

第一章 自动控制的一般概念

1-1 自动控制的基本原理与方式

1-2 自动控制系统示例（自学）

1-3 自动控制系统的分类

1-4 对自动控制系统的基本要求

第一章 自动控制的一般概念

- **总学时数：**6学时
- **基本内容：**控制理论的发展过程，开环、闭环和复合控制系统的结构和特点，控制系统的基本组成和基本要求。
- **基本要求：**掌握不同控制方式及其特点，理解控制系统的动态和静态性能要求。

1-1 自动控制的基本原理与方式

一. 自动控制技术及其发展历程

自动控制：在无人直接参与情况下，通过控制器使被控对象或过程按照预定要求进行。

- 18世纪，James Watt 为控制蒸汽机速度设计的离心调节器，是自动控制领域的第一项重大成果。
- 1922年，Minorsky研制出船舶操纵自动控制器，并证明了从系统的微分方程确定系统的稳定性的方法。

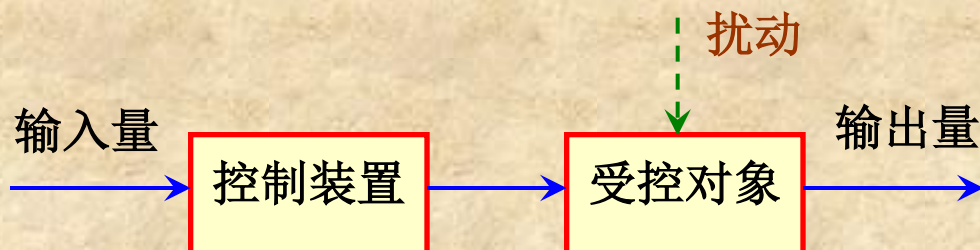
- 1932年，Nyquist提出了一种根据系统的开环频率响应(对稳态正弦输入)。
- 20世纪40年代，Evans提出并完善了根轨迹法。
- 20世纪50年代末，最佳控制系统设计。
- 20世纪50年代末，基于时域分析的现代控制理论。
- 60年代~80年代：最优控制、随机系统的最优控制、复杂系统的自适应控制（瑞典的Astrom）和学习控制得到了研究。

二. 自动控制的基本方式

1. 开环控制

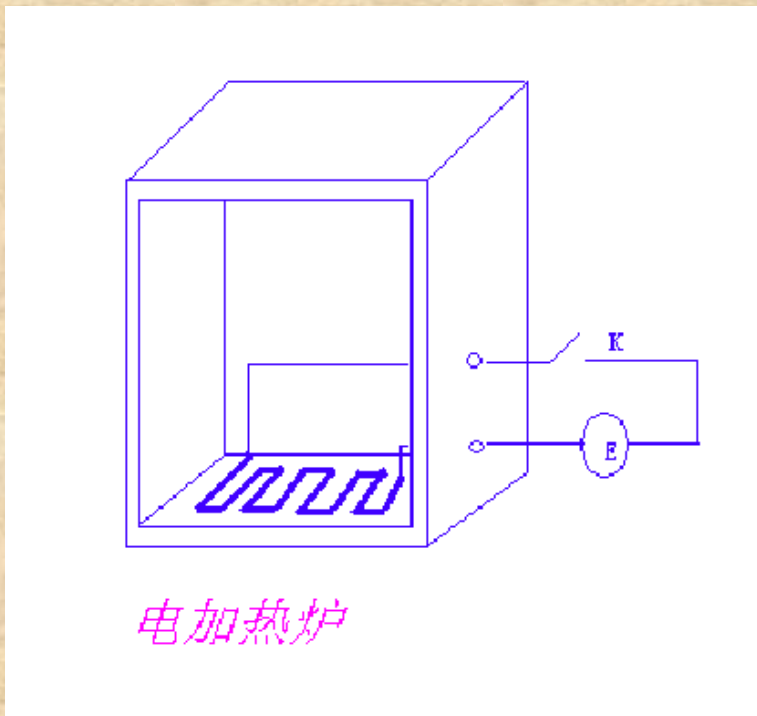
控制装置与被控对象之间只有顺向作用，系统输出量不影响控制量。

•开环控制系统的方框图



例1：电阻炉温度控制系统

工作过程：电压值 \Rightarrow 对应炉温 T



被控制对象：炉子

被控制量（输出量）：炉温

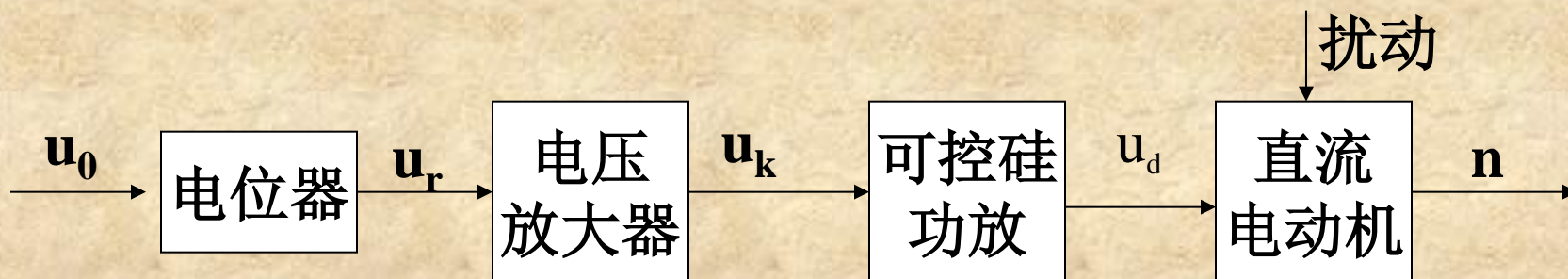
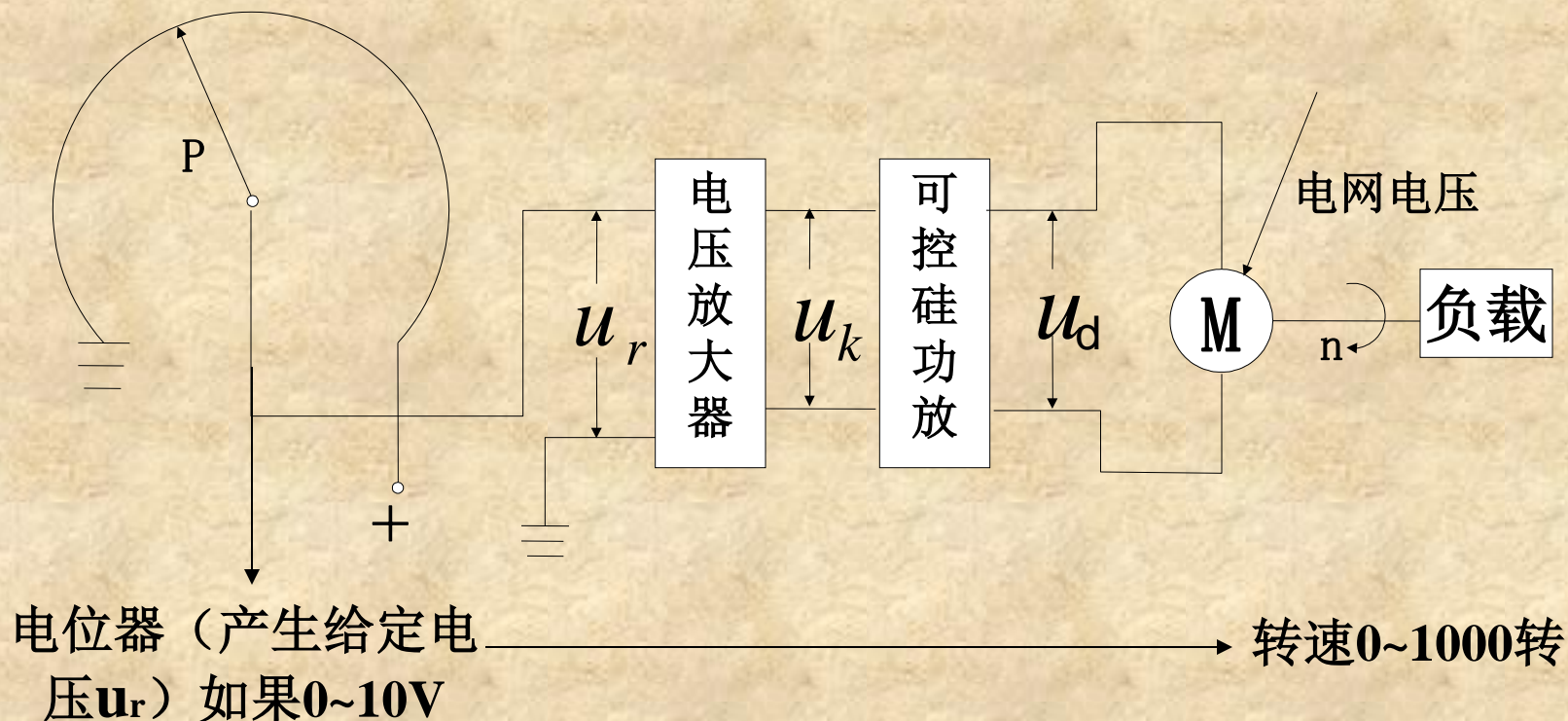
控制量：电阻炉电压

给定（期望）：理想炉温

干扰量（扰动量）：周围温度、开门次数等

问题：如果周围温度发生变化时，能否自动回复设定的炉温？

例2：电机开环转速控制系统



电机转速系统动态特性:

$$\begin{cases} M_d = c_M \phi i_d \\ M_d - M_c = \frac{1}{375} GD^2 \cdot \frac{dn}{dt} \\ u_d = R_a i_d + L_a \frac{di_d}{dt} + c_e \phi n \end{cases}$$

在稳态情况下, 有: $\frac{dn}{dt} = 0, \frac{di_d}{dt} = 0$, 所以

$$n = n_0, M_d = M_c \Rightarrow i_d = \frac{M_d}{c_M \phi} = \frac{M_c}{c_M \phi}, u_d = R_a i_d + c_e \phi n_0$$

转速 $n \rightarrow n_0$, 电枢电压: $u_d = R_a \frac{M_c}{c_M \phi} + c_e \phi n_0$

问题：运行过程中，负载增加（ $M_{c1} \rightarrow M_{c2}$ ），
转速如何变化？

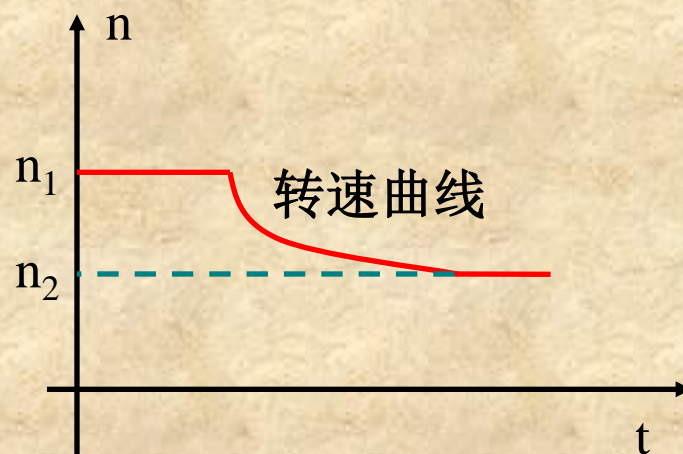
过程分析： M_c 增加

\Rightarrow 转速 n 下降

\Rightarrow 电流 i_d 增加

\Rightarrow 转矩 M_d 增加，
直到 $M_d = M_c$ ，
新的稳定状态。

$$\begin{cases} M_d = c_M \phi i_d \\ M_d - M_c = \frac{1}{375} GD^2 \cdot \frac{dn}{dt} \\ u_d = R_a i_d + L_a \frac{di_d}{dt} + c_e \phi n \end{cases}$$



开环控制小结：

优点：结构简单，成本低，系统稳定

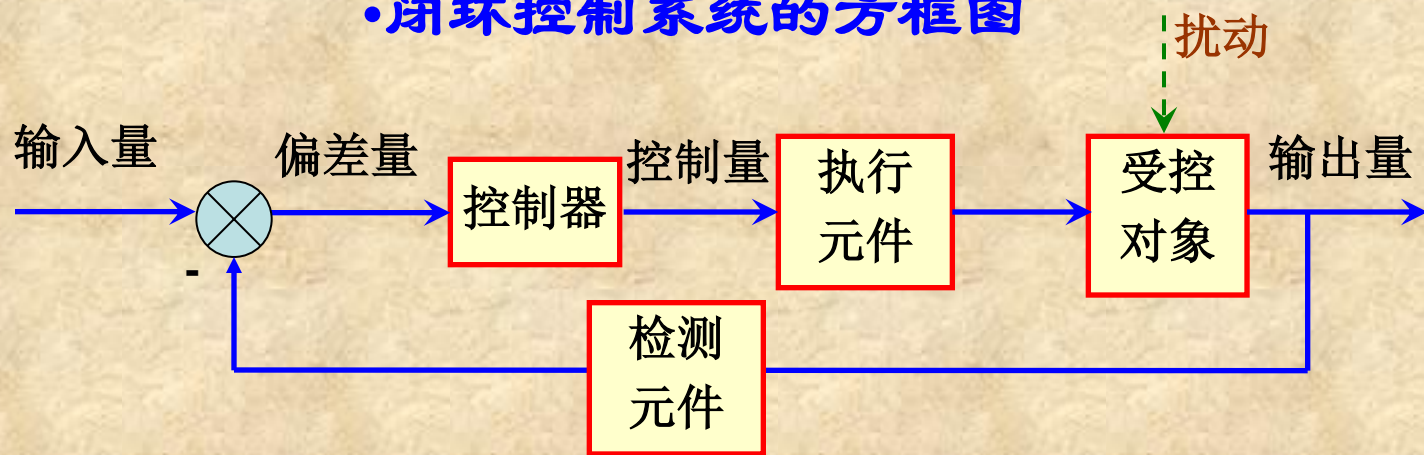
缺点：精度差（主要取决于所建立的控制量-输出量之间的映射关系），抗干扰性差。

2. 闭环（反馈）控制

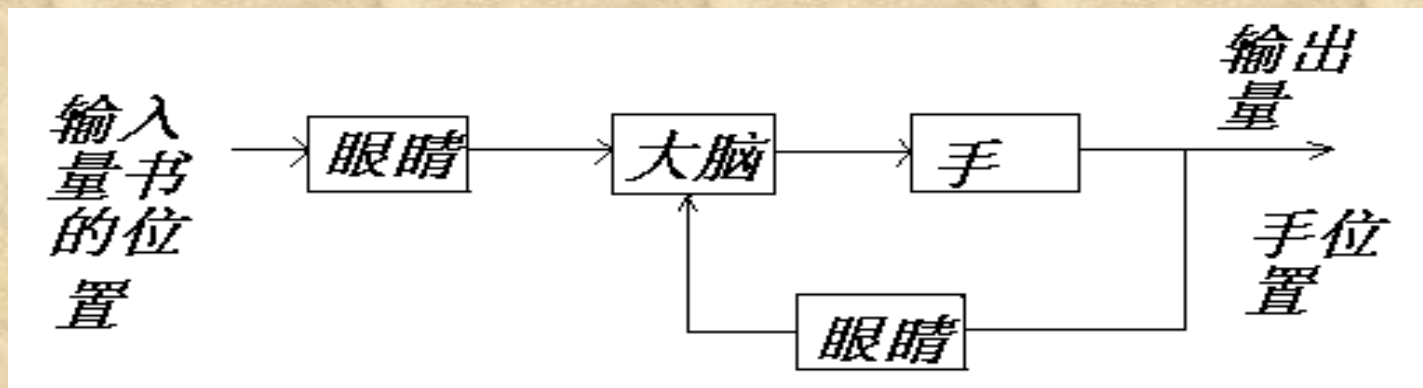
反馈：将输出量送回输入端，与输入量相比较产生偏差的过程。

反馈控制：采用负反馈并利用偏差进行控制的过程，也称为闭环控制。

• 闭环控制系统的方框图



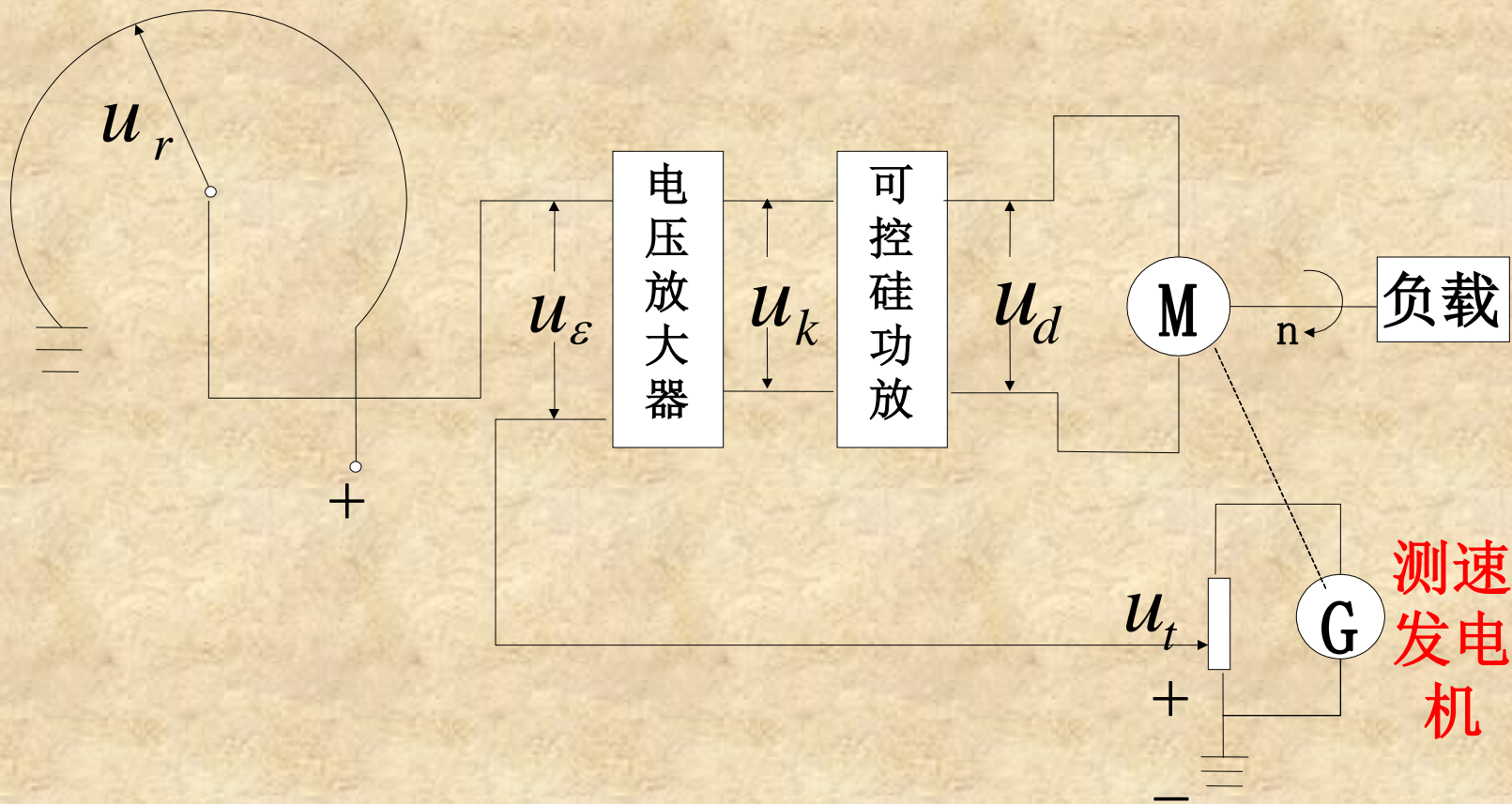
例3：手-眼-脑闭环控制系统



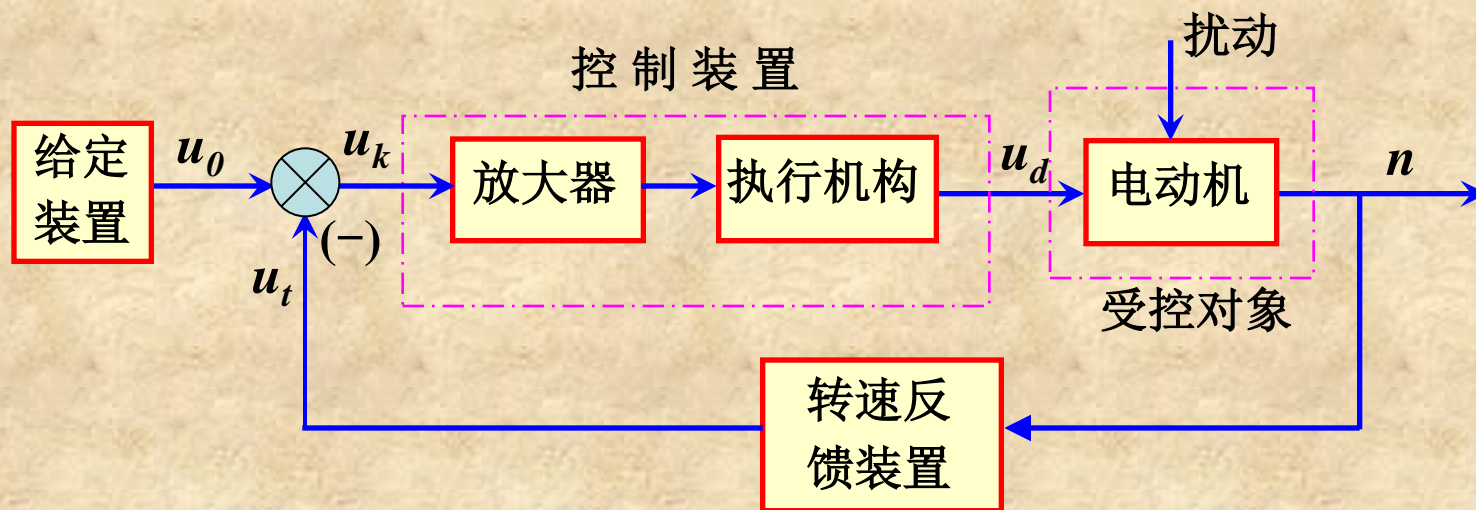
问题：为什么要采用闭环控制？有什么优点？

提高精度，抑止扰动量

例4：电机闭环转速控制系统



电机闭环转速控制系统结构图



电机闭环控制系统方框图

转速 $n \rightarrow n_0$ ，电枢电压如何选择

$$u_{0new} = u_0 + u_t$$



问题：运行过程中，负载增加（ $M_{c1} \rightarrow M_{c2}$ ），
转速如何变化？

过程分析： M_c 增加

→ 转速 n 下降

→ 电压 u_t 下降

→ 电压 u_d 增加

→ 电流 i_d 增加

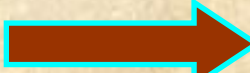
→ 转矩 M_d 增加

→ 转速 n 上升


$$\begin{cases} u_d = K(u_0 - u_t) \\ M_d = c_M \phi i_d \\ M_d - M_c = \frac{1}{375} GD^2 \cdot \frac{dn}{dt} \\ u_d = R_a i_d + L_a \frac{di_d}{dt} + c_e \phi n \end{cases}$$



转速能否完全
回复到原来的
稳态值？

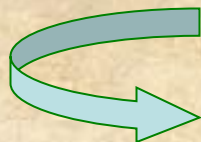
稳态: $M_{d2} = M_{c2} > M_{c1} = M_{d1}$  $i_{d2} > i_{d1}$

分析: 如果 $n_2 \geq n_1$

 $u_{d2} > u_{d1}$

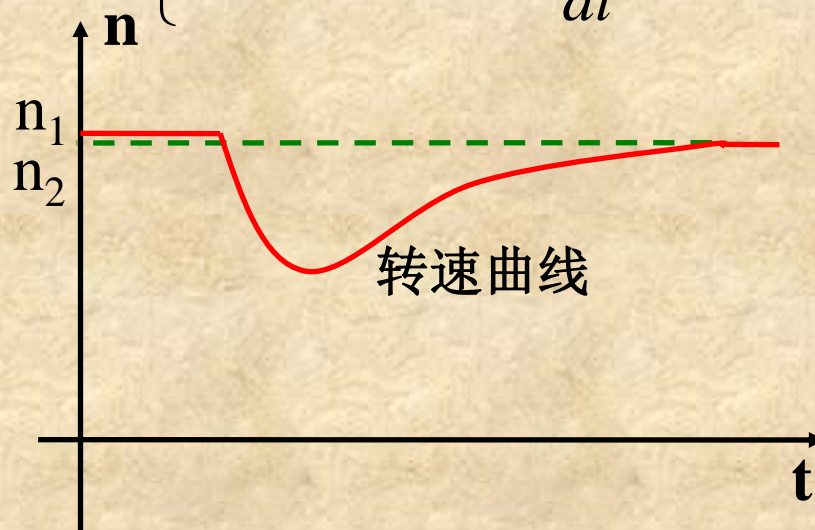
 $u_{t2} < u_{t1}$

 $n_2 < n_1$



结论: $n_2 < n_1$

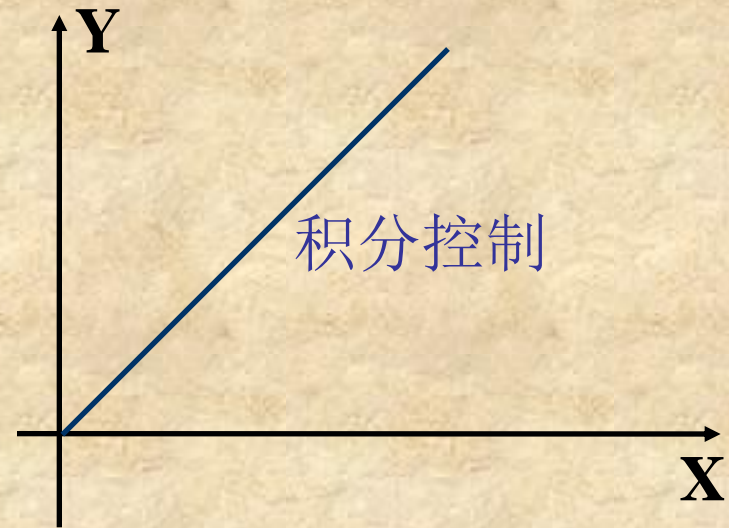
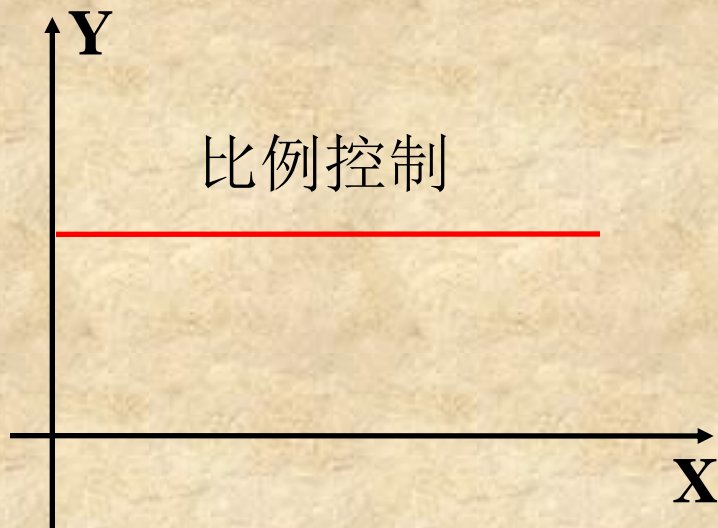
$$\begin{cases} u_d = K(u_0 - u_t) \\ M_d = c_M \phi i_d \\ M_d - M_c = \frac{1}{375} GD^2 \cdot \frac{dn}{dt} \\ u_d = R_a i_d + L_a \frac{di_d}{dt} + c_e \phi n \end{cases}$$



有偏差控制:

$u_k \neq 0$ 才有控制量

如何实现无偏差控制？比例 vs 积分



3. 顺馈(前馈)控制

顺馈(前馈)控制：根据可测量的扰动量，产生补偿作用，以减小扰动的影响。

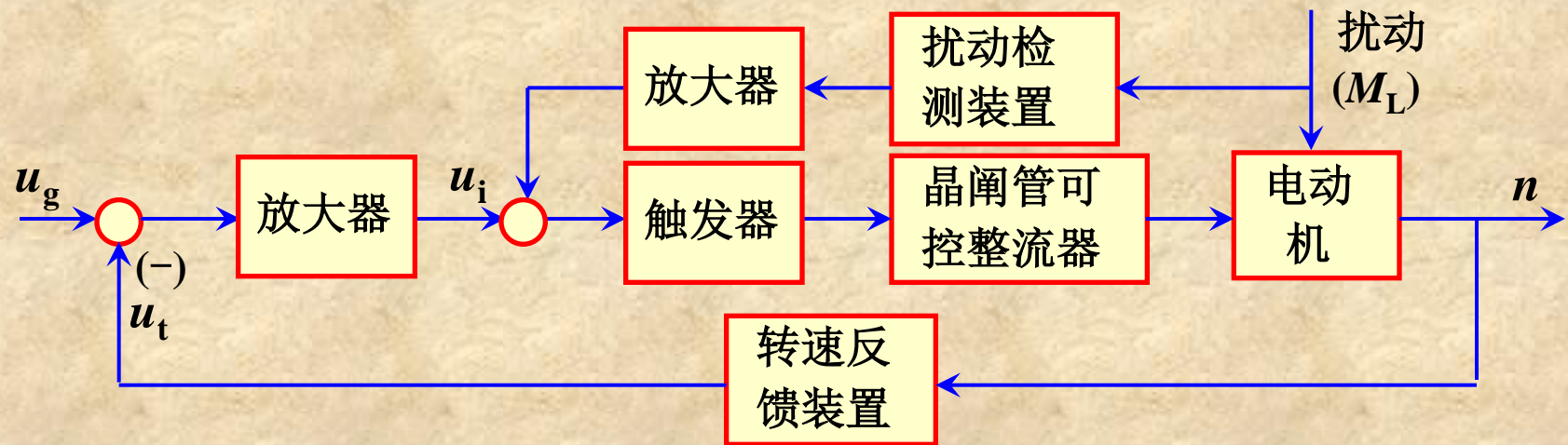
前提：扰动可以测量；已知扰动到输出的映射关系。

优点：对于特定扰动可以实现完全补偿，而且补偿速度快。

缺点：需要测量元件，针对特定干扰

4. 复合控制

复合控制：前馈 + 反馈



电机复合控制系统结构图

1-2 自动控制系统示例（自学）

- 一. 函数记录仪
- 二. 飞机-自动驾驶仪系统
- 三. 电阻炉计算机温度控制系统
- 四. 锅炉液位控制系统

1-2 自动控制系统示例（自学）

习 题

△ 1-1 图 1-22 是液位自动控制系统原理示意图。在任意情况下,希望液面高度 c 维持不变,试说明系统工作原理并画出系统方块图。

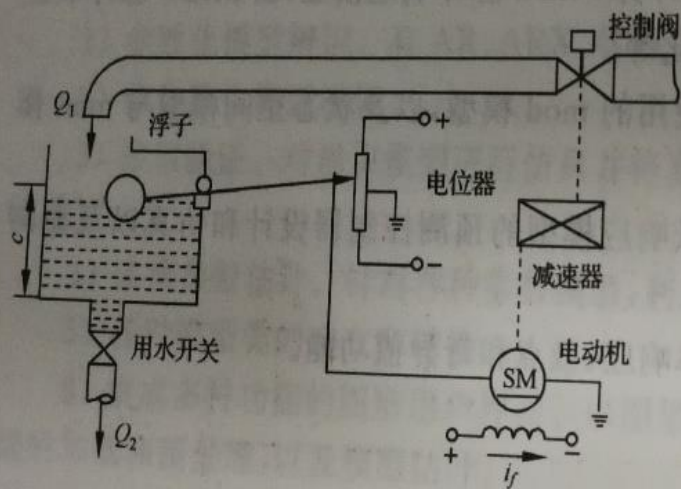


图 1-22 液位自动控制系统

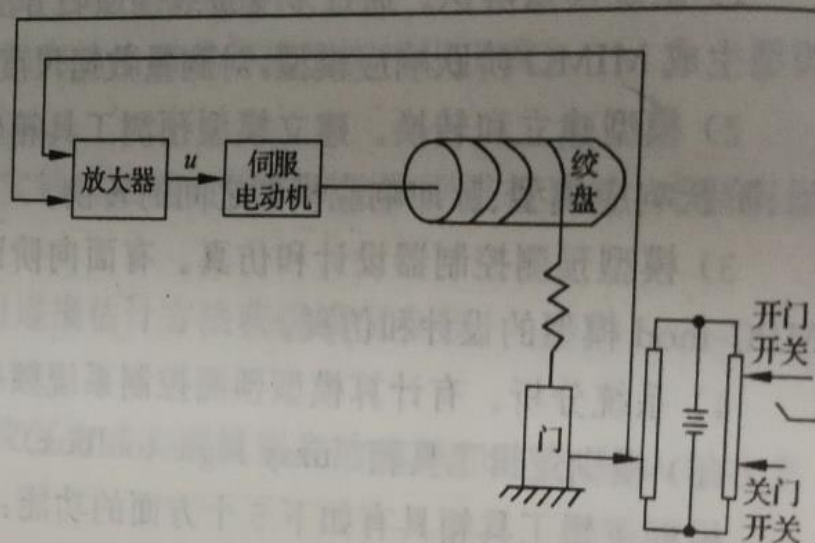


图 1-23 仓库大门自动开闭控制系统

1-2 图 1-23 是仓库大门自动控制系统原理示意图。试说明系统工作原理并画出系统方块图。

1-2 自动控制系统示例（自学）

和控制装置各是什么？

△ 1-5 图 1-26 是电炉温度控制系统原理示意图。试分析系统保持电炉温度恒定的工作过程，指出系统的被控对象、被控量以及各部件的作用，最后画出系统方块图。

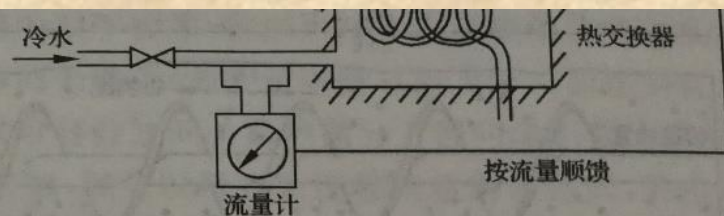


图 1-25 水温控制系统示意图

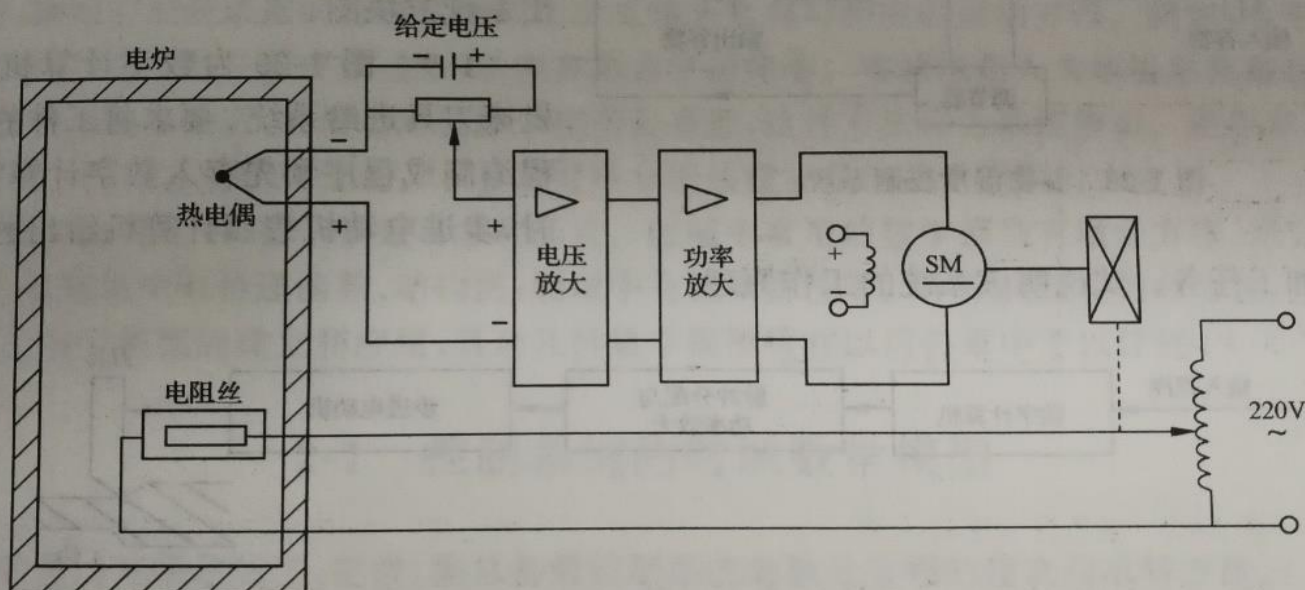


图 1-26 电炉温度控制系统原理图

1-3 自动控制系统分类

按控制
方式分

开环控制

闭环控制（反馈控制）

复合控制

输入量
变化规律

恒值系统：常值

随动系统：未知的时间函数

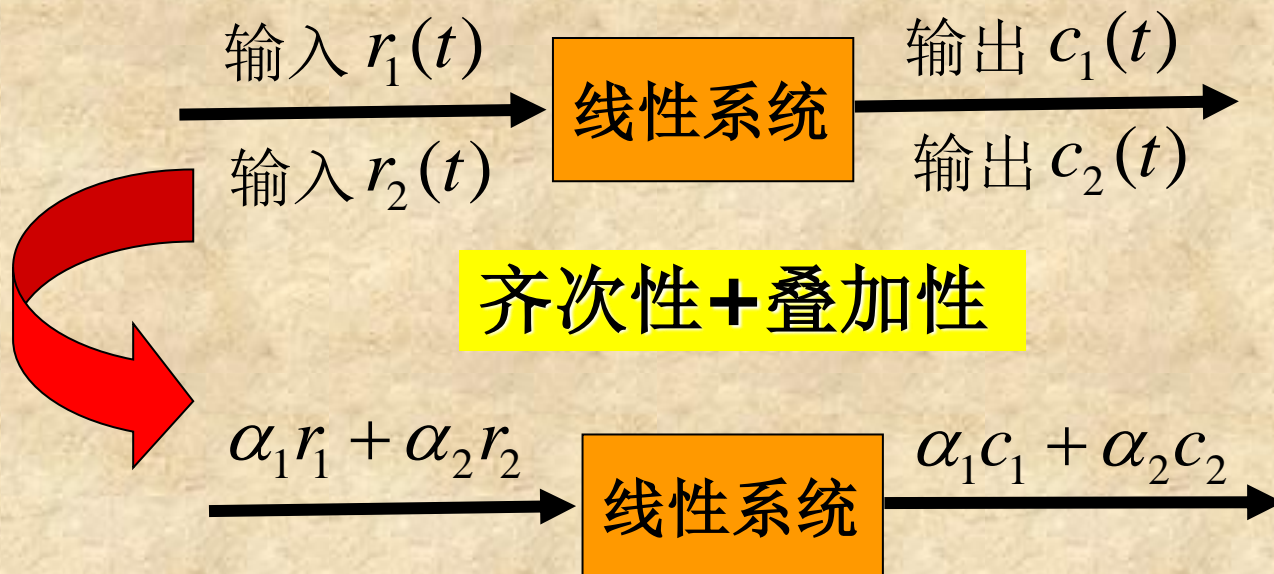
程序控制系统：预定规律时间函数

按系统
特性分

线性系统：齐次性，叠加性

$$\alpha_1 r_1 + \alpha_2 r_2 \rightarrow \alpha_1 c_1 + \alpha_2 c_2$$

非线性系统：非线性元件



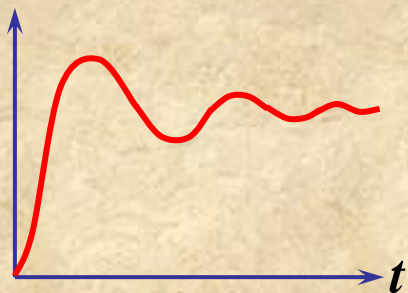
传输数据类型

- 连续系统：连续的模拟信号
- 离散系统：具有脉冲序列或数码信号

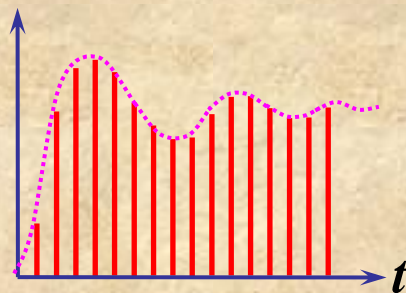
离散系统：系统中某些信号仅定义在离散时间上。

采样（脉冲）控制系统：离散信号是脉冲序列形式

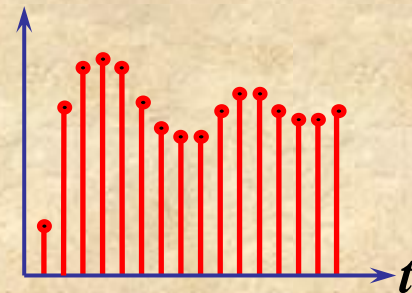
计算机控制系统（数字控制系统）：数字序列形式



(a) 连续信号



(b) 离散信号



(c) 离散量化信号

1-4 对自动控制系统的基本要求

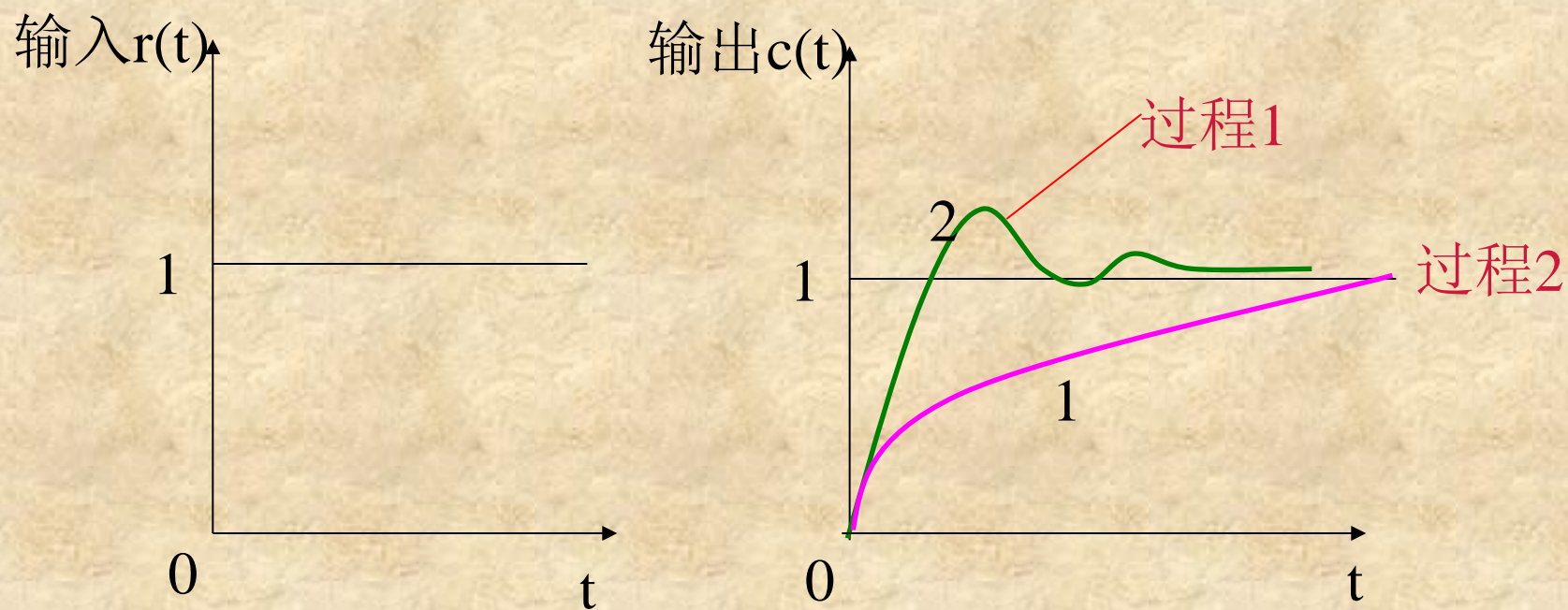
一. 控制系统的基本要求

稳定性: 研究当 $t \rightarrow \infty$ 时, 系统能否趋于一个平衡状态: 偏差逐渐减小或者不变?

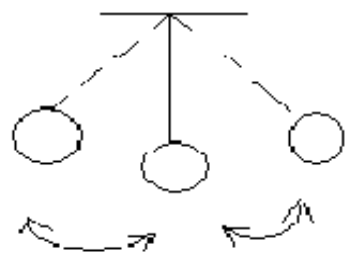
准确性: 稳态值=期望值? 有无稳态误差, 反映控制精度

快速性: 反映跟踪速度, 扰动作用下系统回复的快慢

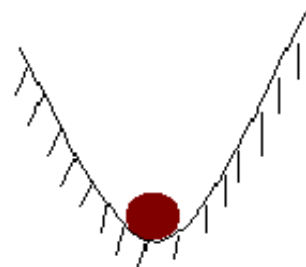
快速性示意图



稳定性示意图

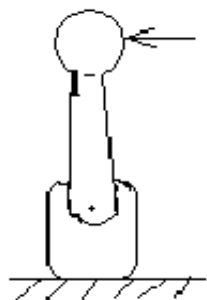


单摆

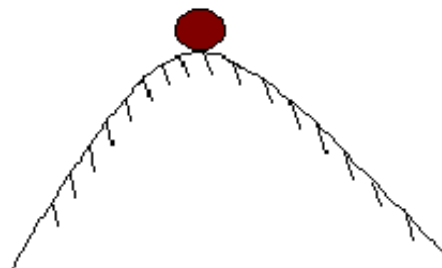


凹面
小球

稳定



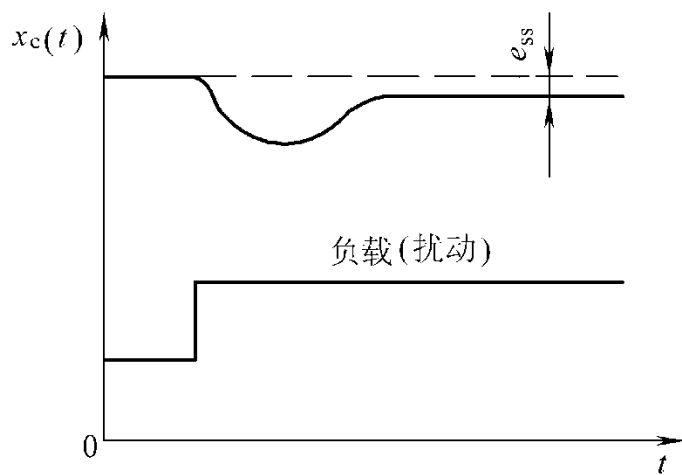
倒摆



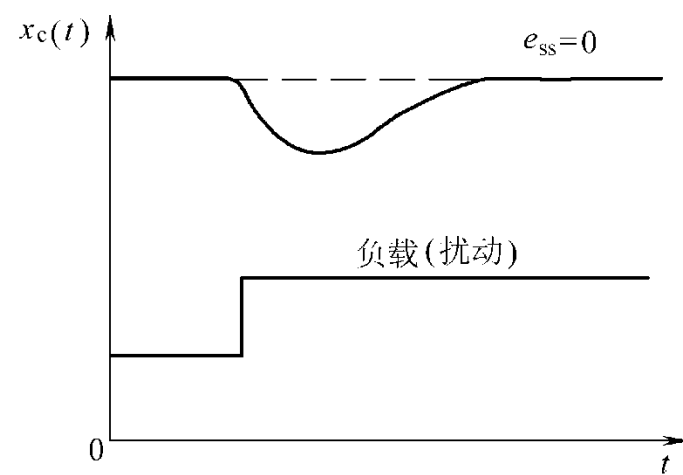
凸面
小球

不稳定

稳态误差（准确性）示意图

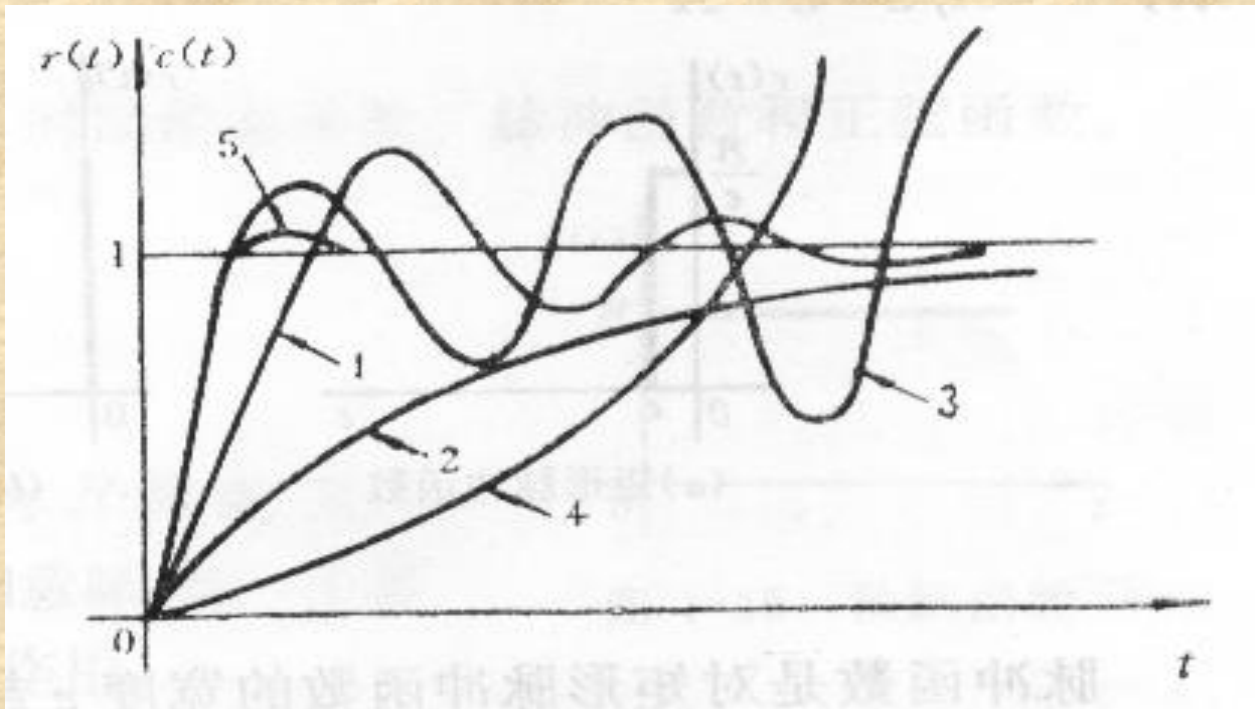


(a)



(b)

性能指标综合评价



稳定性: 1, 2, 5稳定, 3, 4发散;

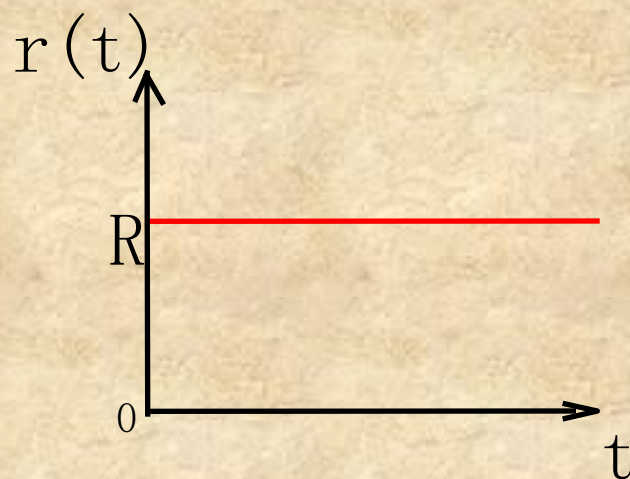
快速性: 2上升缓慢, 1震荡时间长, 5快速性最好;

准确性: 1, 2, 5都不存在稳态误差

二. 典型输入信号

1. 阶跃函数

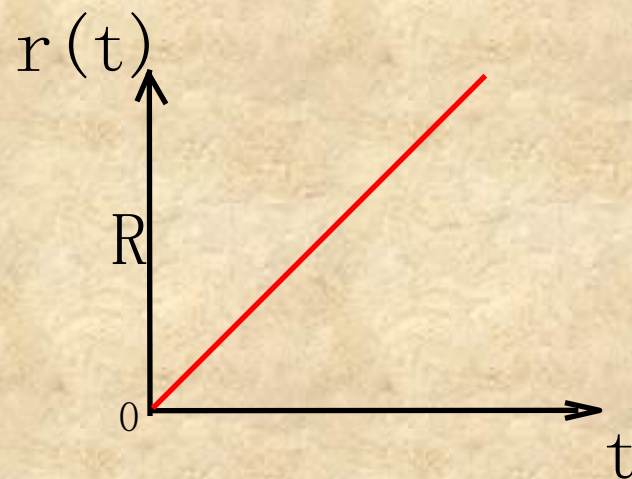
$$r(t) = \begin{cases} R, & t \geq 0 \\ 0, & t < 0 \end{cases}$$



$R=1$: 单位阶跃函数

2. 斜坡函数

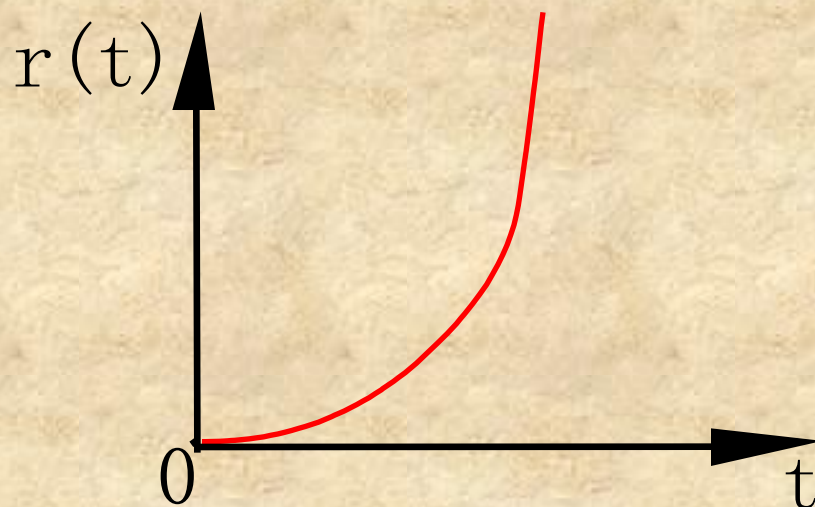
$$r(t) = \begin{cases} Rt, t \geq 0 \\ 0, t < 0 \end{cases}$$



$R=1$: 单位斜坡函数

3. 加速度函数

$$r(t) = \begin{cases} \frac{1}{2} R t^2, & t \geq 0 \\ 0, & t < 0 \end{cases}$$

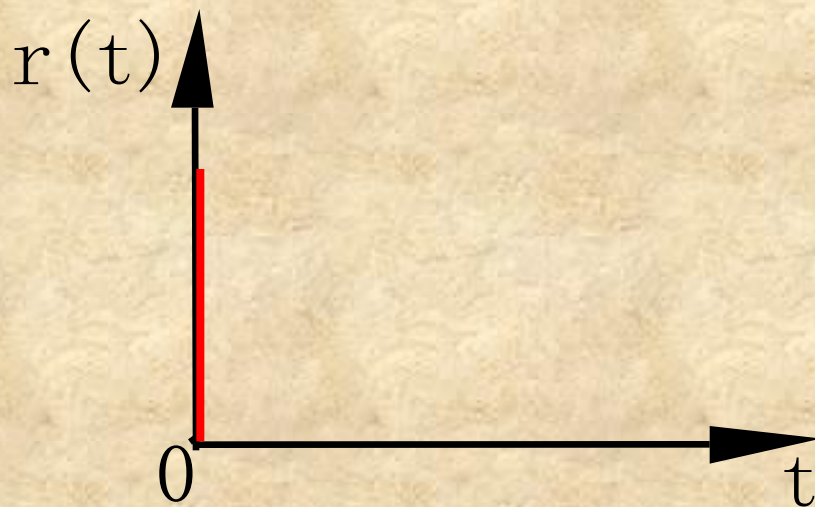


$R=1$: 单位加速度函数

4. 脉冲函数

$$r(t) = \begin{cases} \infty, & t = 0 \\ 0, & t \neq 0 \end{cases}$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} r(t) dt = A$$

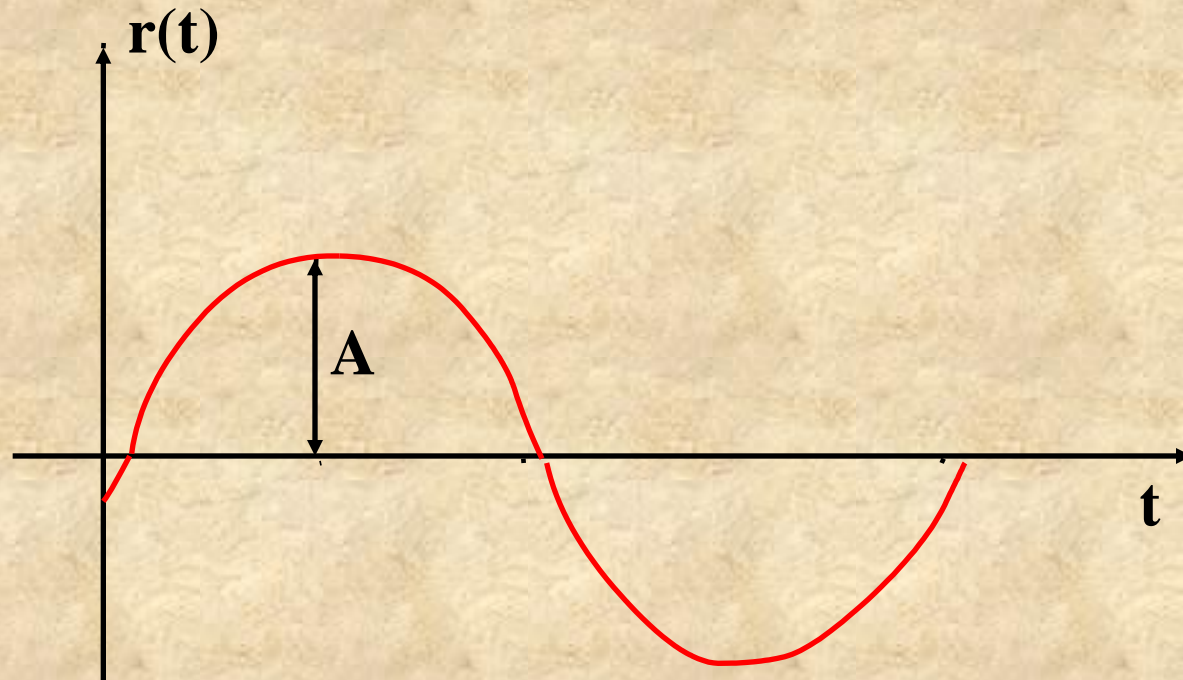


$R=1$: 单位脉冲函数, 记为 $\delta(t)$

5. 正弦函数

$$r(t) = \begin{cases} A \sin(\omega t - \varphi), t \geq 0 \\ 0, t < 0 \end{cases}$$

A: 振幅; ω : 角频率; φ : 初始相位



对本章内容有任何疑问？

