影响。

调整PID参数,分析参数调整带来的影响。加入如下语句:

```
PID=[1,0,0;  
0.1,0,0;  
0.3,0,0;  
0.3,0.8,0;  
0.3,0.7,0;  
0.3,0.7,0.2];
```

4.基于编写的PID控制程序,编写积分分离PID程序。

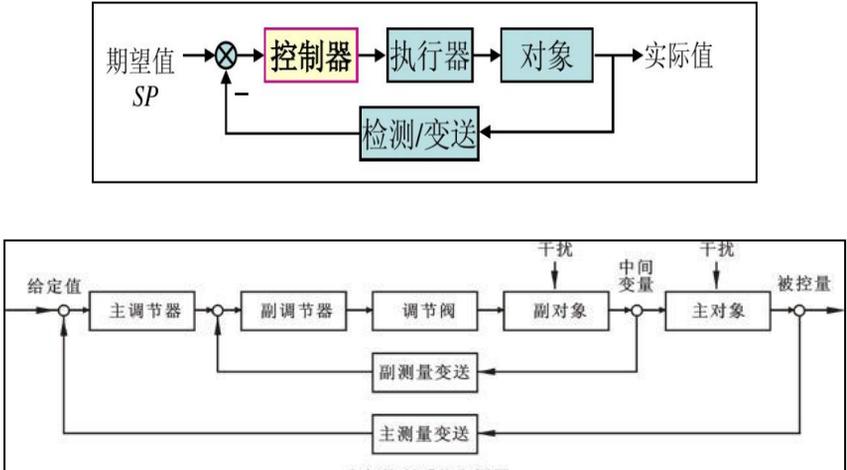
```
close all  
ts=0.005; %采样时间=0.005s  
sys=tf(0.998,[0.021,1]); %建立被控对象传递函数,即式4.1  
dsys=c2d(sys,ts,'z'); %离散化  
[num,den]=tfdata(dsys,'v'); %  
e_1=0; %前一时刻的偏差  
Ee=0; %累积偏差  
u_1=0.0; %前一时刻的控制量  
y_1=0; %前一时刻的输出  
kp=0.22; ki=0.13; kd=0;%PID参数  
u=zeros(1,1000);  
time=zeros(1,1000);  
for k=1:1:1000  
    time(k)=k*ts; %时间参数  
    r(k)=1500; %给定量  
    y(k)=-1*den(2)*y_1+num(2)*u_1+num(1)*u(k);  
    e(k)=r(k)-y(k); %偏差  
    u(k)=kp*e(k)+ki*Ee+kd*(e(k)-e_1);  
    Ee=Ee+e(k);  
    u_1=u(k); y_1=y(k); e_1=e(k);  
end  
p1=plot(time,r,'-');xlim([0,1]);hold on;  
p2=plot(time,y,'--');xlim([0,1]);  
hold on;  
a=1;%控制积分分离的二值数  
e_1=0;Ee=0;u_1=0.0;y_1=0;%重新初始化  
for k=1:1:1000  
    time(k)=k*ts; %时间参数  
    r(k)=1500; %给定量  
    y(k)=-1*den(2)*y_1+num(2)*u_1;  
    e(k)=r(k)-y(k); %偏差  
    u(k)=kp*e(k)+ki*Ee+kd*(e(k)-e_1);  
    if ((u(k)>r(k)) && (e(k)>0))||((u(k)<0) && (e(k)<0))  
        a=0;  
    else  
        a=1;
```

	<pre> end Ee=Ee+a*e(k); u_1=u(k); y_1=y(k); e_1=e(k); end p3=plot(time,y,'-');xlim([0,1]); title('含积分分离与不含积分分离的对比'); legend([p1,p2,p3],'指令信号','不含积分分离','含积分分离'); </pre>
<p>教学过程 (总结、作业)</p>	<p>总结 总结本实验课内容及完成情况 1.实验过程中遇到的问题进行说明。 2.位置型 PID 实验完成情况。 3.参数调整实验完成情况。 4.积分分离实验提示。</p> <p>作业 1.完成本节课实验内容，并撰写实验报告。 2.完成拓展实验：积分分离 PID 实验。</p>
<p>板书</p>	<p>实验课无板书</p>

第 14 次 课程教案 (4.2)

授课方式: (√) 理论课 () 实 周次: 第 7 周 第 2 次 课程 学时: 2 学时

验课

授课章节	4.2 串级控制技术
教学目的及要求	<ol style="list-style-type: none"> 1. 了解串级控制作用和应用。 2. 掌握串级控制结构和原理。 3. 掌握串级控制调节过程。
教学重点与难点	<p>教学重点: 串级控制系统工作原理</p> <p>教学难点: 根据控制要求设计串级控制系统</p>
教学方法与手段	<ol style="list-style-type: none"> 1. 整体授课采用理论讲授与多媒体演示相结合; 2. 教学重点采用讲授法和练习法; 3. 教学难点采用案例仿真分析法。
<p>教学过程</p> <p>(复习/导入, 15 分钟左右)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 复习提问: PID 控制的作用和特点。 2. 导入提问: 试着思考一下工业控制系统的复杂性有哪些。 3. 本节课所学内容和学习要求说明 <p>学习内容</p> <ol style="list-style-type: none"> 4.2.1 串级控制技术介绍 4.2.2 串级控制结构 4.2.3 串级控制系统工作过程 <p>学习要求:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 了解串级控制作用和应用。 2. 掌握串级控制结构和原理。 3. 掌握串级控制调节过程。 4. 根据控制要求设计串级控制系统。
<p>教学过程</p> <p>(新课授课)</p> <p>4.2 串级控制技术</p> <p>4.2.1 串级控制技术介绍</p> <p>1. 定义</p>	<p>4.2 串级控制技术</p> <p>4.2.1 串级控制技术介绍</p> <p>1. 定义</p> <p>串级控制系统是由其结构上的特征而得名的。它是由主、副两个控制器串接工作的。</p> <div style="text-align: center;">  <p>串级控制系统方框图</p> </div>

主控制器的输出作为副控制器的给定值，副控制器的输出去操纵控制阀，以实现变量的定值控制。

2.目的

2.目的

用于改善被控对象特性或克服扰动对系统影响。

3.应用

3.应用

一种广泛应用的有效改善和提高控制品质的复杂控制系统方案。

(1) 用于容量滞后较大的过程对象： 温度、质量等容量滞后较大且控制质量要求较高的系统；

(2) 应用于纯时延较大的系统；

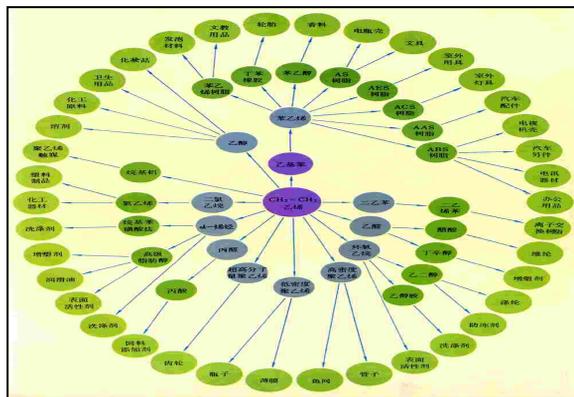
(3) 应用于扰动变化激烈而且幅度大的过程： 精馏塔温度与蒸汽流量控制关系；

(4) 用于非线性过程： 合成反应炉。

4.拓展应用实例

4.拓展应用实例： 乙烯（化学式为 C₂H₄）

- 应用： 合成纤维、合成橡胶、合成塑料（聚乙烯及聚氯乙烯）、合成乙醇（酒精）的基本化工原料，也用于制造氯乙烯、苯乙烯、环氧乙烷、醋酸、乙醛、乙醇和炸药等应用。
- 乙烯工业： 是世界上产量最大的化学产品之一，乙烯工业是石油化工产业的核心，乙烯产品占石化产品的 75%以上，在国民经济中占有重要的地位。世界上已将乙烯产量作为衡量一个国家石油化工发展水平的重要标志之一。
- 乙烯控制系统： 它共有 421 个控制回路。其中： 常规 PID 单回路占 75%，多回路系统占 25%(以串级为主)



4.2.2 串级控制结构

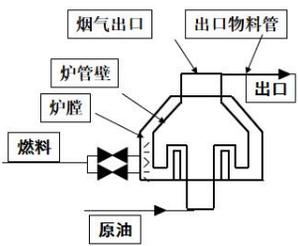
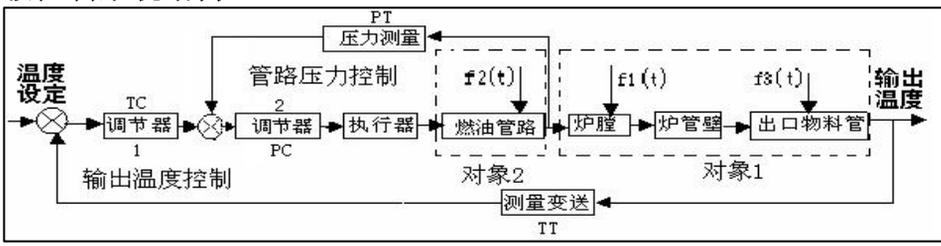
4.2.2 串级控制结构

1. 加热炉出口温度单回路控制

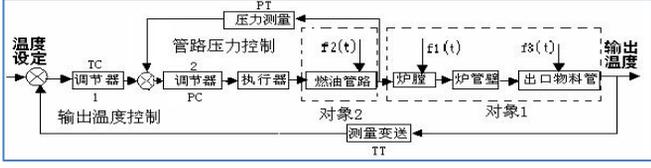
1. 加热炉出口温度单回路控制

管式加热炉是炼油、化工生产中的重要装置之一，它的任务是把原油加热到一定温度，以保证下道工艺的顺利进行。因此，需要控制原油加热后的出口温度。



<p>2. 串级控制系统结构</p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <ul style="list-style-type: none"> ❖ 被控参数：原油出口温度 ❖ 控制参数：燃料流量 <ul style="list-style-type: none"> ❖ 测量变送器：温度传感器 (TT) ❖ 执行器：调节阀 (气开式) ❖ 控制器：温度控制器 (TC) </div> 		
	<p>2.串级控制系统结构</p> 		
<p>3. 串级控制特点</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; padding: 5px;"> 主回路:温度控制回路 主调节器: TC 主被控对象:炉膛,炉管壁,出口物料管 主被控变量: 输出温度 测量变送: TT 一次扰动: $f_1(t)$, $f_3(t)$ </td> <td style="width: 50%; padding: 5px;"> 副回路:压力控制 副调节器: PC 副被控对象:燃油管路 副被控变量:燃油管路压力 测量变送:PT 二次扰动: $f_2(t)$ </td> </tr> </table>	主回路:温度控制回路 主调节器: TC 主被控对象:炉膛,炉管壁,出口物料管 主被控变量: 输出温度 测量变送: TT 一次扰动: $f_1(t)$, $f_3(t)$	副回路:压力控制 副调节器: PC 副被控对象:燃油管路 副被控变量:燃油管路压力 测量变送:PT 二次扰动: $f_2(t)$
主回路:温度控制回路 主调节器: TC 主被控对象:炉膛,炉管壁,出口物料管 主被控变量: 输出温度 测量变送: TT 一次扰动: $f_1(t)$, $f_3(t)$	副回路:压力控制 副调节器: PC 副被控对象:燃油管路 副被控变量:燃油管路压力 测量变送:PT 二次扰动: $f_2(t)$		
<p>4.2.3 串级控制系统工作过程</p> <p>1.二次干扰</p>	<p>3.串级控制特点</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 被控对象被分成两个部分，分别为压力对象和温度对象。 ■ 两部分对象是串联的关系。（被控对象是串联可分的） ■ 系统有两个闭环回路，分别是压力控制和温度控制回路，为双回路控制系统，称为主回路和副回路。 ■ 有两个调节器，主调节器(主回路)和副调节器(副回路)，并且串联工作：主调节器的输出作为副调节器的给定值输入。 ■ 系统只有一个执行器。 <p>4.2.3 串级控制系统工作过程</p> <p>工作过程：是指在系统处于稳定工作情况下，克服一次，二次扰动的系统过渡过程。</p> <p>例如：出口温度—炉膛温度串级控制系统。</p> <p>1.二次干扰</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; padding: 5px;"> 副环工作过程： 二次扰动 f_2 燃油压力波动使得流量 $F \uparrow \rightarrow TT_2 \uparrow \rightarrow TC_2 \downarrow$ (反作用) $\rightarrow V \downarrow$ (气开阀) $\rightarrow F \downarrow$ 副环具有克服环中扰动(二次扰动)能力。对副环外扰动没有抑制作用。 </td> <td style="width: 50%; padding: 5px;"> 主环工作过程： 副环中扰动由副环调节，副环调节过程中输出变化 $TT_2 \uparrow \rightarrow TT_1 \uparrow \rightarrow TC_1 \downarrow$ (反作用) $\rightarrow TC_2 \downarrow \rightarrow V \downarrow$ (气开阀) $\rightarrow TT_2 \downarrow \rightarrow TT_1 \downarrow$ 二次扰动克服是由副环和主环共同完成的，副环为主，粗调。主环为辅，细调。 </td> </tr> </table>	副环工作过程： 二次扰动 f_2 燃油压力波动使得流量 $F \uparrow \rightarrow TT_2 \uparrow \rightarrow TC_2 \downarrow$ (反作用) $\rightarrow V \downarrow$ (气开阀) $\rightarrow F \downarrow$ 副环具有克服环中扰动(二次扰动)能力。对副环外扰动没有抑制作用。	主环工作过程： 副环中扰动由副环调节，副环调节过程中输出变化 $TT_2 \uparrow \rightarrow TT_1 \uparrow \rightarrow TC_1 \downarrow$ (反作用) $\rightarrow TC_2 \downarrow \rightarrow V \downarrow$ (气开阀) $\rightarrow TT_2 \downarrow \rightarrow TT_1 \downarrow$ 二次扰动克服是由副环和主环共同完成的，副环为主，粗调。主环为辅，细调。
	副环工作过程： 二次扰动 f_2 燃油压力波动使得流量 $F \uparrow \rightarrow TT_2 \uparrow \rightarrow TC_2 \downarrow$ (反作用) $\rightarrow V \downarrow$ (气开阀) $\rightarrow F \downarrow$ 副环具有克服环中扰动(二次扰动)能力。对副环外扰动没有抑制作用。	主环工作过程： 副环中扰动由副环调节，副环调节过程中输出变化 $TT_2 \uparrow \rightarrow TT_1 \uparrow \rightarrow TC_1 \downarrow$ (反作用) $\rightarrow TC_2 \downarrow \rightarrow V \downarrow$ (气开阀) $\rightarrow TT_2 \downarrow \rightarrow TT_1 \downarrow$ 二次扰动克服是由副环和主环共同完成的，副环为主，粗调。主环为辅，细调。	

<p>2 一次干扰</p> <p>3.总结</p>	<p>2.一次干扰</p> <p>主环工作过程： 一次干扰 f_3 使得输出温度 $TT1 \uparrow$ → $TC1 \downarrow$ (反作用) → $TC2$ 给定 \downarrow → $TT2 \downarrow$ → $TT1 \downarrow$</p>	<p>主环工作过程： 副环过程： $TC2$ 给定 \downarrow → V(气开阀) \downarrow → $F \downarrow$ → $TT2 \downarrow$</p>		
<p>基本知识点测试</p>	<p>3.总结</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 二次扰动经过副环(粗调)，消除了大部分二次扰动对系统的影响，余下的经过主环(细调)克服。 ■ 副环使得系统具有两次克服二次扰动的过程。 ■ 一次扰动由主环克服，副环实现跟随作用。 ■ 一次、二次扰动同时作用时，相同时相互叠加，调节作用增强；影响相反时相互抵消，调节作用减弱。 <p>练习题</p> <p>1.请画出串级控制系统结构。</p> <p>2.串级控制是指：在原控制回路中，增加_____，用以控制可能引起被控量变化的其它因素，从而_____。</p> <p>答案：一个或几个控制内回路；有效地抑制了被控对象的时滞特性，提高系统动态响应的快速性</p> <p>3.对于串级控制系统，不管串级控制有多少级，计算的顺序总是_____进行。</p> <p>答案：从最外面的回路向内</p> <p>4.炉管壁温度受扰动较大（做为一个控制点），设计串级控制系统，并画出串级控制方框图和结构图。</p> <div data-bbox="415 1198 1356 1489" data-label="Diagram"> </div> <table border="1" data-bbox="368 1534 1387 1780"> <tr> <td> <p>主回路:输出温度控制 主控制器: $TC1$; 主被控对象:炉管壁,出口物料管 主被控变量: 输出温度; 测量变送: $TT1$ 一次扰动: $f_3(t)$</p> </td> <td> <p>副回路:炉膛温度控制 副控制器:$TC2$; 副被控对象:燃油管路,炉膛 副被控变量:炉膛温度; 测量变送:$TT2$ 二次扰动: $f_1(t), f_2(t)$</p> </td> </tr> </table>		<p>主回路:输出温度控制 主控制器: $TC1$; 主被控对象:炉管壁,出口物料管 主被控变量: 输出温度; 测量变送: $TT1$ 一次扰动: $f_3(t)$</p>	<p>副回路:炉膛温度控制 副控制器:$TC2$; 副被控对象:燃油管路,炉膛 副被控变量:炉膛温度; 测量变送:$TT2$ 二次扰动: $f_1(t), f_2(t)$</p>
<p>主回路:输出温度控制 主控制器: $TC1$; 主被控对象:炉管壁,出口物料管 主被控变量: 输出温度; 测量变送: $TT1$ 一次扰动: $f_3(t)$</p>	<p>副回路:炉膛温度控制 副控制器:$TC2$; 副被控对象:燃油管路,炉膛 副被控变量:炉膛温度; 测量变送:$TT2$ 二次扰动: $f_1(t), f_2(t)$</p>			
<p>教学过程 (总结、作业)</p>	<p>总结</p> <p>总结本课程所讲内容</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.(4.2.1)了解串级控制作用和应用：产生、定义和特点。 2.(4.2.2)掌握串级控制结构和原理：方框图和结构图。 3.(4.2.3)掌握串级控制调节过程:调节过程和设计方法。 4.练习题：加热炉出口温度串级控制的压力-温度控制，温度-温度控制。 <p>作业</p>			

	<p>1.画出一一般串级控制系统的典型方块图，并说出各部分名称及作用。</p> <p>2.炉管壁温度受扰动较大（做为一个控制点），设计串级控制系统，并画出串级控制方框图和结构图。</p>
<p>板书</p>	<p>1.介绍：产生、定义和特点。</p> <p>2.结构、原理（方框图和结构图）。</p>  <p>3.调节过程：二次、一次。</p>

第 15 次 课程教案（组态 1）

授课方式：（ ）理论课（√）实验课 周次：第 8 周 第 1 次 课程 学时：2 学时

实验题目	初步了解组态王软件
实验任务	熟悉组态王软件，并利用监控组态软件 King View 编写应用程序，完成下面的任务。 1.一个整数从零开始每隔 1s 加 1，累加数显示在画面的文本框中。 2.当该数累加至 10 时，画面中指示灯变幻颜色，整数停止累加。 3.单机画面中“关闭”按钮，结束程序运行。
实验目的	1.了解组态王软件的功能。 2.掌握监控组态软件King View的集成开发环境。 3.掌握建立应用工程的一般过程。
实验器具	计算机，组态王软件，每人一台设备。
实验重点与难点	实验重点： 1.建立工程的方法。 2.工程管理器、工程浏览器和运行系统的使用。 3.定义设备和变量的方法。
	实验难点： 1.设备和变量的定义及连接方法。 2.制作一个简单工程。
实验方法与手段	1.整体采用实验+示教方法。 2.教学重点采用自主探究法。 3.教学难点采用启发式教学方法。
教学过程 (新课授课，1 个学时左右，边演示边讲解) 7.1 人机接口技术 7.1.1 HMI/SCADA 的含义	7.1 人机接口技术 7.1.1 HMI/SCADA 的含义 1.HMI 定义 HMI (Human Machine Interface)，广义解释“使用者与机器间沟通、传达及接收信息的一个接口。HMI 系统必须有以下几项基本能力： 实时资料趋势显示、历史资料趋势显示、自动记录资料、警报的产生与记录、报表的产生与打印和图形接口控制等。 2.SCADA 定义 SCADA (Supervisor Control And Data Acquisition)，具有系统监控和数据采集功能，都可称为 SCADA。它是建立在 PC 基础之上的自动化监控系统。应用在测控点十分分散、分布范围广泛的生产过程和设备的监控。 SCADA 系统具有以下基本特征： 图形界面、系统状态动态模拟、实时数据和历史趋势、报警处理系统数据采集和记录、数据分析和报表输出等。 3.应用情况

大到跨洲际的长输管线分布式测控，小到单机单台设备的数采监控。

4.HMI 和 SCADA 区别

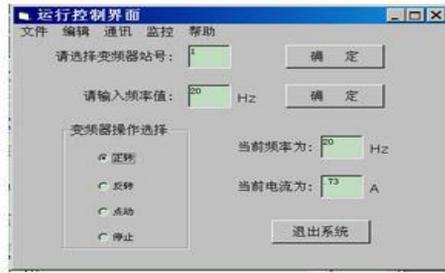
基本一致，但 SCADA 单独具有数据采集和记录、及数据分析功能。

7.1.2 基于 VB/VC++ 语言设计人机交互界面

7.1.2 基于 VB/VC++语言设计人机交互界面

优点：用户利用面向对象的可视化编程语言如 VB 或 VC 等，编制监控软件实现系统监控，其中包括数据通信、界面实现、数据处理和实时数据库库功能等内容，灵活性好，系统投资低，能适用于各种系统。

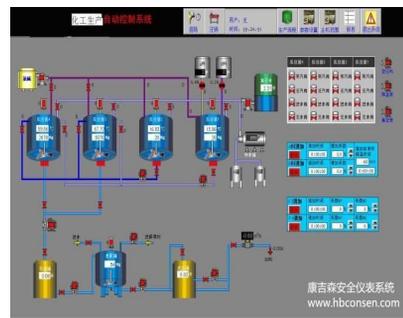
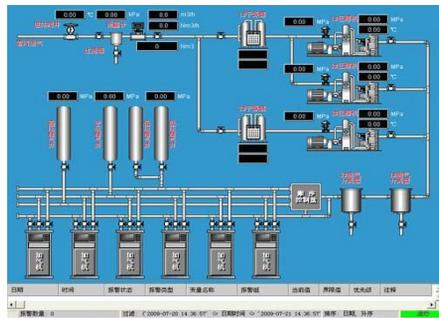
缺点：但系统开发工作量大、特别是要实现工业生产中复杂的流程和工艺的逼真显示要花费大量的时间，可靠性难保证，对设计人员的经验和技术水平要求高。



7.2 监控组态软件概述

7.2 监控组态软件概述

组态 (Configuration)，含义就是使用软件工具对计算机及软件的各种资源进行配置，达到使计算机或软件按照预先设置自动完成特定任务，满足使用者要求的目的。组态软件广泛应用于机械、汽车、石油、化工、造纸、水处理以及过程控制等诸多领域。



7.2.1 监控组态软件体系结构及功能

7.2.1 监控组态软件体系结构及功能

1. 监控组态软件的体系结构

- (1) 图形画面组态生成;
- (2) 实时数据库与历史数据库;
- (3) 动画连接;
- (4) 历史趋势曲线和实时趋势曲线;
- (5) 报表系统、创建报表、报表组态;
- (6) 报警和事件系统;
- (7) 脚本程序、语言句法、语言函数;
- (8) I/O 设备管理与驱动程序;
- (9) 数据共享技术;
- (10) 自动化组态软件的网络与冗余功能;
- (11) 其它功能：控件，配方管理，系统安全，管理。

2. 监控组态软件的功能

7.2.2 几种典型的监控组态软件

- (1) 强大的图形组态功能
- (2) 脚本语言
- (3) 开放式结构
- (4) 提供多种数据驱动程序
- (5) 强大的数据库
- (6) 丰富的功能模块

7.2.2 几种典型的监控组态软件

公司名称	产品名称	国别
Intellution	FIX, iFIX	美国
Wonderware	InTouch	美国
西门子	WinCC	德国
Rock-well	RSView32	美国
National Instruments	Labview	美国
Citech	Citech	澳大利亚
Iconics	Genesis	美国
PC Soft	WizCon	以色列
A-B	controlview	美国

公司名称	产品名称	国别
亚控	组态王	中国
三维科技	力控	中国
昆仑通态	MCGS	中国
华富	ControX	中国
研华	Genie	台湾
康拓	Control star Easy Control	中国

教学过程
(新课授课)
(学生按照实验指导书自己操作为主, 教师指导, 1 个学时左右)

- 1. 熟悉工程管理器的工具及其使用方法。
- 2. 熟悉工程浏览器窗口及其工具栏的使用。
- 3. 利用监控组态软件 King View 制作整数累加工程
 - (1) 建立新工程
 - (2) 制作图形画面
 - (3) 定义变量
 - (4) 建立动画连接
 - (5) 命令语言编程
 - (6) 程序运行

教学过程
(总结、作业)

- 总结**
总结本实验课内容及完成情况
- 1. 组态软件定义、作用、类型等。
 - 2. 实验过程中遇到的问题进行说明。
 - 3. 整数累加工程完成情况。
- 作业**
- 1. 完成本节课实验内容, 并撰写实验报告。
 - 2. 完成线上平台相关内容的学习。

板书

实验课无板书

第 16 次 课程教案 (4.3)

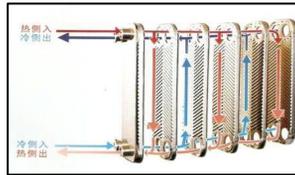
授课方式: (√) 理论课 () 实验课

周次: 第 8 周 第 2 次

学时: 2

授课章节	4.3 前馈控制技术 4.3.1 前馈控制技术介绍 4.3.2 前馈控制结构 4.3.3 前馈-反馈复合控制系统																
教学目的及要求	1. 了解前馈控制技术及其特点。 2. 掌握前馈控制结构及与反馈控制区别。 3. 熟悉前馈-反馈复合控制系统。 4. 能够根据给出的工艺过程和控制要求, 设计前馈控制系统和复合控制系统。																
教学重点与难点	教学重点: 1.了解前馈控制技术及其特点。 2.掌握前馈控制结构及与反馈控制区别。 教学难点: 能够根据给出的工艺过程和控制要求, 设计前馈控制系统和复合控制系统。																
教学方法与手段	1.整体授课采用理论讲授与多媒体演示相结合; 2.教学重点采用讲授法和练习法; 3.教学难点采用案例仿真分析法。																
教学过程 (复习, 导入) (15 分钟左右)	1. (复习提问) 复习 4.1 和 4.2 的反馈控制技术 (提问方式)。 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px 0;"> <p style="text-align: center;">1.常规 (4.1) 控制技术</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%;">◆ (1) 个回路</td> <td style="width: 50%;">◆ (1) 个传感器</td> </tr> <tr> <td>◆ (闭) 环回路</td> <td>◆ (1) 个控制器</td> </tr> <tr> <td></td> <td>◆ (1) 个执行机构</td> </tr> <tr> <td></td> <td>◆ (1) 个被控对象</td> </tr> </table> <p style="text-align: center; margin-top: 10px;">↓</p> <p style="text-align: center;">2.复杂控制技术</p> <p style="text-align: center;">(1) 串级(4.2)控制技术</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%;">◆ (2) 个回路</td> <td style="width: 50%;">◆ (2) 个传感器</td> </tr> <tr> <td>◆ (闭) 环回路</td> <td>◆ (2) 个控制器</td> </tr> <tr> <td></td> <td>◆ (1) 个执行机构</td> </tr> <tr> <td></td> <td>◆ (1) 个被控对象</td> </tr> </table> </div> 2. (导入) 说明反馈控制技术的不足, 引出新技术的学习。 都是负反馈, 因此存在的问题: 一种干扰产生之后的控制, 因此也是滞后控制。对大扰动或大滞后系统, 控制效果不理想。克服扰动需要的稳定时间较长。扰动频率过高, 将使系统震荡频繁。 3.本节学习的主要内容说明。	◆ (1) 个回路	◆ (1) 个传感器	◆ (闭) 环回路	◆ (1) 个控制器		◆ (1) 个执行机构		◆ (1) 个被控对象	◆ (2) 个回路	◆ (2) 个传感器	◆ (闭) 环回路	◆ (2) 个控制器		◆ (1) 个执行机构		◆ (1) 个被控对象
◆ (1) 个回路	◆ (1) 个传感器																
◆ (闭) 环回路	◆ (1) 个控制器																
	◆ (1) 个执行机构																
	◆ (1) 个被控对象																
◆ (2) 个回路	◆ (2) 个传感器																
◆ (闭) 环回路	◆ (2) 个控制器																
	◆ (1) 个执行机构																
	◆ (1) 个被控对象																
教学过程 (新课授课, 75 分钟左右)	0.引入换热器实例, 进行简单介绍。 (1) 说明换热器作用, 然后说明广泛应用于船舶、冶金、食品、机械、石油化工、生活区集中供热、空调、制药、皮革、乳品、饮料、酒类、废水、冷冻等行业的换热、浓缩、灭菌、冷凝和蒸发等工艺。																

前馈控制技术导入

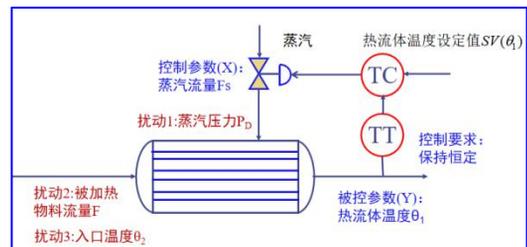
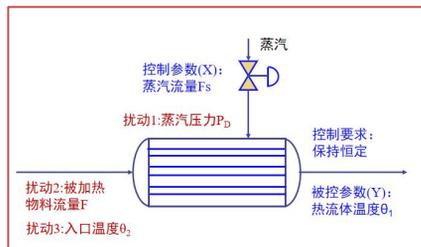


思政讲解

【换热器：职业素养】

中国换热器行业发展现状与趋势分析，市场规模持续增长。虽然换热器仅仅是一个容器，但却在工程中发挥巨大作用。因此在日后的工作中也应不要好高骛远，踏实做好每件小事情，但只要坚持就可以更为业务骨干，从而增强学生职业素养。

(2) 说明控制系统内容：控制要求；被控变量；控制变量；主要扰动。



(3) 目前反馈控制存在问题：对于某些工业，扰动发生,被控量发生偏差。负反馈使得被控量控制滞后，从而导致生产后果不可控制。

解决方法：前馈控制技术，扰动发生后,通过控制将扰动消除，使得被控量不发生偏差。

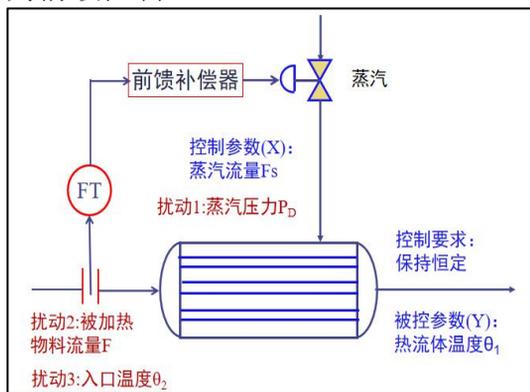
4.3.1 前馈控制技术介绍

4.3.1 前馈控制技术介绍

1. 前馈控制

1.前馈控制

定义：当扰动一旦出现，控制器就会根据扰动的大小和性质进行控制，补偿扰动对系统的影响，使被控变量稳定（不发生偏差变化），此控制技术为前馈控制。



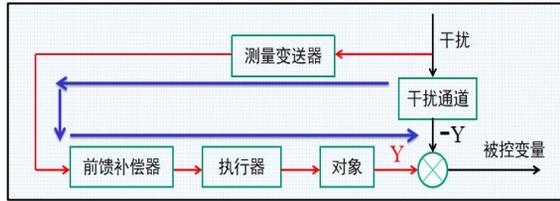
2. 前馈控制特点

2.前馈控制特点

- ① 变送器：测量扰动。
- ② 前馈补偿器：补偿干扰影响。
- ③ 前馈控制：开环控制。
- ④ 适合：可测扰动的工业系统。
- ⑤ 一种前馈：一种扰动。

4.3.2 前馈控制结构
1.结构

4.3.2 前馈控制结构
1.结构



- (1) 测量变送器测量扰动。
- (2) 前馈补偿器通过得到的测量扰动值来消除扰动对被控变量的影响。

2.前馈与反馈区别

2.前馈与反馈区别

通过让同学们自行比较，然后提问方式来一起完成。

1.检测信号	反馈: 被控变量 前馈: 干扰量
2.控制依据	反馈: 被控变量的偏差 前馈: 干扰量的大小
3.控制作用发生时间	反馈: 扰动发生后 偏差出现后 前馈: 扰动发生后 偏差出现前
4.系统结构	反馈: 闭环控制 前馈: 开环控制
5.控制质量	反馈: 动态有差控制 前馈: 无差控制 (理想状态)
6.对应干扰	反馈: 一个控制多种干扰 前馈: 一个控制一种干扰
7.控制器	反馈: 通用PID 前馈: 专用控制器

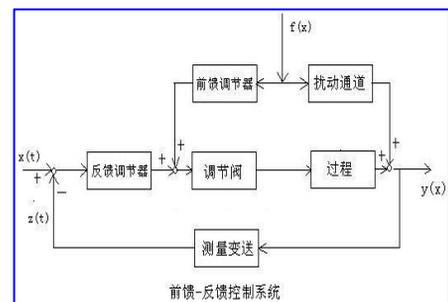
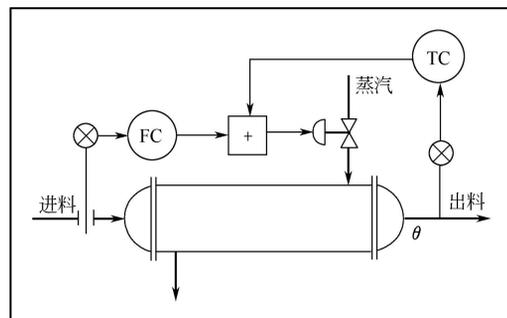
4.3.3 前馈-反馈复合控制系统

4.3.3 前馈-反馈复合控制系统

1.前馈-反馈复合控制系统

可以将反馈和前馈结合起来，扬长避短。对主要扰动进行前馈控制，对其他干扰采用反馈控制，提高控制效果。

1.前馈-反馈复合控制系统



分析说明:

- (1) 由于增加了反馈回路，只需对主要的干扰进行前馈补偿，其它干扰可由反馈控制予以校正，大大简化了原有前馈控制系统。
- (2) 反馈回路的存在，降低了对前馈控制模型的精度要求，为工程上实现简单的前馈补偿创造了条件。
- (3) 负荷变化时，模型特性也要变化，可由反馈控制加以补偿，因此系统

2. 控制系统
三种类型总
结

基本知识点
测试

具有一定自适应能力。

(4) 比纯反馈控制具有控制精度高、温度速度快的特点。

2.控制系统三种类型总结

(1) 反馈控制系统：反馈控制系统是根据被控参数与给定值的偏差进行控制的，最终达到或消除或减小偏差的目的，偏差值是控制的依据。它是最常用、最基本的过程控制系统。

(2) 前馈控制系统：前馈控制系统是根据扰动量的大小进行控制的，扰动是控制的依据。由于没有被控量的反馈，所以是一种开环控制系统。由于是开环系统，无法检查控制效果，故不能单独应用。

(3) 前馈—反馈控制系统：前馈控制的主要优点是能够迅速及时的克服主要扰动对被控量的影响，而前馈—反馈控制利用反馈控制克服其他扰动，能够是被控量迅速而准确地稳定在给定值上，提高控制系统的控制质量。

练习题

1.系统出现扰动时，前馈控制实际上就是按如下哪一个直接产生校正作用，以抵消扰动的影响。

A:设定值； B:偏差； C:控制量； D:扰动量

答案：【扰动量】

2.前馈控制是一种属于如下哪一种控制形式。

A:开环控制； B:闭环控制； C:正反馈控制； D:负反馈控制

答案：【开环控制】

3.采用前馈与反馈控制相结合的控制结构，能够保留反馈控制对如下哪一个变量的控制作用。

A:设定值； B:偏差； C:控制量； D:扰动量

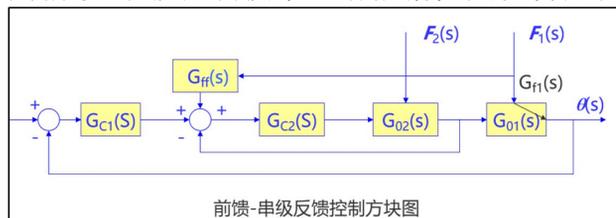
答案：【偏差】

4.前馈—串级控制系统中，因前馈控制的输出不是直接作用于执行机构，而是补充到串级控制副回路的给定值中，这样就降低了对执行机构如下哪一个要求。

A:稳定性； B:稳态性能； C:动态响应性能； D:抗干扰性能

答案：【动态响应性能】

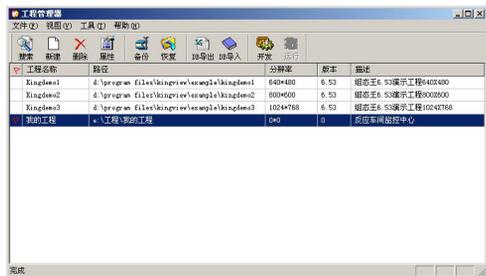
5.思考题：如下为前馈-串级控制技术，请根据框图说明控制过程。



<p>教学过程 (总结、作业 及相关说明)</p>	<p>总结</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. (4.3.1 前馈控制技术介绍)了解前馈控制技术及其特点。 2. (4.3.2 前馈控制结构) 掌握前馈控制结构及与反馈控制区别。 3. (4.3.3 前馈-反馈复合控制系统) 熟悉前馈-反馈复合控制系统。 4. (综合) 能够根据给出的工艺过程和控制要求, 设计前馈控制系统和复合控制系统。 <p>作业</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.在线上平台完成本章基本知识点的测试。 2.完成课后作业。 3.拓展作业, 线上思政内容阅读。
<p>板书</p>	<p>4.3 前馈控制技术 (第1课时)</p> <p>4.3.1 前馈控制技术介绍</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.定义 2.特点 <p>4.3.2 前馈控制结构</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.结构 2.区别 <p>4.3.3 前馈-反馈复合控制系统 (第2课时)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.问题 2.特点 3.举例

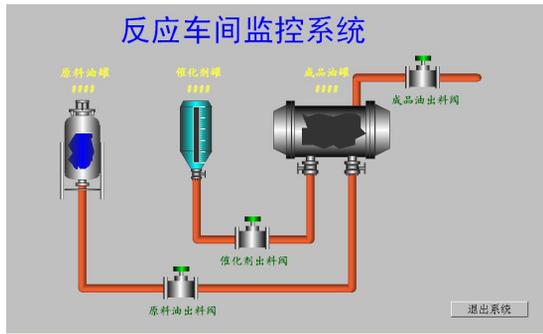
第 17 次 课程教案（组态 2）

授课方式： 理论课 实验课 周次： 第 9 周 第 1 次 课程 学时： 2 学时

实验题目	反应车间监控系统的组态设计：初级
实验任务	建立“反应车间监控中心”画面，并对该画面制作动画效果，要求包含以下内容：画面制作；阀门的启停；液位升降效果；液体流动效果；画面切换；画面退出；命令语言等。
实验目的	1.了解如何设计工业监控画面。 2.掌握动画连接的方法和一些常用功能的使用。 3.学会使用命令语言。
实验器具	计算机，组态王软件，每人一台设备。
实验重点与难点	实验重点： 1.组态王软件的基本操作。 2.工业监控画面的建立、工具箱的使用、图库等的基本使用。
	实验难点： 1.定义外部设备和变量的方法。 2.程序的编写方法。 3.动画连接方法。
实验方法与手段	1.整体采用实验+示教方法。 2.实验重点采用自主探究法。 3.实验难点采用启发式教学方法。
教学过程（复习/导入）	1.复习组态王软件建立工程一般过程。（采用提问方式） 2.选 3 位同学演示整数累加工程完成的情况。（学生演示） 3.讲授反应车间监控系统在工业中的应用情况。（演示讲解）
教学过程（新课授课） （学时按照实验指导书自己操作） （本次实验课主要以学生为主，教师指导为辅） （每隔 15 分	1.熟悉工程管理器的工具及其使用方法。 演示讲解 2.熟悉工程浏览器窗口及其工具栏的使用。 演示讲解 3.利用监控组态软件 King View 制作整数累加工程 （1）建立新工程 

钟将遇到的问题进行集中讲解)

(2) 制作图形画面



(3) 定义外部设备



(4) 定义变量



(5) 动画连接



(6) 命令语言编写

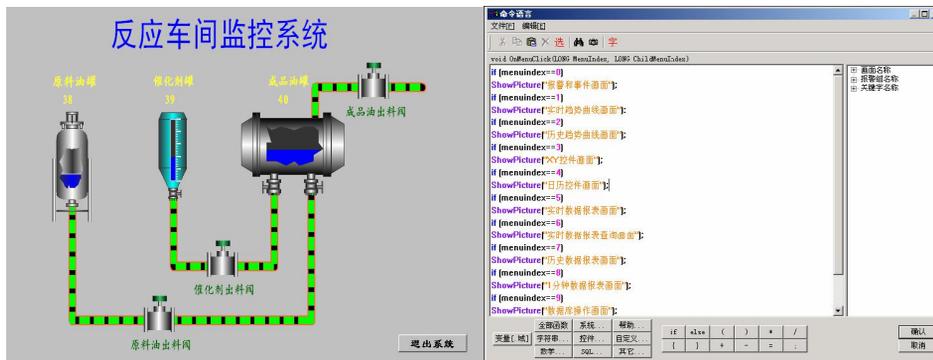
```

if(\本站点\原料油液位<100)
{\本站点\原料油液位=\本站点\原料油液位+1;}
else
{\本站点\原料油液位=0;}
if(\本站点\催化剂液位<100)
{\本站点\催化剂液位=\本站点\催化剂液位+1;}
else
{\本站点\催化剂液位=0;}
if(\本站点\成品油液位<100)
{\本站点\成品油液位=\本站点\成品油液位+1;}
else
{\本站点\成品油液位=0;}

```

(7) 液体流动动画设置

(8) 设置菜单，并实现画面切换



教学过程
(总结、作业)

总结
总结本实验课内容及完成情况

- 1.组态软件定义、作用、类型等。
- 2.实验过程中遇到的问题进行说明。
- 3.整数累加工程完成情况。

作业

- 1.完成本节课实验内容，并撰写实验报告。
- 2.完成线上平台相关内容的学习。

板书

实验课无板书