

4 基本的控制方法

© 西安交通大学电子与信息学部 蔡远利 教授

4.1 自动控制系统的行为描述

- 自动控制系统是一个动态系统：
 - 不断地检测被控制量，并反馈、比较，不断地得到误差信号；
 - 借助于此误差信号，不断地通过变换、放大使执行机构动作，力图使被控制量回复到给定值并消除误差。
- 被控对象，例如图3.1中的电炉和执行机构电动机及相附的降速齿轮系，都有惯性，甚至较大的惯性。
 - 假如电炉的供电电压突然降为零，电炉炉膛和工件的温度不是突然降为室温，而是慢慢下降；
 - 电动机供电电压突然降为零，电动机也要从原来的转速，逐步降为零。
- 后者的降速过程较电炉的降温过程要快得多，即电炉的惯性较电动机大得多。
- 电炉、电动机等惯性的存在，是自动控制系统产生动态调节过程的根本原因。

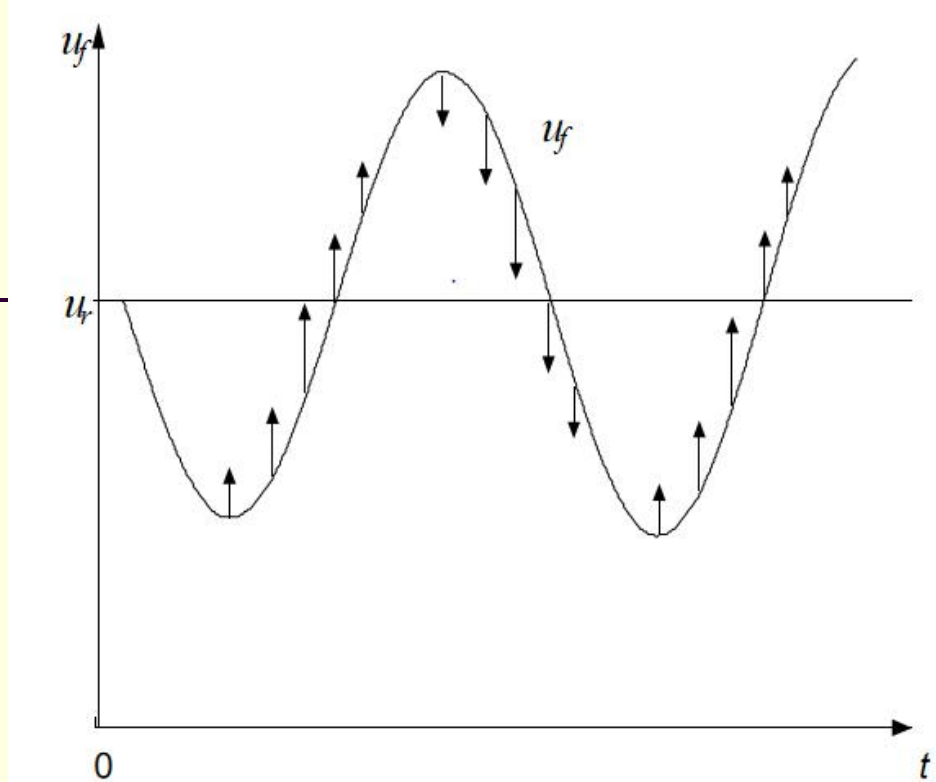


图4.1 自动控制系统中被控制量的振荡

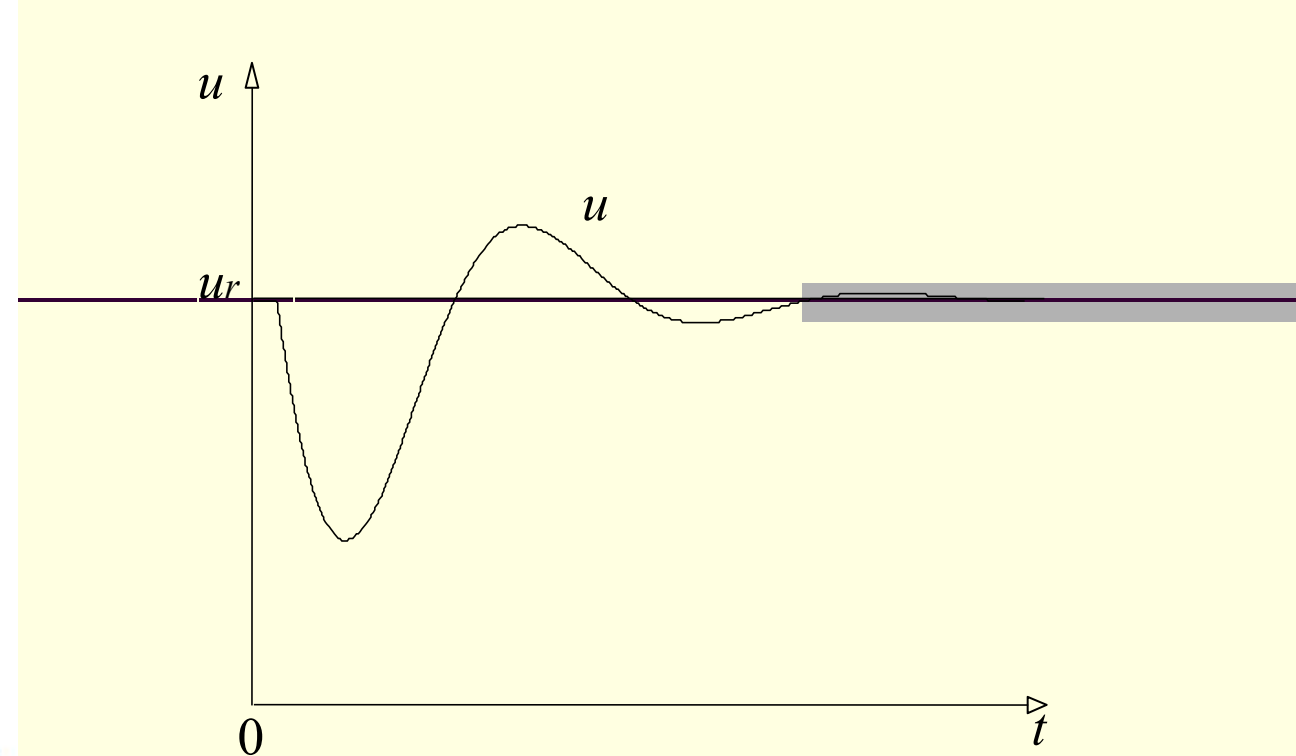
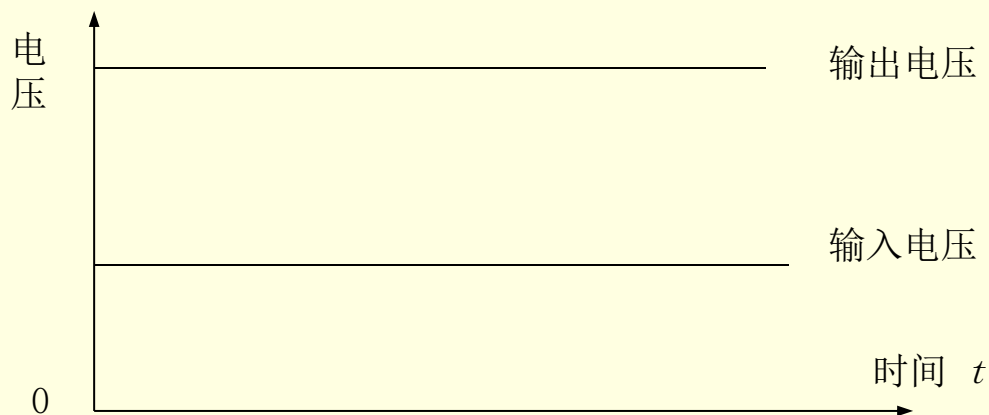


图4.2 稳定的炉温调节系统的炉温变化

- 电炉炉膛温度 U_f 在 $t=0$ 冷工件进入后，稍后温度开始下降，接着就开始产生力图校正误差的控制作用（图上曲线上的向上箭头，表示电炉受到的新增电能供应）。
- 当 U_f 向上升并与 U_r 的横线相交时 $U_f=U_r, \Delta U=0$ ，此时放大器输出为0，电动机降速至0停止转动。
- 电炉受到电能的过度供应，炉膛温度继续上升。

环节或元件的动特性

不稳定的自动控制系统不能正常工作，而且系统处在振荡过程中,环节或元件很易损坏。为了正确阐明自动控制系统内在的规律，彻底解决不稳定问题，需要进行理论分析。而且这种理论分析要从每一个环节或元件的特性入手。



放大器输入-输出时间特性
关系如图4.3所示，输入电压经放大器放大后得出输出电压，与此同时输出功率也被放大，所需功率来自放大器的电源。

图4.3 放大器的输出-输入时间特性

电动机和电炉的时间特性

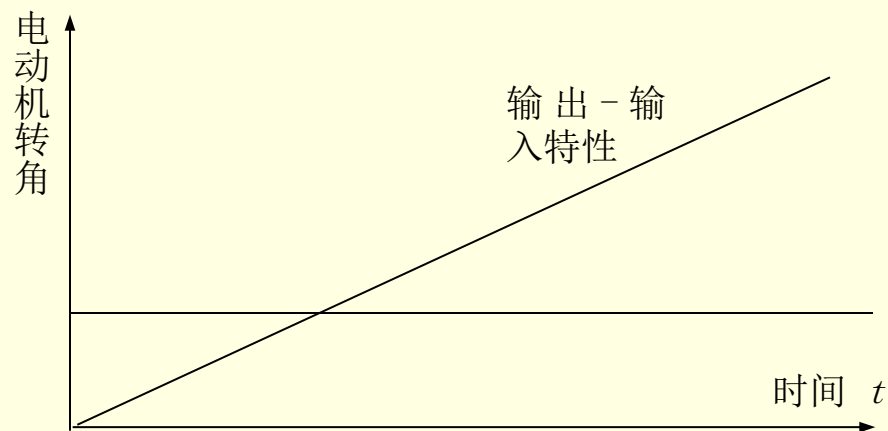


图4.4 电动机的输出-输入时间特性

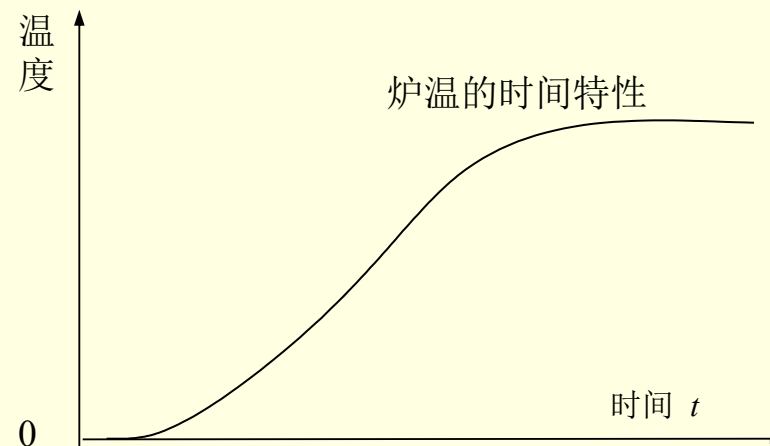


图4.5 电炉的输出-输入时间特性

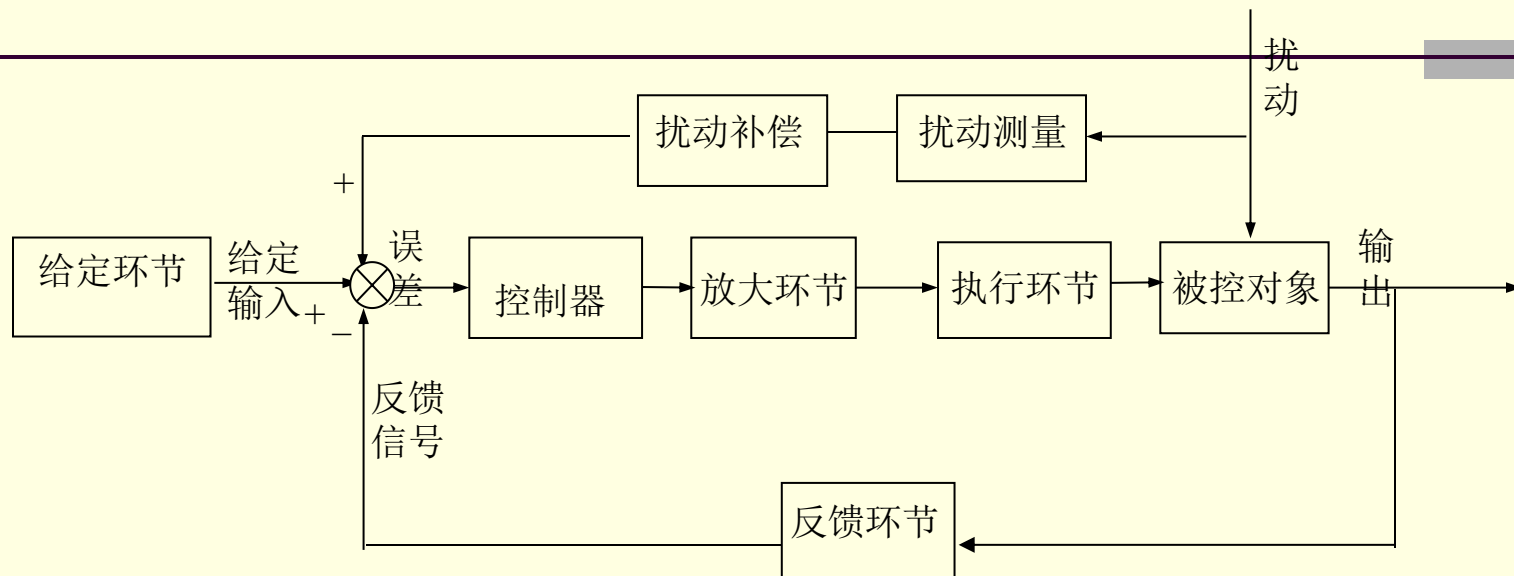
- 电动机的特点是电压加上后，它不停地转动，即它输出轴的角位移或调压器的滑动触点不断移动，电动机输出轴的角位移在 origin 附近有很小一段的曲线。
- 电炉的温度-时间特性如图4.5所示，图中在 origin 附近有一小段时间温度几乎不变，这是电炉输出变化的滞后。
- 这些需要用微分方程和其解来描述。

- 要精确地研究自动控制系统稳定性和控制的品质等重要问题，必须用微分方程、拉普拉斯变换等高等数学工具，来描述每一个环节或元件以及它们组成的自动控制系统。
- 这些微分方程（或拉普拉斯变换后组成的传递函数）被相应地称为环节（元件）和系统的数学模型。
- 图4.1上的调节过程就是描述这个电炉温度控制系统的微分方程的解。

4.2 反馈控制和扰动补偿

- **反馈控制**由误差引起了动作，因此在反馈控制系统的调节过程中误差的发生不可避免，而误差的产生是用来力图消灭误差。有时这会导致在调节过程中**出现较大的误差甚至引起振荡**。
- **扰动补偿**是一种消除被控制对象由于外界扰动引起误差的方法，扰动补偿的原理在于扰动进入被控对象的同时也进入对象前部的控制器。

复合自动控制系统



陕西一彩色显像管厂，实际应用计算机作为PID控制器对大型显像管玻璃炉进行炉温自动控制。

控制系统中实现对两个主要扰动的**扰动补偿**：一个是向炉内的投料量（玻璃原料量），它是可测量的；另一个是大气温度，实现对大气温度的**扰动补偿**。

4.3 比例微分积分控制

- **比例控制**：比例项的作用是放大误差的幅值，实行反馈控制的基本要求
- **微分控制**：“微分”项能预测误差变化的趋势
- **积分控制**：消除稳态误差

$$u = K(e + T_d \frac{de}{dt} + \frac{1}{T_i} \int e dt)$$

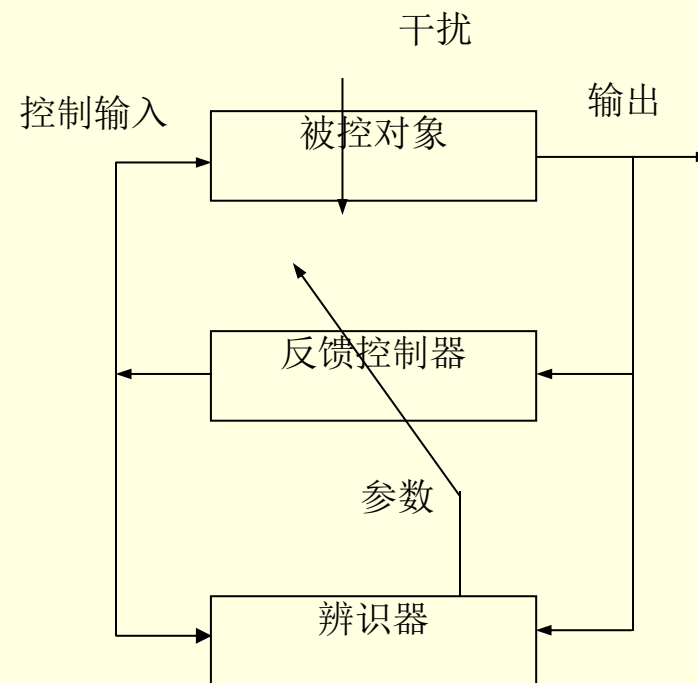
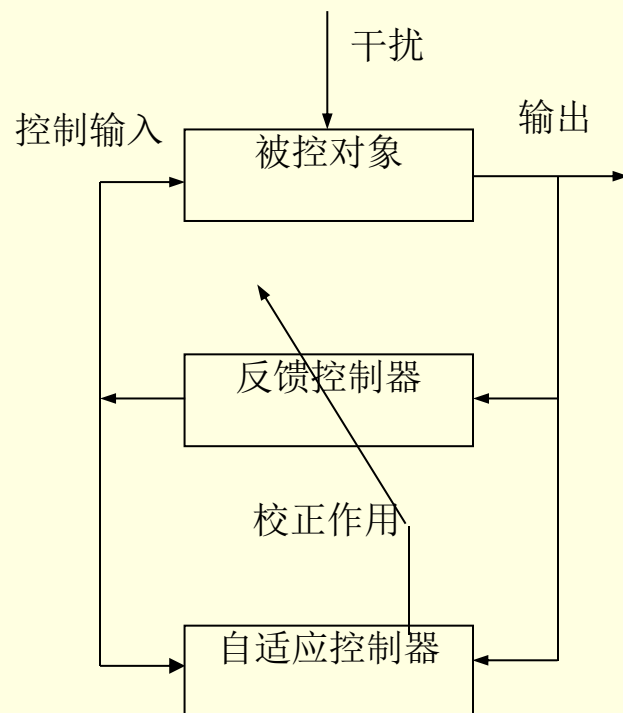
4.4 最优控制

航天飞行器同样的飞行所消耗的燃料愈少愈好（最省燃料的航天器飞行控制系统）。或者同样的燃料，飞行的距离愈远愈好。

这一类的自动控制系统中对于控制都有一定的技术指标，但与以往不同的是：通过设计控制作用要使这个技术指标达到**极值**（极大或极小）。

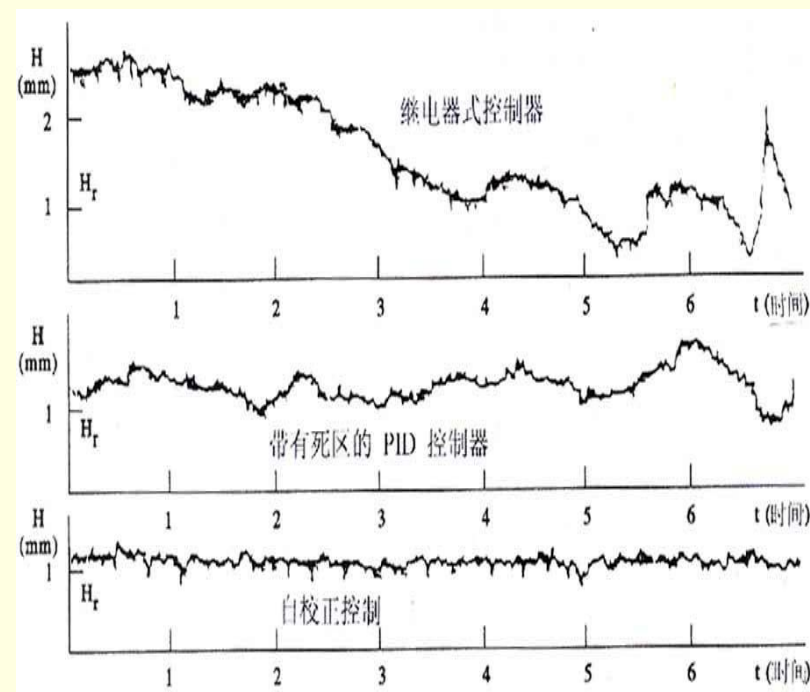
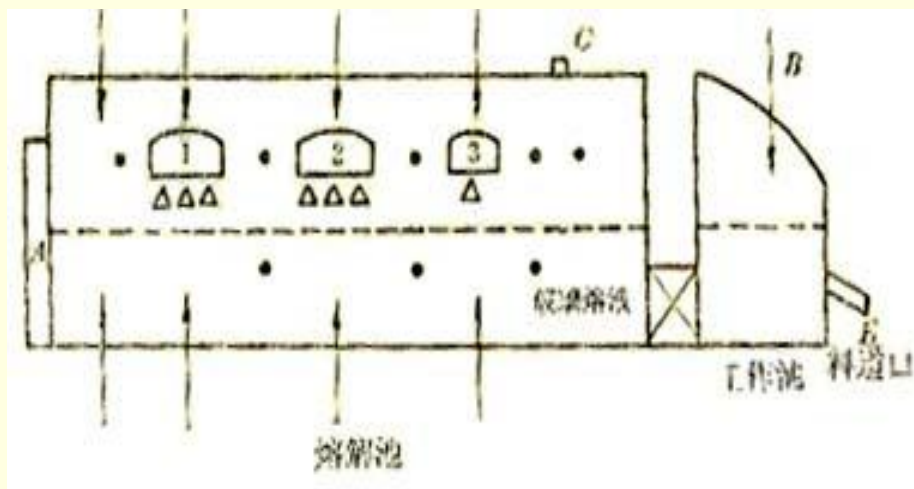
理论工具：庞特里亚金提出的**极大值原理**和贝尔曼创立的**动态规划**

4.5 自适应控制



有些被控对象的数学描述（数学模型）受到无法测量的外界扰动的影响。自适应控制系统根据控制输入和输出的情况（甚至调节过程的品质）来改变计算机控制的**控制器参数**。这时，反馈控制器和自适应控制器实际上都由一个计算机来完成。

显象管玻璃炉液位自校正控制



玻璃炉在结构上可分为四个部分：熔解池、工作池、两个蓄热室和两台投料机。大型玻璃炉有2层楼高，仅熔解池就有75M²面积。

4.6 智能控制

- 对于许多复杂的被控对象和它的外界环境，难以建立有效的**数学模型**和采用常规的经典或现代控制理论去进行定量计算和分析、设计。
- 智能控制具有人工智能、控制论和运筹学等交叉学科的特点和定量与定性相结合的分析方法特点。

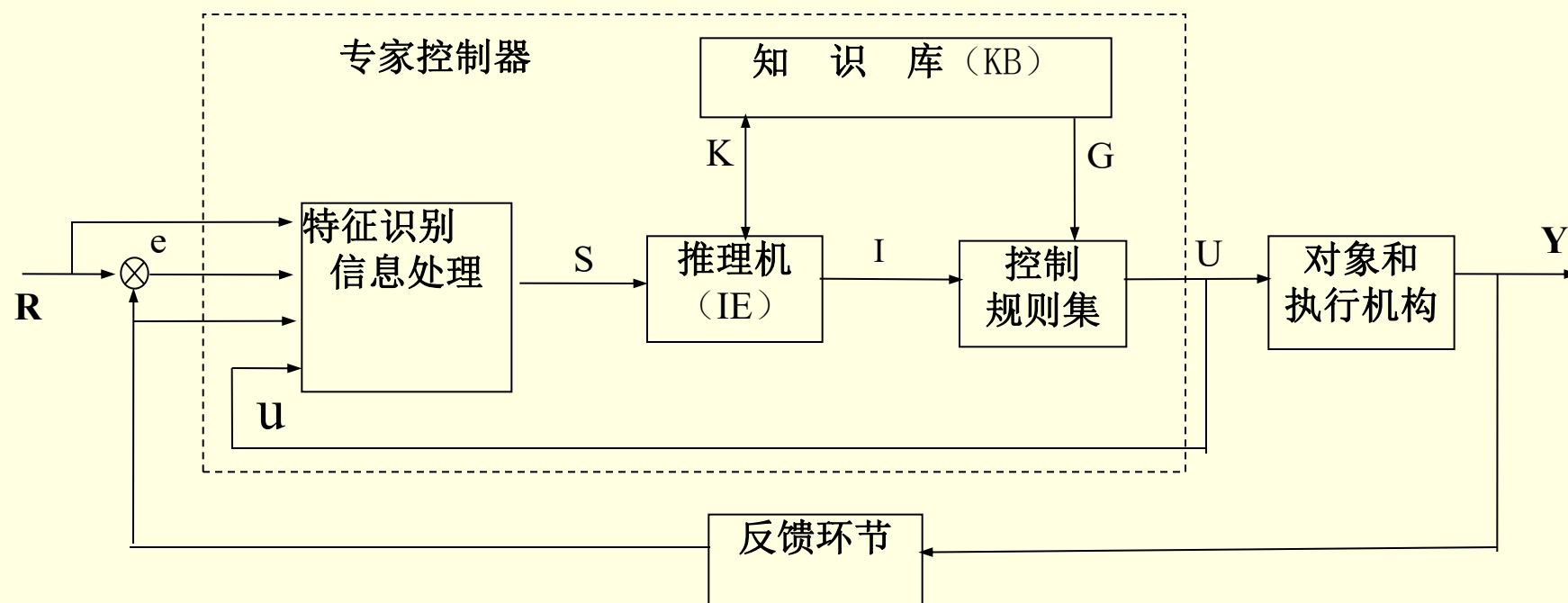
■ 专家控制系统

■ 模糊控制系统

■ 神经控制系统

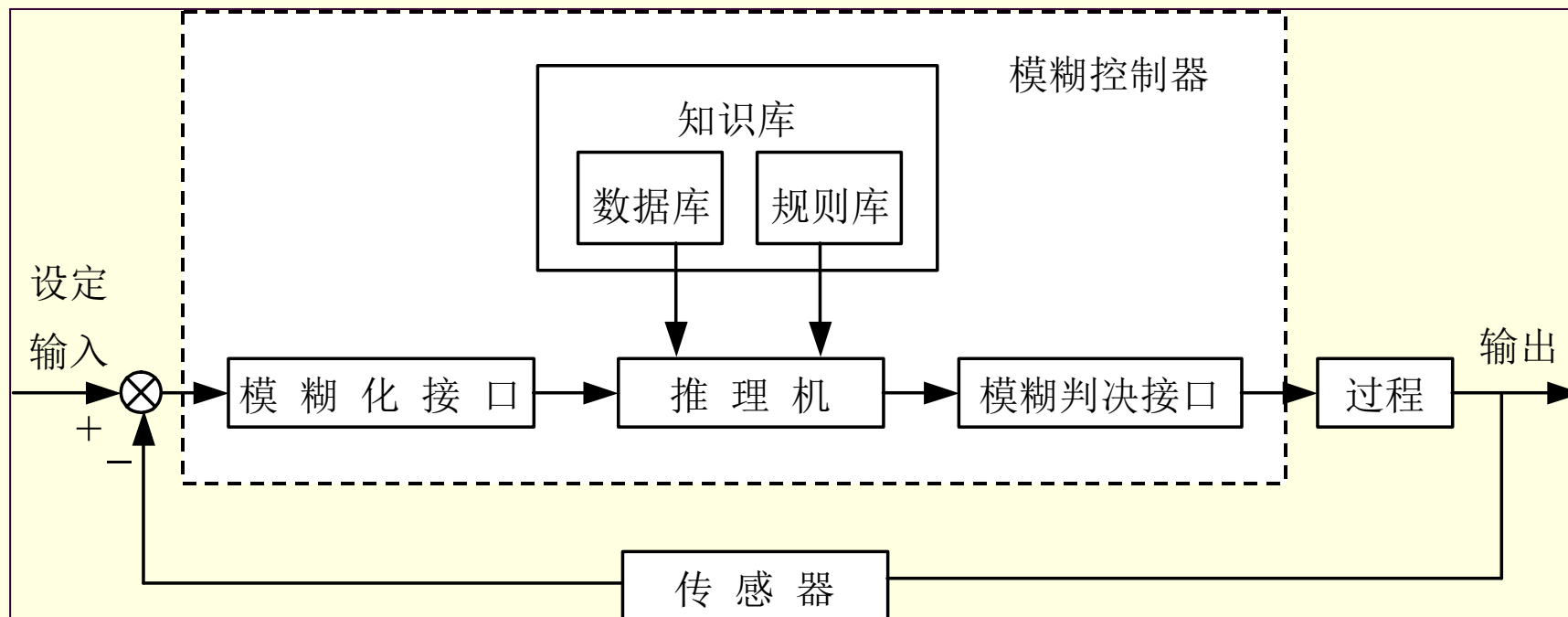
■ 学习控制系统

专家控制系统

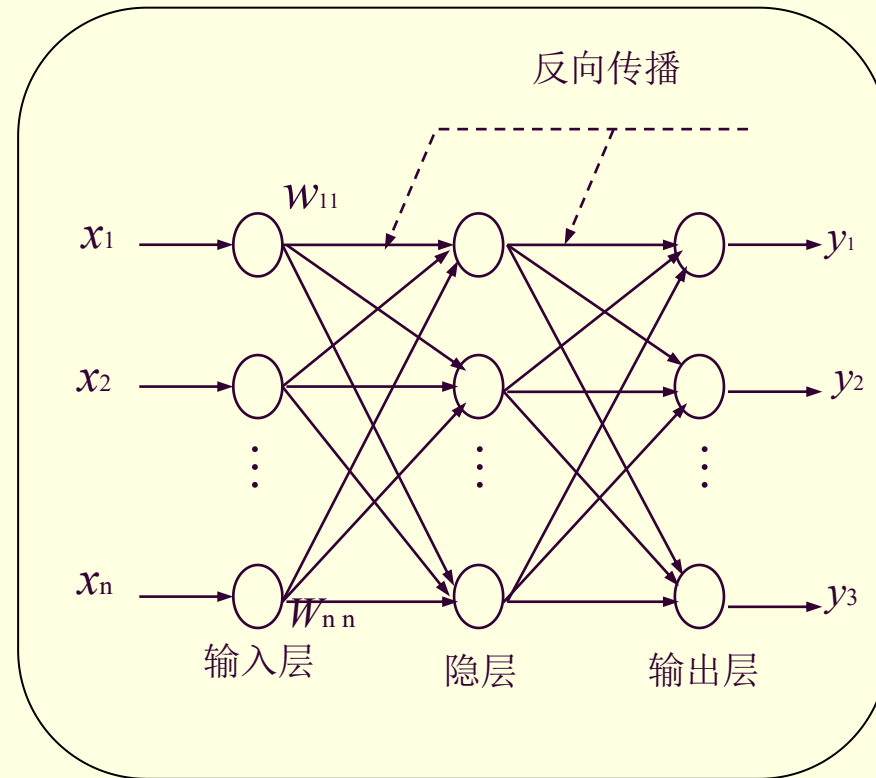
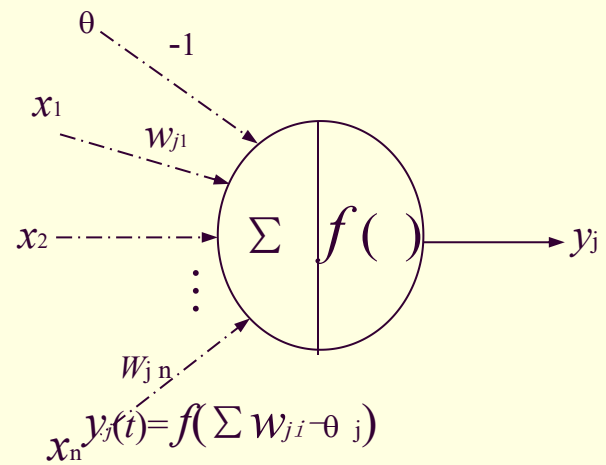


模糊控制系统

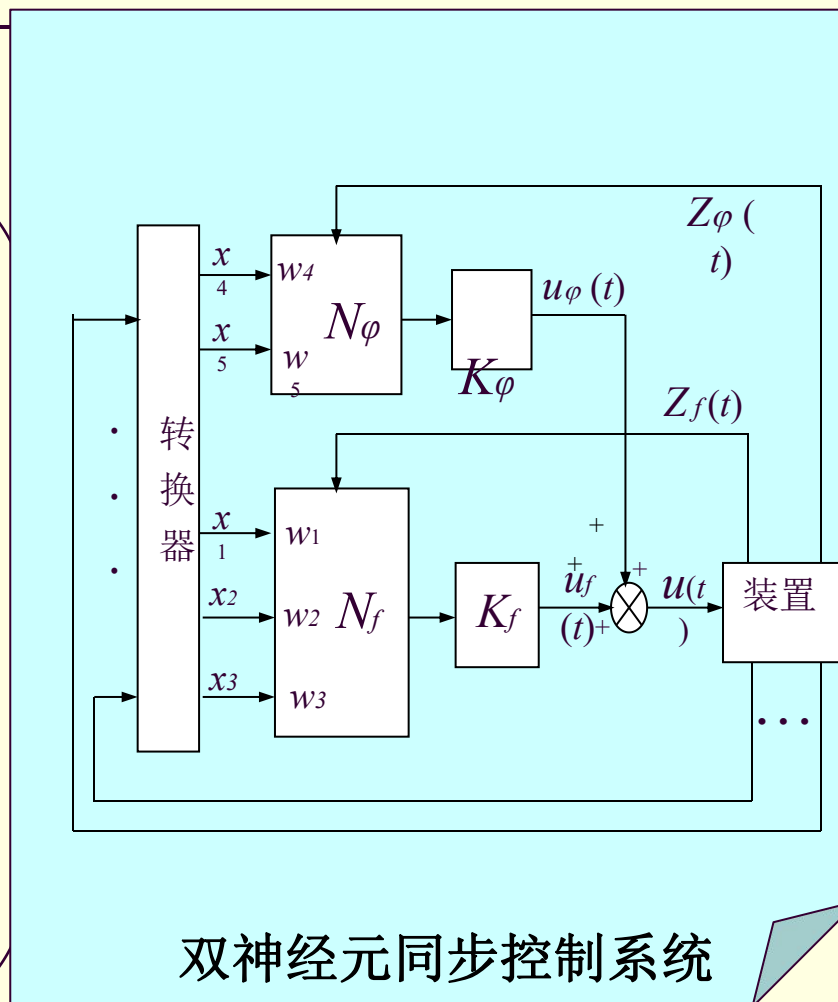
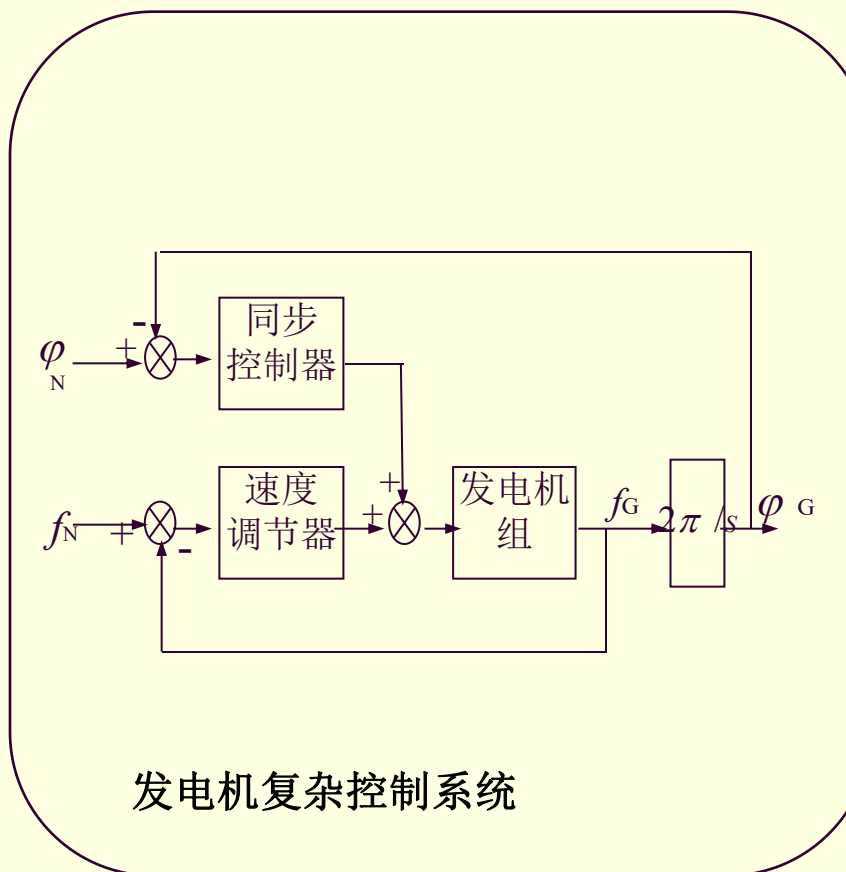
$T(\text{温度}) = \{\text{超高}, \text{很高}, \text{较高}, \text{中等}, \text{较低}, \text{很低}, \text{过低}\}.$



神经控制系统



智能控制系统实例



学习控制

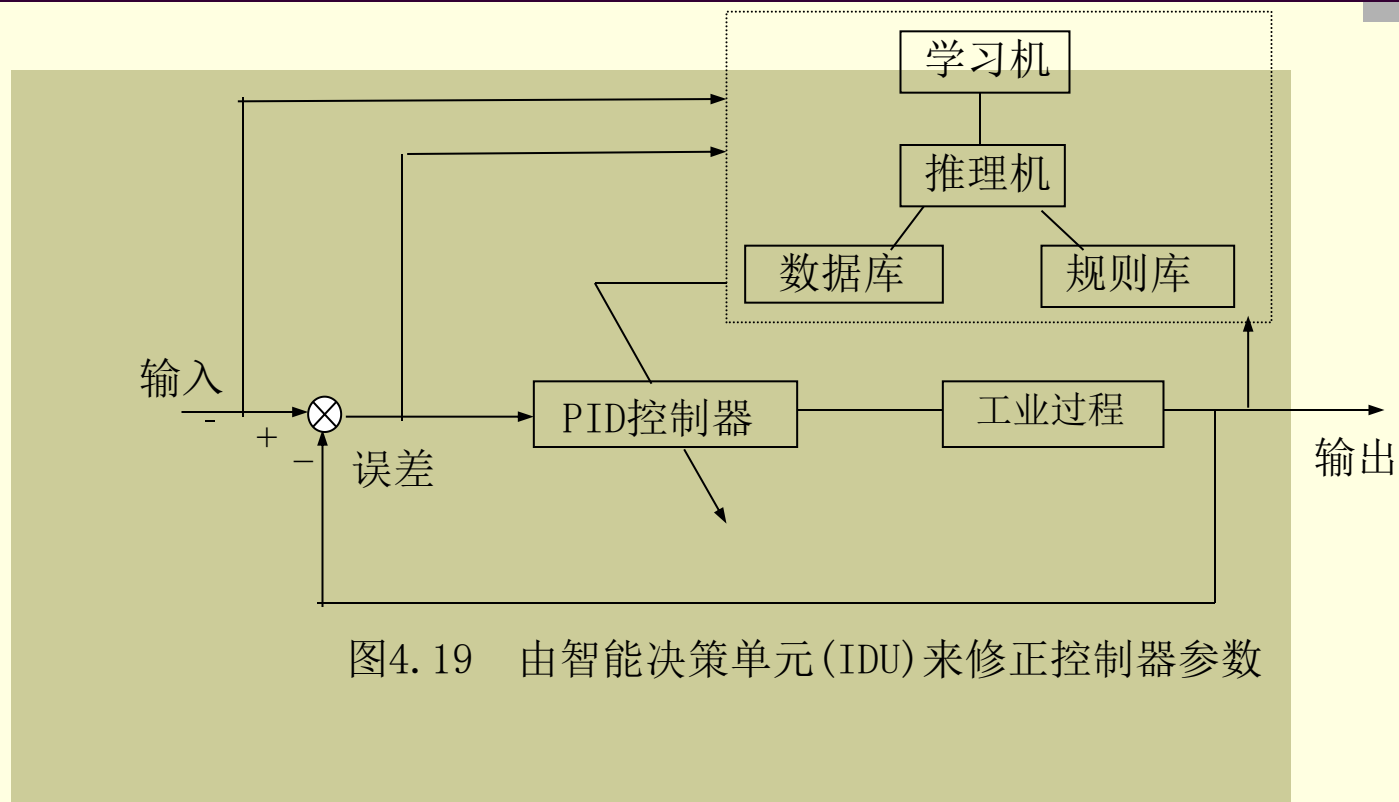


图4.19 由智能决策单元(IDU)来修正控制器参数

学习系统是自适应系统的发展与延伸，它能够按照运行进程中的“经验”和“教训”来不断增长知识，改进算法更广泛地模拟人类的某些行为（如判断、推理等）

4.7 非线性系统及其控制

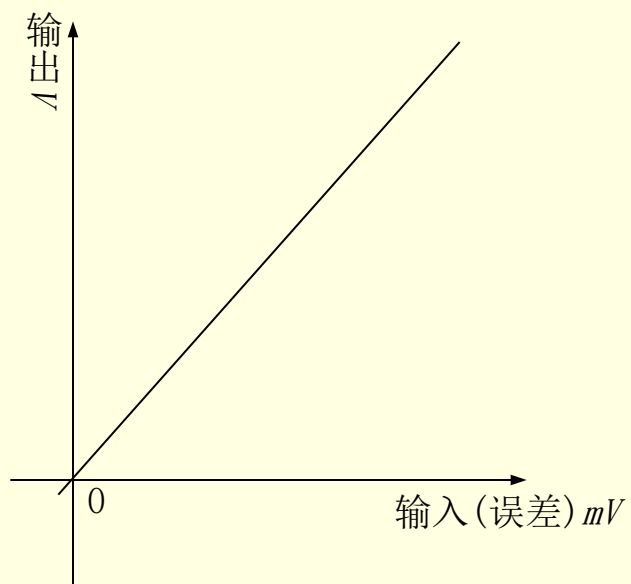
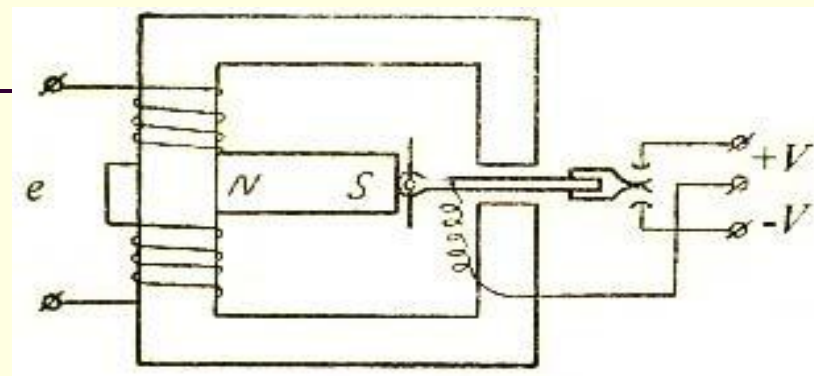
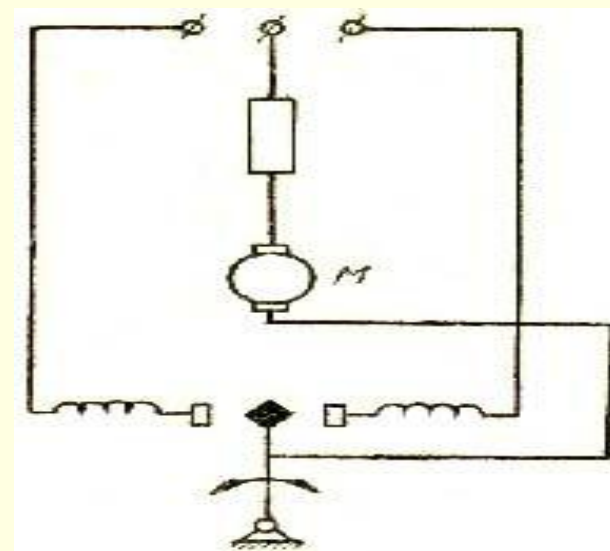


图4.20 电子放大器的静特性



a 极化继电器



b 串激直流电动机

图4.21 极化继电器带动直流电动机

非线性元件特性

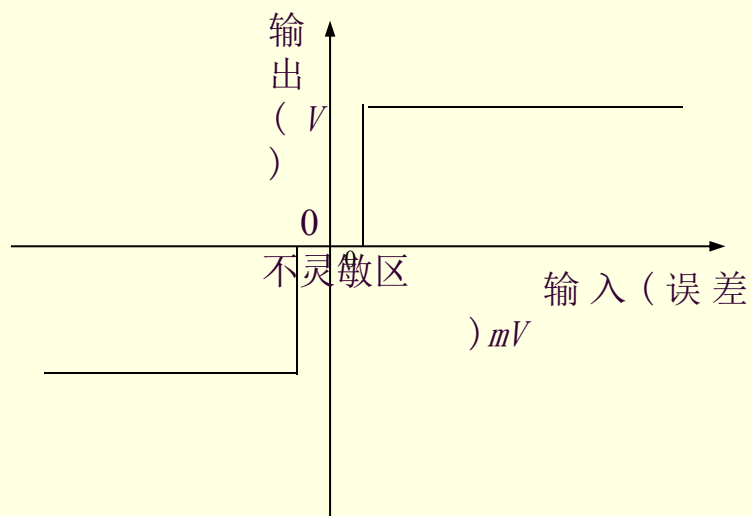
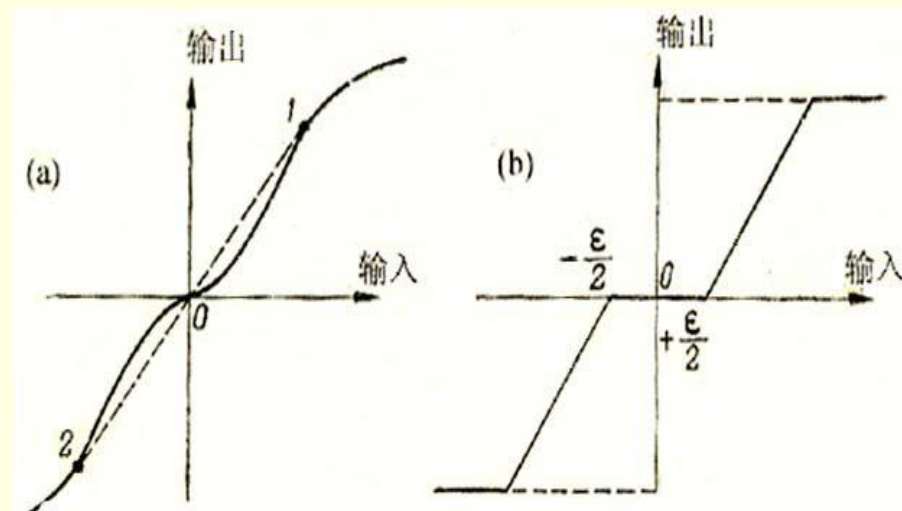


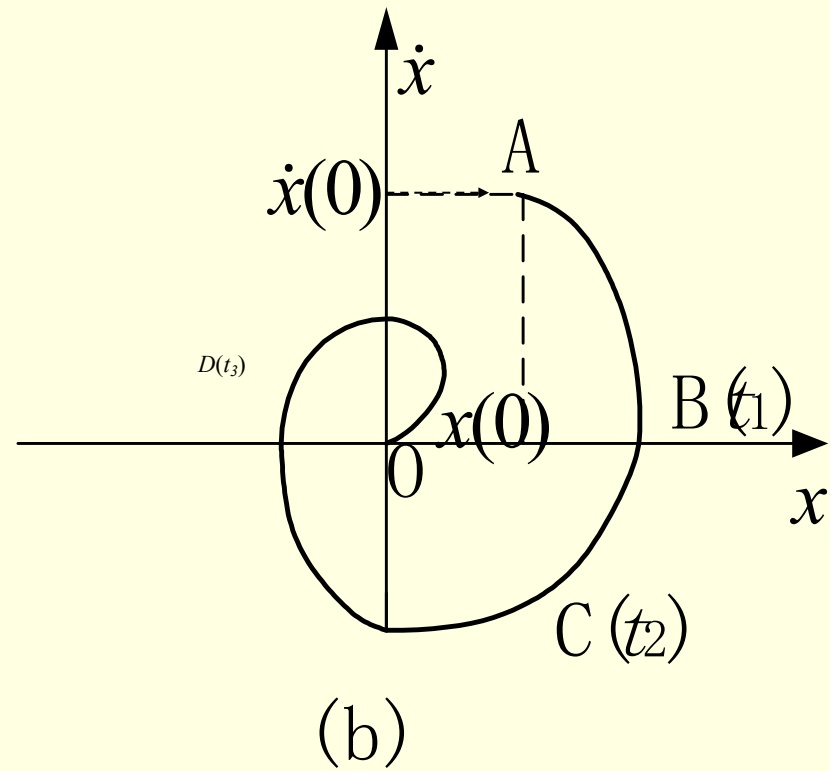
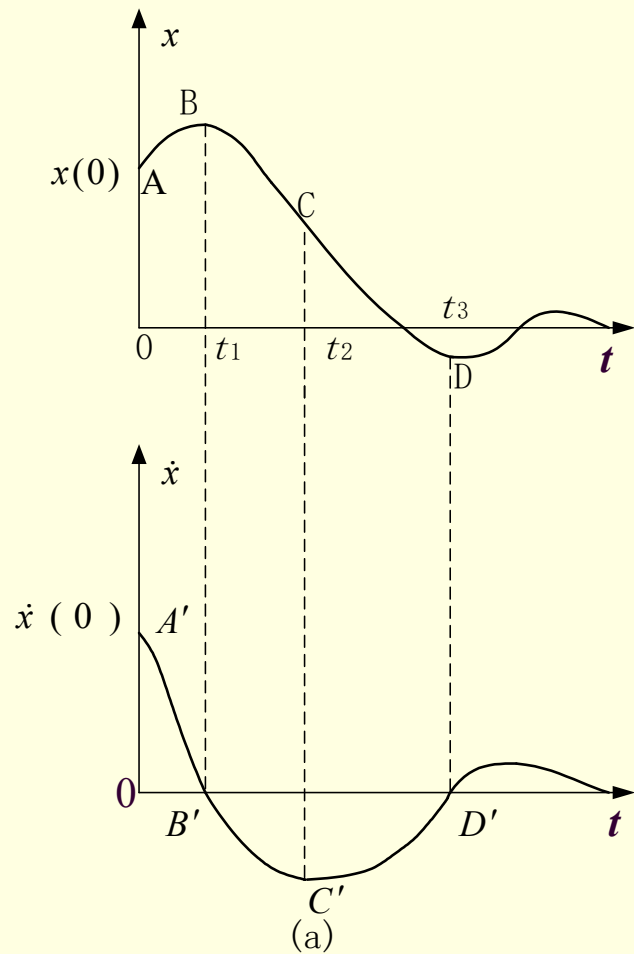
图4.22 极化继电器的静特性



4.23 饱和特性

- ◆ 非线性系统会出现一些在线性系统中不可能发生的奇特现象。
- ◆ 非线性系统的分析和综合远比线性系统为复杂。

二阶系统的相平面研究法



非线性系统的相迹图

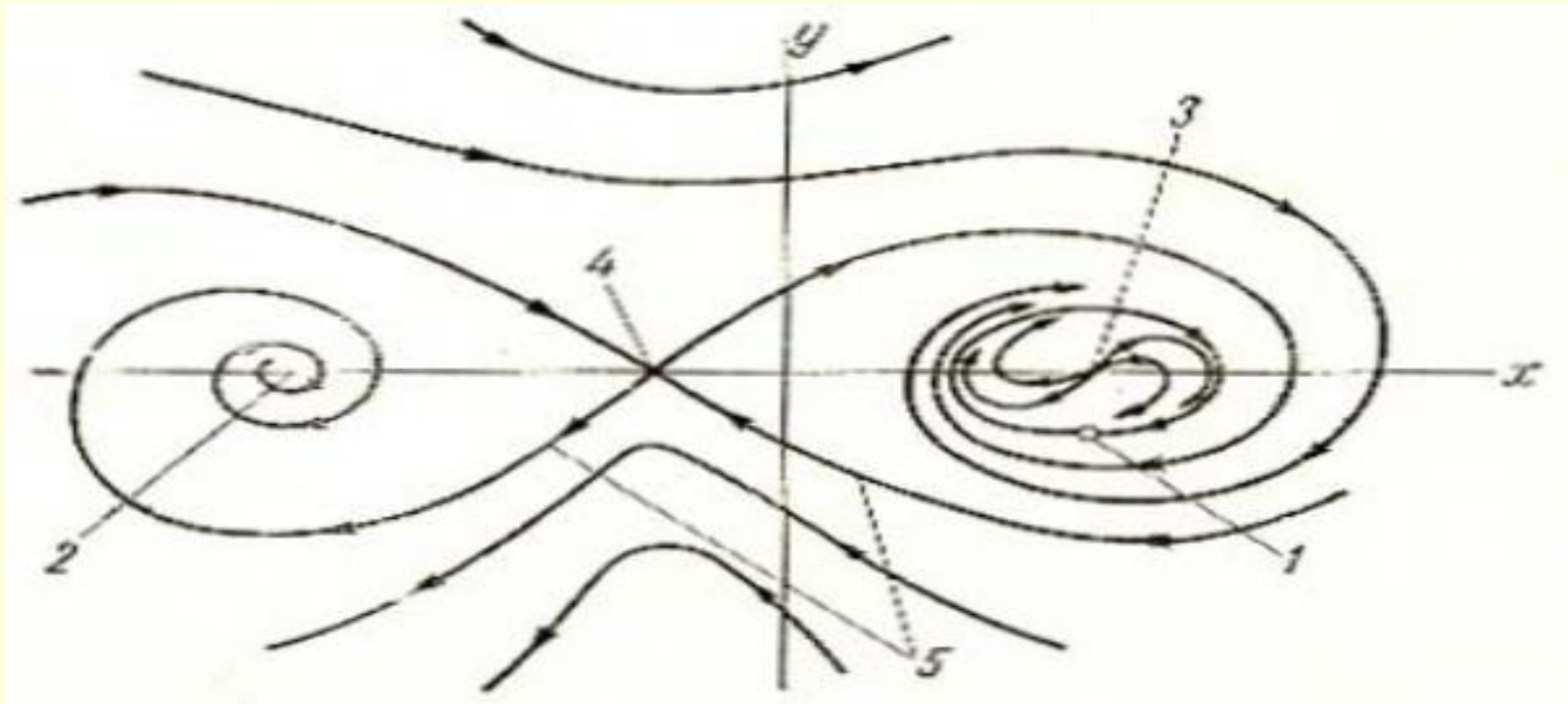


图4.27 非线性系统的相迹图

具有不灵敏区的继电器 非线性炉温自动调节系统系统

- 如采用极化继电器带动直流电动机，并简化成一个二阶系统。
- 这是一个含三叶的相平面系统，并是一个有差系统。

静止）在不灵敏区上。

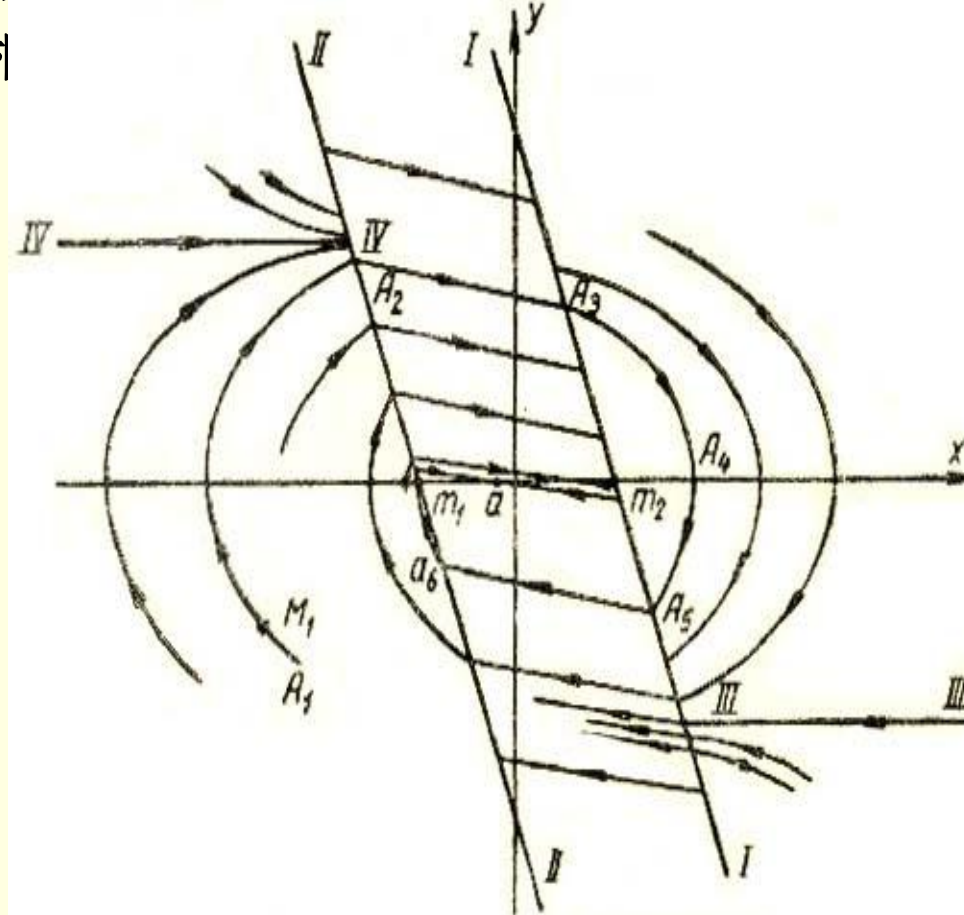
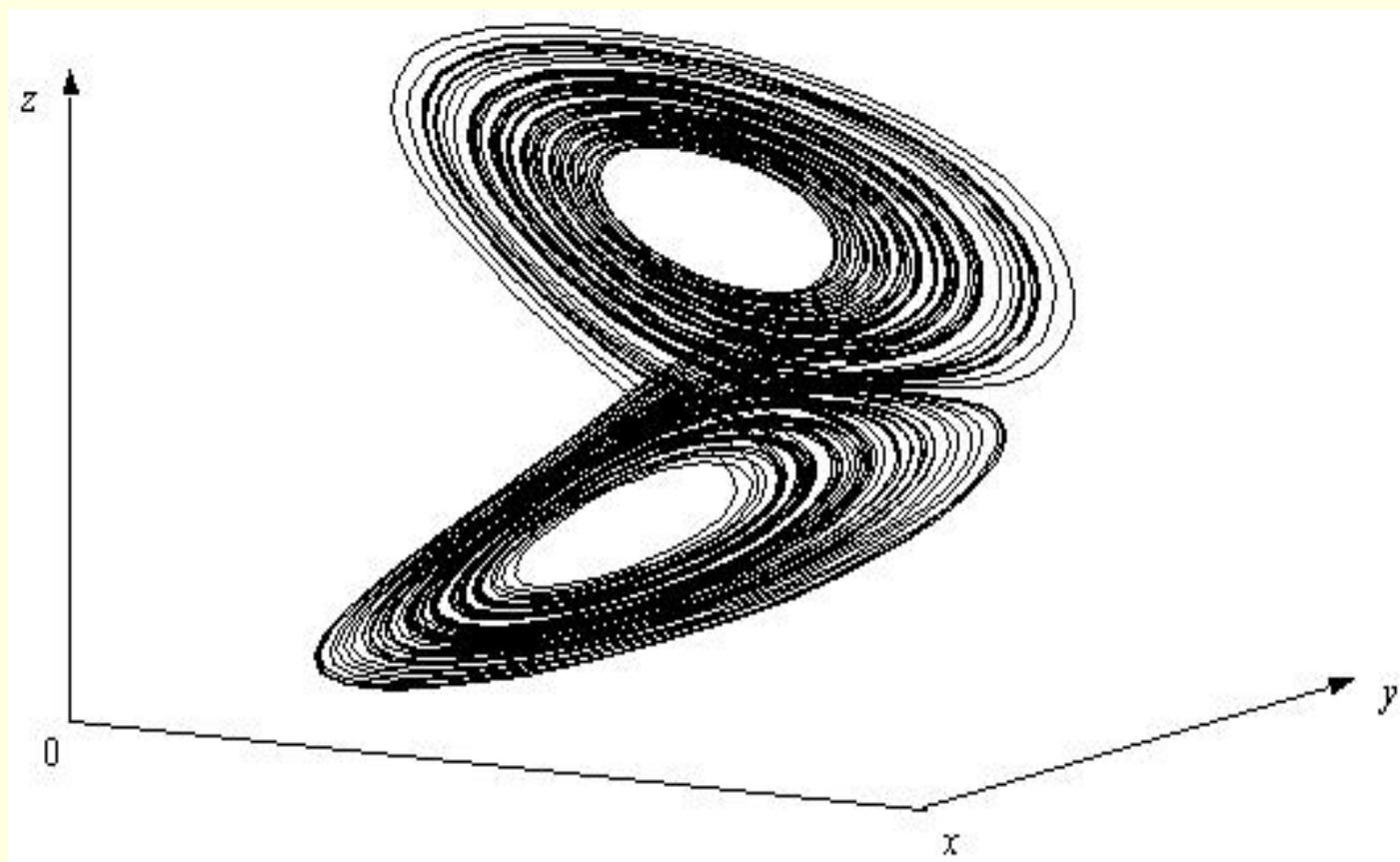


图4.29 具有不灵敏区的继电器非线性系统的相迹图

非线性系统的混沌现象



$$\begin{cases} \frac{dx(t)}{dt} = \sigma(y(t) - x(t)) \\ \frac{dy(t)}{dt} = \rho x(t) - y(t) - x(t)z(t) \\ \frac{dz(t)}{dt} = x(t)y(t) - \beta z(t) \end{cases}$$

Lorenz吸引子