



北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

# 自动控制原理

林 岩

北京航空航天大学 自动化科学与电气工程学院，2018



北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

# 第一章

## 自动控制的一般概念



北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

## 1-1 自动控制的基本概念





北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY



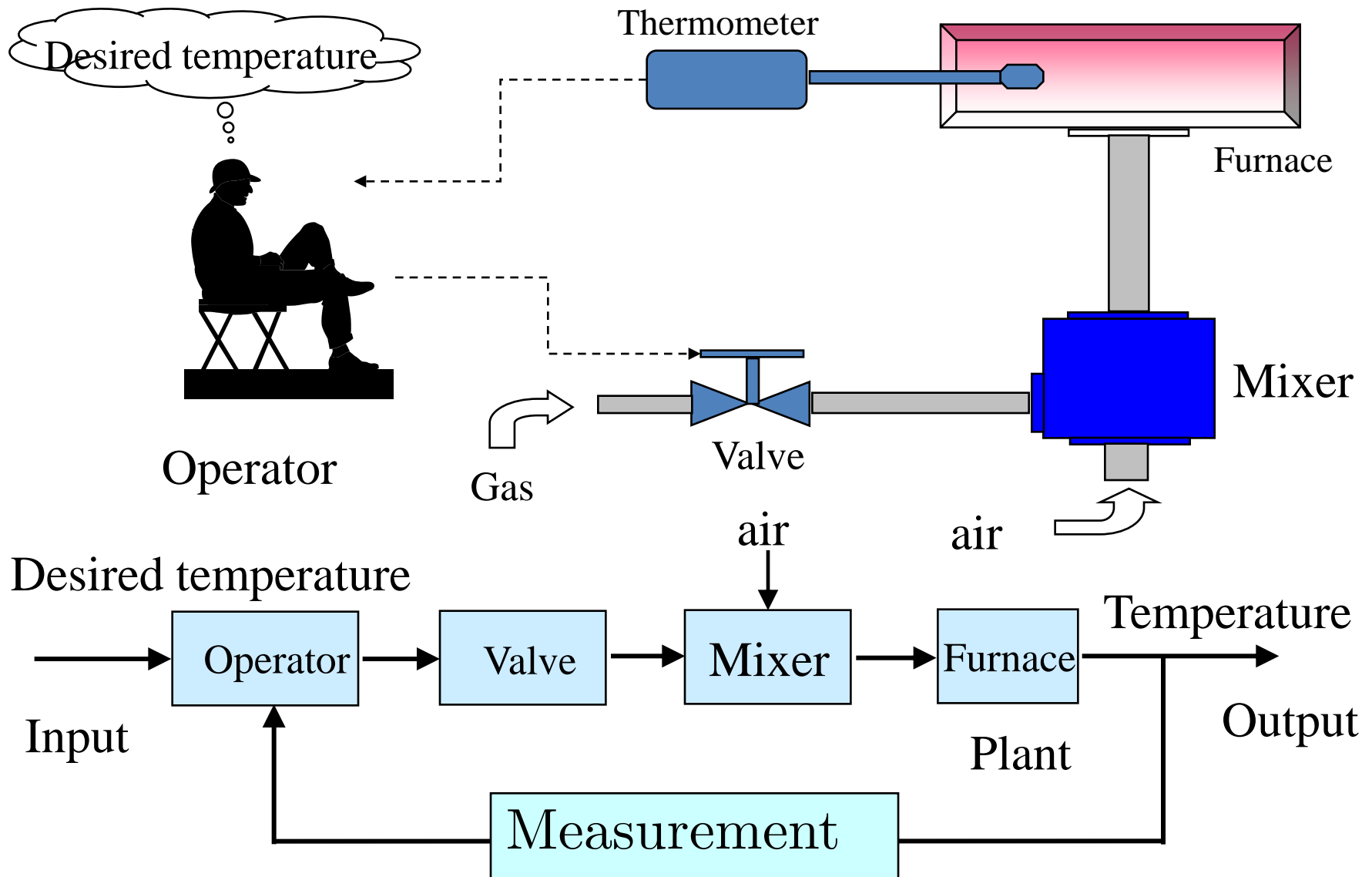




## 一、控制系统的定义

**定义：**系统是一系列元部件按照一定的次序组合在一起的结构，完成特定的任务。

**定义：**一个由被控对象、检测元件、控制器等组成的系统称为控制系统。





## 二、控制系统的一些术语

**被控对象**：受控制的物理对象；

**被控量**：被控制的物理量，一般为系统的输出信号或响应；

**控制信号**：由控制器产生的物理量，用来改变被控量的值；

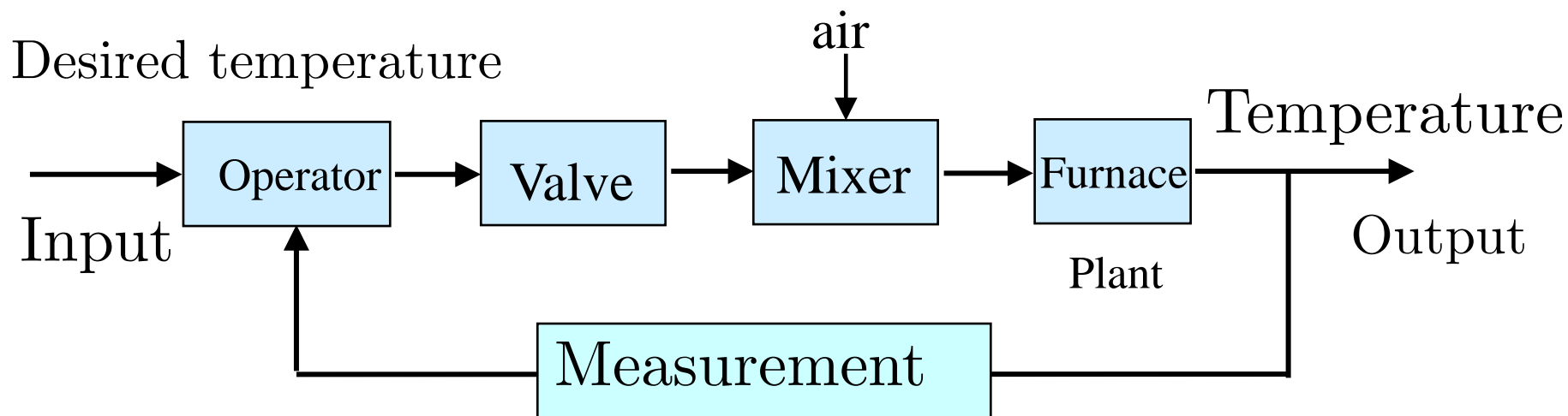
**控制器(控制装置)**：产生控制信号的物理装置；

**理想信号**(给定信号、参考信号、输入信号、指令等)：被控量欲跟踪的期望信号；



**干扰**：指不希望的外部输入信号，可干扰系统的正常输出使之偏离期望值；

**反馈**：将输出量通过检测装置返回到输入端并与输入量进行比较以影响系统行为的过程。







**以炉温控制系统为例：**

**被控对象：**加热炉；

**被控量：**炉温；

**理想信号：**期望的炉温；

**干扰信号：**冷空气等；

**控制任务：**使被控量等于期望值；

**控制信号：**由操作者根据误差发出的指令；

**控制器(控制装置)：**操作者；



北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

**执行机构**：阀门、混合器等；

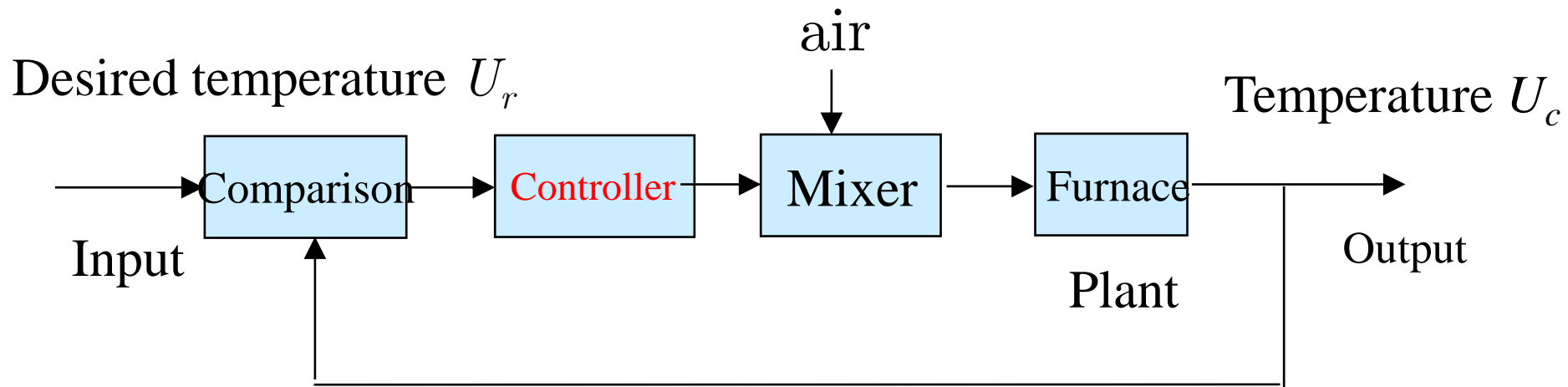
**测量元件**：温度计。



### 三、自动控制系统

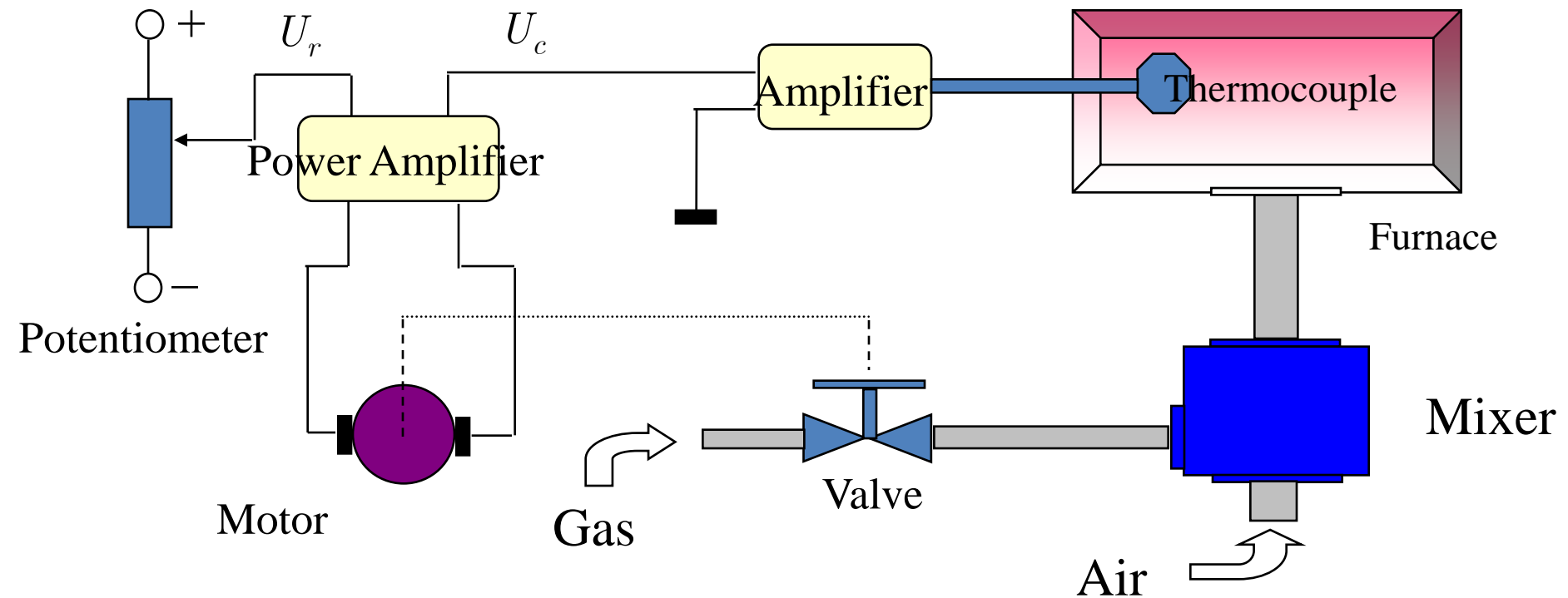
**定义：**若一个控制系统没有人的直接参与，则称为自动控制系统。

**例：**自动炉温控制系统。分析：操作人员的工作：对理想值与实际值实时进行比较并操纵阀门。





比较:  $U_r - U_c \Rightarrow$  调节阀门, 改变炉温  $U_c$ 。这样的控制过程可用一个自动控制器来代替:





**被控对象**：加热炉；

**被控量**：炉温；

**理想信号**：期望的炉温，通过调节电位器给定；

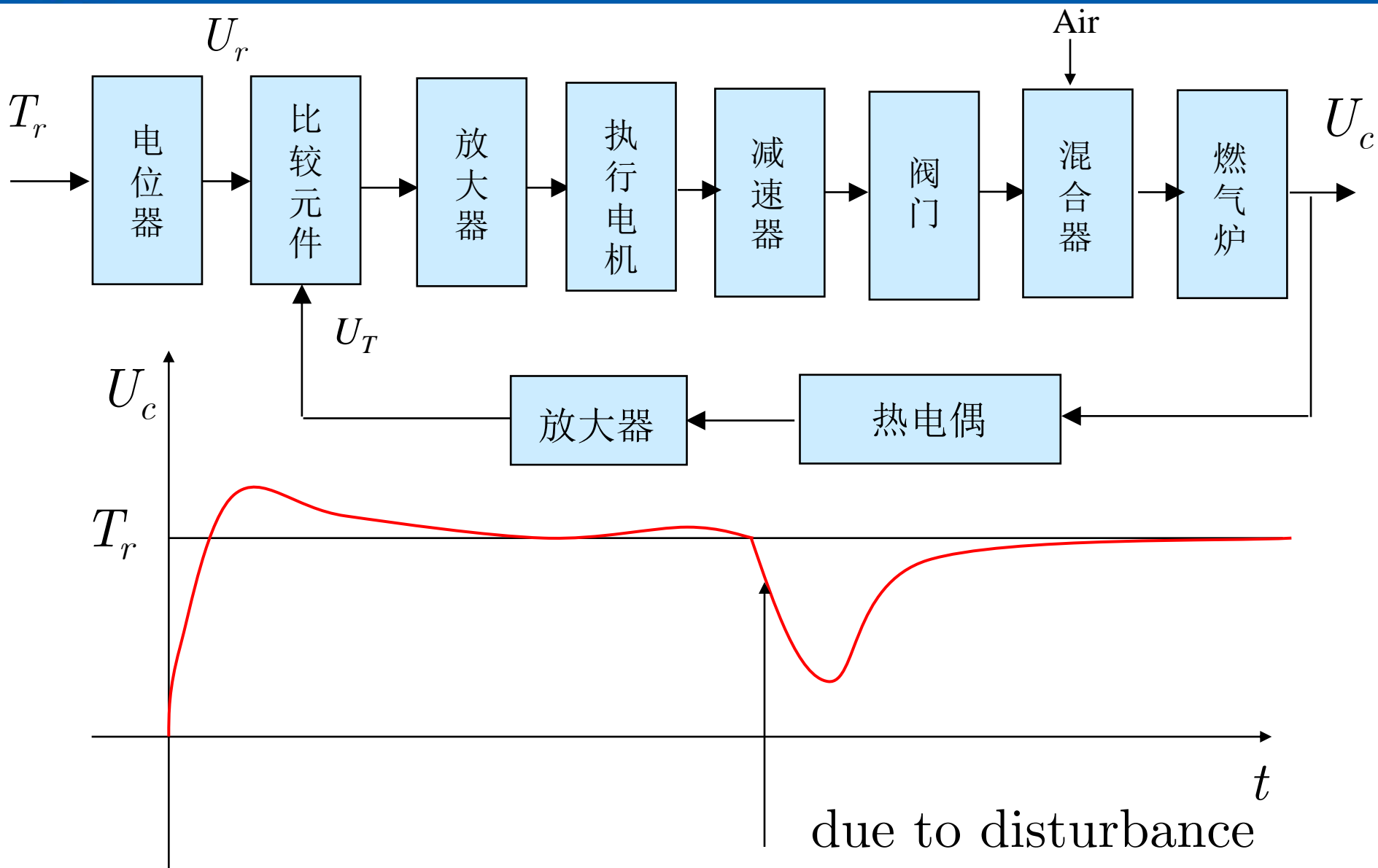
**干扰信号**：冷空气等；

**控制任务**：使被控量等于期望值；

**控制信号**：由控制器根据误差发出的指令；

**控制器(控制装置)**：比较电路、放大器等；

**执行机构**：电机、减速器、阀门等。







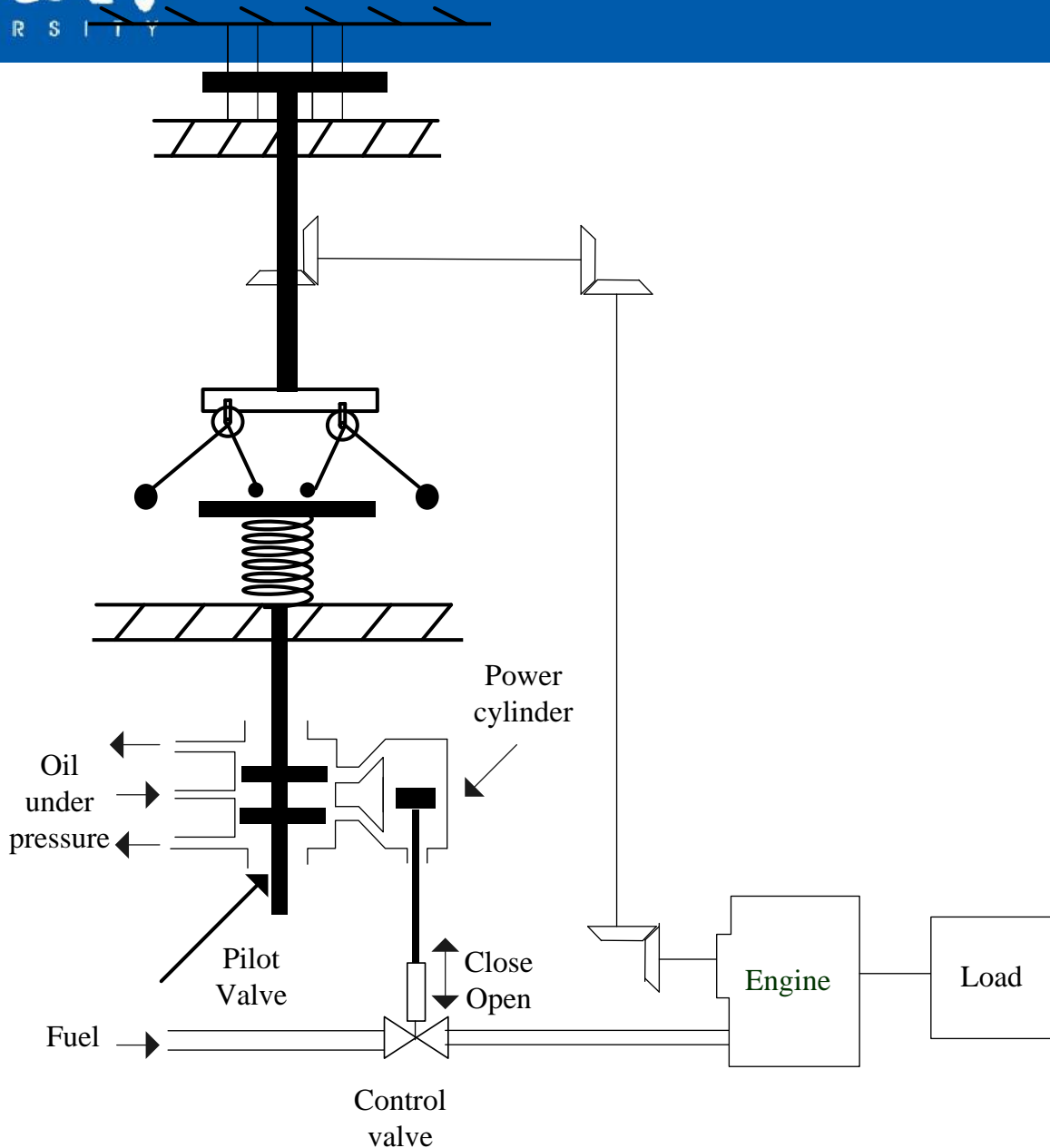
**例：**自动调速系统

**被控对象：**引擎

**被控量：**引擎的实际  
转速  $U_c$

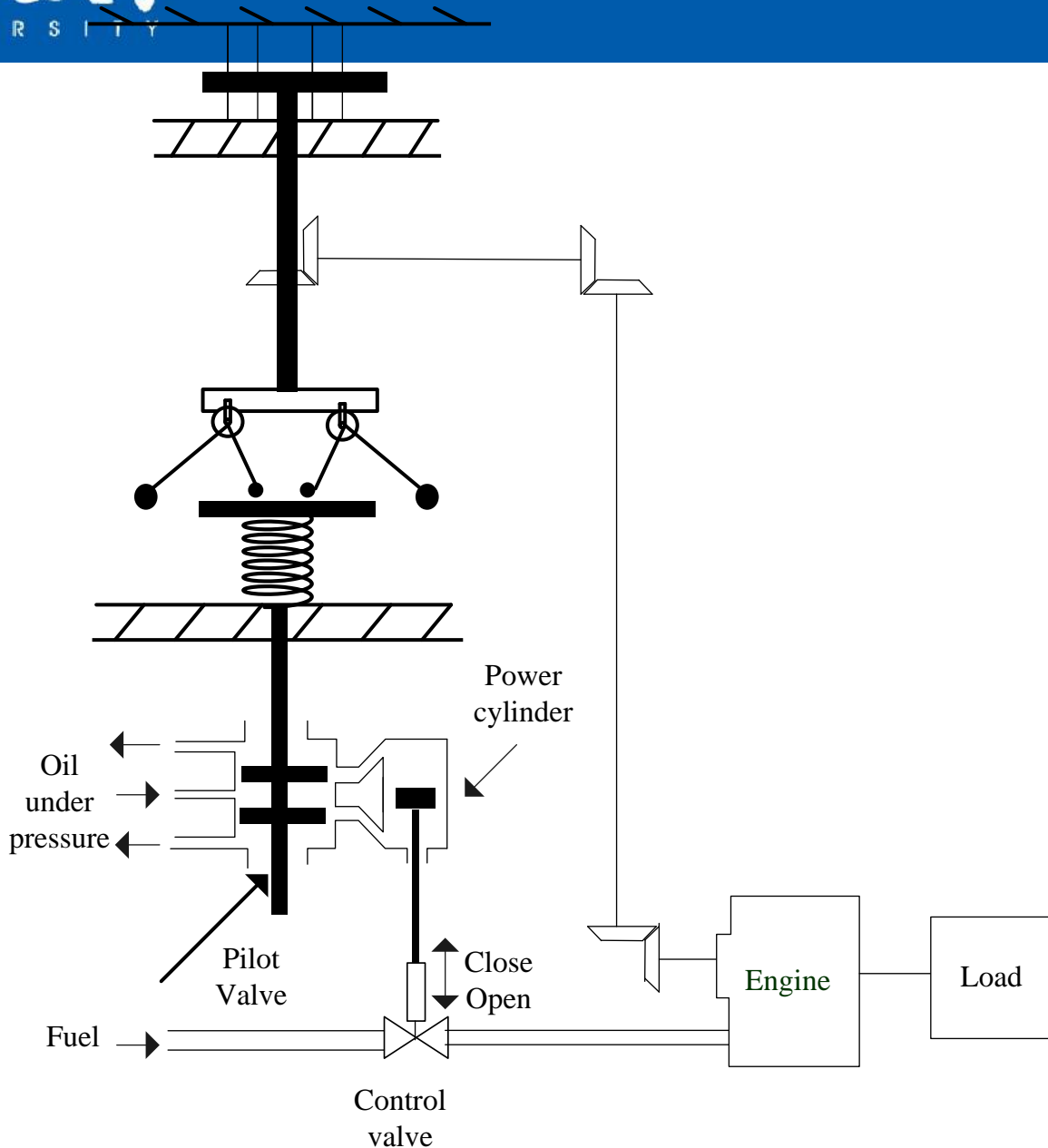
**给定信号：**引擎的理  
想速度  $U_r$

**控制目的：**通过自动  
控制器，在有外界干  
扰的情况下，使  $U_c$   
尽可能快速和准确地  
跟踪  $U_r$ 。





**控制装置：**节速器、  
齿轮系、导引阀、控  
制阀等。





## 控制过程分析：

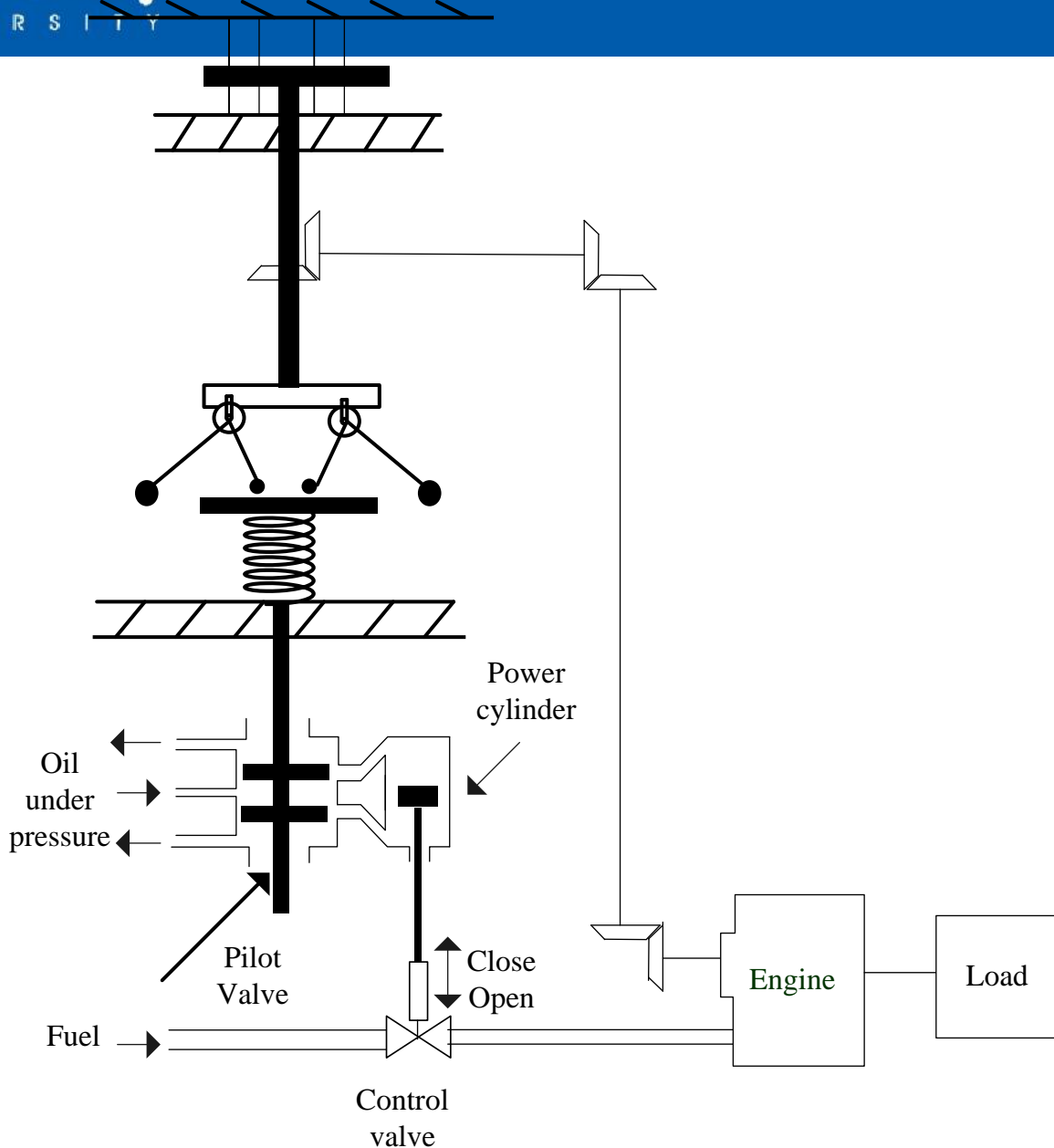
1. If  $U_c = U_r$ , no pressured oil will flow into either side of the power cylinder;

2. If  $U_c < U_r$

$\rightarrow F_c \downarrow \rightarrow \text{valve} \downarrow$

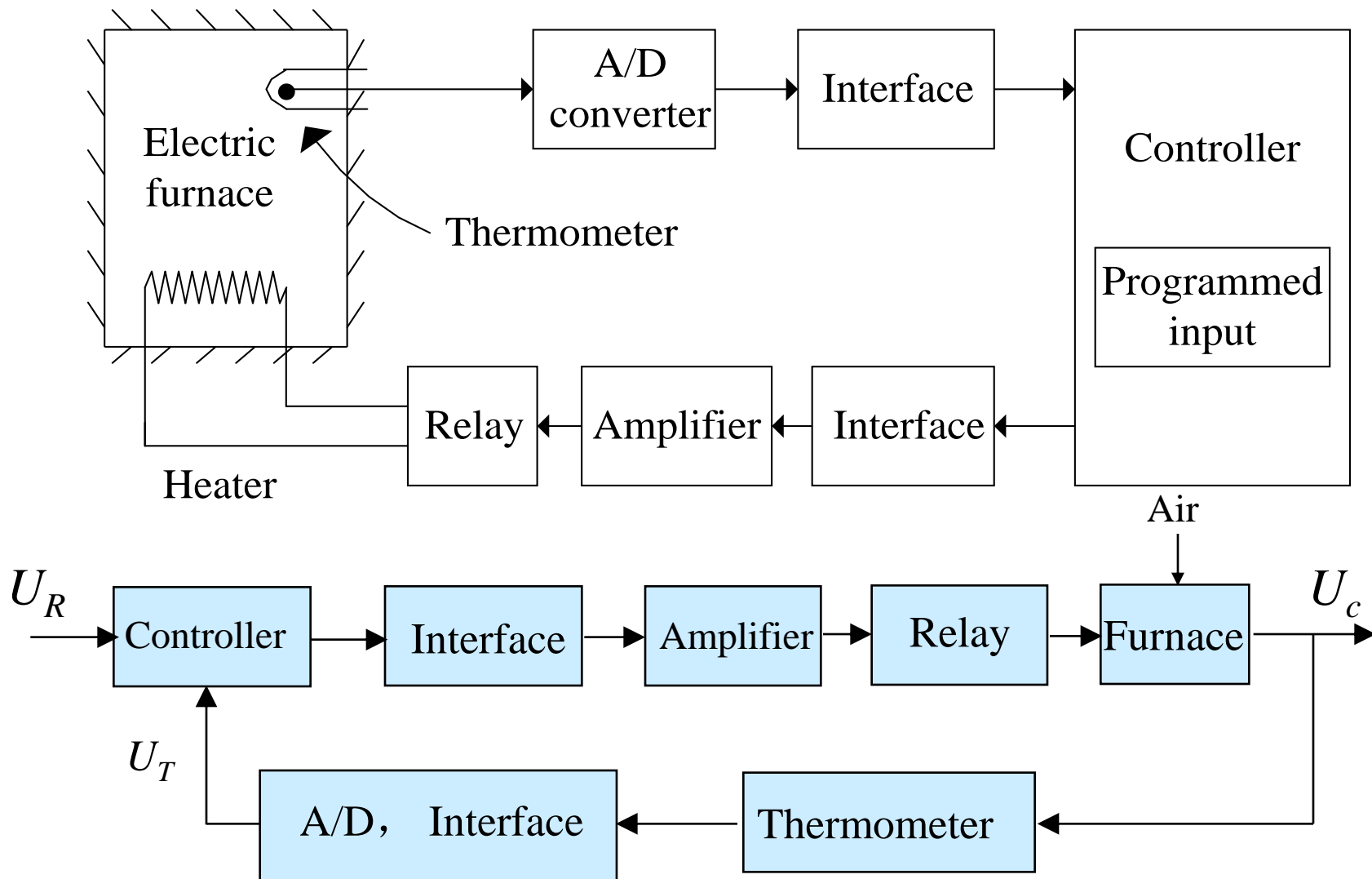
Fuel  $\uparrow \rightarrow U_c \uparrow \rightarrow$

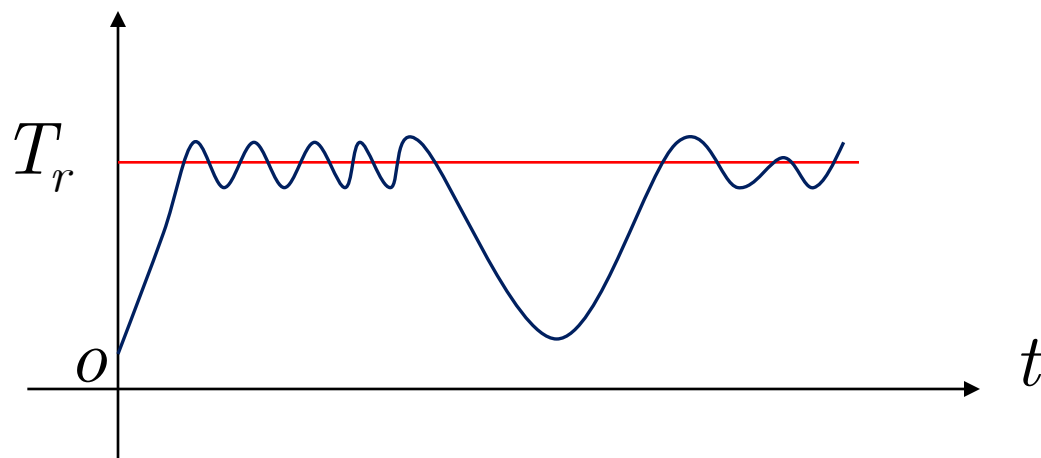
$U_c = U_r$





## 例：计算机控制的炉温系统

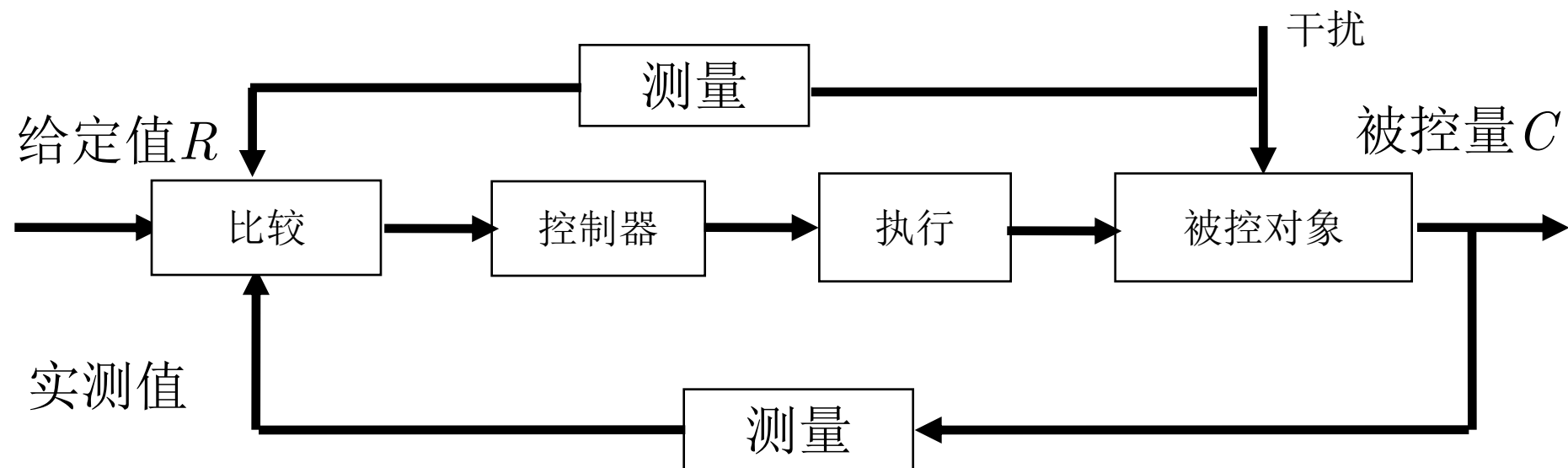






## 1-2 自动控制的基本方式

下图是一个典型的自动控制方框图：







可见，一个控制系统除被控对象外，一般应具有测量元件、控制器、执行机构等。由以上结构图，可得到自动控制系统的几种基本控制方式：

## **1. 开环控制**

- 1) 按指令操纵的开环控制
- 2) 按干扰补偿的开环控制

## **2. 按偏差调节的闭环控制**

## **3. 复合控制**



## 一、按指令操纵的开环控制

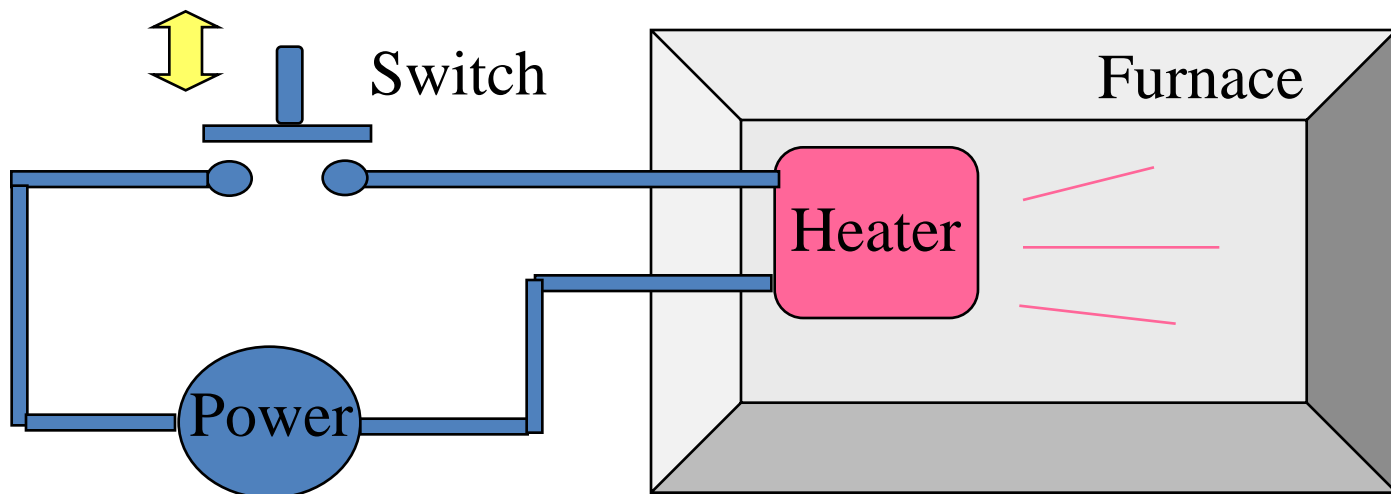
**控制原理：**被控量直接由给定值决定，系统输出端与输入端不存在反馈回路，输出量对系统的控制作用没有影响。



按指令操纵的开环控制系统原理方框图



## 例：炉温控制：一种开环控制方案



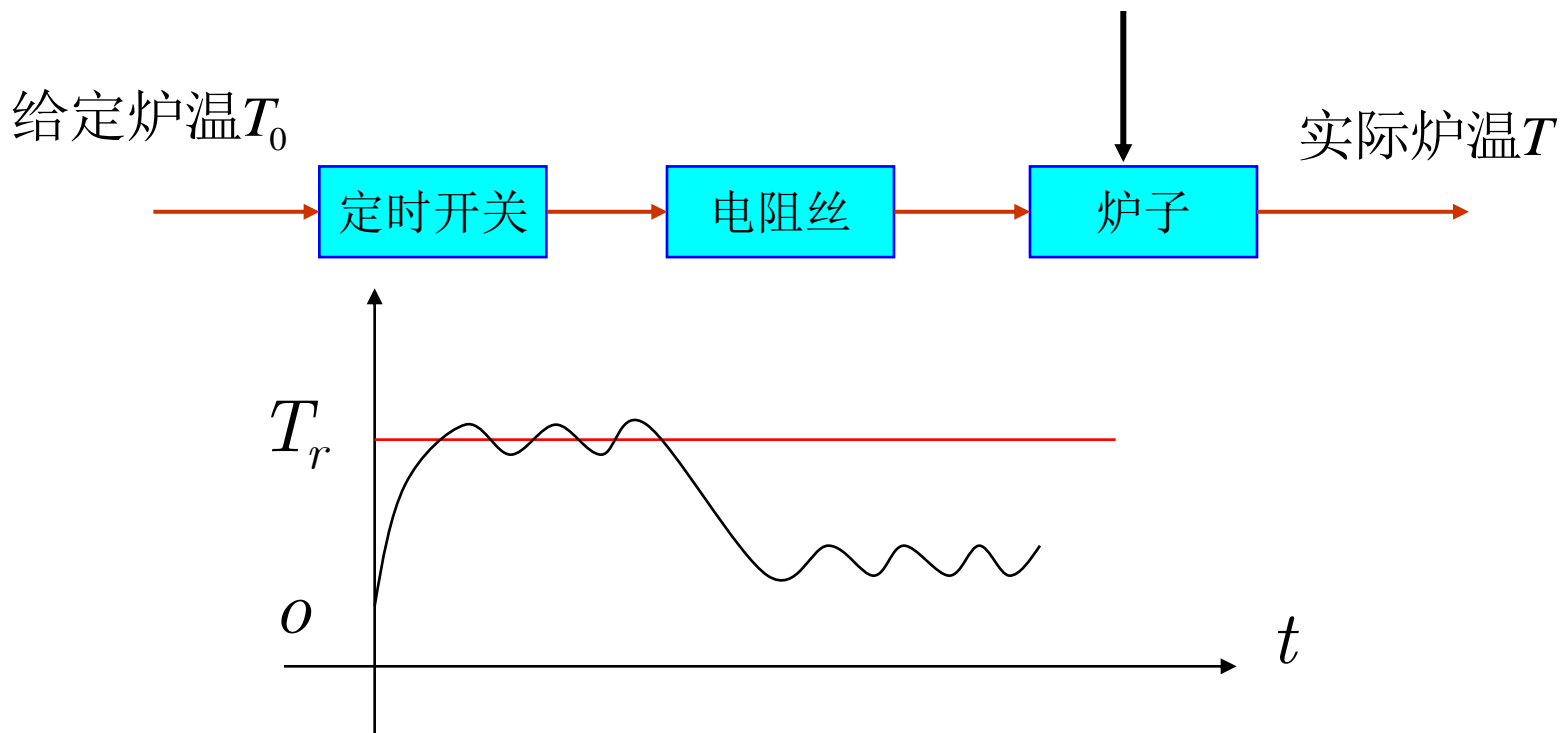
炉温控制系统原理方框图



**被控对象：**炉子

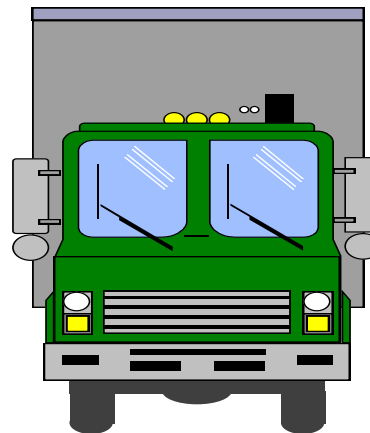
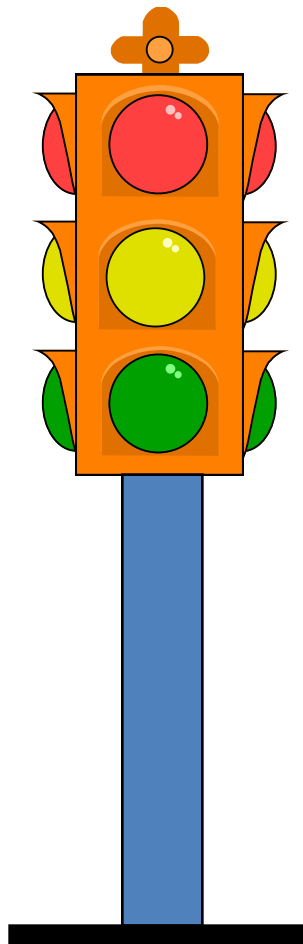
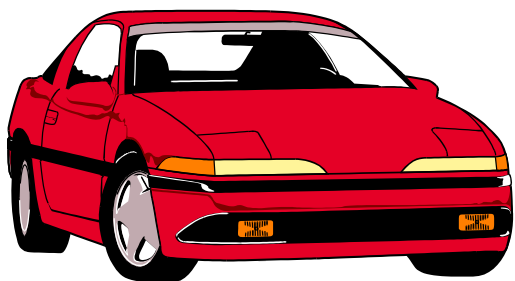
**被控量：**炉子的温度

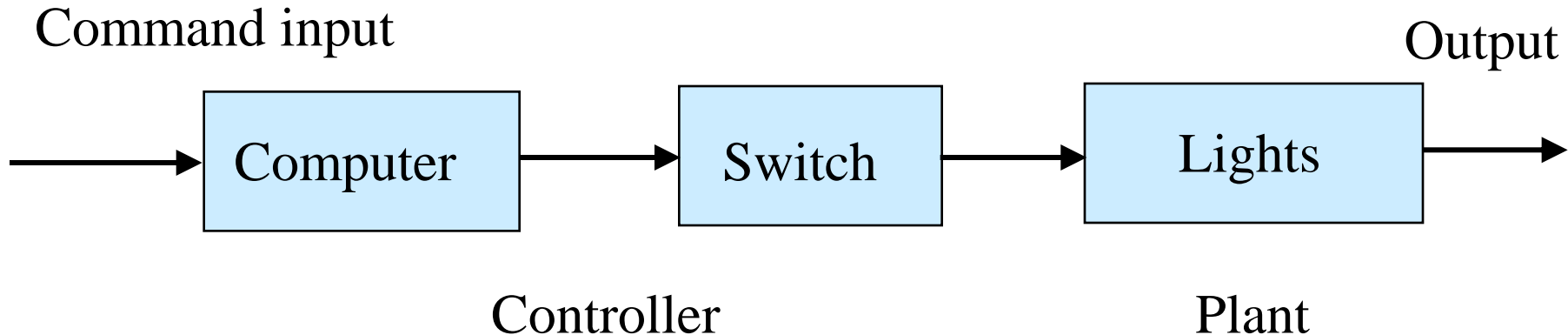
**参考信号：**期望炉温(预先设置的定时开关)





## 例：交通信号灯控制系统



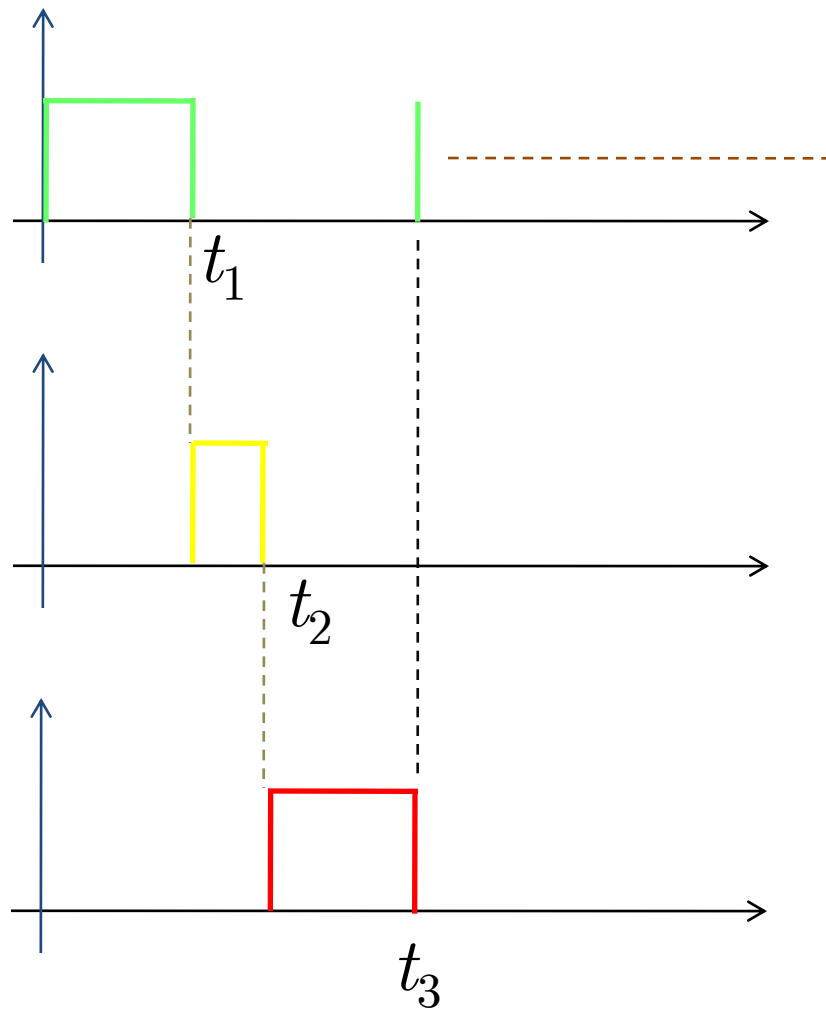


**被控对象：**信号灯

**被控量：**红灯、绿灯和黄灯点亮时的时间间隔

**参考信号：**根据统计数据预先设定的时序

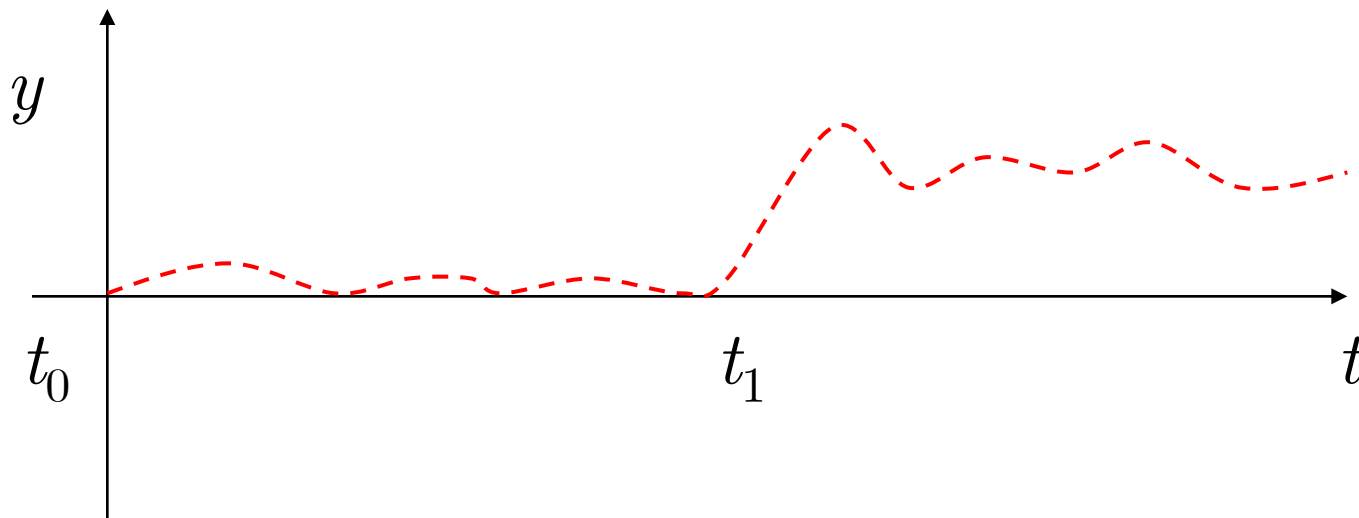




根据统计数据预先设定的时序



## Traffic jam





## 按给定值操纵的开环控制

**特点：**控制装置只按给定值来控制受控对象；

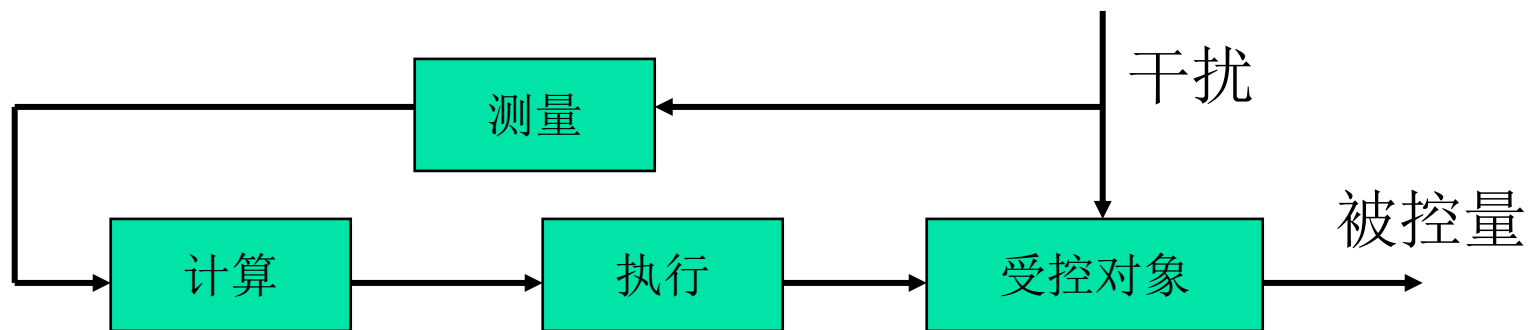
**优点：**控制系统结构简单，成本低；

**缺点：**抗干扰能力差，对被控量偏离给定值的偏差无修正能力，控制精度不高。



## 二、按干扰补偿的开环控制

**控制原理：**通过构造干扰的双通道，利用干扰信号产生控制作用，补偿干扰对被控量的影响。



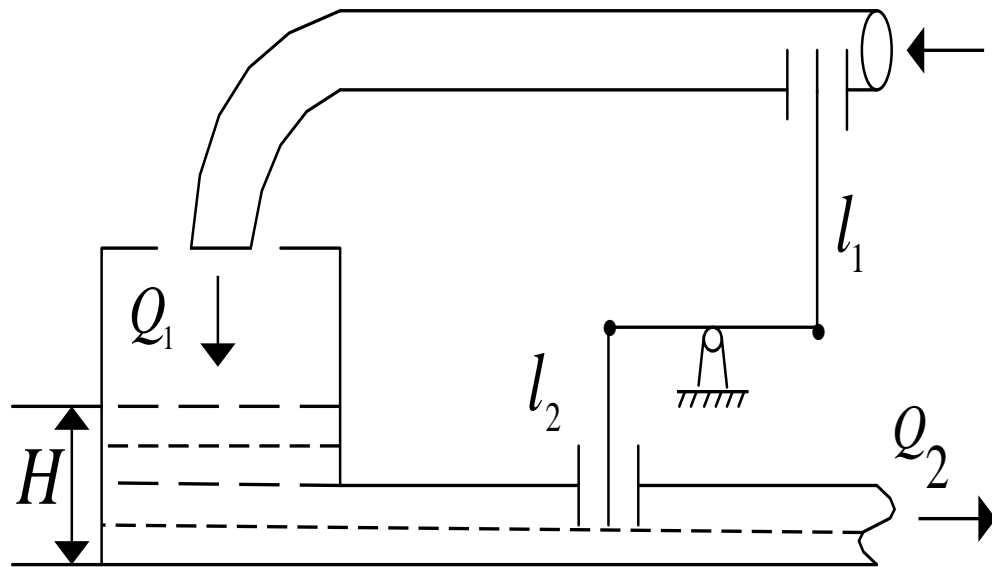


## 例：水位控制系统

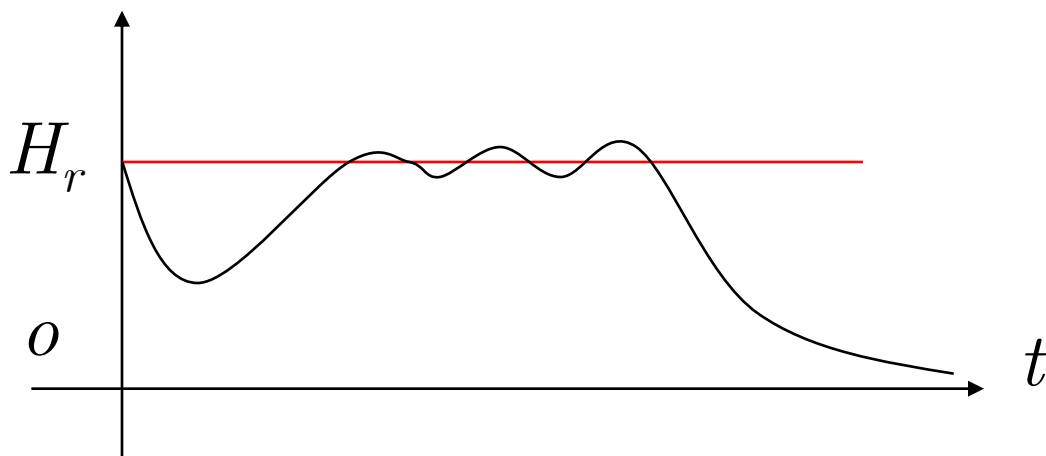
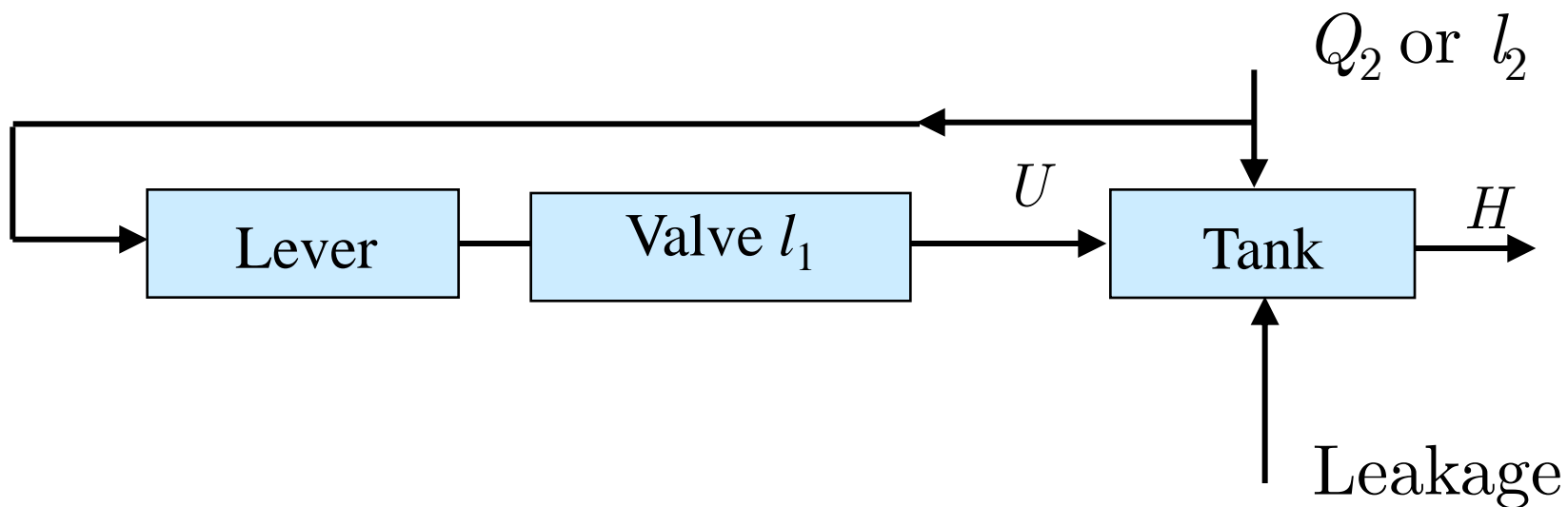
**被控系统：**水箱

**被控量：**水箱液面高度  $H$

**参考信号：**期望的液面高度  $H_r$



**Control actions:** Valve  $l_2 \uparrow = Q_2 \uparrow \Rightarrow$  Lever  $\Rightarrow$  Valve  $l_1 \downarrow$   
 $Q_1 \uparrow \Rightarrow H \rightarrow H_r$ .







## 按干扰补偿的开环控制

**特点：**适用于存在强干扰且变化比较剧烈的场合。

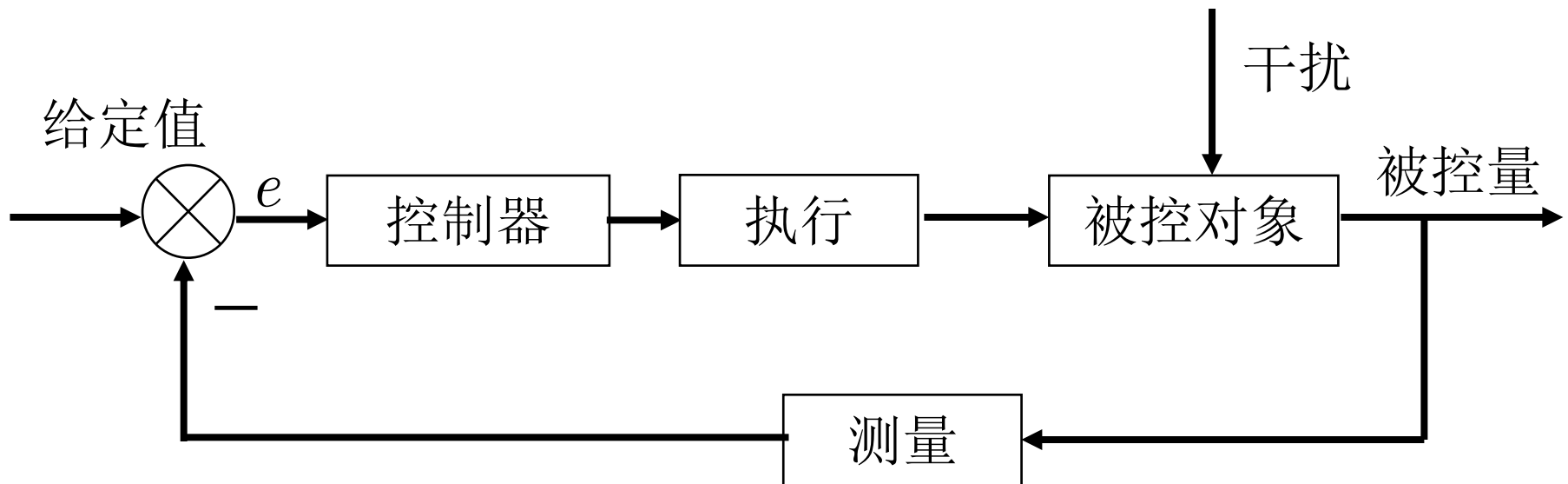
**优点：**当干扰可测时，通过构造干扰的双通道，能对干扰进行全补偿。

**缺点：**只能对可测干扰进行补偿，对不可测干扰以及受控对象、各功能部件内部参数变化对被控量的影响无补偿能力。



### 三、闭环控制

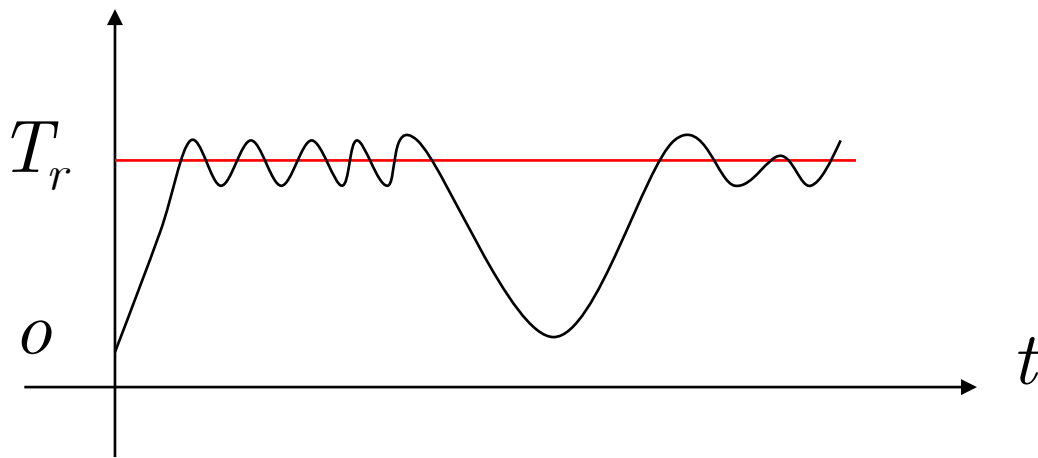
**控制原理：**根据被控量和给定值的偏差来进行调节，称为反馈控制，或闭环控制。



按偏差调节的系统原理方框图

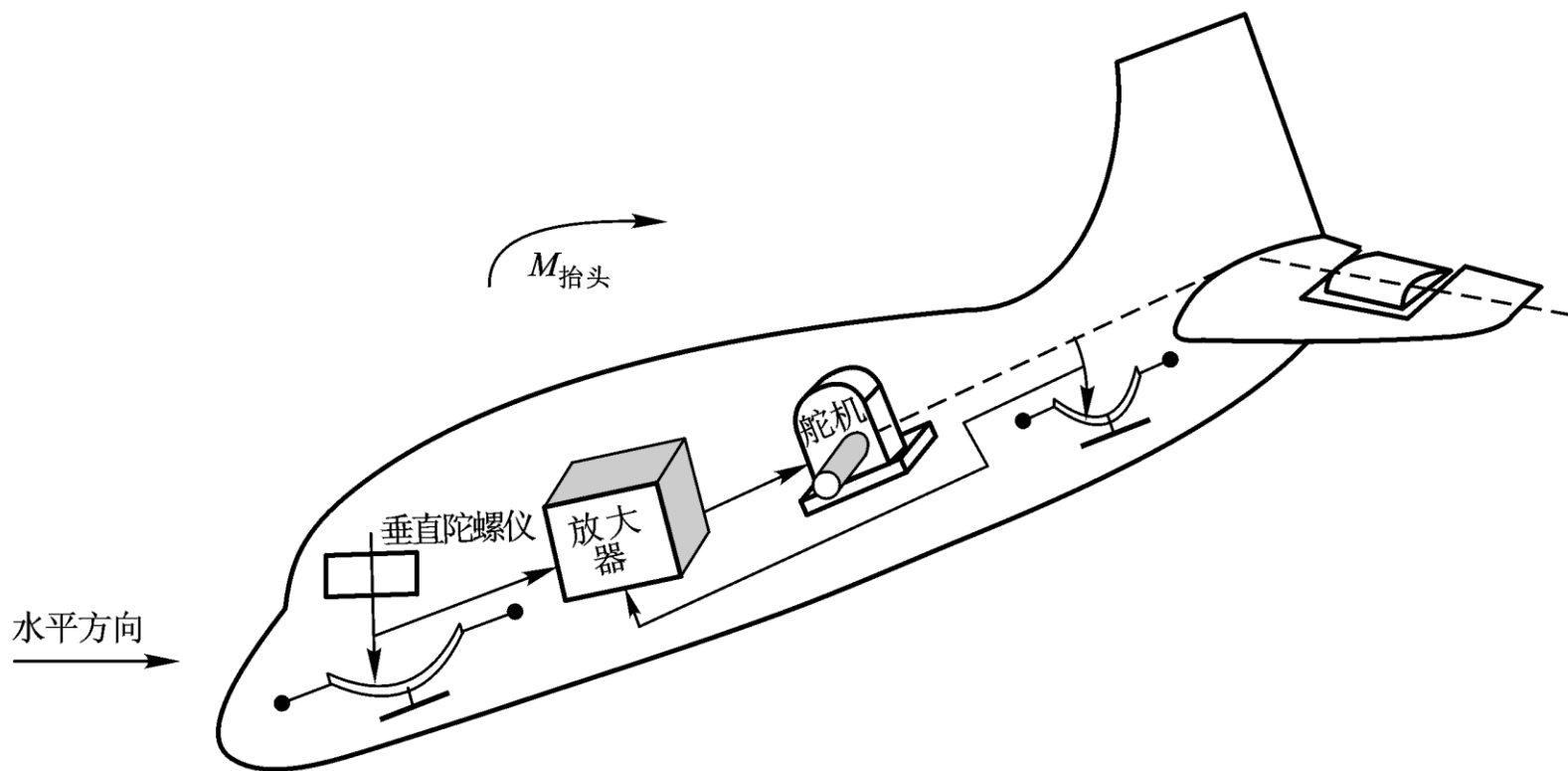


**优点：**可以自动调节由于干扰和内部参数的变化而引起的变动，是自动控制中最常见的控制方式。





## 例：飞机自动驾驶仪



飞机自动驾驶系统原理图

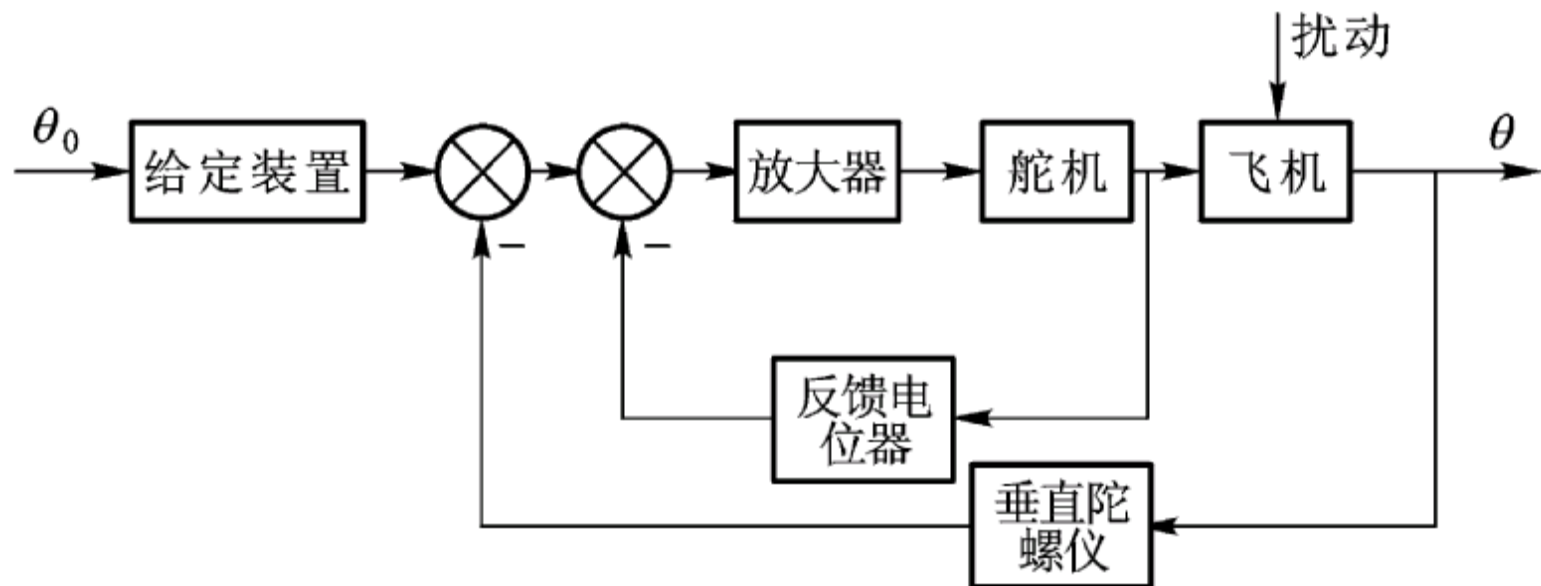


**被控对象：**飞机；

**被控量：**飞机的俯仰角 $\theta$ ；

**期望信号：**恒定俯仰角 $\theta_0$ ；

**控制任务：**任何扰动作用下，保持飞机俯仰角 $\theta$ 不变，即使被控量 $\theta$  等于希望值 $\theta_0$ 。





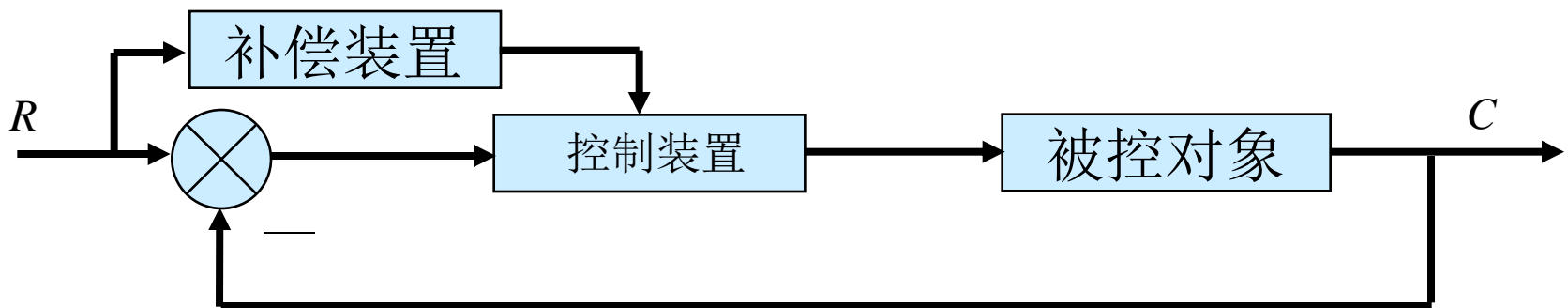
**控制原理：**以平飞为例。 $\theta = \theta_0$ ，陀螺仪电位器无输出；若 $\theta < \theta_0$ ，陀螺仪电位器输出与俯仰角偏差成正比的信号 $\Rightarrow$ 放大器 $\Rightarrow$ 舵机 $\Rightarrow$ 钢索 $\Rightarrow$ 升降舵面 $\uparrow$ ；

另一方面又带着反馈电位计的电刷转动，直至反馈信号完全抵消偏差信号为止。这时舵机停止转动，从而产生一抬头力矩，在该力矩的作用下使得飞机和俯仰电位计逐渐向平飞位置恢复 $\Rightarrow \theta \rightarrow \theta_0$ 。

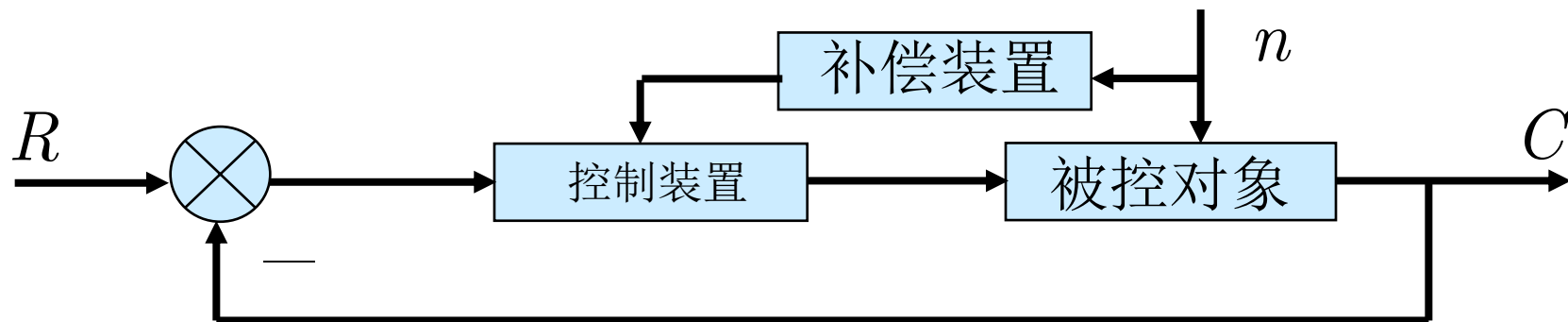


## 四、复合控制

**控制原理：**复合控制就是开环控制和闭环控制相结合的一种控制方式，即在闭环控制回路的基础上，附加了一个输入信号或扰动作用的顺馈通路，来提高系统的控制精度。



*a.*按输入作用补偿



b.按扰动作用补偿

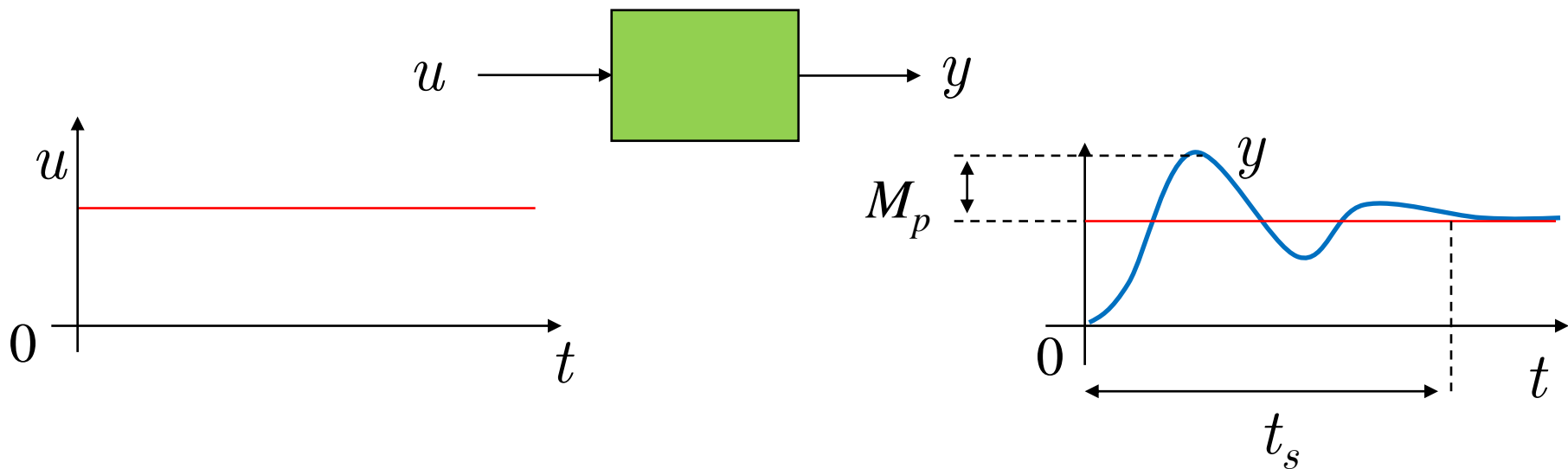


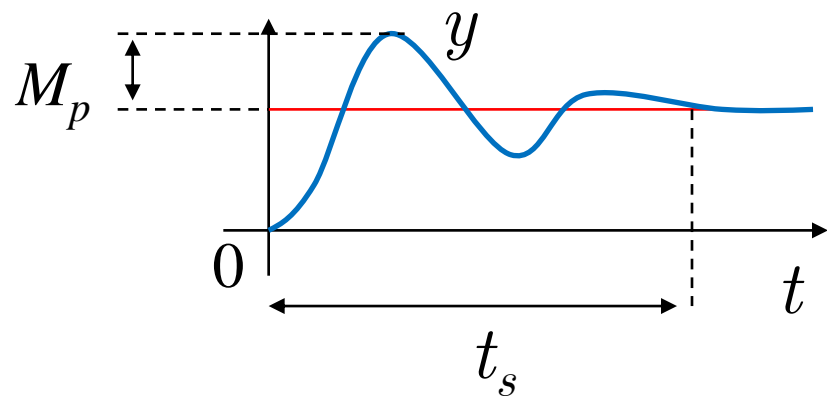
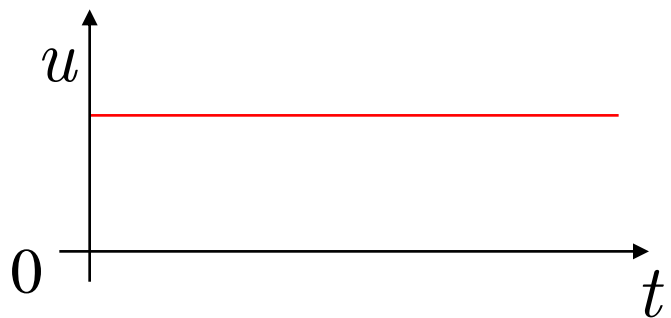


## 1-3 对控制系统的性能要求

### 一、动态过程和稳态过程

通常将系统在输入或干扰激励下，被控量变化的全过程称为系统的动态过程(或瞬态响应)。响应往往具有阻尼衰减的特性。





将在输入或干扰激励下，当  $t \geq t_s$  后的响应称为稳态响应。



## 二、性能指标

### 1. 稳定性

一个控制系统称为是稳定的，当且仅当对任意的有界输入，其输出有界。任何实际的控制系统必须稳定。



不稳定系统



北京航空航天大学  
BEI HANG UNIVERSITY

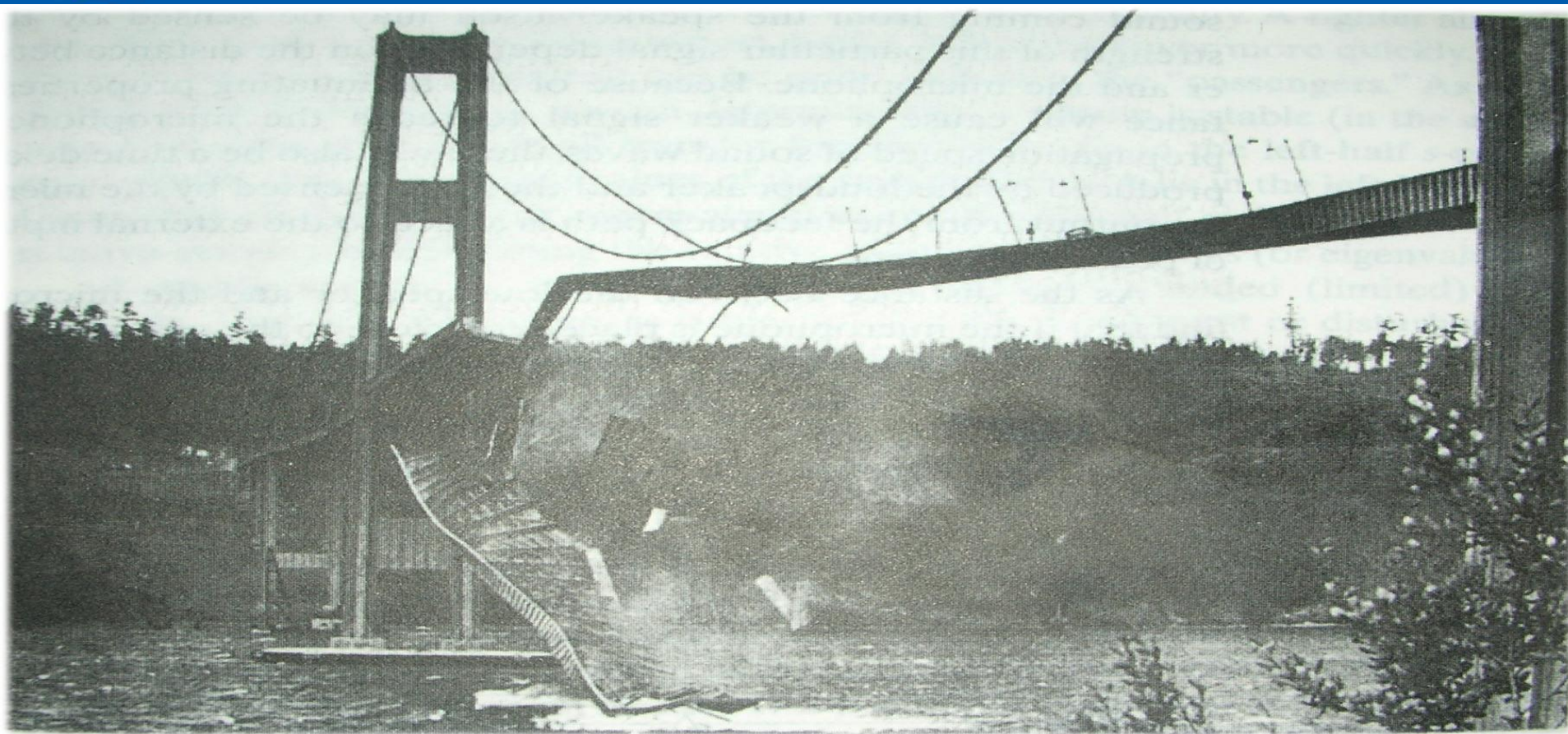


The famous Tacoma Narrows Bridge before it collapsed. The bridge was found to oscillate whenever the wind blew.





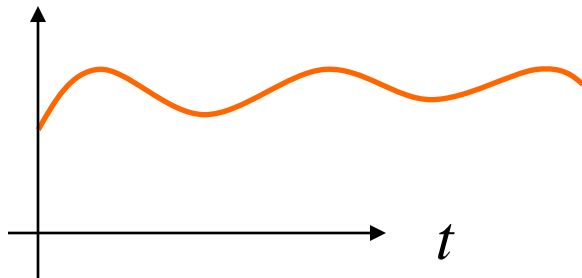
北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY



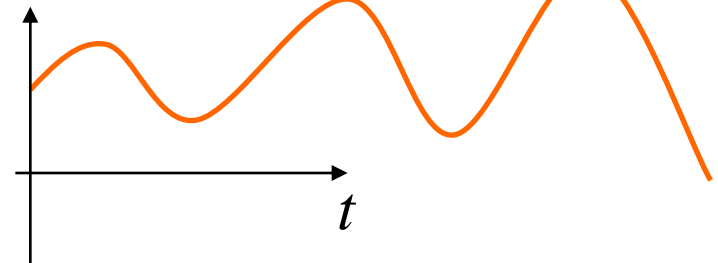
On November 7, 1940, a wind produced an oscillation that grew in amplitude until the bridge broke apart. The above picture shows the catastrophic failure.



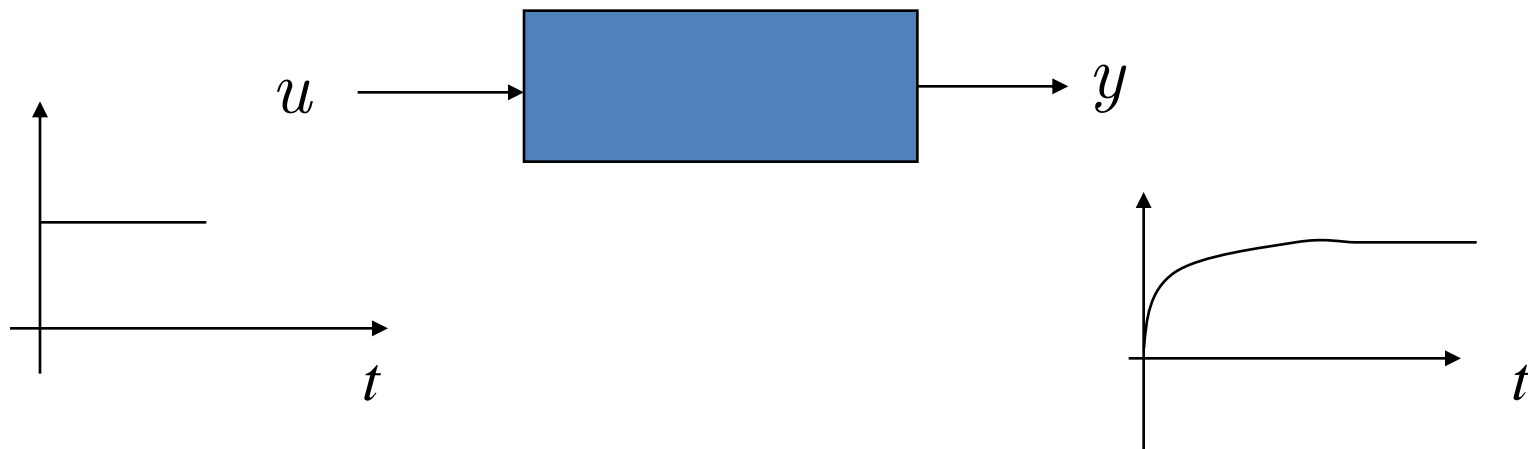
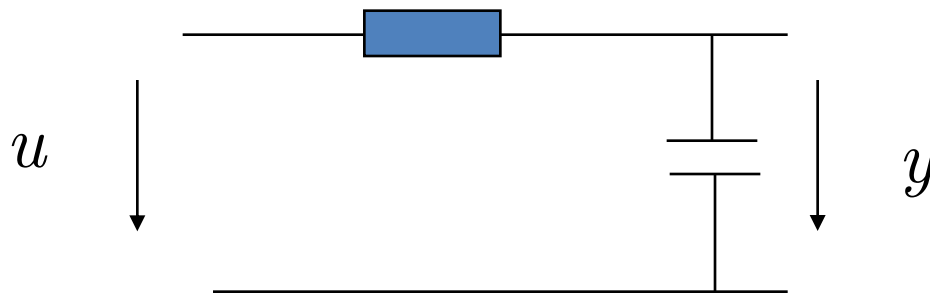
$u$ : Wind energy



$y$ : Amplitude of the bridge

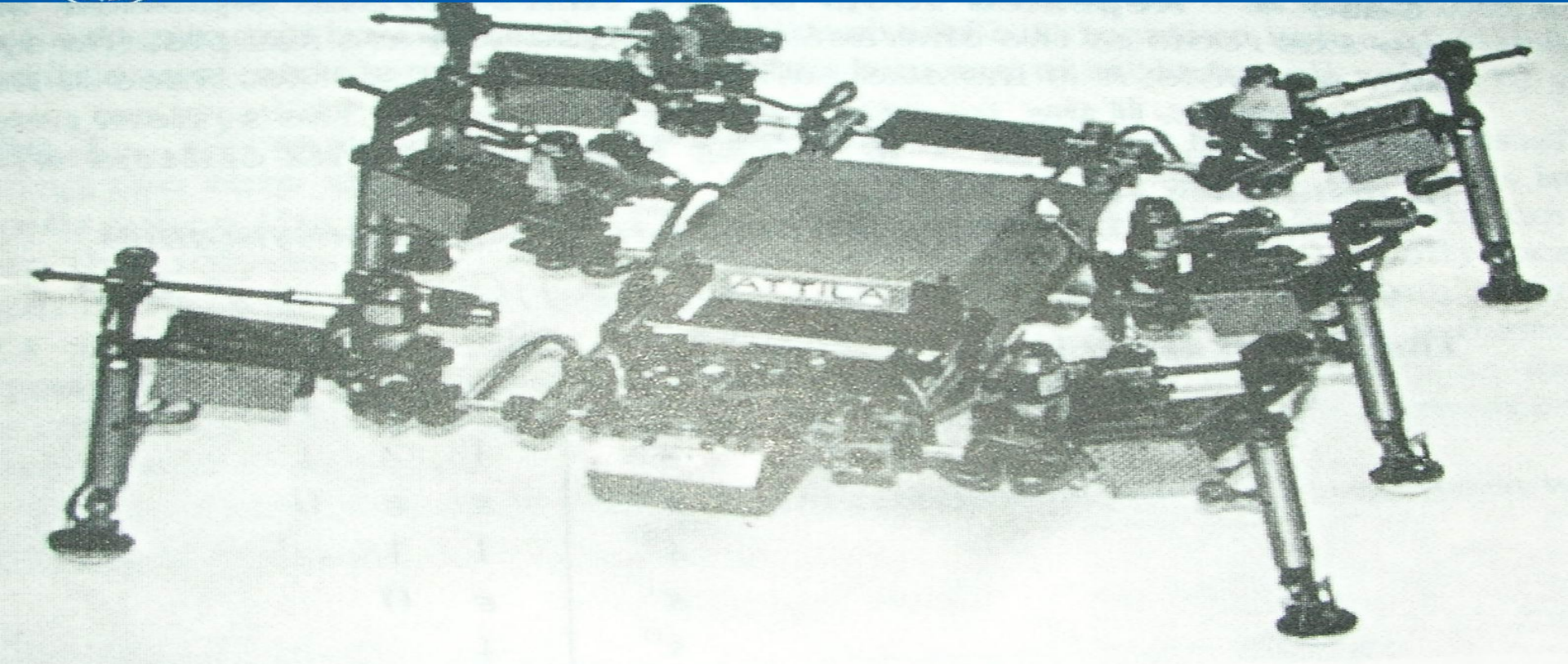


An unstable system



R-C 网络是一个稳定系统





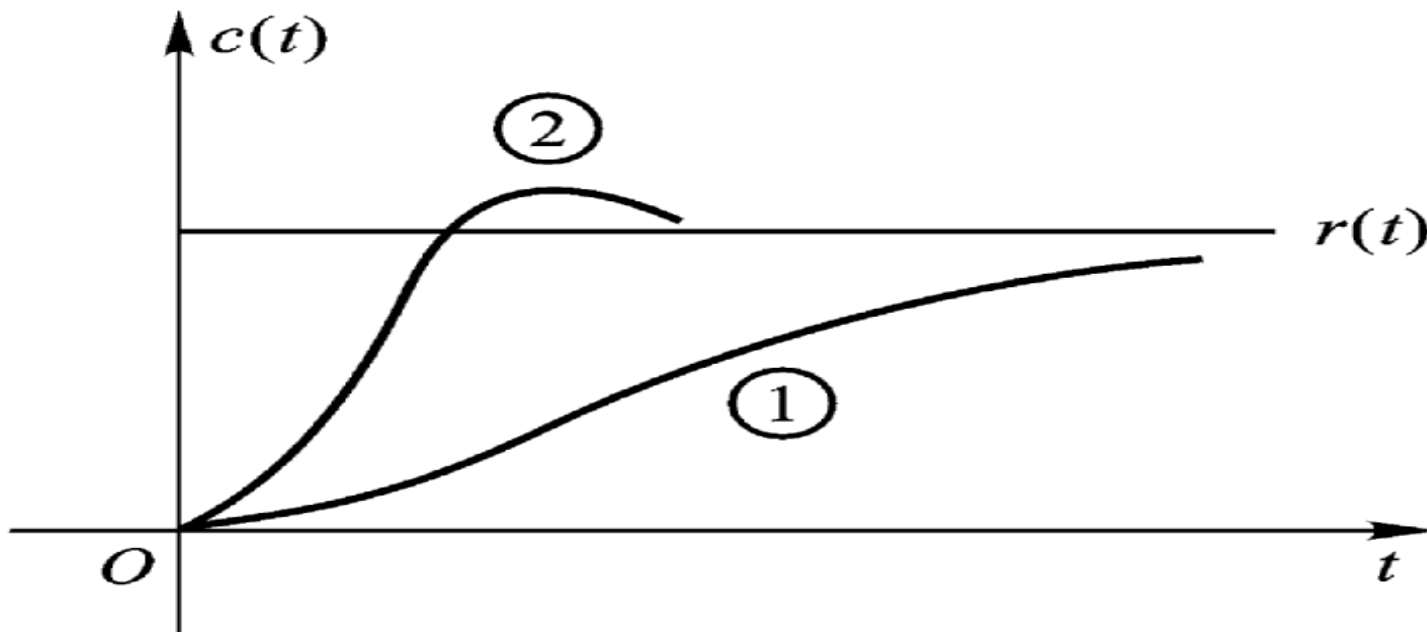
The robot is a six-legged micro robot system using highly flexible legs with high-gain controllers that may become unstable and oscillate. Therefore, more control effort is needed for the robot to work well.

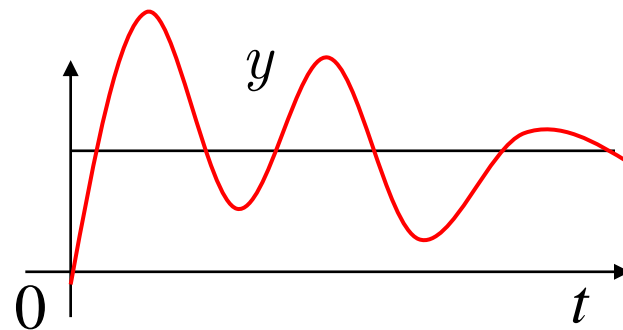
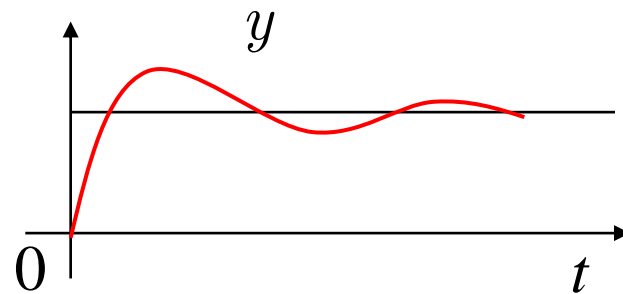
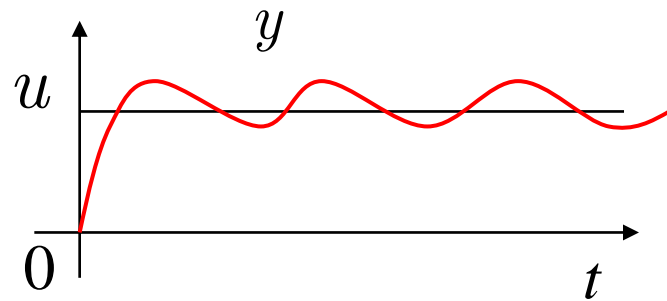
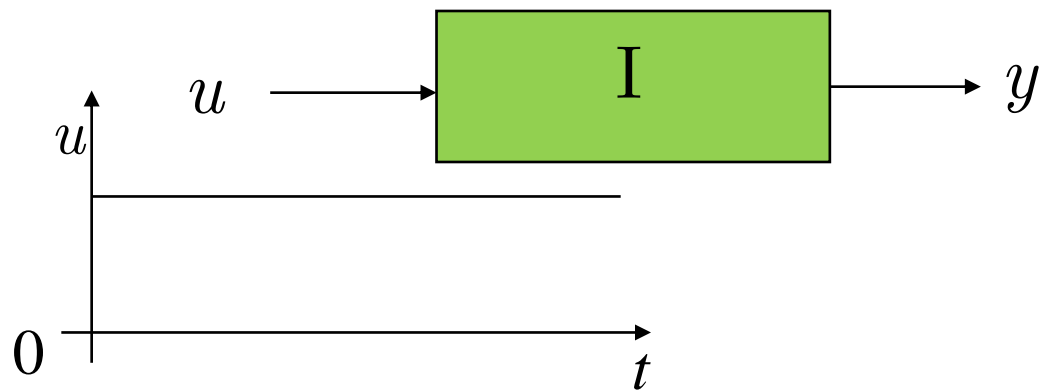




## 2. 瞬态性能要求

**平稳、快速**：在系统稳定的前提下，希望过渡过程平稳且快速。快速性反映动态过程的长短。过程越短，系统快速性越好，反之系统响应迟钝，如曲线①所示。



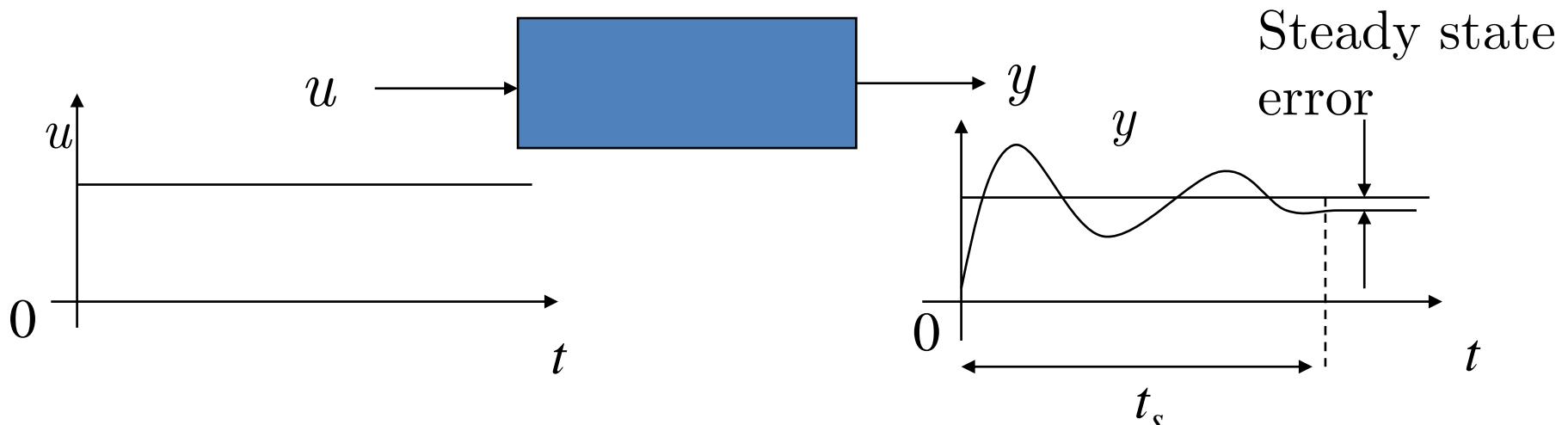




平稳和快速反映了系统动态过程性能的好坏。既平稳又快速，表明系统的动态精度高。

### 3. 稳态性能的要求

**准确性：**指系统在动态过程结束后，其被控量（或反馈量）与给定值的偏差，这一偏差称为稳态误差，是衡量稳态精度的指标。





## 章小结

本章主要回答了以下问题：

1. 什么是自动控制系统？
2. 自动控制的任务是什么？
3. 自动控制有哪些基本方式？
4. 对控制系统的性能有哪些要求？