



自动控制原理

秦肖臻

qqhust@163.com

教材及参考书

自动控制原理（第三版）

王永骥、王金城、王敏主编，

化学工业出版社出版（2007年）

自动控制原理（第*版）胡寿松主编

辅助平台

<http://www.icourse163.org/>

SPOC(我们学校的专门课程)

<https://www.icourse163.org/spoc/course/HUST-1464616171?tid=1465520470>

<http://www.icourse163.org/>



自动控制原理（华中科技大学）

课程性质

专业基础课

偏理论——

为控制系统设计提供理论基础

先修课程的基础——

复变函数和积分变换

物理、电路以及电子技术

配套的实验环节

- 典型环节
- 二阶系统分析
- 高阶系统分析
- 根轨迹分析和频域法分析
- 系统校正和设计

1. 绪 论

- 什么是自动控制系统
- 相关术语
- 自动控制系统的分类
- 自动控制系统的基本要求
- 本门课的内容
- 自动控制的发展简史

1.1 什么是自动控制系统

❖ 自动控制系统的含义

自动与非自动进行比较

❖ 自动控制典型的两种方式

开环与闭环进行比较

❖ 自动控制系统的组成

1.1 什么是自动控制系统

1.1.1 自动控制系统举例

(1) 保温桶水位人工控制系统

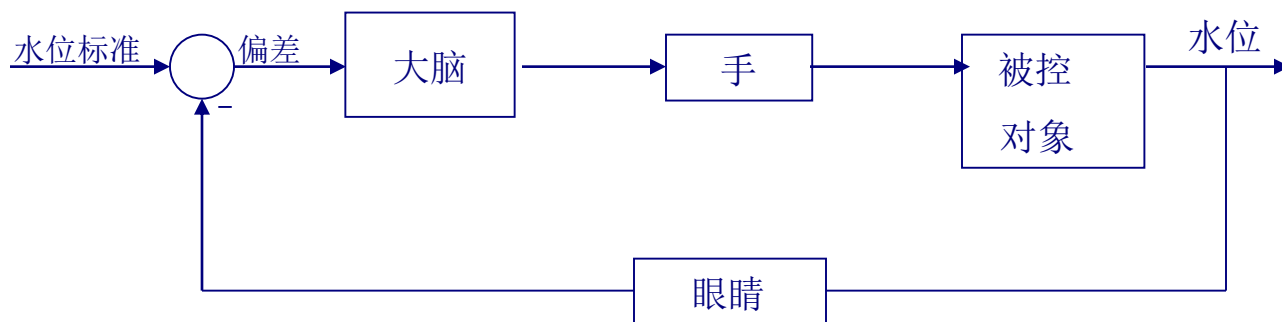
控制目的：关注保温桶的水位

影响水位的因素：

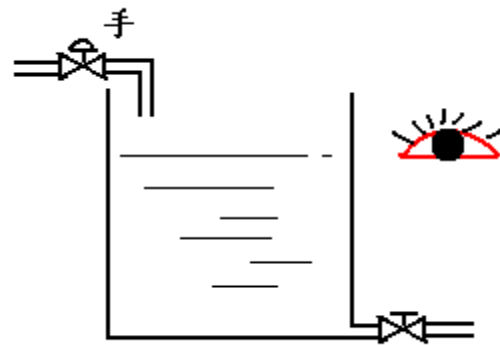
加水（主动控制）

用水（负载变化）

人工控制：看（检测），比较（决策），动作（执行）



很难保持水位一直不变（劳动强度太大）



1.1 什么是自动控制系统

(2) 水位自动控制系统

控制目的： 水箱的水位 保持不变

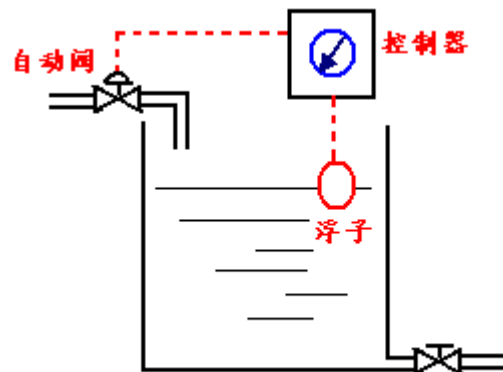
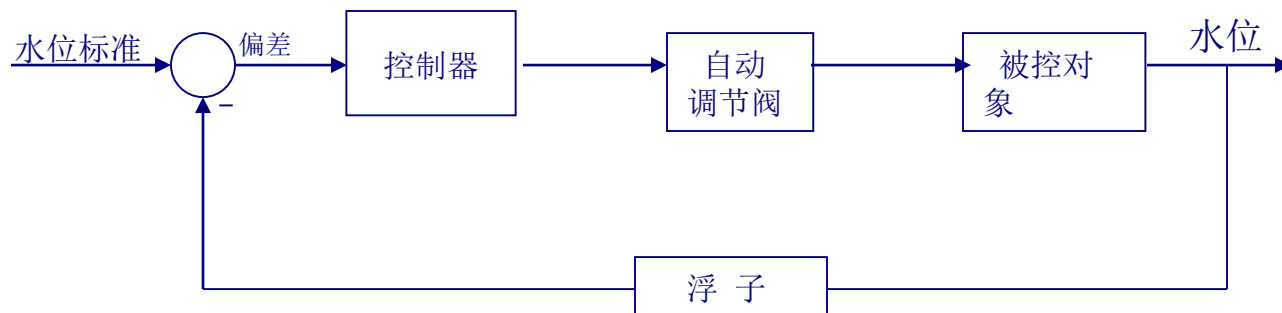
生活中的例子：

茶水炉、全自动洗衣机

自动控制： 仪器测量水位（浮子）

仪器发命令（控制器）

仪器调节（自动调节阀）



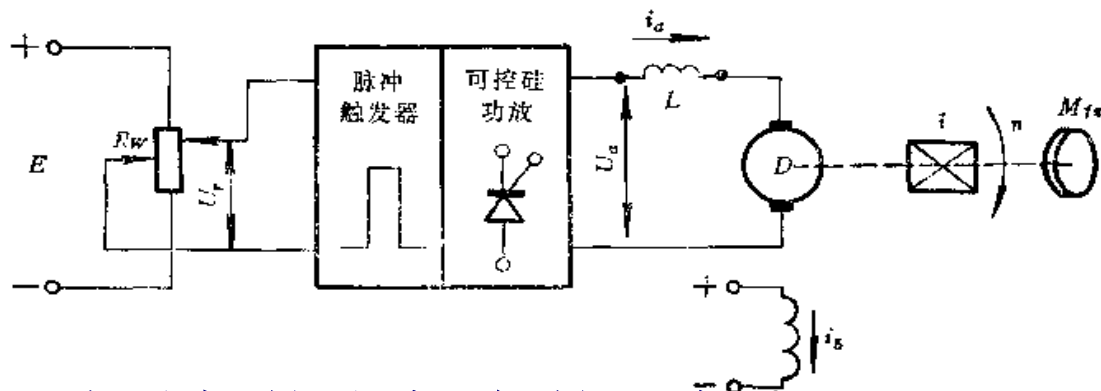
完成控制目的不需要人的介入，称之为自动控制系统。

术语：水箱称为被控对象，

所有仪器合称为控制装置。

1.1 什么是自动控制系统

(3) 电动机速度自动控制系统一



控制目的：电动机的速度 保持不变

生活中的例子：吊扇

给定、执行，但没有测速（检测）



影响电动机速度的因素：电压决定电机的转速

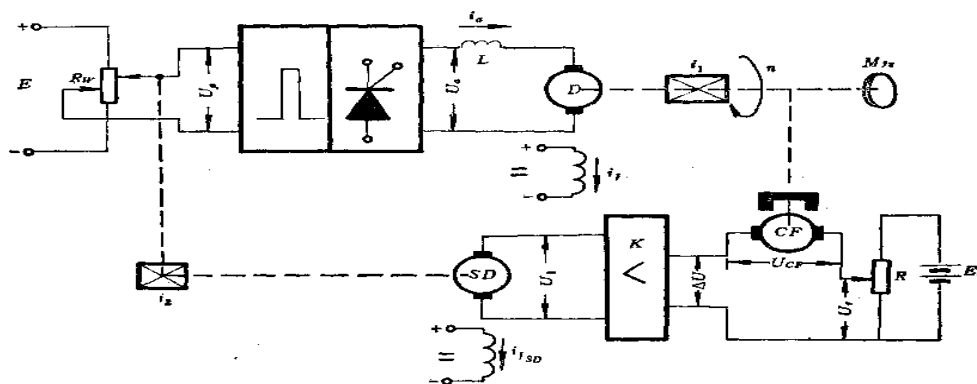
问题：电压变化会改变速度，但系统没有能力纠正。

没有测量的系统是开环控制系统



1.1 什么是自动控制系统

(4) 电动机速度自动控制系统二



控制目的：电动机的速度 保持不变

与系统一不同之处：检测电动机的速度

希望解决的问题：当负载发生变化时，速度不变

自动控制：测量速度，进行比较，改变电位器位置

优点：当负载发生变化时，速度改变，能自动调节速度

与系统一不同之处：加入了测量速度，并送到输入端称之为**闭环控制系统**



1.1 什么是自动控制系统

1.1.2 自动控制系统的含义

自动：

就是不需要人的介入

控制：

达到人想要达到的某种目的

自动控制：

在脱离人的直接干预下，利用控制装置，使被控对象按照预定的规律运行。

自动控制系统：

将被控的对象和实现控制功能的控制装置组合起来称为自动控制系统

1.1 什么是自动控制系统

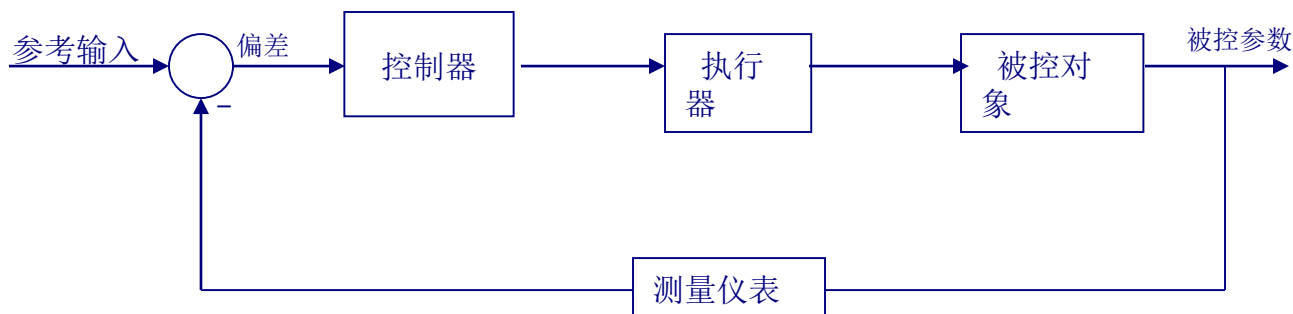
1.1.3 系统组成:

{ 被控对象和一个目的
选择一些仪器仪表（测量仪表或执行机构或控制器）
构成一个完整的控制系统。

控制系统通常习惯用方框图来表示

方框图 { 方框：代表功能模块
带箭头的线段：代表信号传递方向
(非物质流动方向)

典型的控制系统方框图是：



1.2 相关术语

(1) 被控对象（也称被控过程、被控系统）

- 它可能是一个设备，多数由一些机器零件有机地组合在一起，其作用是完成一种特定的功能。

(2) 被控参数（也称为系统输出）

- 体现系统控制目的的物理量。（水位、速度等）

(3) 控制参数

- 由控制器改变的量，对被控参数有较好的调节能力。（阀门开度、电枢电压等）

(4) 扰动

- 扰动是一种对系统的输出量产生影响的信号。（水箱出水、负载等）

(5) 系统输入

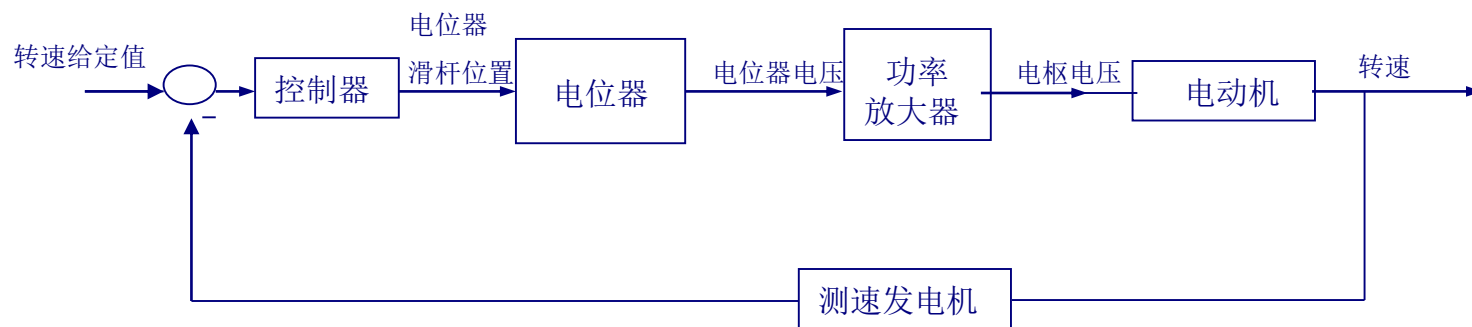
- 作用于被控对象或系统输入端，并可使系统具有预定功能或预定输出的物理量。（给定水位，电位器滑杆位置）

1.2 相关术语

(6) **开环控制**：输出量对输入量(控制作用)没有影响的系统。



缺点： 没有抵抗扰动的能力。



将输出量反送到输入端，与输入端形成偏差称之为**反馈**

(7) **闭环控制**：将输出量与参考输入量进行比较，并且将它们的偏差作为控制手段，以保持两者之间预定关系的系统。也称为**反馈控制系统**。

1.2 相关术语

控制系统中主要采用负反馈 。

负反馈：反馈的加入，使偏差越来越小。

正反馈：反馈的加入，使偏差越来越大。（振荡发生器）

最大的特点：

消除偏差；

使系统对参数不敏感。

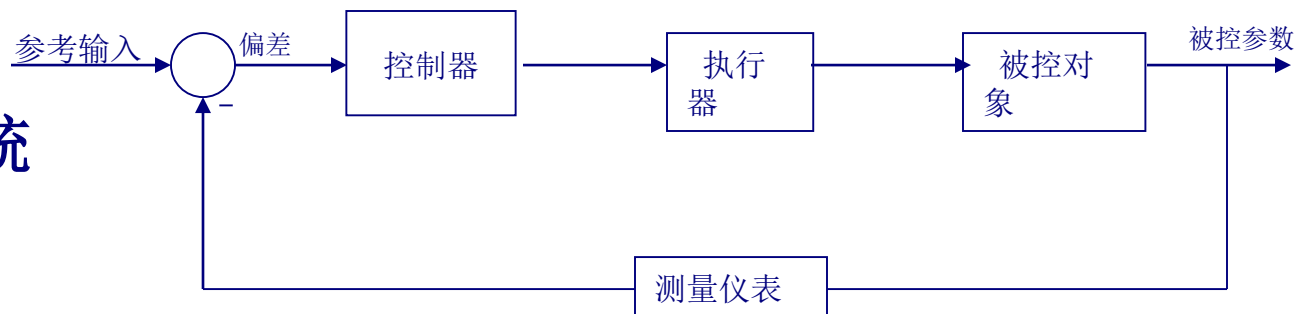
1.3 控制系统的分类

1.3.1 按结构分

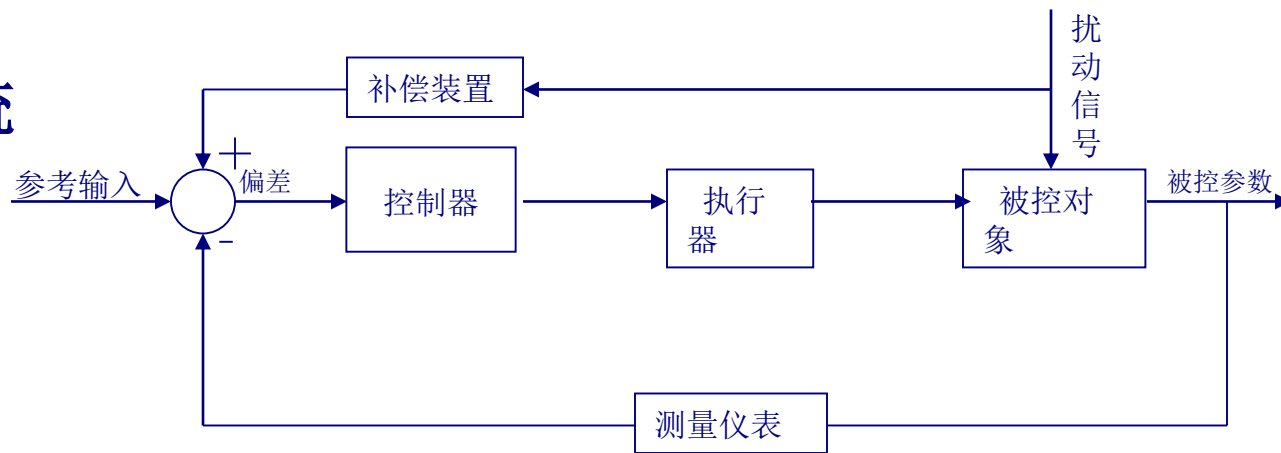
开环控制系统



闭环控制系统



复合控制系统



1.3 控制系统的分类

1.3.2 按输入信号的变化规律分

定值控制：参考输入为一个恒定的值。

如水位控制、速度控制等。

程序控制：参考输入为一个已知的时间函数。

如自动驾驶、热处理过程等，

随动控制：参考输入为一个随机变化的函数。

火炮跟踪系统等

1.3.3 按系统中传递信号的特点分

连续系统：系统中传递的信号都是时间轴上连续的信号。

离散系统：系统中某一处或几处信号为脉冲序列或时间轴上不连续的信号。

典型的如计算机控制系统。

1.3 控制系统的分类

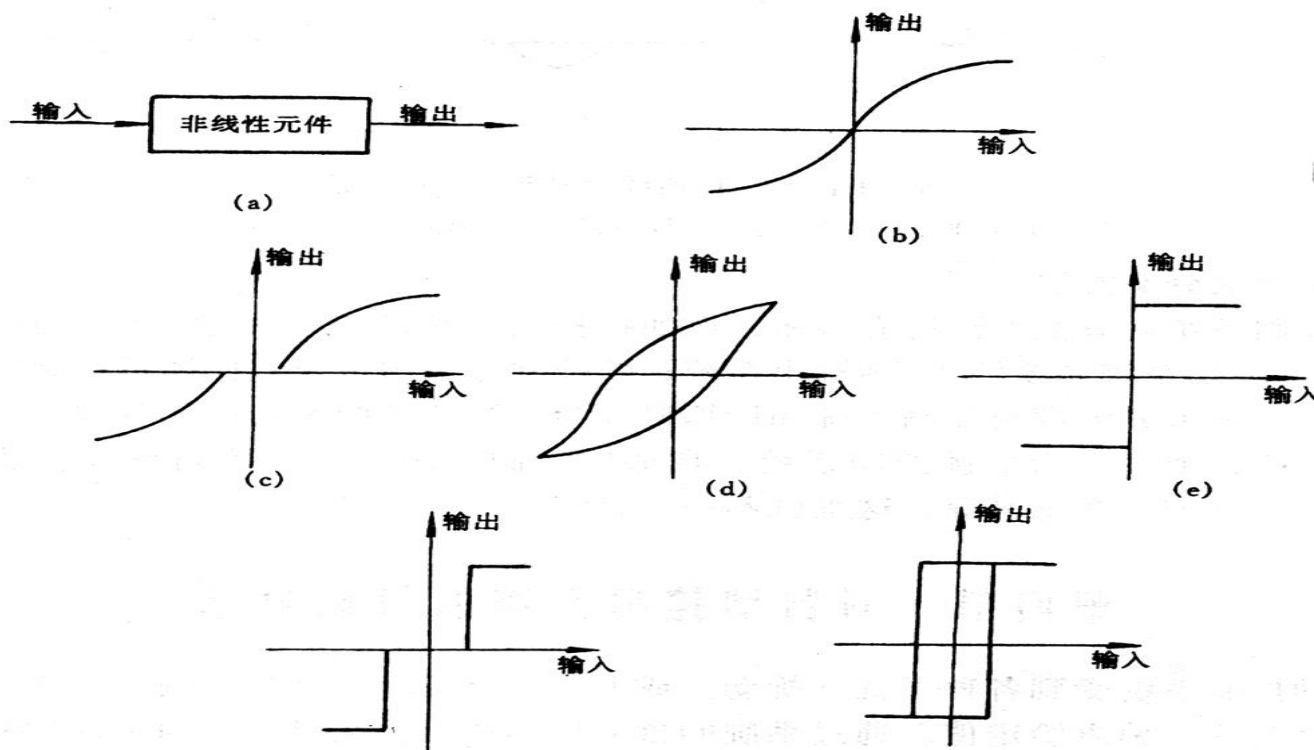
1.3.4 按系统特点分

线性系统：

组成系统的所有元件或子系统都是线性的。

非线性系统：

系统中至少有一个元件或子系统是非线性的。



1.3 控制系统的分类

1.3.5 按系统输入输出数量分

单输入单输出（经典控制理论）

多输入多输出（现代控制理论）

1.3.6 按系统功能分

温度控制、速度控制、位置控制

1.3.7 按组成元件的特点分

机械系统、电气系统、液压系统、生物系统、经济系统

1.3.8 按控制规律分

古典控制、现代控制系统、模糊系统、神经网络系统

1.4 自动控制系统的要求和本门课程的任务

1.4.1 建立控制系统的目的

保证系统输出具有参考输入指定的数值

保证系统输出尽量不受扰动的影响

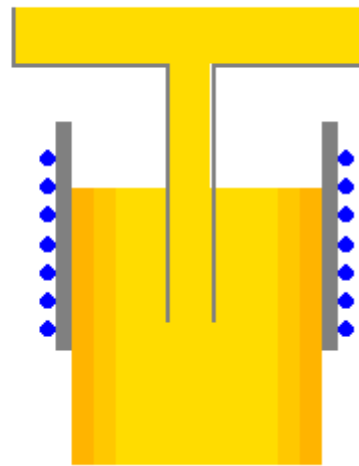
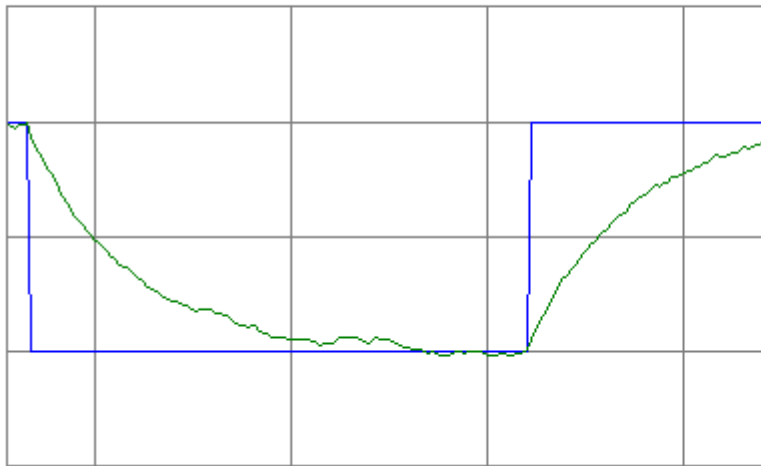
1.4.2 对系统的具体要求

(1) 系统稳定性

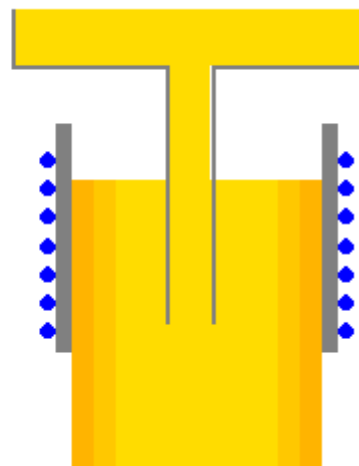
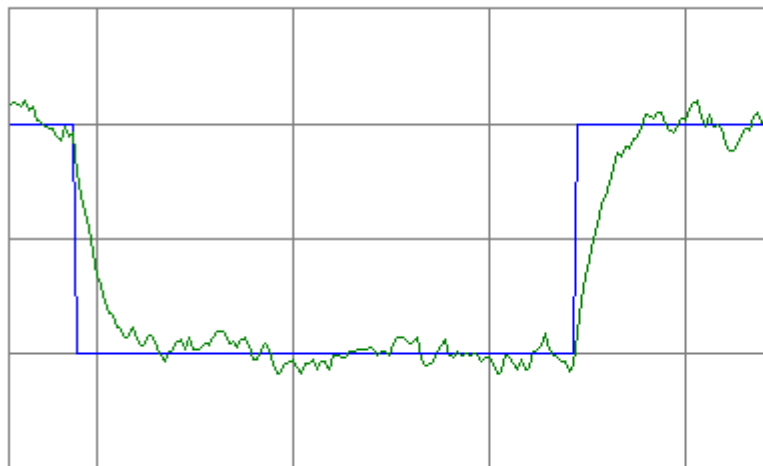
(2) 系统动态快速性

(3) 系统的稳态准确性 例

1.4 自控系统的要求和本门课程的任务

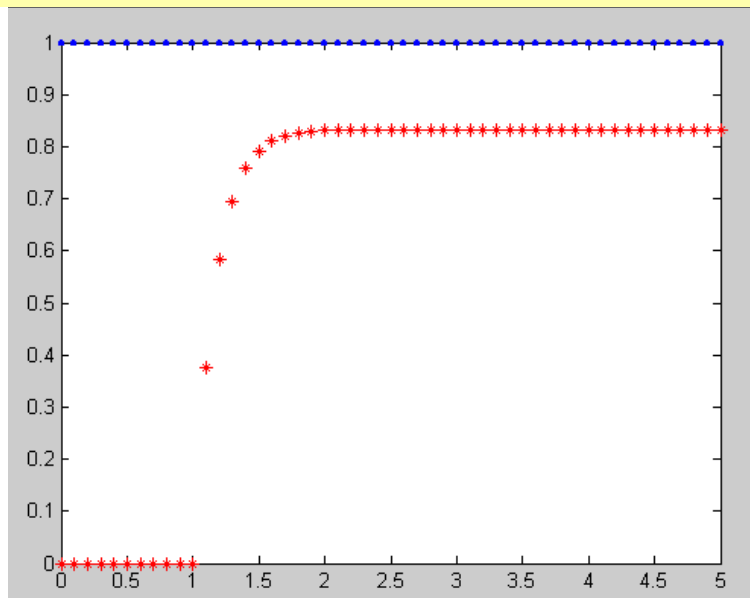


K=1



K=4

1.4 自控系统的要求和本门课程的任务



1.4.3 本课程的任务：

研究一种方法（或理论）来指导设计控制器以满足系统的要求

1.5 本课程的内容

本课程的具体内容：

设计控制器以达到系统的目的（系统设计或系统综合）

了解某种控制器对系统输出的影响（系统分析）

了解各种元器件或子系统的运动规律、动力学方程（建立数学模型）

第二章

建立数学模型

第三章——第五章

三种系统分析方法（时域分析、根轨迹、频域）

第六章

系统设计

1.6 自动控制的发展简史

最初的闭环自动控制装置是1788年瓦特（J. Watt）发明的飞锤调速器的研究。

四个阶段：

经典控制理论阶段——本学期内容

现代控制理论阶段——下学期内容研究生阶段

大系统控制理论阶段——研究生阶段

智能控制阶段——研究生阶段



1.7 自动控制的发展简史

经典控制理论阶段（以传递函数作为系统数学模型）

1868年麦克斯韦尔（J. C. Maxwell）基于微分方程描述从理论上给出了它的稳定性条件。

1877年劳斯（E. J. Routh），1895年霍尔维茨（A. Hurwitz）分别独立给出了高阶线性系统的稳定性判据；

1892年，李雅普诺夫（A. M. Lyapunov）给出了非线性系统的稳定性判据。在同一时期，维什哥热斯基（I. A. Vyshnegreskii）也用一种正规的数学理论描述了这种理论。

1922年米罗斯基（N. Minorsky）给出了位置控制系统的分析，并对PID三作用控制给出了控制规律公式。

1942年，齐格勒（J. G. Zigler）和尼科尔斯（N. B. Nichols）又给出了PID控制器的最优参数整定法。

上述方法基本上是时域方法。

1.7 自动控制的发展简史

1932年奈奎斯特(Nyquist)提出了负反馈系统的频率域稳定性判据。

1940年, 波德(H. Bode)进一步研究通信系统频域方法, 提出了频域响应的对数坐标图描述方法。

频域分析法主要用于描述反馈放大器的带宽和其他频域指标。

1943年, 霍尔(A. C. Hall)利用传递函数(复数域模型)和方框图, 把通信工程的频域响应方法和机械工程的时域方法统一起来, 人们称此方法为复域方法。

1948年伊文斯(W. Evans)又进一步提出了属于经典方法的根轨迹设计法, 它给出了系统参数变换与时域性能变化之间的关系。

总结: 经典控制理论的分析方法为复数域方法, 以传递函数作为系统数学模型,

优点: 可通过试验方法建立数学模型, 物理概念清晰, 。

缺点: 只适应单变量线性定常系统, 对系统内部状态缺少了解。

1.7 自动控制的发展简史

现代控制理论阶段（以状态空间表达式为模型）

1954年贝尔曼(R. Bellman)的动态规划理论，
1956年庞特里雅金(L. S. Pontryagin)的极大值原理，

1960年卡尔曼(R. E. Kalman)的多变量最优控制和最优滤波理论。

现代频域方法，自适应控制理论和方法、鲁棒控制方法等。

总结

状态空间方法属于时域方法，其核心是最优化技术。它以状态空间描述（实质上是一阶微分或差分方程组）作为数学模型，。

适应于多变量、非线性、时变系统

1.7 自动控制的发展简史

大系统控制理论阶段

20世纪70年代，随着控制理论应用范围的扩大，人们开始了对大系统理论的研究。

大系统理论是过程控制与信息处理相结合的综合自动化理论基础，是动态的系统工程理论，具有规模庞大、结构复杂、功能综合、目标多样、因素众多等特点。它是一个多输入、多输出、多干扰、多变量的系统。

大系统理论目前仍处于发展和开创性阶段。

[返回](#)

1.7 自动控制的发展简史

智能控制阶段

智能控制

依据人的思维方式和处理问题的技巧，解决那些目前需要人的智能才能解决的复杂的控制问题。

被控对象的复杂性体现为：模型的不确定性，高度非线性，分布式的传感器和执行器，动态突变，多时间标度，复杂的信息模式，庞大的数据量，以及严格的特性指标等。

环境的复杂性则表现为变化的不确定性和难以辨识。

试图用传统的控制理论和方法去解决复杂的对象，复杂的环境和复杂的任务是不可能的。

智能控制的方法包括模糊控制，神经元网络控制，专家控制等方法。

本章小结

- 本章首先介绍了什么是自动控制，介绍了自动控制理论中常用的术语：**被控对象**，**参考输入信号**（给定值信号），**扰动**、**偏差信号**、**被控量**、**控制量**和自动控制系统等。
- 开环控制系统**和**闭环控制系统**。
- 本章还介绍了自动控制系统的若干分类方法
- 本章介绍了对自动控制系统的**性能要求**，即**稳定性**、**快速性**和**准确性**。