



自动控制理论



Principles of Automatic Control

By 王慧 hwang@iipc.zju.edu.cn 13064717398

赵豫红 yhzhao@iipc.zju.edu.cn 13588011887 (691887)

助教李佳燕 jyli@iipc.zju.edu.cn 15088719919 (596919)





课程简介



- “自动控制原理”所需的预修课程
 - 数学分析（微积分）、常微分方程、复变函数、电路原理等
- “自动控制原理”讨论的内容
 - (1) 建立 系统模型（包括连续时间系统和离散时间系统）
 - (2) 模型的各种表示与转换关系
 - (3) 基于模型的系统分析：稳定性、稳态误差、系统性能等
 - (4) 各种分析系统的方法：时域、复频域、频域
 - (5) 系统的综合设计方法

本课程中考虑线性时不变系统。



课程目标及要求



➤ 课程目标

- 介绍控制理论(**control theory; cybernetics**)的基本原理
- 培养对控制系统理论的基本理解能力
- 学习如何分析并设计自动控制系统

➤ 课程要求

- 预习，课堂听讲，复习。有事有病请假。
- 按时完成作业。

➤ 考核标准

- 平时成绩：**30%**
- 期中测试：**10—20%**
- 期末考试：**50—60%**



➤ 联系方式

—王 慧：玉泉校区控制系新楼401室; 13064717398

赵豫红：玉泉校区控制系新楼411室; 13588011887

吴 俊：jwu@iipc.zju.edu.cn

邵之江：zjshao@iipc.zju.edu.cn

徐正国：xzg@zju.edu.cn

宋春跃：ycysong@iipc.zju.edu.cn

杨秦敏：qmyang@iipc.zju.edu.cn

周立芳：lfzhou@iipc.zju.edu.cn

—中文班助教李佳 燕： 15088719919（596919）



控制系本科教学平台: <http://www.cse.zju.edu.cn/eclass/>



360安全浏览器 5.0 正式版

» 文件(F) 查看(V) 收藏(B) 工具(T) 帮助(H) 火车票机票优惠抢

请登录 http://www.cse.zju.edu.cn/eclass/

收藏 谷歌 网址大全 360游戏 2010-07-05 导入 www.booking.co 全球订房网HRS.cn 扩展中心 我喜欢 截图 网银 游戏 登录管家 翻译

首页

浙江大学

控制科学与工程学系网络课程平台

Welcome to

点击进入>>

E-Class of Depaartment of Control Science and Engineering, ZJU

Copyright 2012 浙江大学控制科学与工程学系 版权所有

浏览器医生 IE打开 下载 100%



控制系本科教学平台: <http://www.cse.zju.edu.cn/eclass/>

点击课程: 自动控制原理I





浙江大学控制科学与工程学系

网络课程平台

欢迎访问控制系本科生网络课程平台。

欢迎您: student ()

注销

WELCOME TO E-CLASS OF DEPARTMENT OF CONTROL SCIENCE AND ENGINEERING, ZJU

CSE

核心课程

- 自动控制理论I
- 自动控制理论II
- 过程控制工程
- 自动化专业英语与科技文献阅读
- 微机原理
- 现代传感技术和过程检测系统
- 控制仪表及计算机控制装置

模块课程

- 公共安全监测技术
- 自动化技术专题讲座
- 物流自动化概论
- 信号与系统 (乙)
- 生物传感器技术
- 嵌入式系统设计
- 机器人技术
- 数字信号处理
- 软件技术基础
- 计算最优控制实践
- 智能控制技术
- 数值计算方法
- 工业通信网络
- 物联网技术导论
- 运筹学
- 系统工程导论
- 数学建模与仿真
- 无线传感器网络
- 图像处理技术及其应用
- DSP系统设计
- 面向对象的编程技术
- 随机控制与信息导论
- 控制系统仿真
- 人工智能概论
- 控制科学前沿

图片展示



3



2



6

收集本页



本科教学课程网站:

http://www.cse.zju.edu.cn/eclass/control_theory_1/

理论教学（课件）：资源下载（作业）

正在建设中。。。。。。





课程参考书目



► 参考书目

1. 《自动控制原理》：孙优贤、王慧主编. 2012, 化工出版社
2. 《自动控制原理》(第五版); 胡寿松主编, 2006, 科学出版社
3. 《化工过程控制原理》(第二版); 周春晖主编, 1998, 化工出版社
4. 《自动控制系统》(第八版); 汪小帆, 李翔译, 2004, 高等教育出版社
5. 《现代控制系统》(第八版), 谢红卫等译, 2004, 高教出版社
6. 《动态系统的反馈控制》(第四版); 朱齐丹等译, 电子工业出版社

。 。 。 。 。



课程参考书目



➤ 参考书目

1. John J.D'Azzo, Constantine H.Houpis, 2001, 2006
Linear Control System Analysis and Design (Fourth or Fifth Edition)
2. Gene F.Franklin, J.David Powell, Abbas Emami-Naeini.
Feedback Control of Dynamic Systems (Fourth Edition)
3. Karl Johan Astrom & Richard M. Murray, 2008
Feedback Systems---An Introduction for Scientists and Engineers
4. Benjamin C.Kuo, Farid Golnaraghi,
Automatic Control Systems (Eighth Edition)



浙江大学



第一章

绪 论

◆ 关键词

- ◆ 系统、控制、控制系统、自动控制系统
- ◆ 输入、输出、反馈
- ◆ 开环控制、闭环控制





主要内容



- 自动控制系统的基本概念
- 自动控制系统的基本结构形式
- 自动控制系统的分类
- 对自动控制系统的基本要求
- 自动控制理论的发展概况
- 课程的主要内容安排



➤ 系统(System)

- 一组相互关联并共同完成特定功能的集合体（或装置、部件）称之为系统

➤ 静态（稳态）系统(Static System)

- 系统的输入输出关系与时间无关
- 输出仅由当前的输入确定

➤ 动态(Dynamic System)

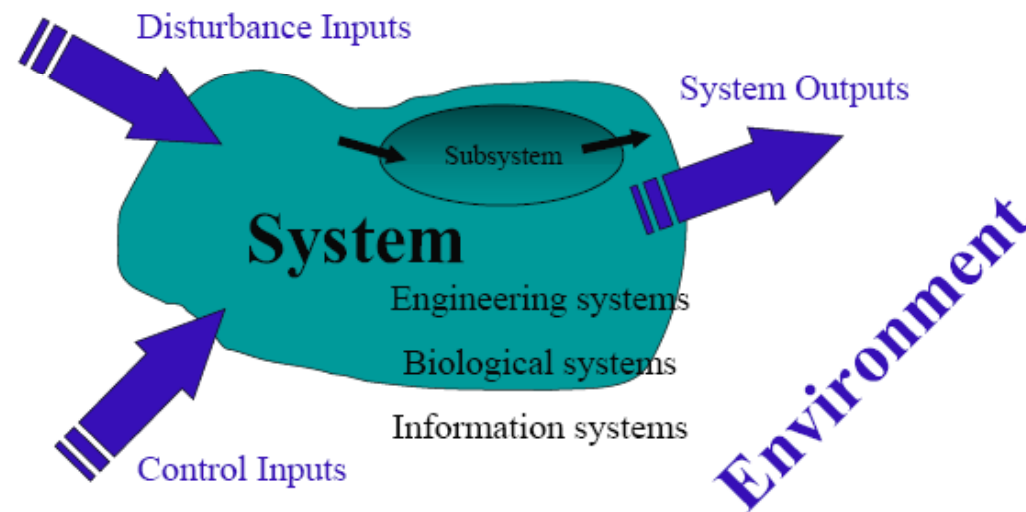
- 指有记忆的系统，例如在时刻 t 的输入值将影响未来的输出
- 动态系统与静态系统

➤ 一个系统通过边界(boundary)与其周边的环境相互作用

合理定义系统边界



- 系统相互作用的量称作变量 (**variable**)
 - i. 系统输入 (**System input**)
 - ii. 系统输出 (**System output**)
 - iii. 环境（外部）扰动 (**Environmental disturbances**)
 - iv. 状态变量（内部变量） (**State variables (internal variables)**) 和子系统 (**Subsystems**)





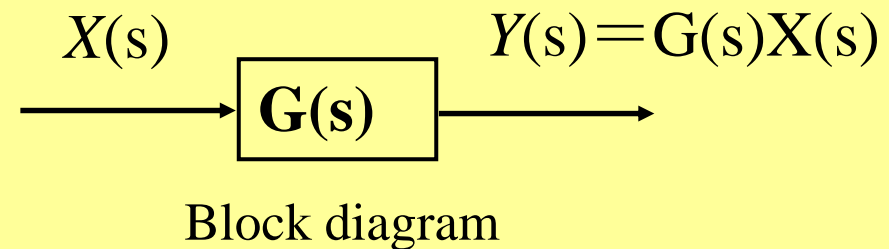
- 系统的边界(**boundary**)取决于所定义的系统目标或性能
- 系统的目标或性能用量测的输出变量值(**measured output variables**)表示
- 系统的运行(**operation**)通过控制输入变量(**control input variables**)来操纵
- 系统的运行还会受到不是控制作用的扰动输入变量(**disturbance input variables**)的影响
- 容易混淆的两个变量:
 - measured variable = CV = 被控变量(controlled variable)
 - control variable = MV = 控制变量(manipulated variable)



- **控制**是指通过对某个装置或生产过程的某个或某些物理量进行操作，以达到使某个变量**保持恒定**或**沿某个预设轨迹运动**的一个**动态过程**。
- **控制系统**是为了**达到某种“目标”**设计并按照人们意愿予以实施的一套系统。

控制的实例：

- 房间温度设定值控制
- 煮饺子的控制
- 飞机的姿态控制



方块图：对象、手段、目标

基本方式：连续反馈→修正偏差→达到目标



控制能够做什么？



- ◆ 使系统按照期望的要求工作
 - ◆ 保持被控变量（物理量）恒定
 - ◆ 使不稳定系统能够稳定
 - ◆ 减少扰动的影响，补偿物理量的波动
 - ◆ 为系统设计提供便利



手动控制与自动控制



- 例：汽车驾驶要求控制汽车沿期望路径安全地到达预定的目的地



- 如果由司机驾驶汽车，则司机对汽车实施了手动控制；也可以设计一套自动驾驶设备，由自动驾驶设备控制汽车行驶，这就形成了一套自动控制系统
- 两个概念：
 1. 手动控制 VS 自动控制
 2. 开环控制 VS 闭环控制-----做一个小实验



主要内容



- 自动控制系统的基本概念
- 自动控制系统的结构形式
- 自动控制系统的分类
- 对自动控制系统的的基本要求
- 自动控制理论的发展概况
- 课程的主要内容安排



开环控制系统例子：烤面包机



Open-Loop Control System

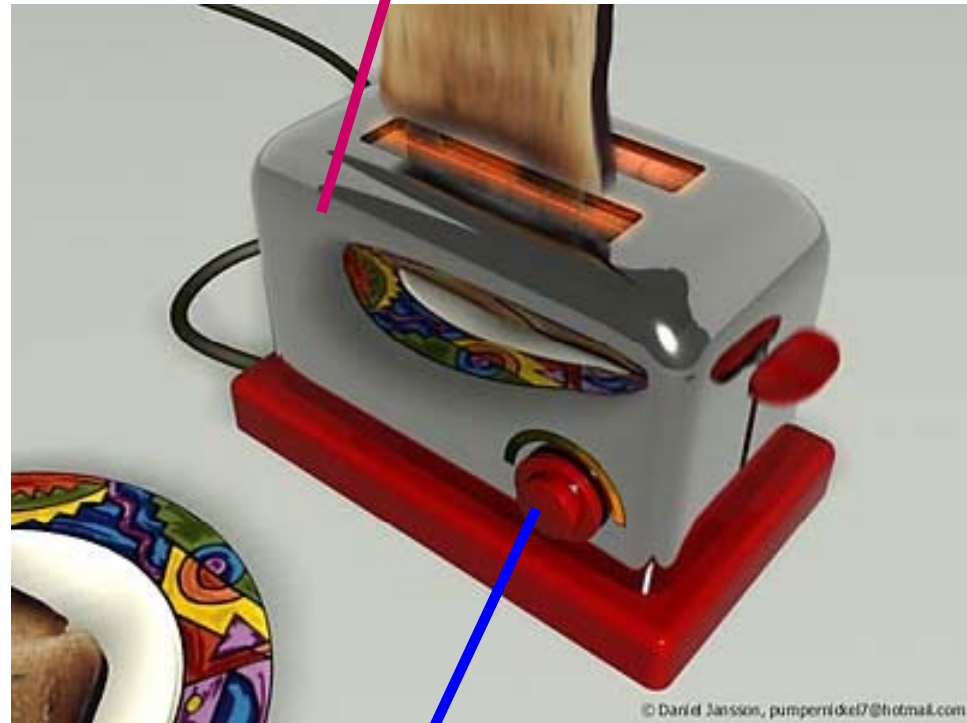
输入变量：黑度或烘烤时间

输出变量：面包的黑度或脆度

如果面包的黑度没有达到要求，烤箱也**不会自动地**调节烘烤时间

被控过程（单元）：指被控制的设备、过程等。

动态单元（被控对象、单元）



旋钮：设定期望的黑度



开环控制系统例子：直流并励电动机

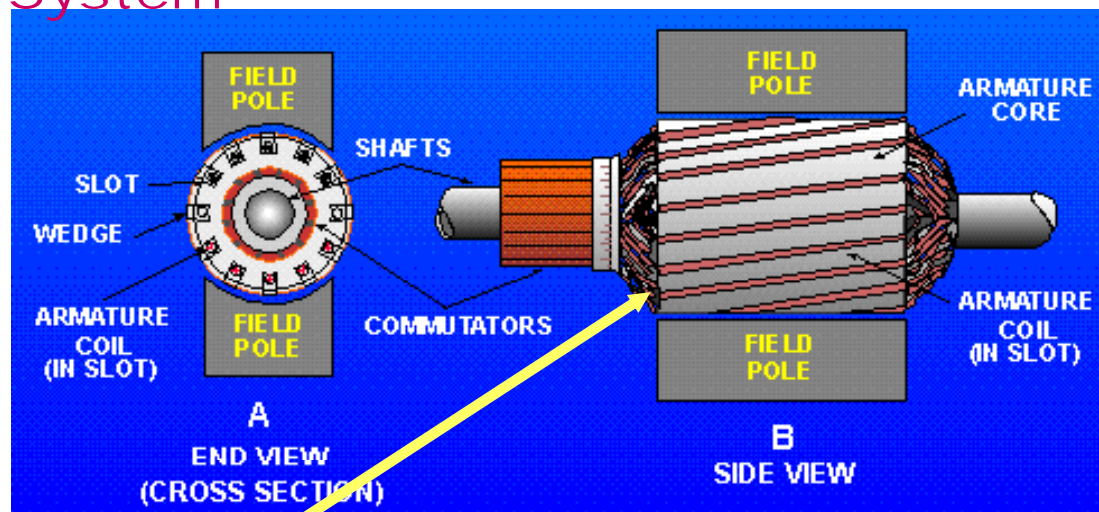


Open-Loop Control System

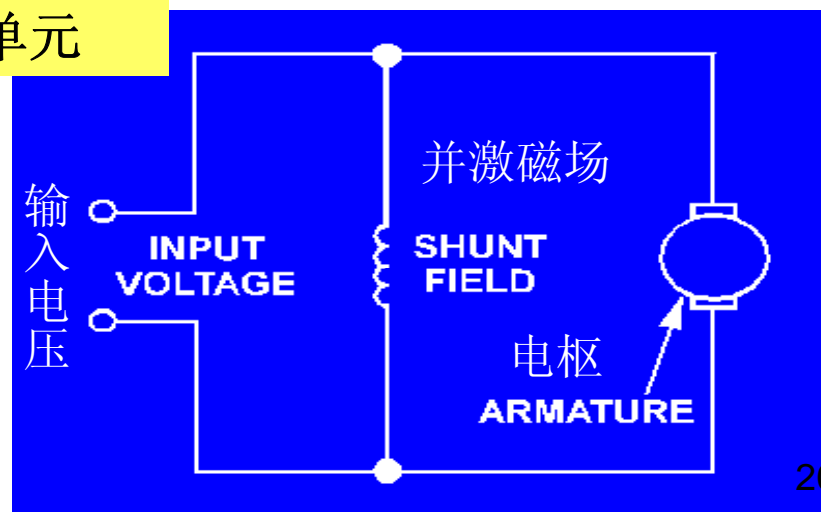
输入变量：电枢电压

输出变量：电动机轴速

如果由于电动机轴上的机械负载发生变化，而导致电动机轴速偏离了期望值，那么电动机也**无法自动**修正输入的电压

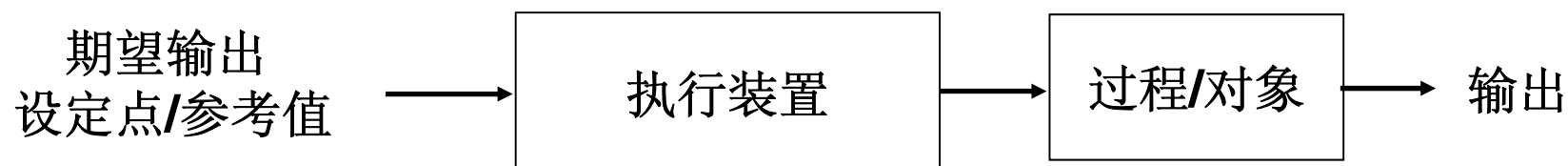


动态单元





开环系统的基本方块图



例1

面包松脆度

时间旋钮

烤面包机

松脆度

例2

电动机轴速

电压

电动机

轴速

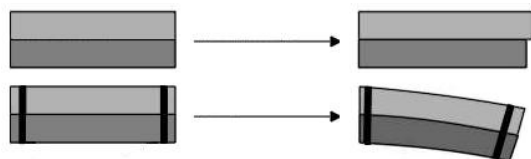
开环控制系统：系统输出不影响系统输入



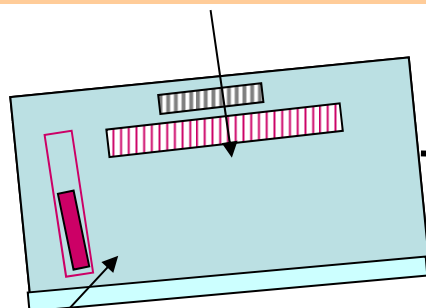
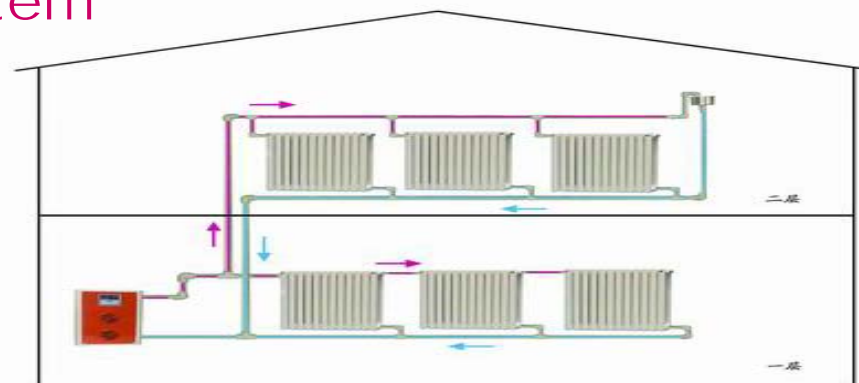
闭环控制系统：家用取暖炉



Closed-Loop Control System



期望室温设定



自动调温器

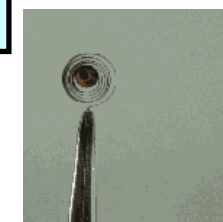
实际室温

继电器

取暖炉

热气
排放口

家用取暖炉控制系统



bimetallic coil

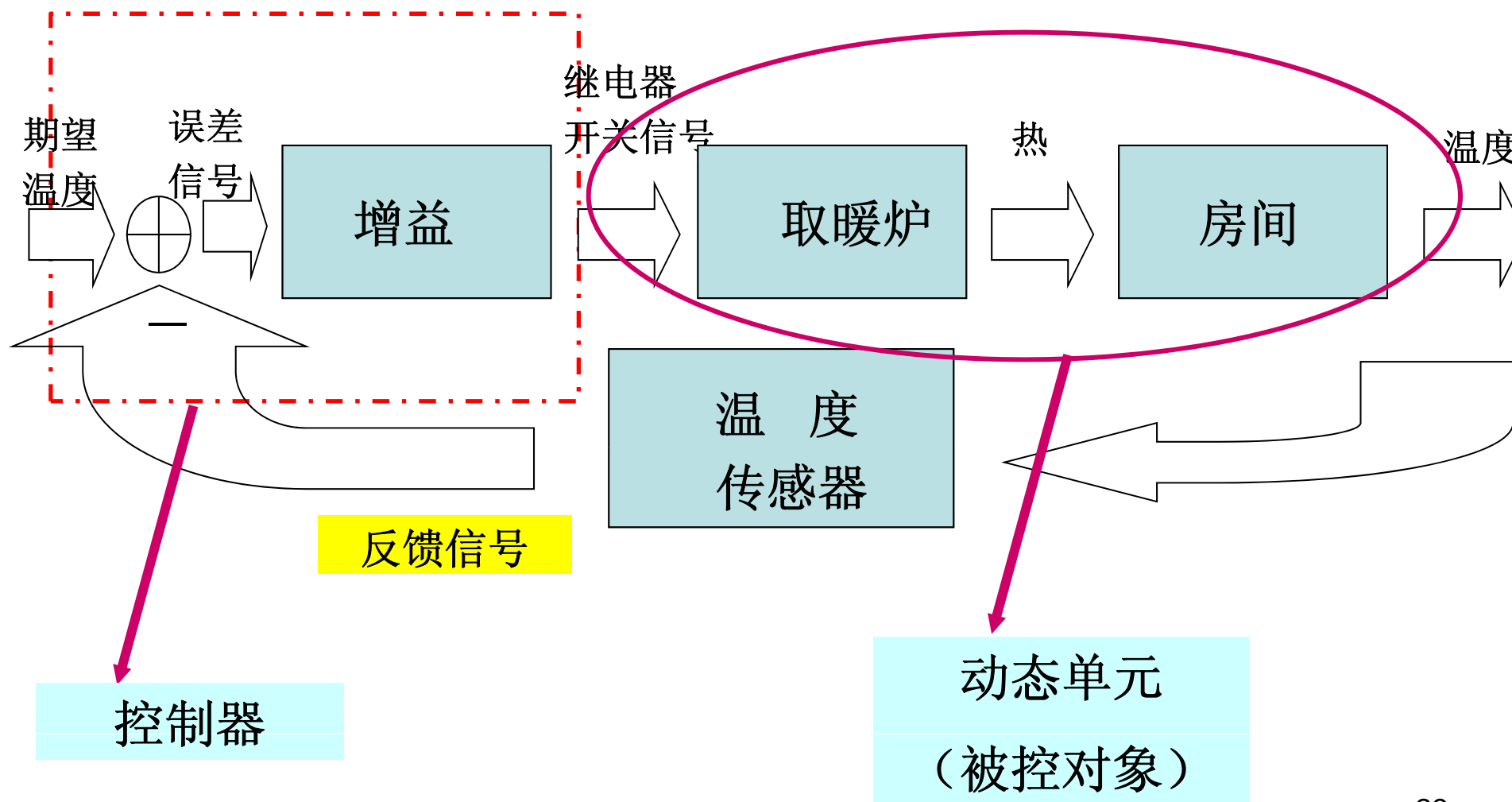
- 如果室温低于（或高于）期望温度，暖炉将启动（或关闭），直到室温略微高于（或低于）期望温度



闭环控制系统：家用取暖炉



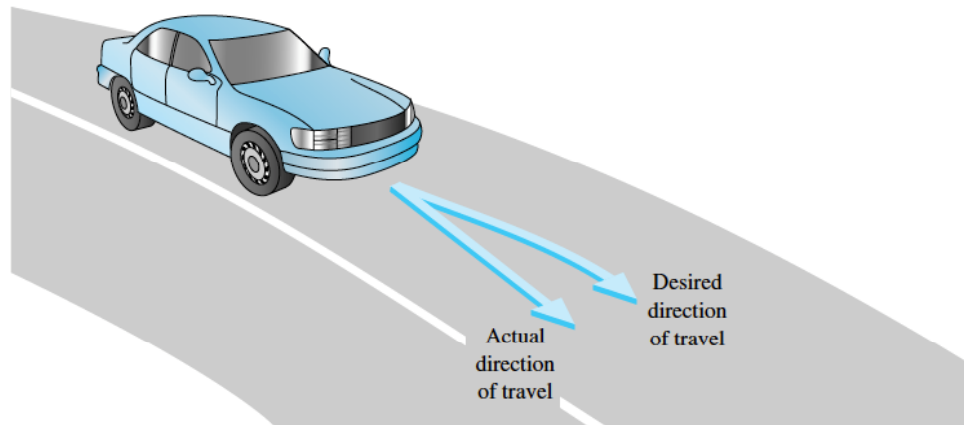
Closed-Loop Control System





闭环控制系统例子：驾驶汽车

Car and Driver 广义的操控(汽车整体运行)



(a) 汽车驾驶控制系统

(b) 司机利用汽车行驶的实际方向与期望方向之间的误差，来控制并调节车轮转向，使汽车按照期望的路径行驶

(c) 典型的行驶方向响应曲线

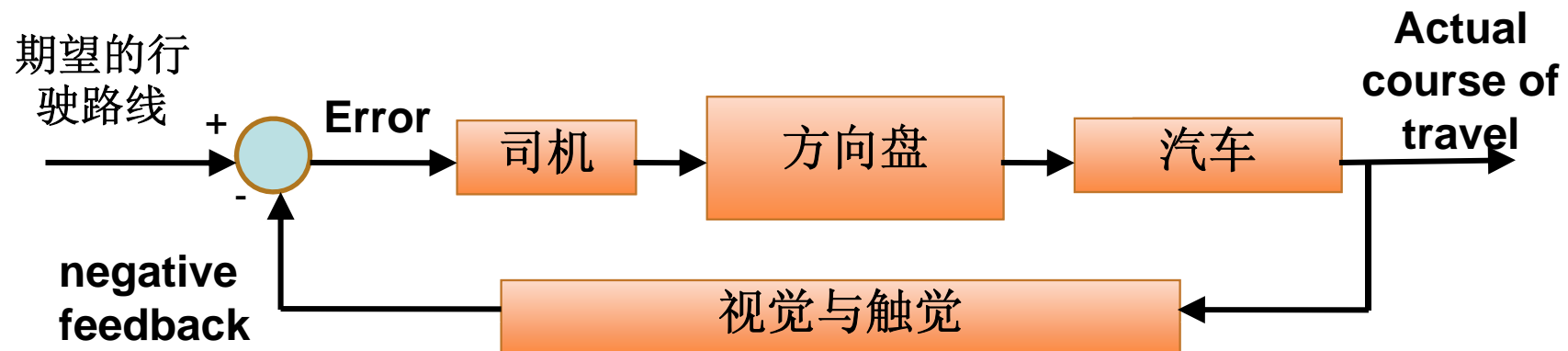
- 目标 (Objective) : 控制汽车的方向与速度
- 输出 (Outputs) : 汽车实际的方向与速度
- 控制输入 (Control inputs) : 路标与限速
- 扰动 (Disturbances) : 道路表面、风速、障碍、天气等
- 可能的子系统 (subsystems) : 机械，发动机，电助方向盘，刹车，悬梁，空调等等，。。。



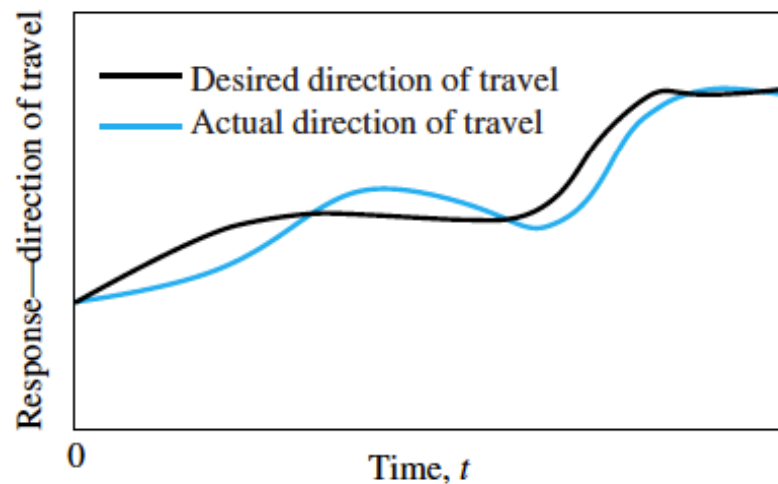
闭环控制系统例子：驾驶汽车



➤ 汽车驾驶控制的方块图



时间响应 (Time response) :



manual control:

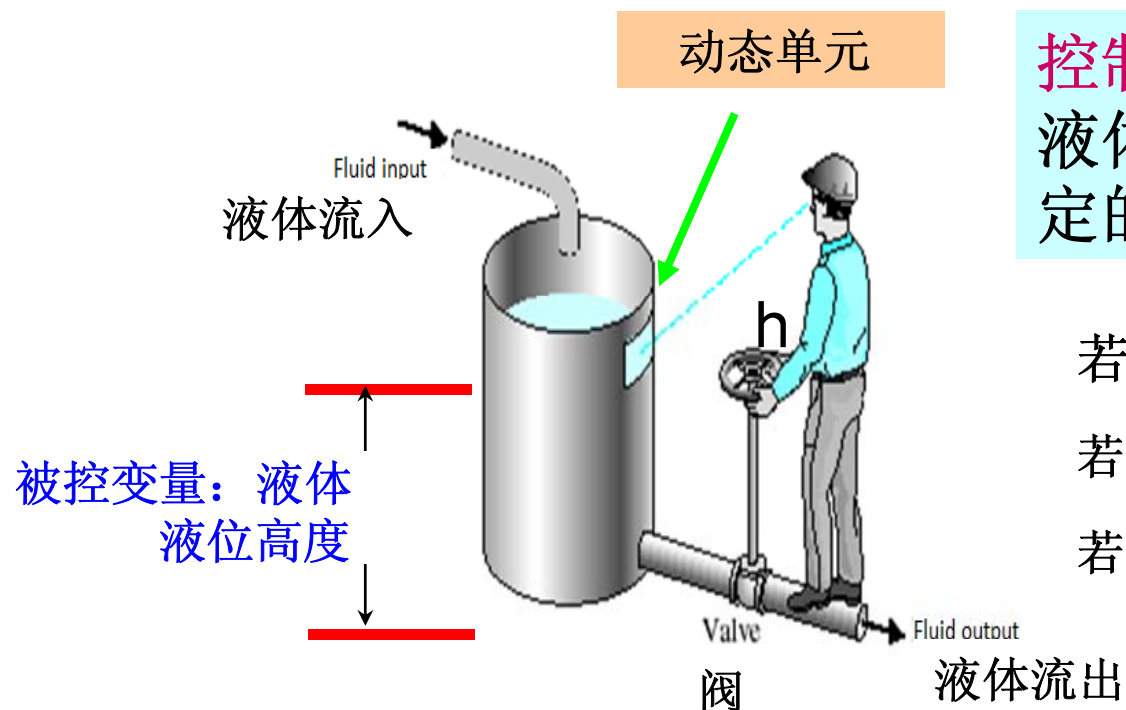
- body movement (left/right/up/down)
- vibration (road surface)
- steering wheel (by hands)

自适应巡航控制

(Adaptive Cruise Control----ACC)



闭环控制系统：手动液位控制系统



控制目标：将水箱内液体的液位维持在给定的液位高度上

若 $h < H$ ，关阀；

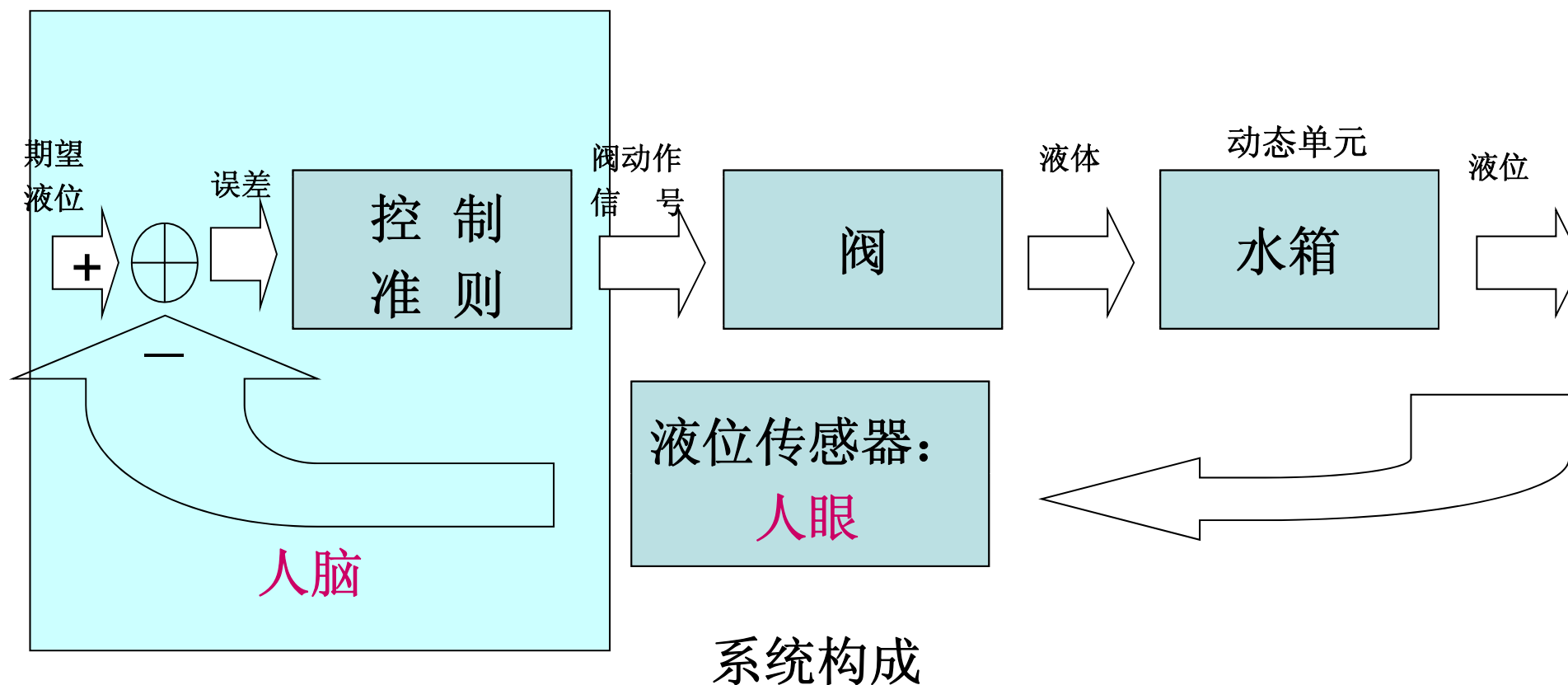
若 $h > H$ ，开阀；

若 $h = H$ ，不动作。

A manual control system for regulating the level of fluid in a tank by adjusting the output valve. The operator views the level of fluid through a port in the side of the tank.



闭环控制系统：手动液位控制系统





开环/闭环控制系统

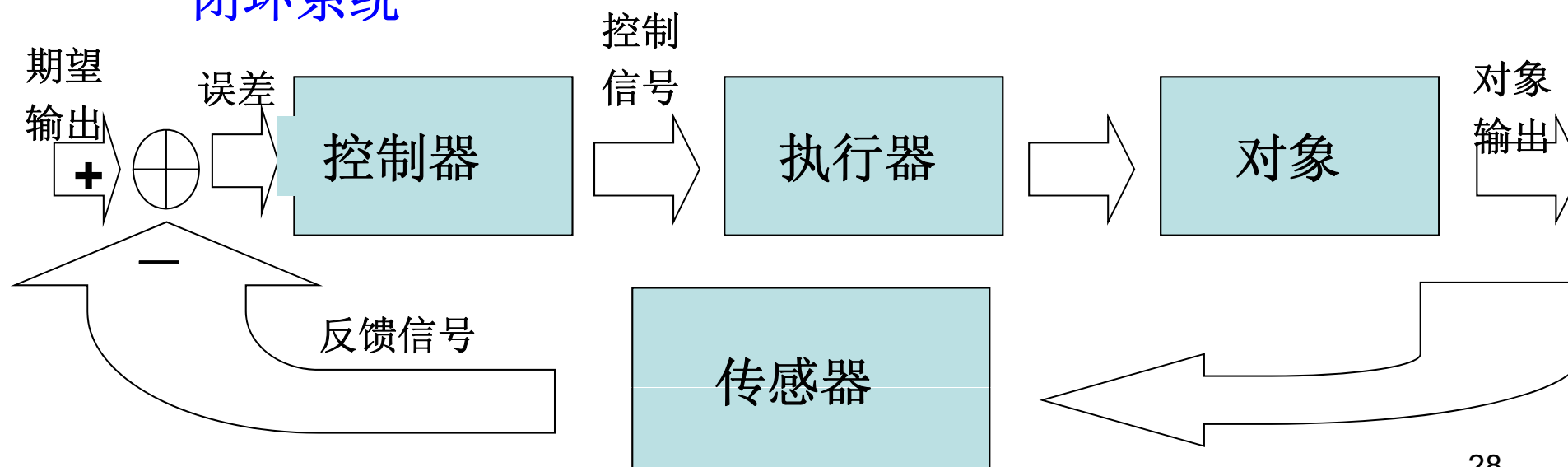


控制系统由一组元件组成，每个元件可以由方块图中的方块表示。

开环系统



闭环系统





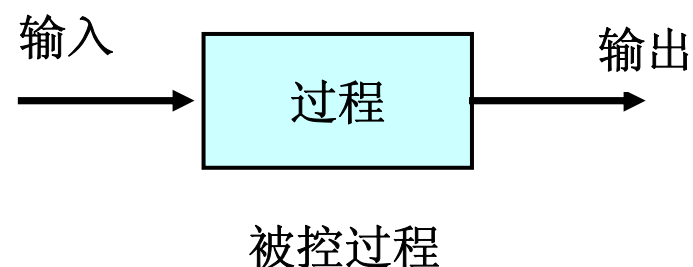
常用术语



系统：作为一个有机的整体，将一些部件组合在一起完成特定的任务。

控制系统：由一组元件相互连接构成一个系统，能够提供期望的响应。

被控对象（或过程）：指被控制的设备、物体、或者一个运行的变化过程，如化学反应过程，炼油生产过程，生物学过程等。过程的输入输出关系反映了过程的因果关系。



被控变量（系统输出）：被控对象的输出，表征了对象或过程的状态和性能。

控制变量（操作变量）：作用于被控对象，改变对象运行状态的量。



常用术语



参考输入：人们希望被控变量能达到的数值，又称给定输入、给定值、给定信号等。

扰动信号：使系统的输出量偏离期望值的信号。如果扰动产生在系统内部，称为内部扰动（简称内扰）；当扰动来自系统外部时，称为外部扰动（简称外扰）。

反馈信号：从系统输出端取出并反向送回到系统输入端的信号称为反馈信号。当反馈信号的符号与被比较信号相反时称为负反馈，相同时称为正反馈。

偏差信号：指期望输出值与实际输出值之间的偏差，往往简称偏差，有时也称为误差。但在反馈控制系统中，参考输入和反馈信号间的偏差也称为误差。所以，在有可能引起误解时，最好能用文字或公式进行说明。



常用术语



控制器：使被控对象具有期望的性能或状态的控制设备。它的作用是将系统输出与参考输入比较，根据得到的偏差，按预先设计好的控制规律给出控制量输出到执行机构。

执行机构：执行来自控制器的指令，并将控制作用施加于被控对象，以使被控变量按照预定的控制规律变化。

反馈控制：将系统的输出量与参考输入进行比较，根据其误差进行控制，力图保持两者间预先设定好的关系。

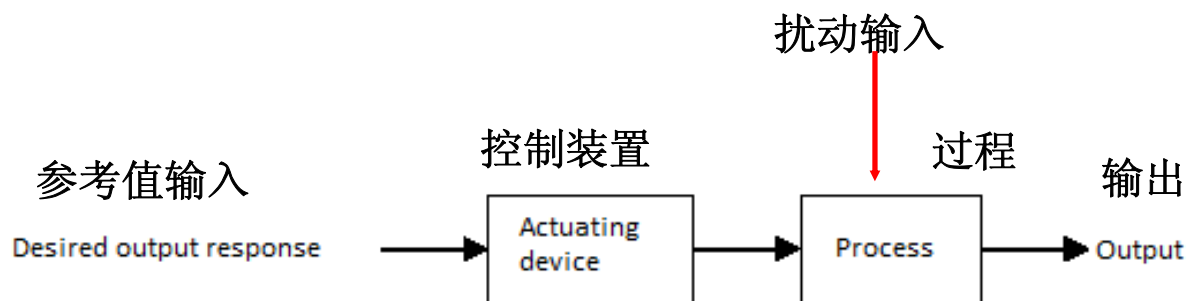
特性：指系统输入与输出之间的关系，可用数学式表示，也可用曲线或图表方式表示。系统特性分为静态特性与动态特性。**静态特性**是系统稳定以后表现出来的输入输出关系，通常表现为静态的放大倍数；**动态特性**指的是系统输入输出在从一个平稳状态过渡到另一个平稳状态的过程中所表现出来的特性，又称为过渡过程特性。



常用术语

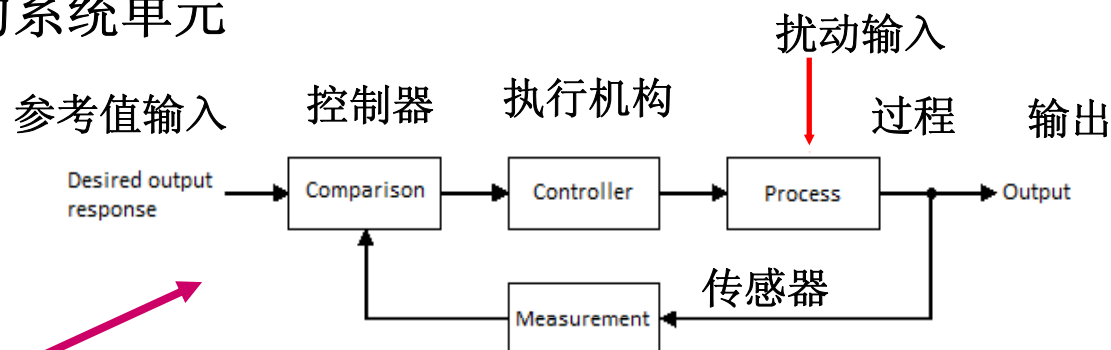


开环控制系统： 输出量
不能对系统的控制作用
产生影响的系统

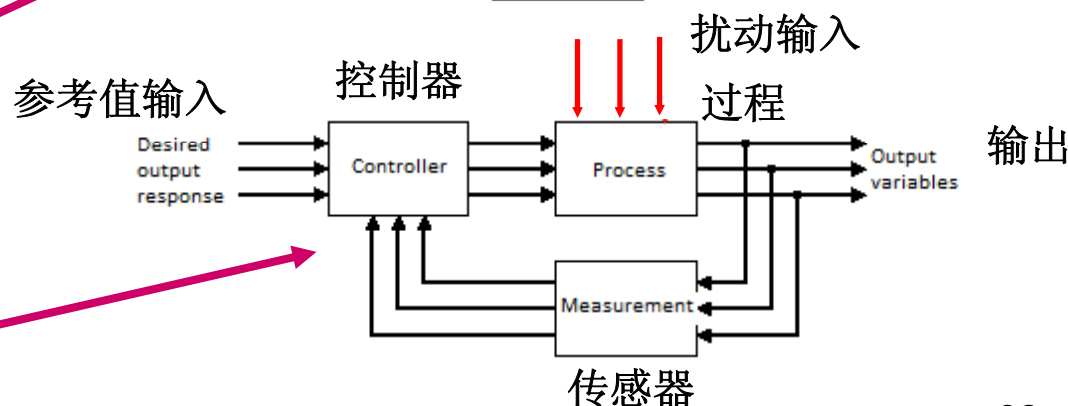


反馈单元： 提供输出量反馈的系统单元

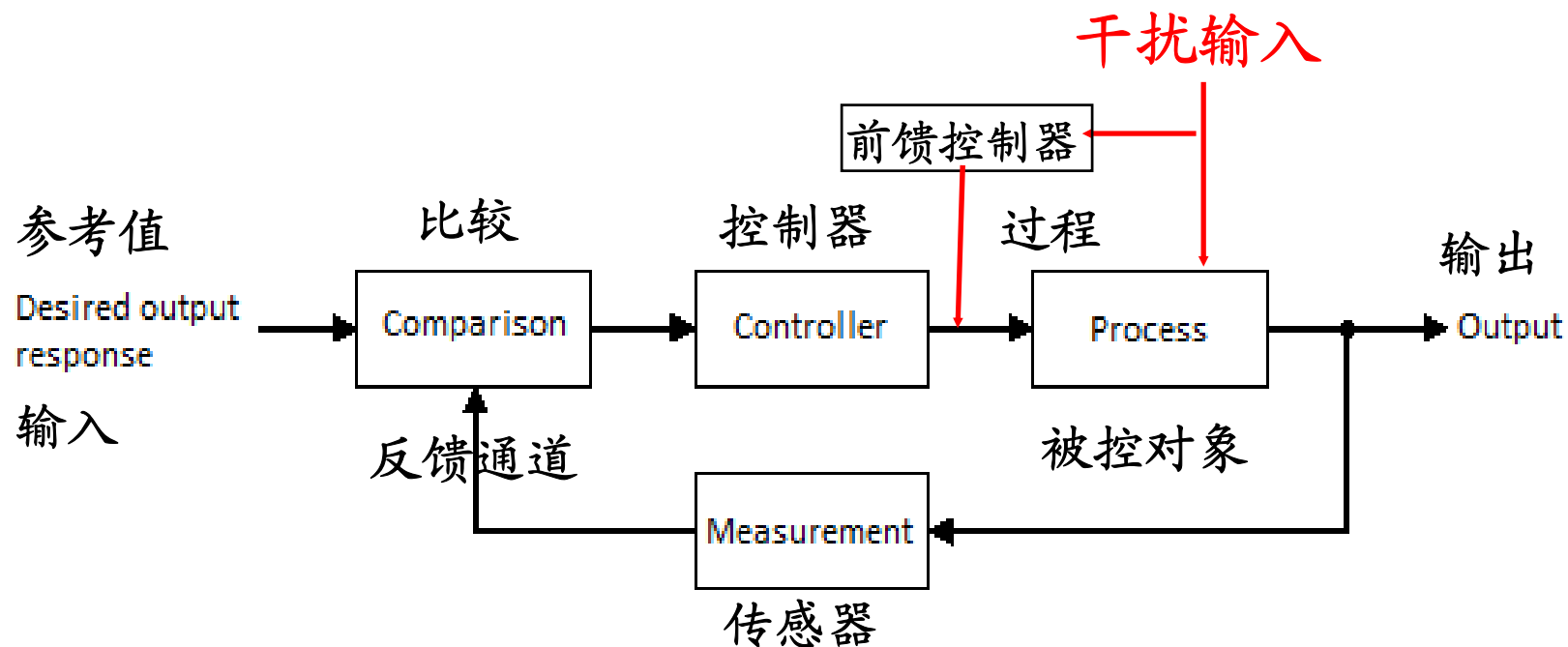
闭环控制系统： 控制系统中
将输出量反馈到输入端，对
控制作用产生影响的系统就
称为闭环控制系统。



SISO： 单输入单输出控制系统



MIMO： 多输入多输出控制系统



A negative feedback system block diagram depicting a basic closed-loop control system.
The control device is often called a “controller.”

- 反馈控制及前馈控制



主要内容



- 自动控制系统的基本概念
- 自动控制系统的基本结构形式
- 自动控制系统的分类
- 对自动控制系统的基本要求
- 自动控制理论的发展概况
- 课程的主要内容安排



控制系统分类



- 按控制系统的结构分类：
 - 开环控制系统
 - 闭环控制系统
- 按系统给定信号的特征分类
 - 恒值（定值）控制系统（自动调节系统）
 - 随动控制系统（伺服系统）
 - 程序控制系统
- 按传输信号的性质分类：
 - 连续时间控制系统
 - 离散时间控制系统



控制系统分类



➤ 按系统的输入输出信号数量分类:

- 单变量系统 (**Single Input Single Output, SISO**)
- 多变量系统 (**Multi Input Multi Output, MIMO**)

➤ 按系统的数学描述分类

- 线性系统
- 非线性系统

➤ 按系统的参数是否随时间变化分类:

- 定常 (时不变) 系统
- 时变系统

◆ 本课程考虑的系统为线性时不变、单变量负反馈系统。



主要内容



- 自动控制系统的基本概念
- 自动控制系统的基本结构形式
- 自动控制系统的分类
- 对自动控制系统的基本要求
- 自动控制理论的发展概况
- 课程的主要内容安排



对自动控制系统的基本要求



➤ 一、稳定性

稳定性是保证系统正常工作的先决条件。

➤ 二、瞬态（动态）性能

当给定输入变化时，希望系统能跟随其变化；当扰动出现时，则希望系统能克服扰动回到平衡状态。对动态的过渡过程要求是既快又稳。

➤ 三、稳态性能

当动态过程结束进入下一个平稳状态后，要求稳态误差尽可能地小。



主要内容



- 自动控制系统的基本概念
- 自动控制系统的基本结构形式
- 自动控制系统的分类
- 对自动控制系统的基本要求
- 自动控制理论的发展概况
- 课程的主要内容安排



➤ 早期的自动控制系统

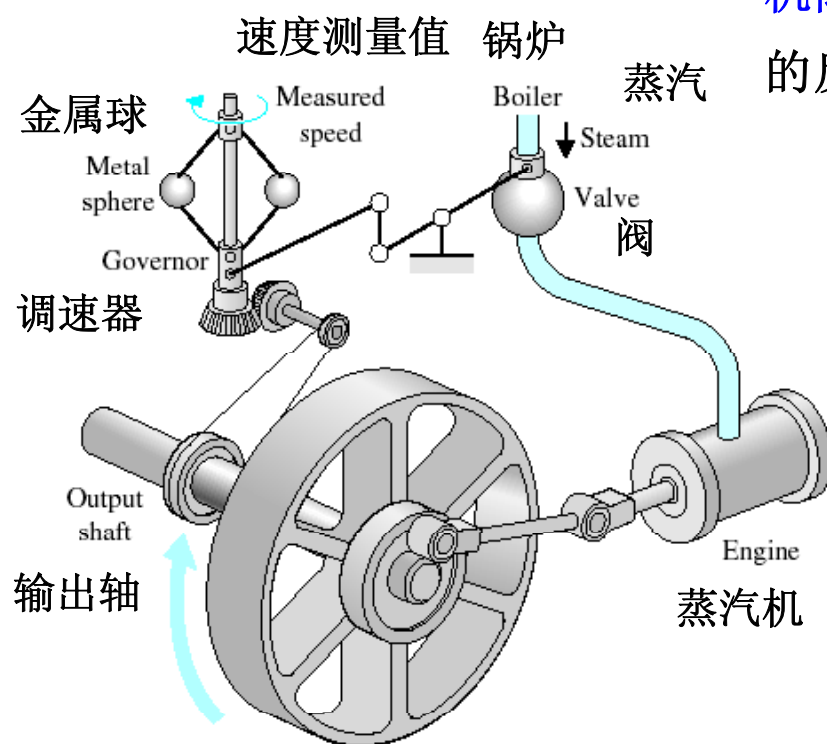
- 最早的控制系统应用可以追溯到中国古代发明的用来指示方向的**指南车**，那是一个利用齿轮传动系统，根据车轮的转动按扰动控制原理构成的控制系统。
- **北宋**，**苏颂**和**韩公廉**在他们制造的水运仪象台里使用了一个**天衡装置**，实际上就是一个按被调量偏差控制原理构成的闭环控制系统。
- **公元前三世纪**，希腊的**凯特斯比斯(Kitesibbios)**在油灯中使用了**浮子控制器**以保持油面液位稳定。
- **公元一世纪时**，**赫容(Heron)**出版了名为《**浮力学**》的书，介绍了好几种用**浮阀控制液位**的方法。



自动控制理论的发展概况



➤英国人瓦特(J. Watt)在1784年发明的蒸汽机离心式转速调节器，将具有比例控制作用的反馈控制系统真正引入了工业生产。



➤1868年，英国物理学家麦克斯韦尔(J.C.Maxwell)在他发表的“论调节器”论文中首次从理论上全面地论述了反馈系统的稳定性问题，将控制系统稳定性分析与判别微分方程特征根的实部符号问题联系起来，被公认为是自动控制理论研究的一个重要里程碑。

Watt's Flyball Governor
(18th century)

飞球式（离心式）调速器



➤ 经典控制理论

- 数学家劳斯 (E. J. Routh) 和霍尔维茨 (A. Hurwitz) 分别在1877年、1895年独立地给出了对于高阶线性系统的稳定性代数判据。
- 1892年，俄国的数学家李雅普诺夫 (A. M. Lyapunov) 用严格的数学分析方法全面地论述了稳定性理论及方法，提出了李雅普诺夫稳定性判别方法。
- 1903年，莱特兄弟 (Wright Brothers) 实现了飞行控制。
- 1910年，斯佩里 (Sperry) 发明了陀螺仪和导航辅助仪。
- 1927年，贝尔实验室的布莱克 (Black) 发明了反馈电子放大器。
- 奈奎斯特 (H. Nyquist) 在1932年提出了基于频率响应实验数据的负反馈系统稳定性的判据。



➤ 经典控制理论

- 1940年，波特(H. Bode)在研究通信系统频域方法时，提出了频域响应的对数坐标图描述方法，进一步简化了频域分析方法。
- 1942年，齐格勒(J. G. Zigler)与尼科尔斯(N. B. Nichols)给出了PID控制器的最优参数整定法。
- 1942年，维纳(Wiener)提出了最优滤波器设计方法。
- 1948年，伊万斯(W. Evans)提出了根轨迹方法，给出了系统参数变化与时域性能变化之间直观的图示分析方法。



➤ 现代控制理论

- 1956年，苏联庞特里亚金(I. S. Pontryagin)发表“最优控制的极大值原则”论文，阐述了最优控制的必要条件。
- 1957年，美国贝尔曼(R. Bellman)给出了“动态规划”理论。
- 1960年，美国卡尔曼(R. E. Kalman)发表“最优滤波与线性最优调节器”论文，采用了状态空间法研究线性系统，称为“卡尔曼滤波器”。
- 1969年，霍夫(Hoff)发明了微处理器，为数字控制奠定了基础。



➤ 大系统控制理论与智能控制理论

- 实际应用中被控对象的需求。
 - 规模庞大、结构复杂、功能繁杂、多目标优化、影响因素众多、子系统间相互关联。。。
 - 难以建模、复杂多变、需要人的智能参考

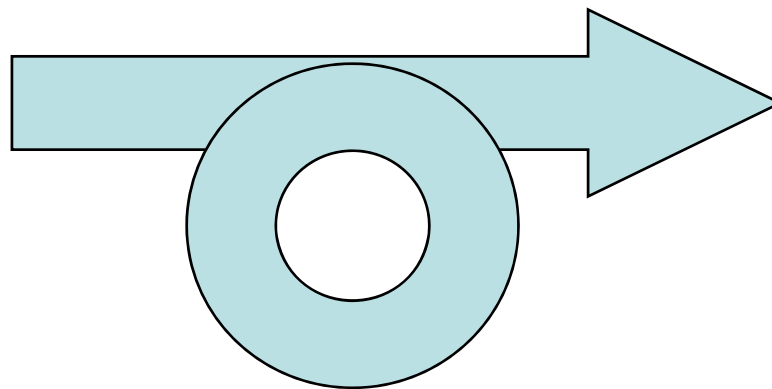
。。。。还在继续发展中



国际自动控制联合会
IFAC (International Federation of Automatic Control)



<http://www.ifac.org/>;
<http://www.ifac-control.org/>



组织、期刊、会议



中国自动化学会

CAA (Chinese Association of Automation)





主要内容



- 自动控制系统的基本概念
- 自动控制系统的基本结构形式
- 自动控制系统的分类
- 对自动控制系统的基本要求
- 自动控制理论的发展概况
- 课程的主要内容安排



1. 建立控制目标

- 定性目标：如，不要消耗过多燃料
- 定量目标：如，阶跃响应超调量小于 **20%**

2. 构造系统结构，选择合适的传感器与执行器

3. 获得对象、执行器、传感器的模型

- 解析模型
- 通过测量数据分析获得（系统辨识）



4. 设计控制器

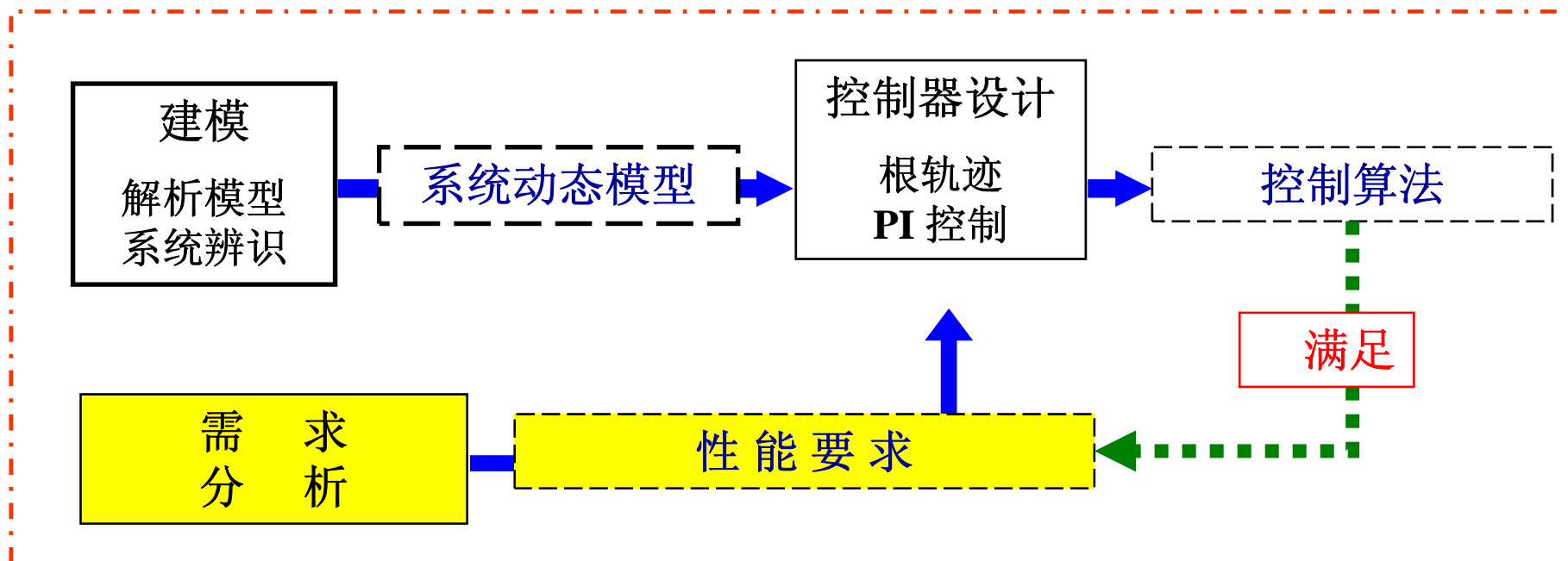
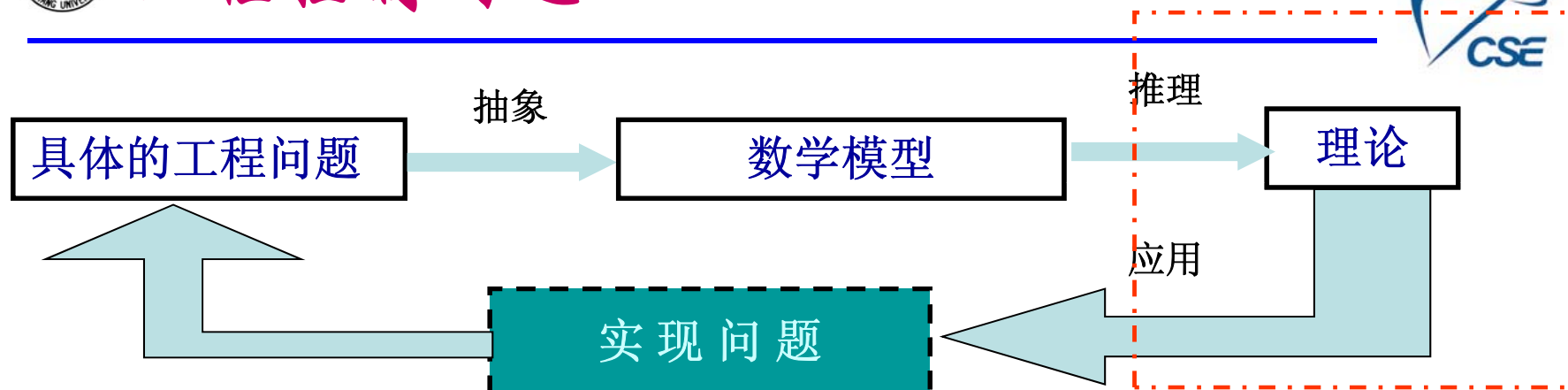
- 选择控制律
- 选择参数

5. 分析系统的闭环性能——是否满足期望的要求？

- 如果是，结束，控制问题得到解决
- 如果否，回到第4步，重新选择控制器参数或改变控制律



工程控制问题





能源生产
能源传输
过程控制
离散制造
通信
交通
土木建筑

娱乐
仪表
机械
材料
物理
生物
金融经济



本课程安排



- 经典控制理论 春夏学期 64学时
 - 微分方程求解
 - 拉普拉斯变换
 - 稳态频率响应
 - 根轨迹
- 现代控制理论研究方法 秋学期 32学时
 - 状态变量方法（线性代数）
- 实验 16学时
 - 电路箱装置实验 春夏学期
 - 计算机辅助分析与设计程序 秋学期



本课程安排



- 绪论：控制系统概述
- 经典控制理论基础
 - 系统建模（列写系统方程）
 - 控制系统表示
 - 控制系统的稳定性分析
 - 根轨迹
 - 频率响应
- 现代控制理论基础（秋学期）
 - 离散控制系统
 - 状态变量反馈

春学期

夏学期

秋学期



结语



- ◆ 实用且有趣的领域
- ◆ 反馈的应用常常会带来革命性的突破
- ◆ 应用领域广泛且快速扩张
- ◆ 许多悬而未决的问题
- ◆ 知识体系庞大且丰富
- ◆ 智力挑战

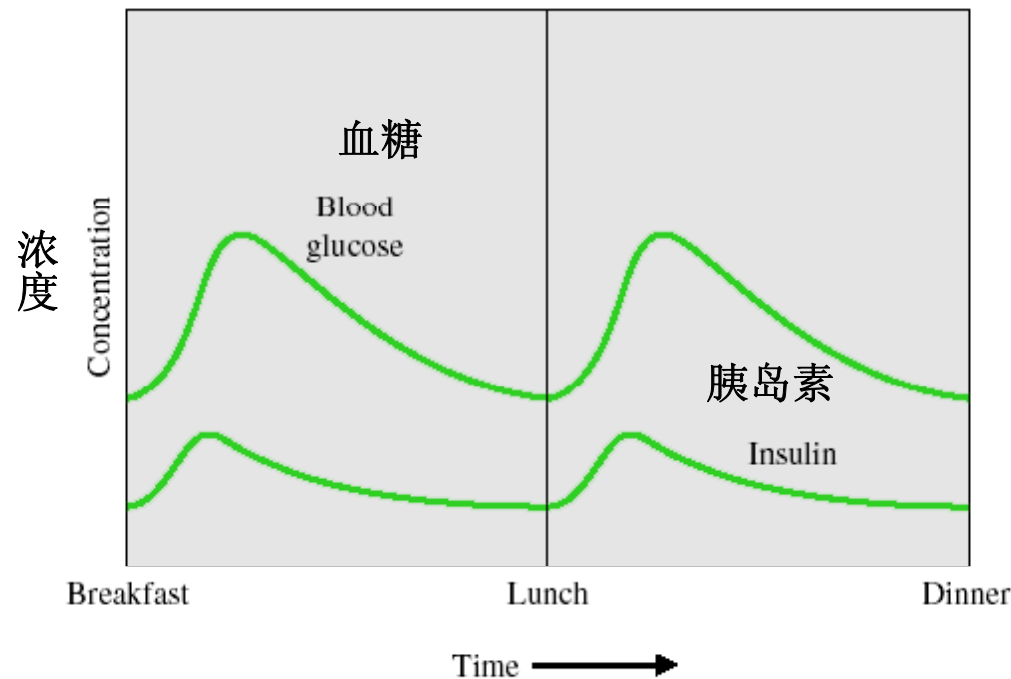


- **任何重要的工程技术领域，都离不开控制技术**
 - 传统的：化工、石化、钢铁等制造业；汽车、家电...
 - 新兴的：能源、新材料、高铁、航空航天、交通
- **新的需求**
 - 节能减排的需求
 - 快速适应市场变化的需求
 - 非传统、高端对象的控制需求：超大型、高速、强非线性、高度耦合
- **新的控制技术**
 - 传统的PID → 多变量控制与优化
 - 系统控制和系统工程



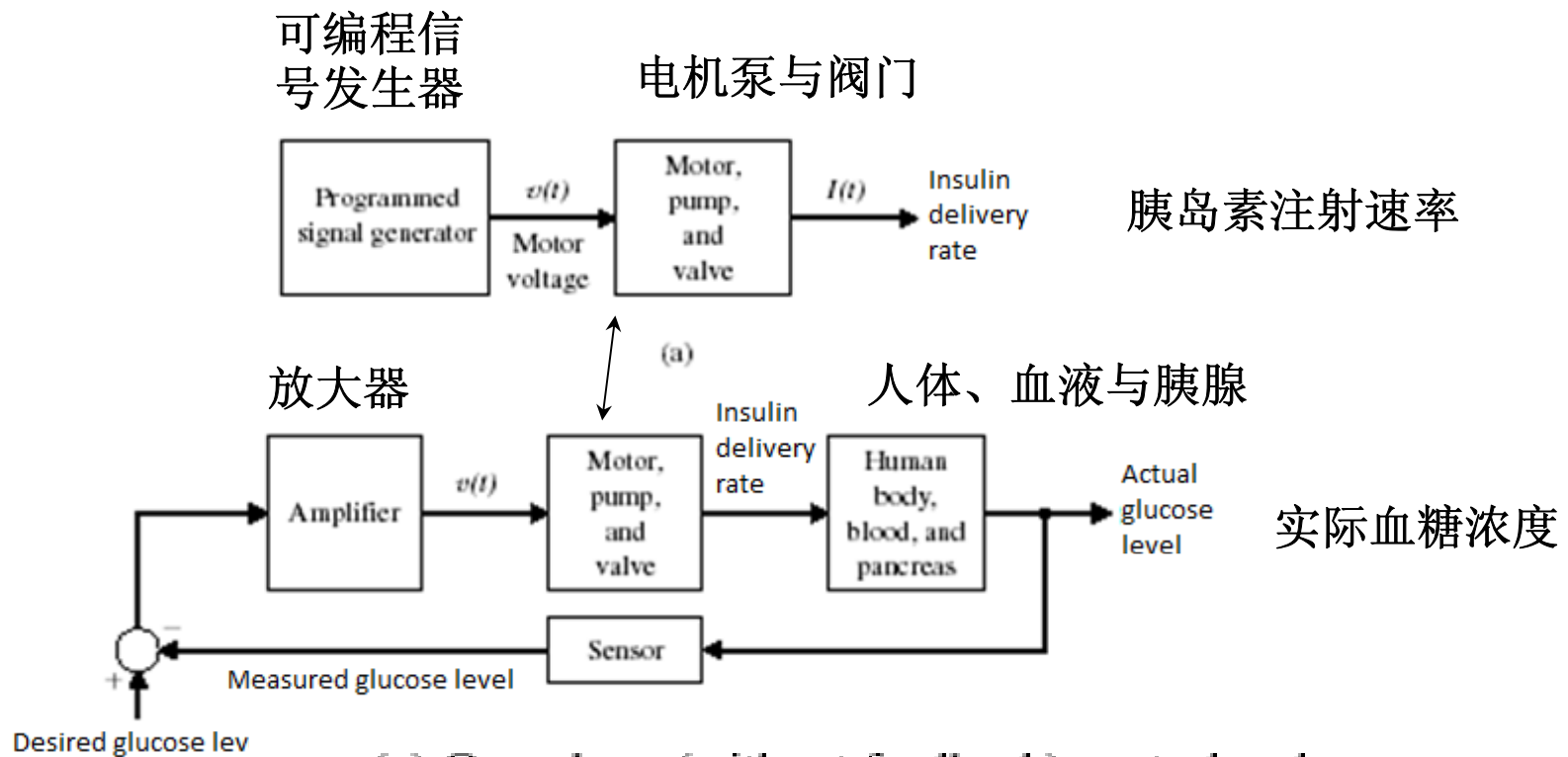
- ◆ <http://www.ifac.org/>
- ◆ <http://www.ifac-control.org/>
- ◆ <http://www.cds.caltech.edu/~murray/cdspanel>
- ◆ A magazine: IEEE Control System Magazine
- ◆ (美) 理查德 M.穆拉里编著, 陈虹、马彦译, 信息爆炸时代的控制, 北京: 科学出版社
- ◆
- ◆

例1. 开环的药物注射控制系统是医学领域最常见的应用实例。它运用的是所用药物的剂量与疗效之间的关系（数学模型）。由于微型葡萄糖传感器还不成熟，胰岛素注射控制系统也采用开环系统。现在要求设计一个能调节糖尿病人血糖浓度的系统。也即控制系统要向病人注射剂量适中的胰岛素。



健康人士的血糖和胰岛素浓度

例1. 胰岛素注射控制系统也采用开环系统。现在要求设计一个能调节糖尿病人血糖浓度的系统。也即控制系统要向病人注射剂量适中的胰岛素。



(a) Open-loop (without feedback) control and
(b) closed-loop control of blood glucose.

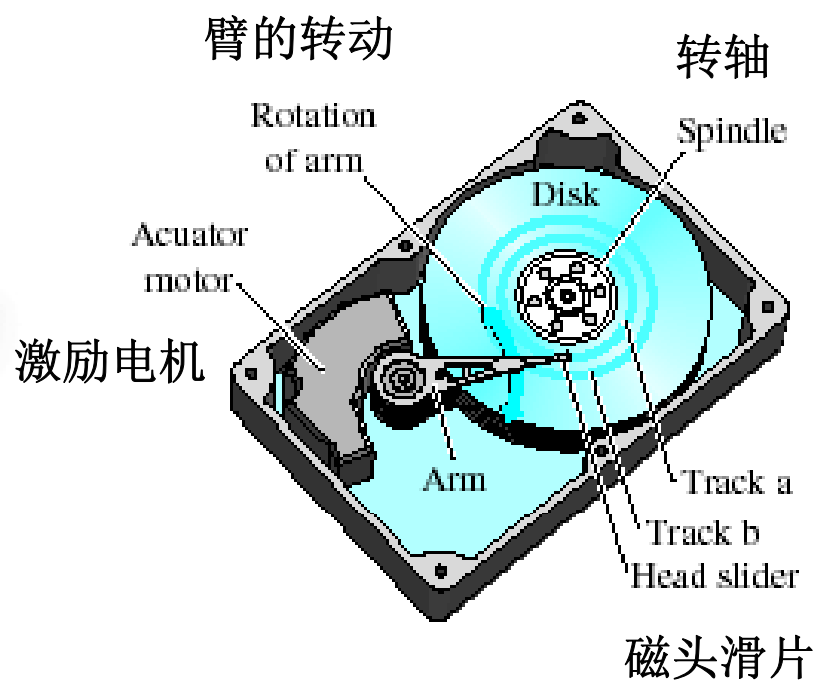
血糖开环及闭环控制系统

例2. 磁盘驱动器目前运用非常广泛，请考虑：

- (1) 控制目标是什么？
- (2) 被控变量是什么？
- (3) 初步确定各变量的初始设计指标。
- (4) 初步确定系统结构。



(a)



(b)

例2. 磁盘驱动器目前运用非常广泛，请考虑：

(1) 控制目标是什么？ (2) 被控变量是什么？

(3) 初步确定各变量的初始设计指标。

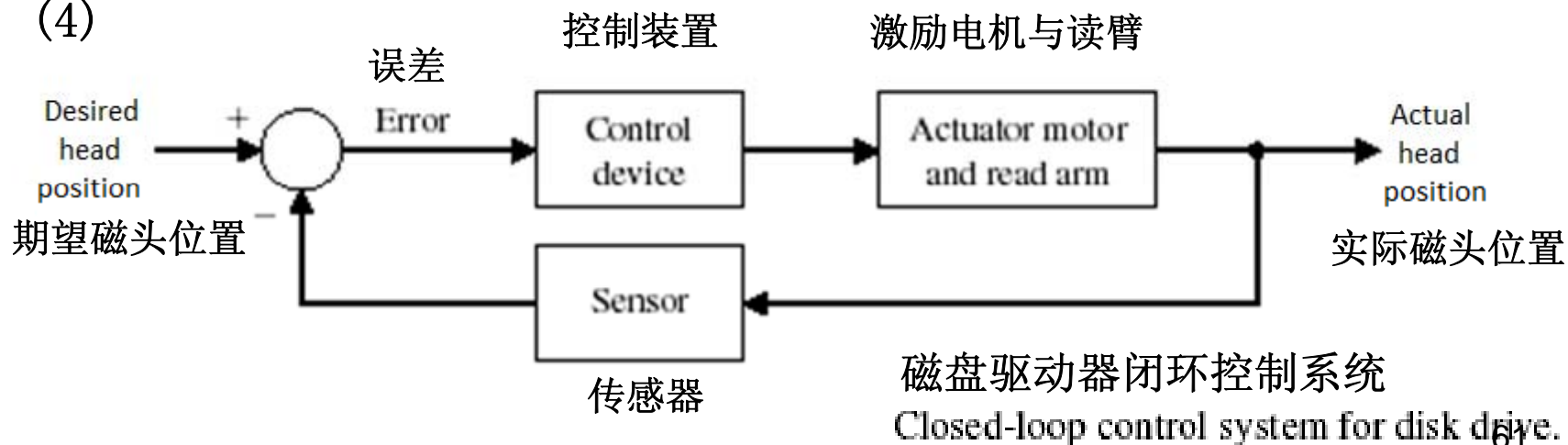
(4) 初步确定系统结构。

答：(1) 驱动器读取磁盘装置的目标是要将磁头**准确定位**，以便正确读取磁道上的信息。

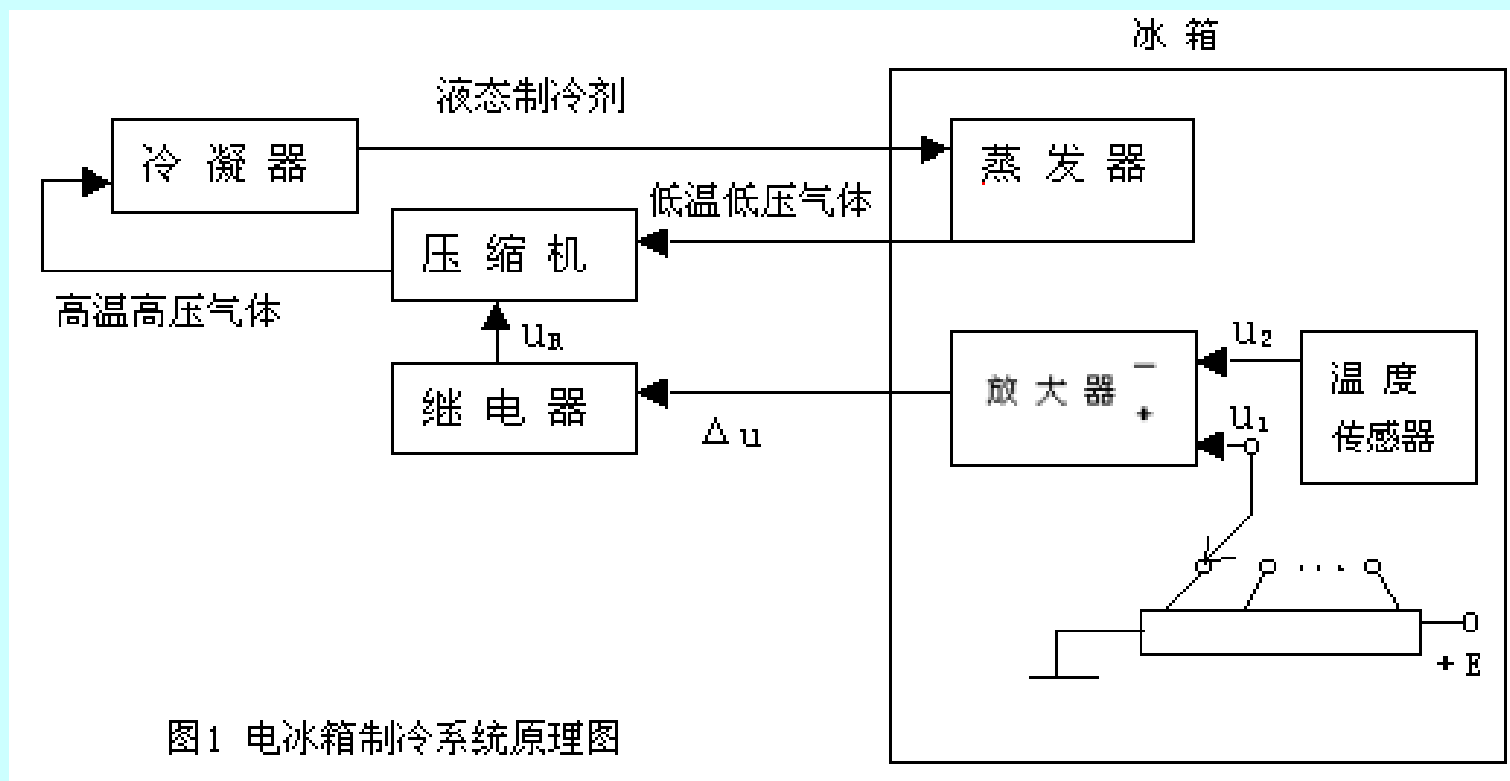
(2) 要精确控制的变量是磁头位置

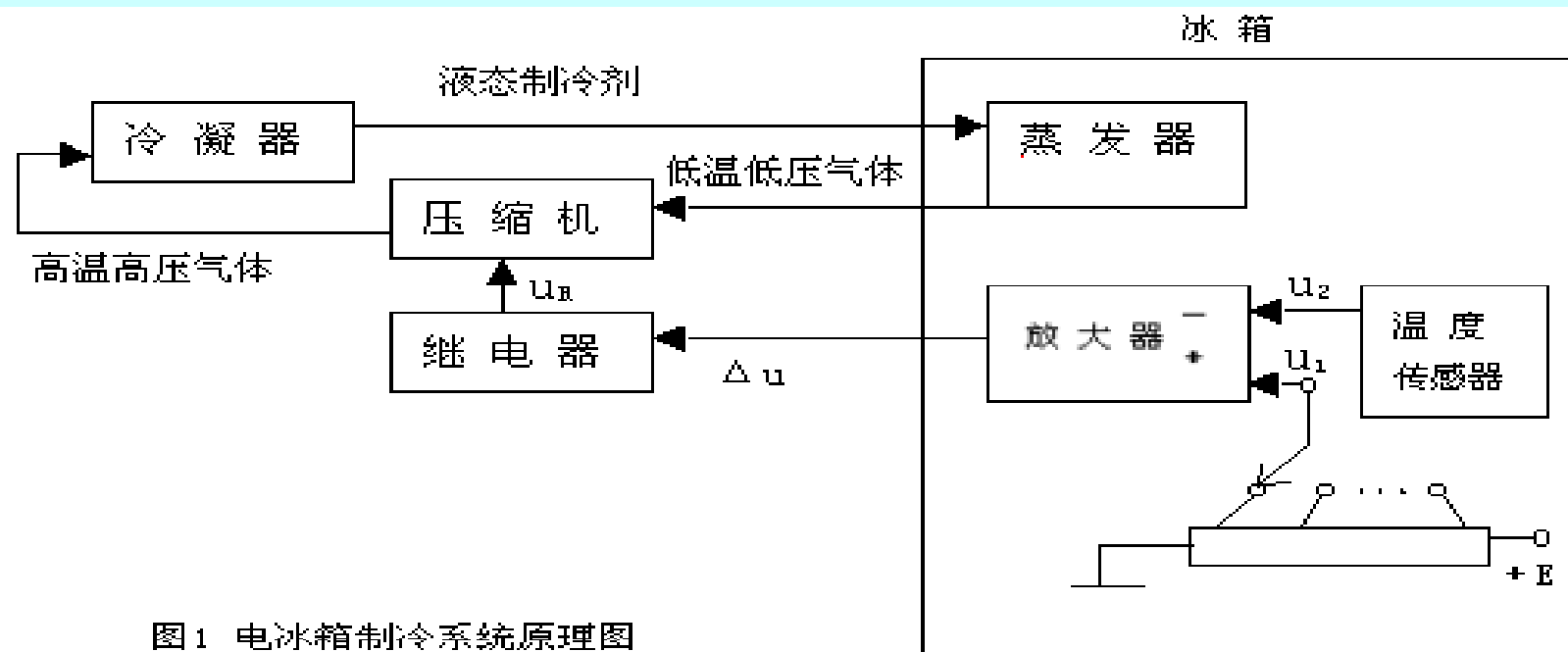
(3) 磁盘旋转速度？（1800转/分—7200转/分之间），磁头在磁盘上方不到100nm的地方“飞行”，位置精度指标初步定在1 μ m

(4)

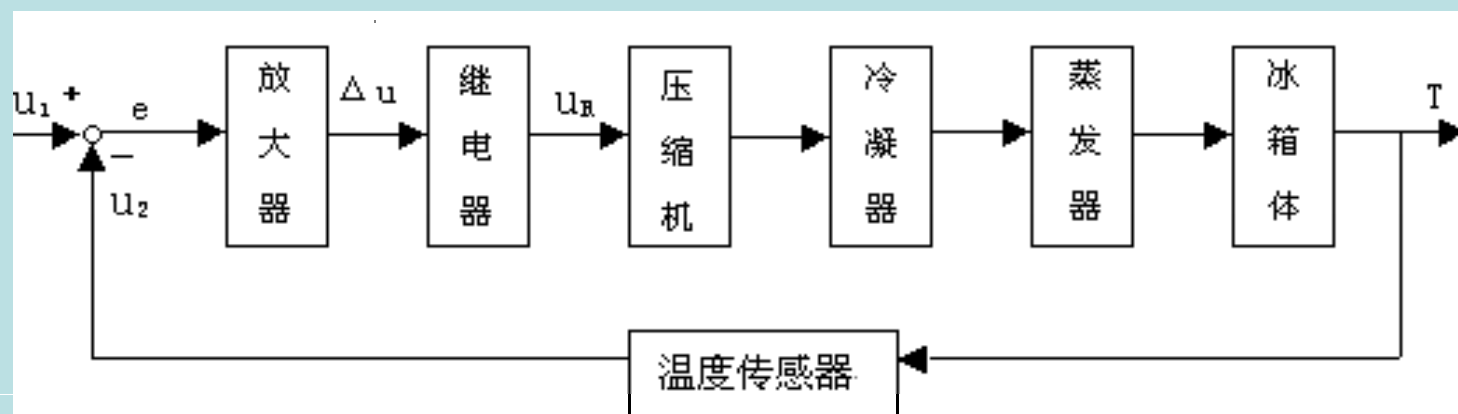


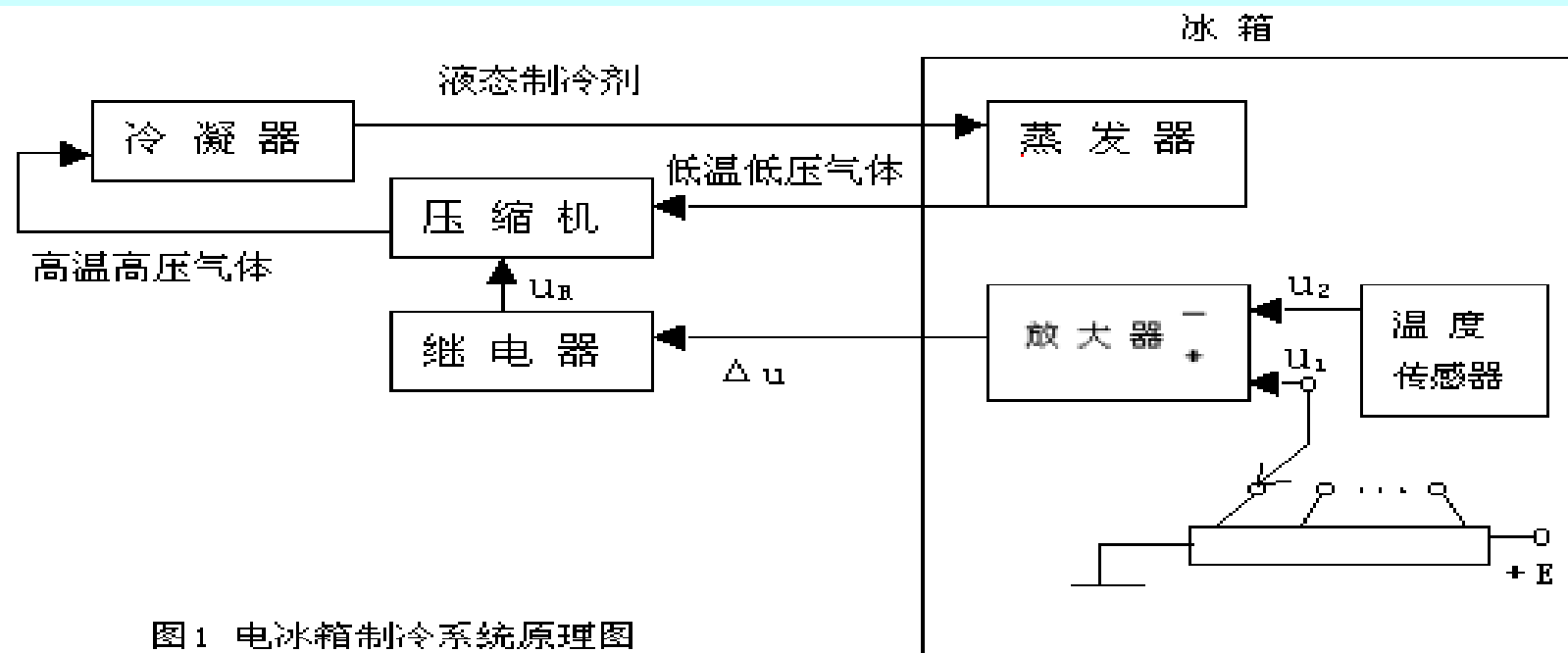
例3. 电冰箱制冷系统原理见图1。继电器的输出电压 u_R 为压缩机上的工作电压。绘制控制系统框图，简述工作原理。若出现压缩机频繁起动，请提出相应的改进措施。





答：(1) 系统框图如下：





答：（2）**工作原理**：当冰箱温度 u_2 高于设定值，放大器输出 Δu ，继电器动作输出 u_R 。压缩机运行，从蒸发器吸入低温低压气体。输出高温高压气态制冷剂至冷凝器；冷凝器送出高压常温液态制冷剂至蒸发器，制冷剂在蒸发器内气化，吸收制冷。

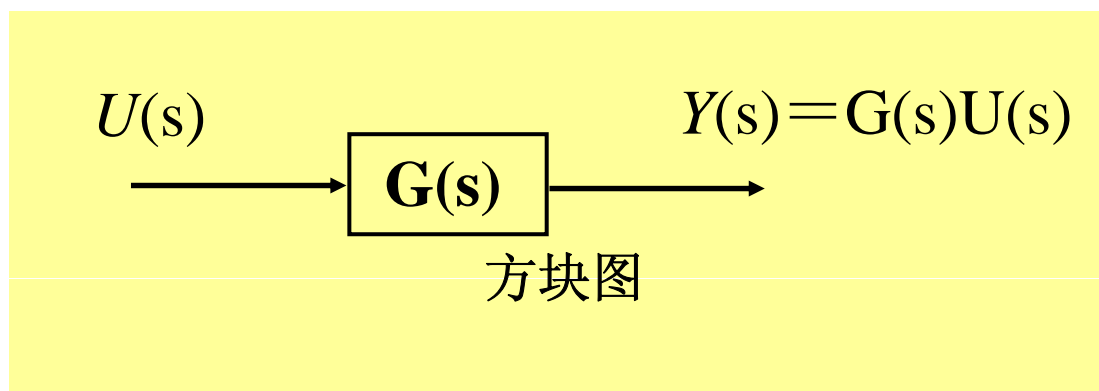
（3）若出现压缩机频繁起动的**改进措施**：调小放大器放大倍数，或选用灵敏度较小的继电器，或者两者兼而用之。



方块图的基本构成



- 物理元件的的方块图表示，我们已经在前面接触过。对于图中的每个方块，还可以利用传递函数来表征相应元件（方块）的输入与输出之间的动态数学关系（包括反馈）。
- 对于由多个元件组成的控制系统，可以将描述各元件的传递函数放到方块中，构成以传递函数及方块表示的方块图。

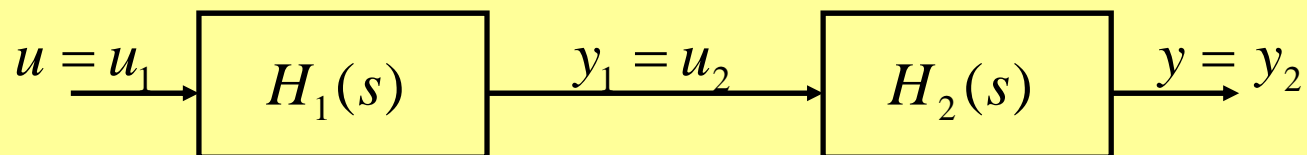




- **方块图**是控制系统或对象中每个环节（元件）的功能和信号流向的图解表示。每一个方块填写环节（元件）的传递函数，指向方块的箭头表示该环节的输入信号，离开方块的箭头表示该环节的输出信号，它是输入信号与方块内的传递函数运算后的结果。注意箭头方还标明了相应的信号符号（有时“+”会省略）。
- 根据方块图与传递函数的定义，可以直接由系统各个环节之间的关系用图解的方式描述系统的信息传递——也是一种建模方法。



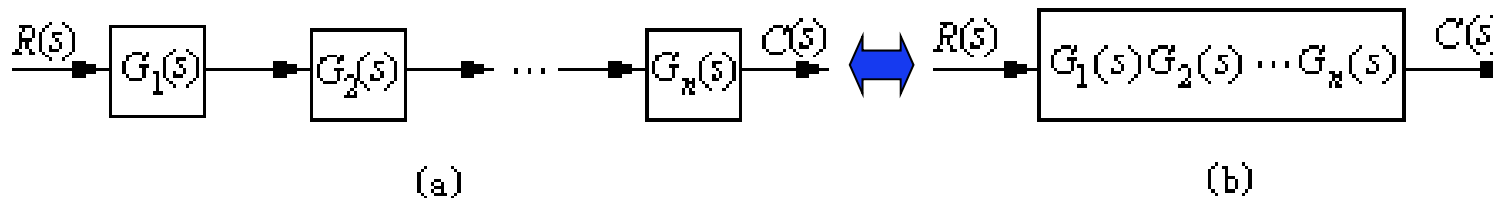
方块图：串联



$$Y(s) = Y_2(s) = H_2(s)U_2(s) = H_2(s)Y_1(s) = H_2(s)H_1(s)U(s)$$

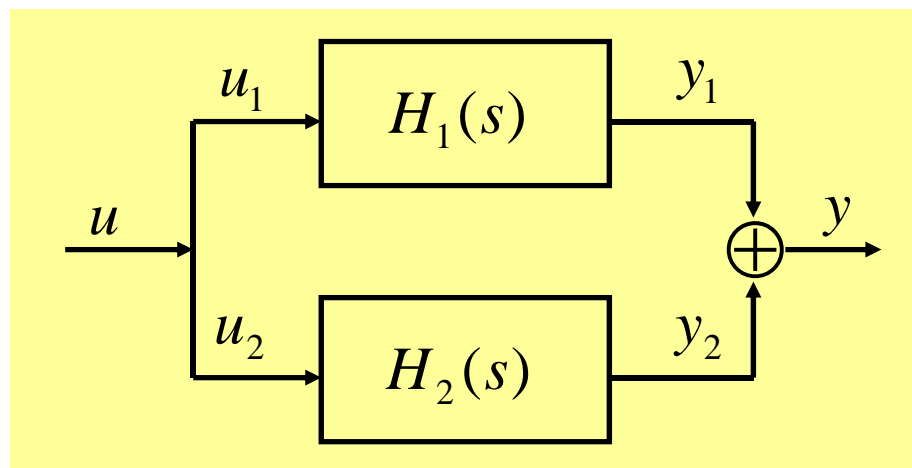
$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = H_2(s)H_1(s)$$

N个方块串联





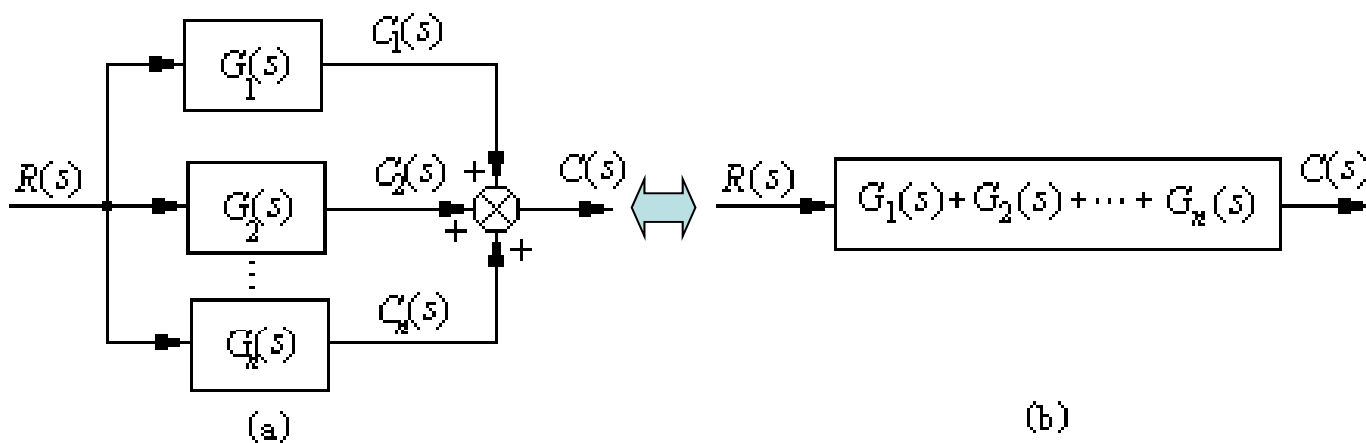
方块图：并联



$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = H_1(s) + H_2(s)$$

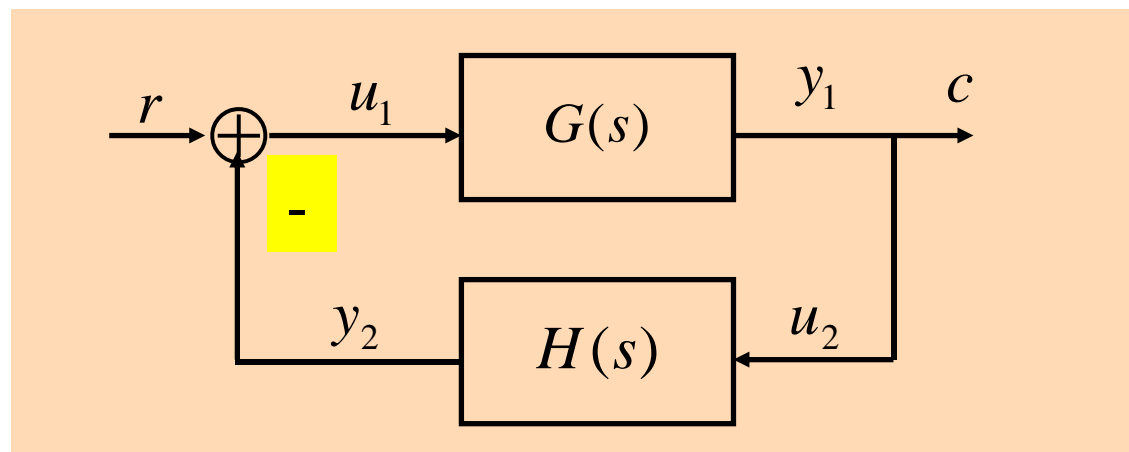
$$Y(s) = Y_1(s) + Y_2(s) = H_1(s)U_1(s) + H_2(s)U_2(s) = (H_1(s) + H_2(s))U(s)$$

N个方块并联





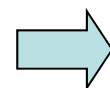
方块图：反馈



$$C(s) = G(s)U_1(s) = G(s)[R(s) + Y_2(s)] = G(s)[R(s) + H(s)C(s)]$$
$$C(s)[1 - G(s)H(s)] = G(s)R(s)$$

$$\Phi(s) = \frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G(s)}{1 - G(s)H(s)}$$

正反馈



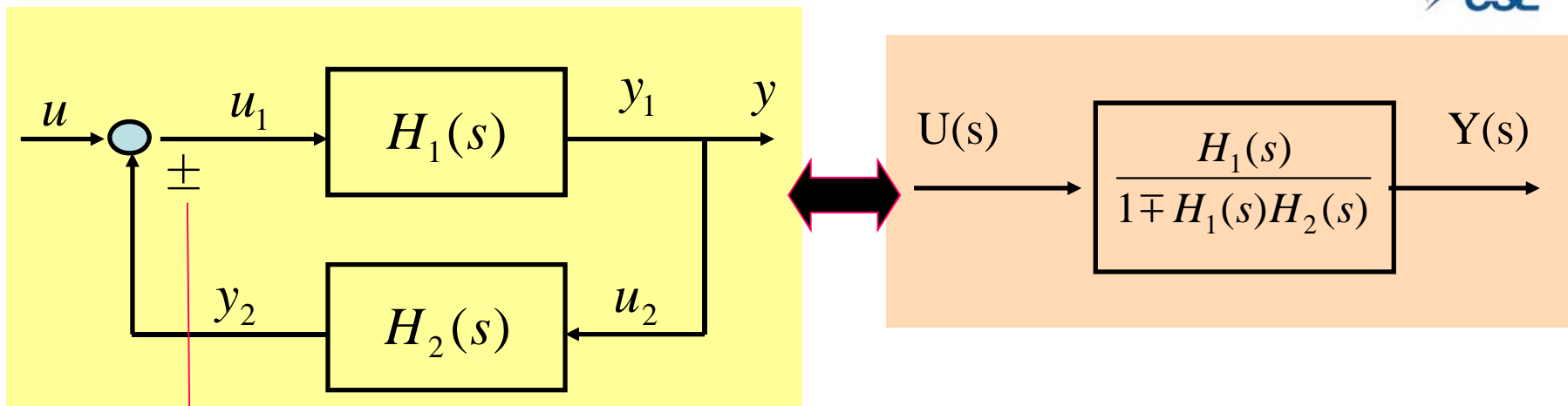
$$\Phi(s) = \frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G(s)}{1 + G(s)H(s)}$$

负反馈

注意!



方块图：反馈



$$Y(s) = H_1(s)U_1(s) = H_1(s)[U(s) \pm Y_2(s)] = H_1(s)[U(s) \pm H_2(s)Y(s)]$$
$$Y(s)[1 \mp H_1(s)H_2(s)] = H_1(s)U(s)$$

$$\Phi(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{H_1(s)}{1 \mp H_1(s)H_2(s)}$$

其中，“+”表示正反馈；“−”表示负反馈



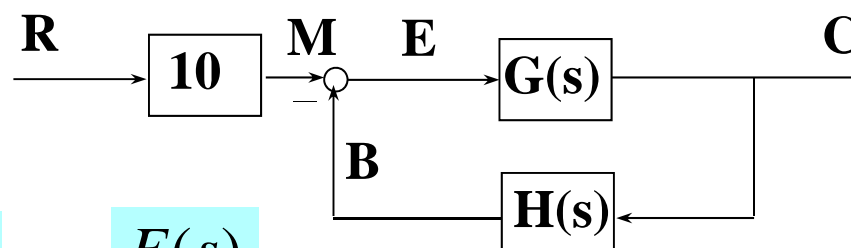
方块图的基本构成



例 已知图中 $G(s)$ 和 $H(s)$ 两方框相对应的微分方程分别是：

$$6\frac{dc(t)}{dt} + 10c(t) = 20e(t) \quad 20\frac{db(t)}{dt} + 5b(t) = 10c(t)$$

且初始条件均为零，
试求传递函数：



$$\frac{C(s)}{E(s)} \quad \frac{B(s)}{C(s)} \quad \frac{B(s)}{E(s)} \quad \frac{C(s)}{R(s)} \quad \frac{E(s)}{R(s)}$$

解： $6sC(s) + 10C(s) = 20E(s) \Rightarrow \frac{C(s)}{E(s)} = G(s) = \frac{20}{6s + 10}$

$$20sB(s) + 5B(s) = 10C(s) \Rightarrow \frac{B(s)}{C(s)} = H(s) = \frac{10}{20s + 5}$$



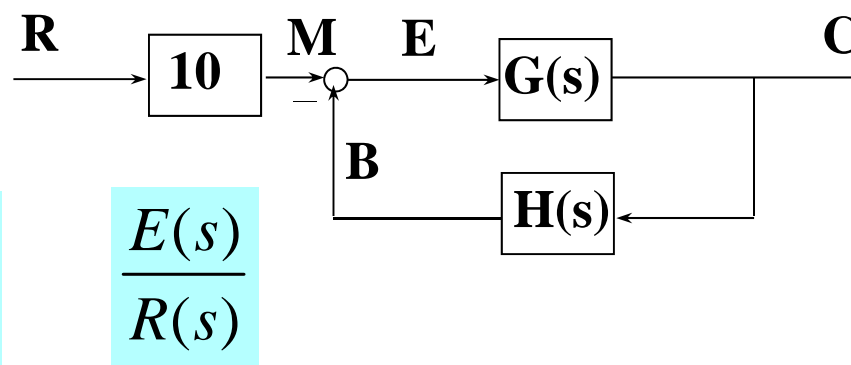
方块图的基本构成



例 已知图中 $G(s)$ 和 $H(s)$ 两方框相对应的微分方程分别是：

$$6\frac{dc(t)}{dt} + 10c(t) = 20e(t) \quad 20\frac{db(t)}{dt} + 5b(t) = 10c(t)$$

且初始条件均为零，
试求传递函数：



$$\frac{B(s)}{E(s)}$$

$$\frac{C(s)}{R(s)}$$

$$\frac{E(s)}{R(s)}$$

开环传递函数：

$$G_{open} = \frac{B(s)}{E(s)} = G(s) \cdot H(s) = \frac{20}{6s+10} \cdot \frac{10}{20s+5} = \frac{200}{(6s+10)(20s+5)}$$

闭环传递函数：

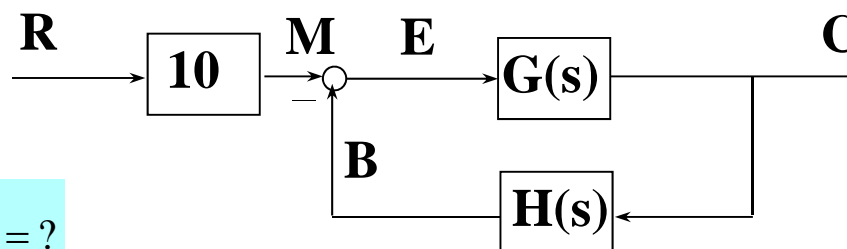
$$G_{closed} = \Phi_B = \frac{C(s)}{R(s)} = ?$$

误差传递函数：

$$G_e = \Phi_e = \frac{E(s)}{R(s)} = ?$$



方块图的基本构成



闭环传递函数:

$$G_{closed} = \Phi_B = \frac{C(s)}{R(s)} = ?$$

误差传递函数:

$$G_e = \Phi_e = \frac{E(s)}{R(s)} = ?$$

$$G(s) = \frac{20}{6s + 10}$$

$$H(s) = \frac{10}{20s + 5}$$

$$G_{open} = \frac{200}{(6s + 10)(20s + 5)}$$

$$G_{closed} = \Phi_B = \frac{C(s)}{R(s)} = ?$$

$$\Phi_B = 10 \cdot \frac{G(s)}{1 + G(s)H(s)} = \frac{10 \cdot \frac{20}{6s + 10}}{1 + \frac{20}{(6s + 10)} \frac{10}{(20s + 5)}}$$

特征多项式

$$= \frac{200(20s + 5)}{(6s + 10)(20s + 5) + 200} = \frac{400s + 100}{12s^2 + 23s + 25}$$



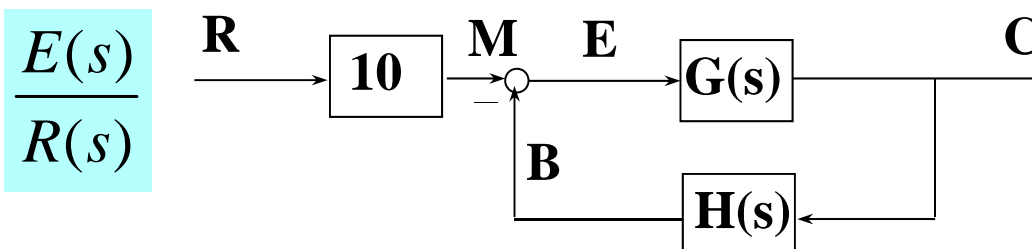
方块图的基本构成



例 已知图中 $G(s)$ 和 $H(s)$ 两方框相对应的微分方程分别是：

$$6\frac{dc(t)}{dt} + 10c(t) = 20e(t) \quad 20\frac{db(t)}{dt} + 5b(t) = 10c(t)$$

且初始条件均为零，
试求传递函数：



$$G_e = \Phi_e = \frac{E(s)}{R(s)} = ?$$

$$\begin{aligned} \Phi_e &= 10 \cdot \frac{1}{1 + G(s)H(s)} \\ &= \frac{10(12s^2 + 23s + 5)}{12s^2 + 23s + 25} \end{aligned}$$

特征多项式



浙江大学



膜片中引用的许多照片来自于网上，在此说明，
并向原作者致谢！

祝愿大家努力并快乐地学习好这门课程！

