



第1章 控制系统的输入条件分析

——2023年春季学期

授课教师：马 杰（控制与仿真中心）

霍 鑫（控制与仿真中心）

马克茂（控制与仿真中心）

陈松林（控制与仿真中心）



哈尔滨工业大学控制与仿真中心



回顾篇

需求分析

从控制角度分析，确定**控制目标**，**被控量**，**控制方式**，**测量方式**，**干扰**，**约束和限制**，分析理解具体的**功能和性能指标**要求，或者能够提出合理的性能指标（定量）。

方案设计

结构方案：清楚不同方案带来的特殊控制问题；

驱动和传动方案：了解不同方案给控制引入的非线性因素（摩擦、间隙、死区、饱和、滞后等）；

测量方案：要考虑测量方式，量程、精度、分辨率、接口等参数，以及引入的噪声、非线性、滞后等；

控制方案：考虑速度、字长、接口、周期、实时性等；

系统实现

单个部件**测试**，硬件设计避免干扰，软件算法实时性要保证



回顾篇

数学建模

科学和实验建模，科学建模需要进行**降阶、简化、非线性处理、不确定性描述**等，通过实验或计算获取模型参数；

控制设计

根据建立**模型的特点**，**可用信息**，选取合适的控制理论或方法来进行控制器设计（考虑方法的适用范围，复杂性等）；

仿真验证

搭建仿真框图，用最**原始**的模型对控制算法进行验证（可以用频域和时域的方法）；

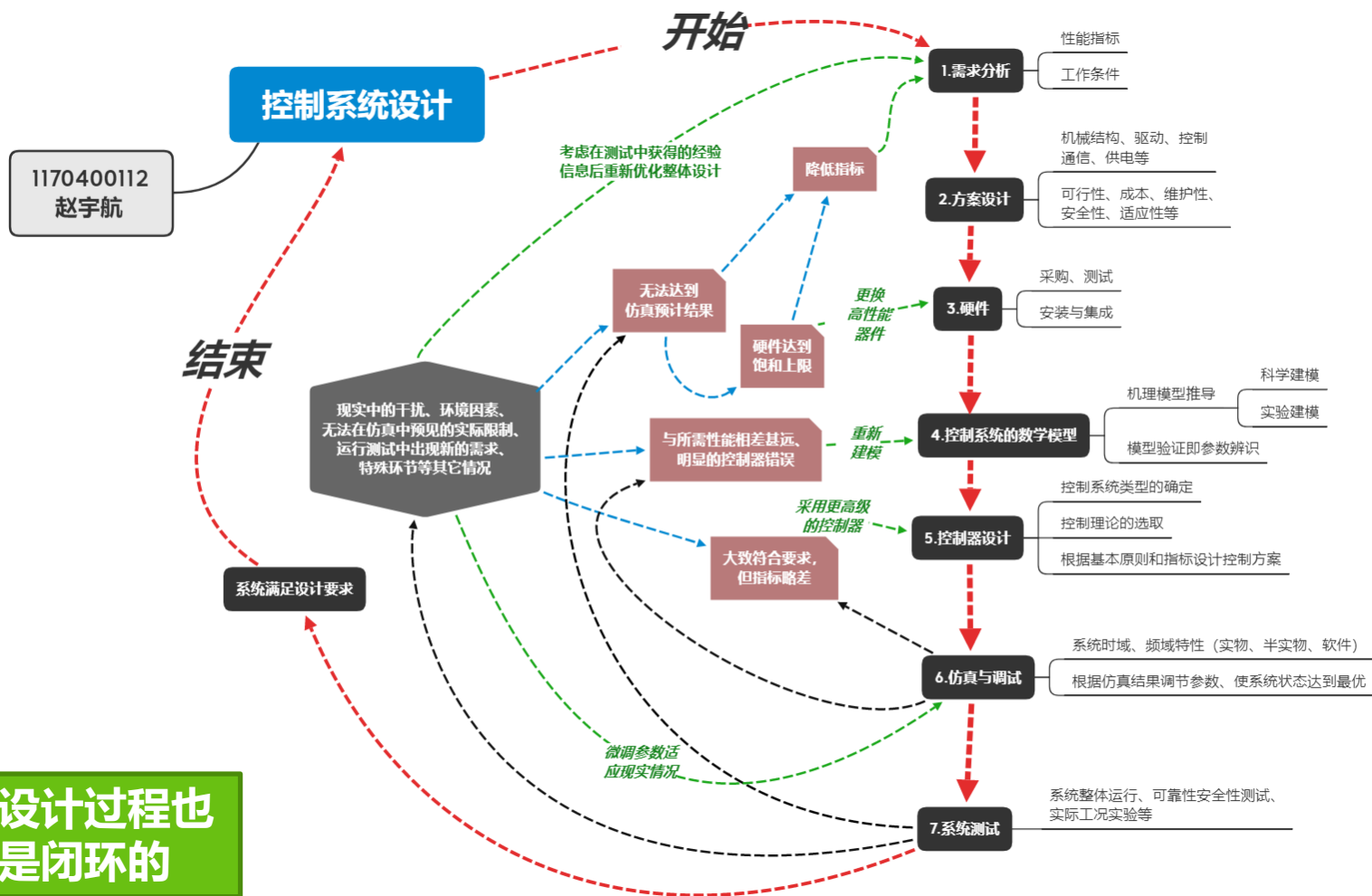
系统调试

指标测试

将算法编程实现，根据测试结果对控制器**结构和参数**进行修改和调整，直至满足指标要求。正式的指标测试一般采用**外部的仪器设备**进行。



作业篇





作业篇

作业





录屏王 - 这是试用版本

100% 视频

Quadrocopter Pole Acrobatics



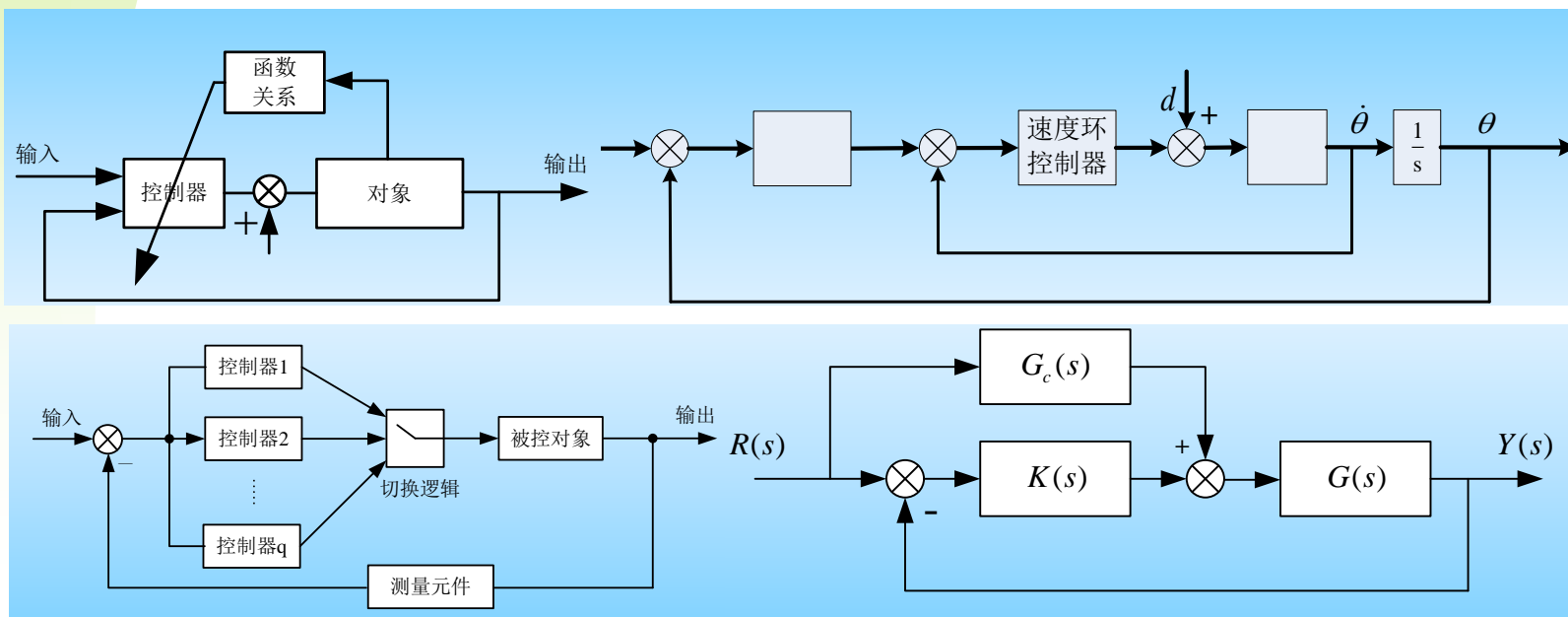
ETH Zürich



提升篇

信息的视角

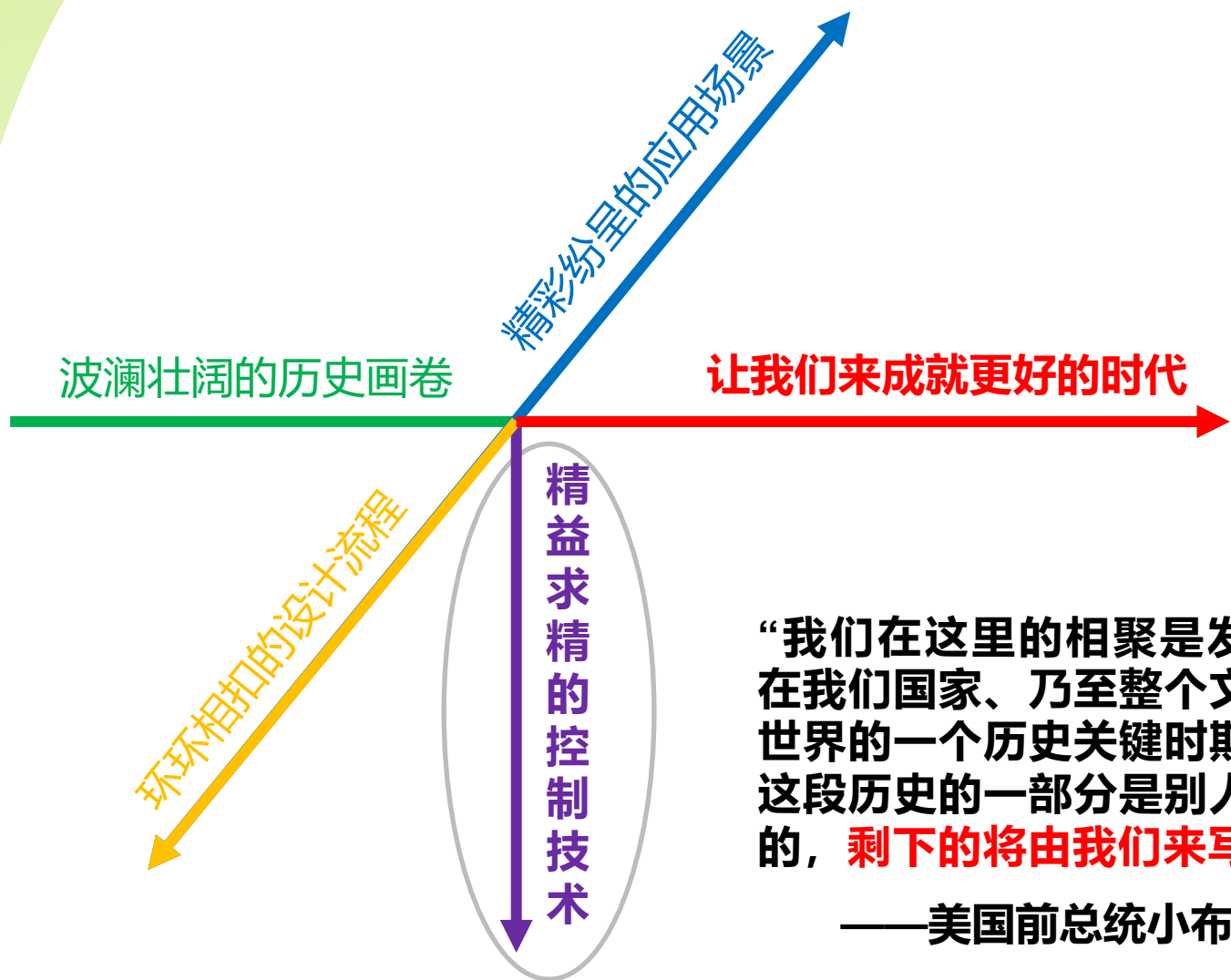
控制系统设计好不好取决于信息的利用的好坏



取决于能获取多少有用的信息，能不能充分利用已获得的信息



展望篇



“我们在这里的相聚是发生在我们国家、乃至整个文明世界的一个历史关键时期。这段历史的一部分是别人写的，**剩下的将由我们来写。**”

——美国前总统小布什



开新篇

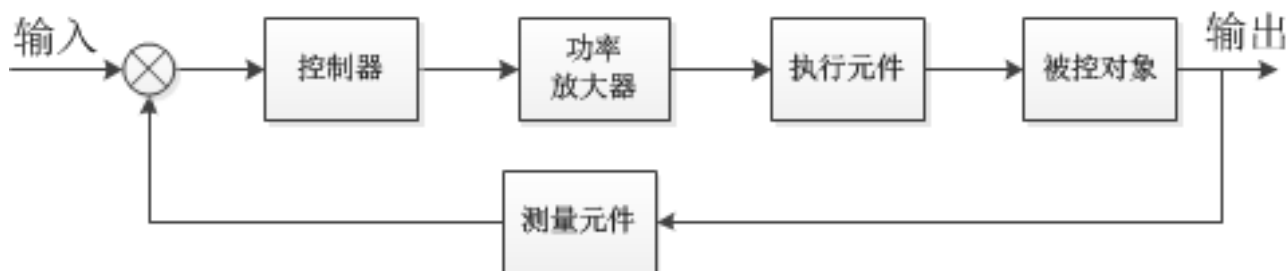
本节课需要掌握的内容

- 了解什么是系统的输入条件分析;
- 掌握指令分析目的, 分析什么, 何时分析, 怎么分析;
- 通过实例, 学会指令分析的基本方法;

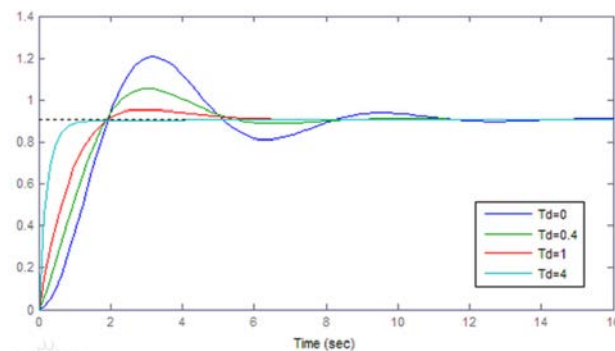


前言

控制系统的性能 (performance) 一般用系统在实际工作时的误差大小来衡量，具体设计时可以用不同的评价指标。



指标是被分解和量化了的控制目标



控制设计依据指标，人生规划需要目标



前言

控制系统的性能指标和技术要求

- ◆ 静态误差 e_s (重复误差)
- ◆ 重复误差 ($1\sigma, 3\sigma$)
- ◆ 速度误差 e_v
- ◆ 均方误差 ε^2

- ◆ 最大行程 (工作空间)
- ◆ 最低平稳跟踪速度 Ω_{min}
- ◆ 最大速度 Ω_{max}
- ◆ 最大加速度 a_{max}

- ◆ 时域指标(最大超调量 $\sigma\%$, 过渡过程时间 t_s , 振荡次数 n , 衰减比);

- ◆ **最大跟踪误差;**

- ◆ 频域指标 (谐振峰 M_r , 系统频宽 ω_b)

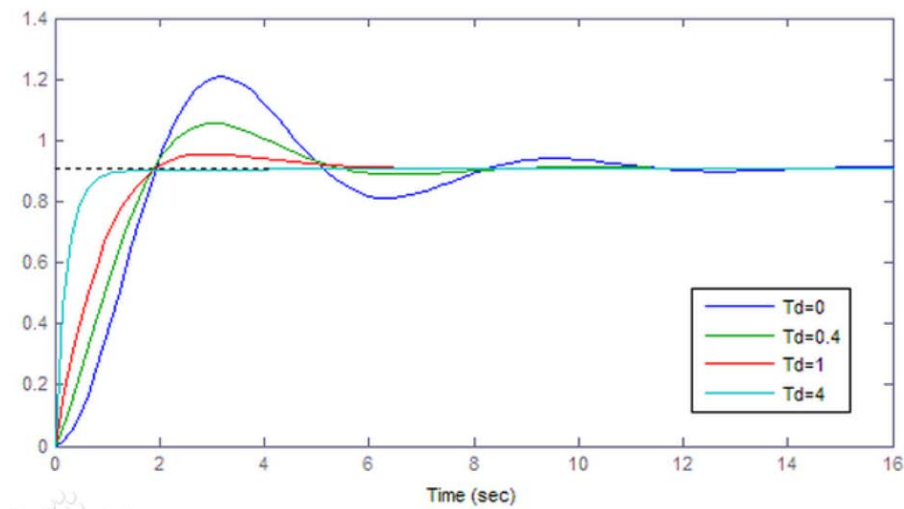
- ◆ 抗扰性能 (扰动响应过程中的最大误差 e_t , 过渡过程时间 t_{fs})

- ◆ 鲁棒性robustness (对模型摄动不敏感)

- ◆ 失真度 (闭环系统的非线性)

Logo

只要知道了性能指标要求就可以开展控制设计了，这句话对不对，为什么？

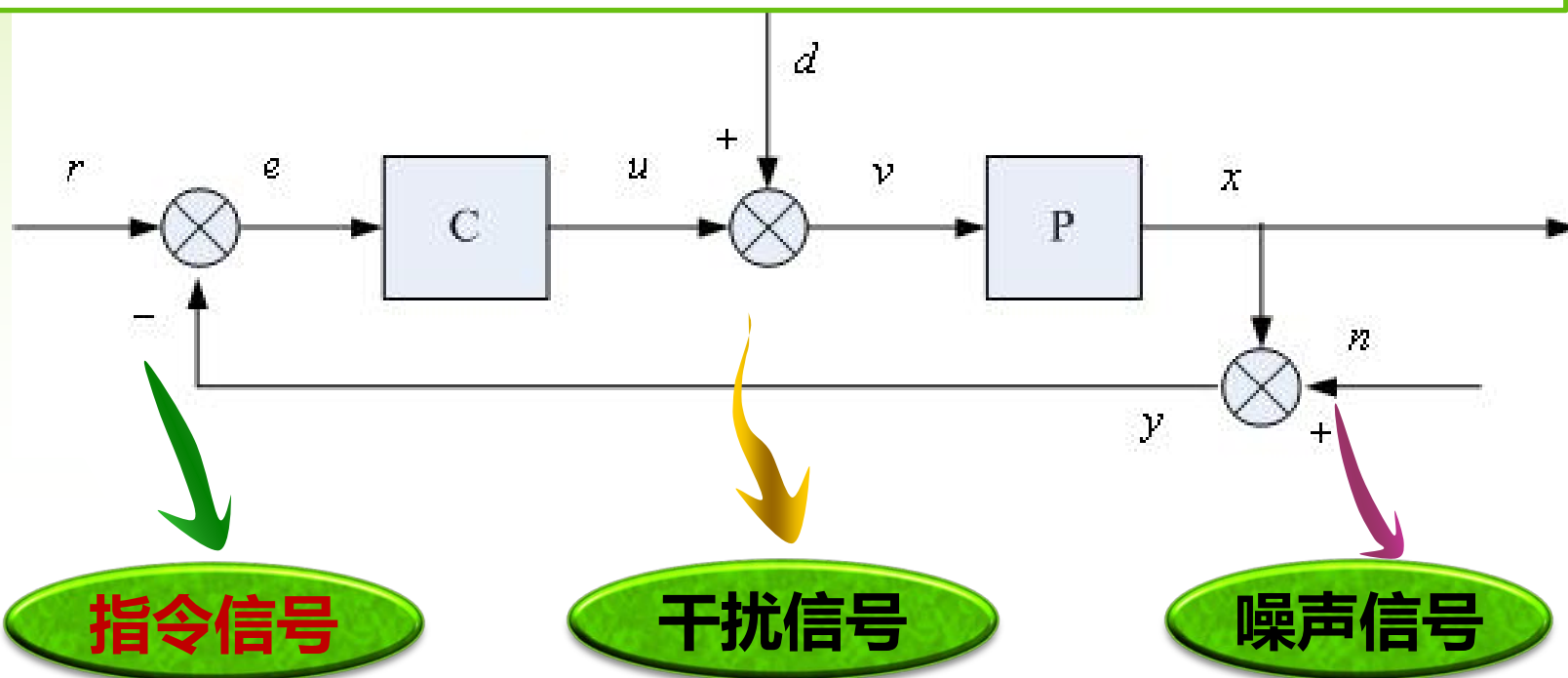


正常使用主观题需2.0以上版本雨课堂



前言

为保证控制系统的性能 (performance)，在进行控制系统设计之前，必须明确**期望的输出性能**和**输入条件**。





2 指令输入信号分析

2.1

指令输入信号分析

2.2

指令跟踪误差分析

2.3

减小指令跟踪误差的方法



2.1 指令输入信号分析

为什么要进行分析？

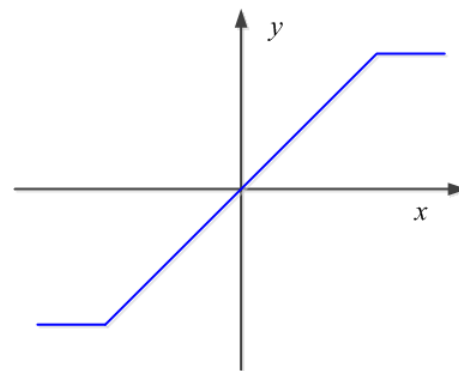
$$G(s) = \frac{K}{s(Ts + 1)}$$

线性系统理论——不考虑输入信号的幅值大小

实际系统中——执行器都有功率的限制

系统能达到的性能与输入信号相关

在实际系统设计之处，必须清楚
输入信号的特性，并以此来作为
控制系统设计的依据之一！



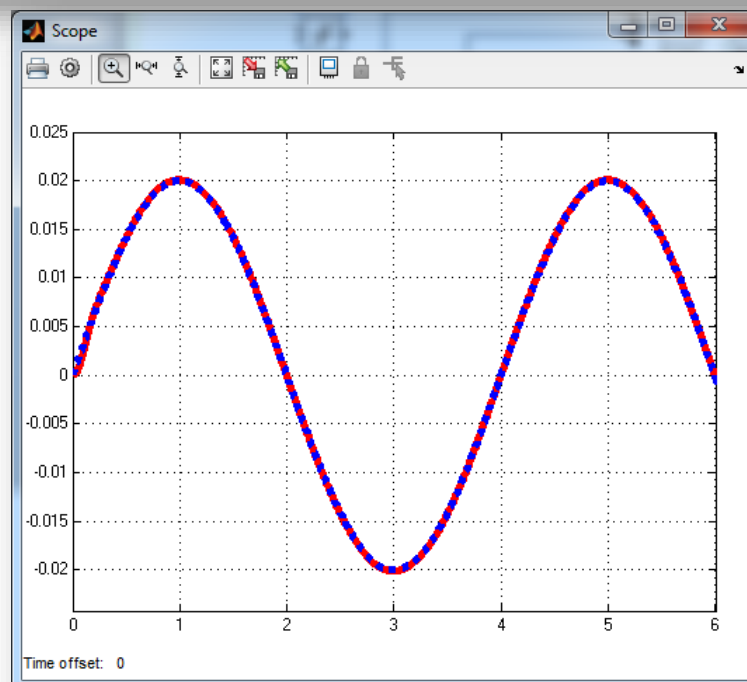
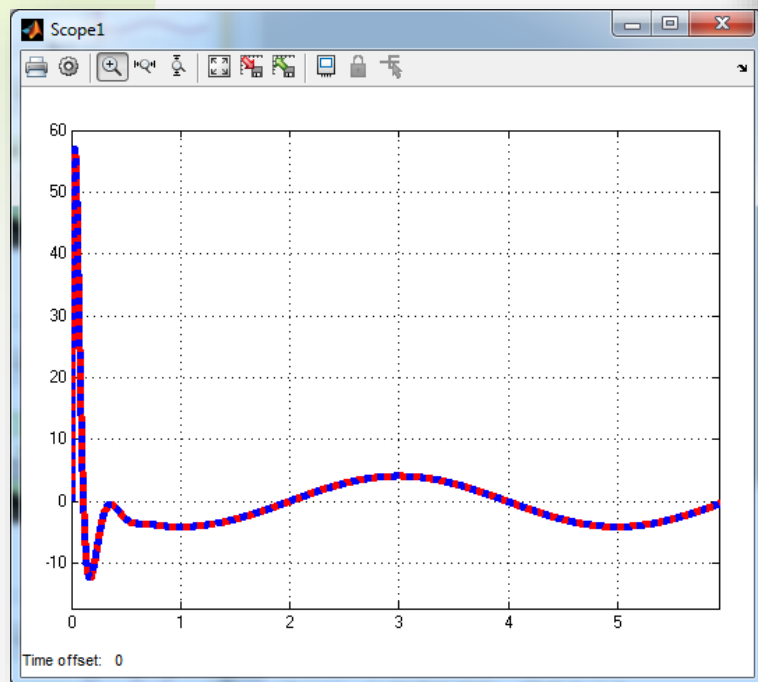
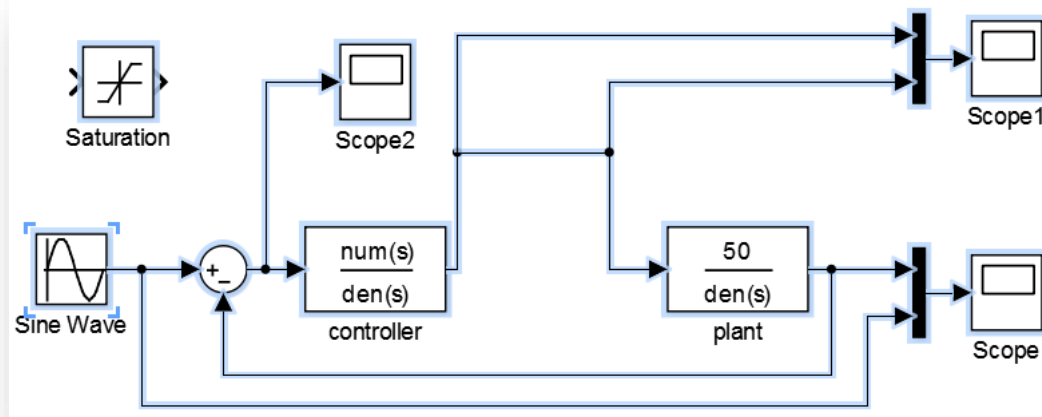
饱和特性



2.1 指令输入信号分析

情形1：无饱和和小幅值

指令频率0.25Hz 幅值
0.02，最大控制量**60**，
最大偏差**0.001**



Logo

如果存在饱和环节，增大正弦指令幅值，系统的状态会发生什么样的变化？

- ☐ A 若幅值大到引起饱和，系统会失稳
- ☒ B 未引起饱和时，系统跟踪误差也会变大
- ☐ C 瞬态误差会增大，稳态误差不会增加
- ☐ D 指令增幅不大时，系统跟踪误差不会变

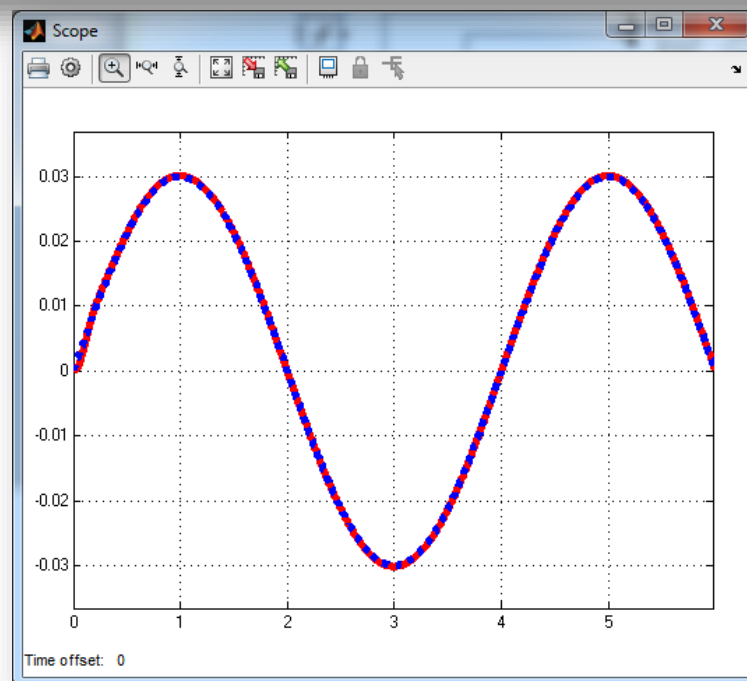
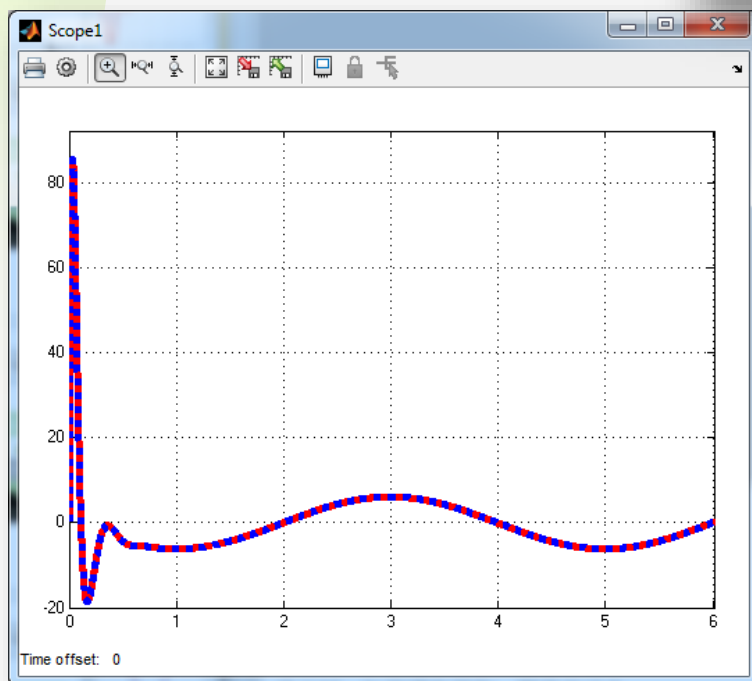
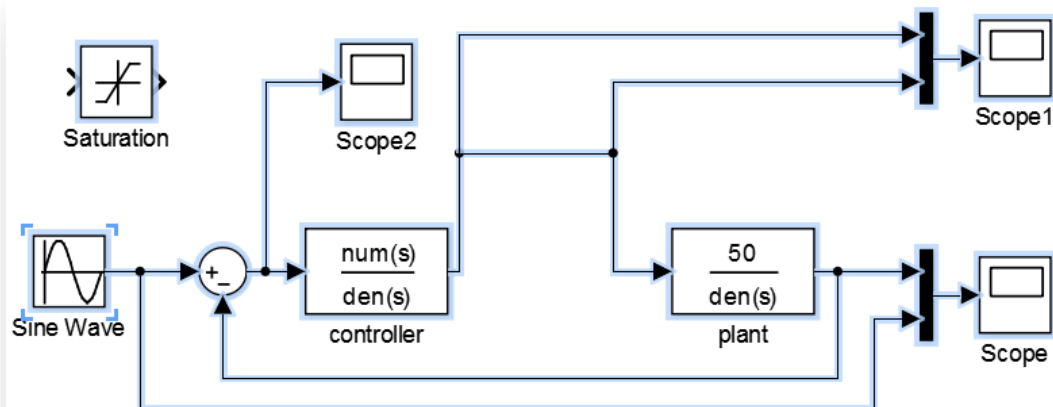
提交



2.1 指令输入信号分析

情形2：无饱和大幅值

输入0.25Hz 幅值**0.03**，
最大控制量**80**，最大偏
差**0.0015**

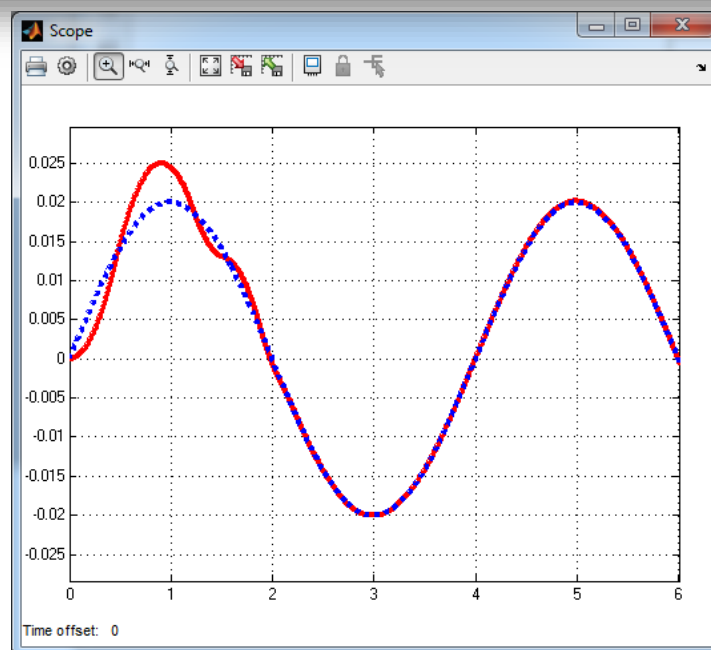
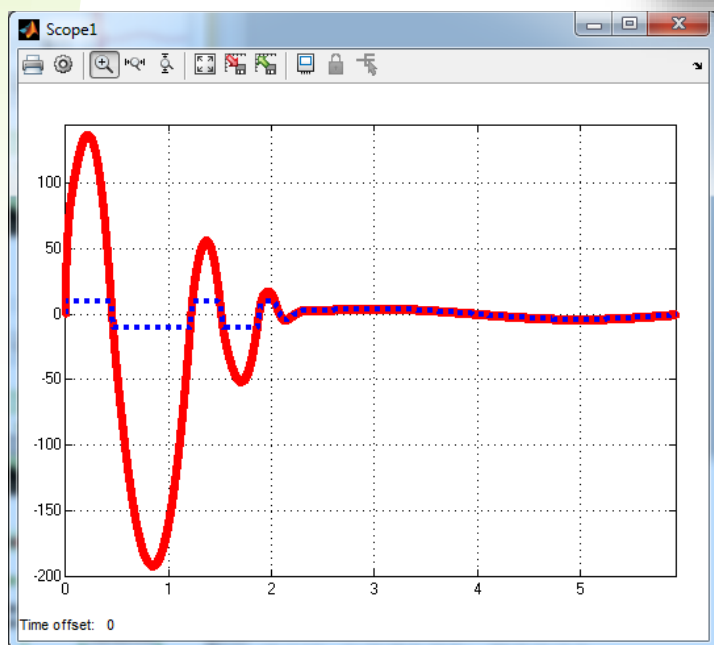
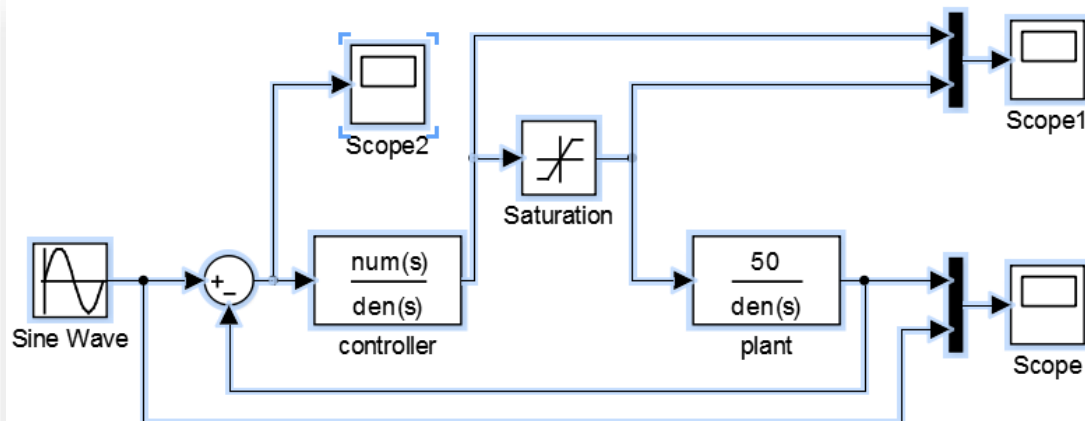




2.1 指令输入信号分析

情形3：有饱和和小幅值

指令频率0.25Hz 幅
值**0.02**，最大控制量
200，最大偏差**0.04**

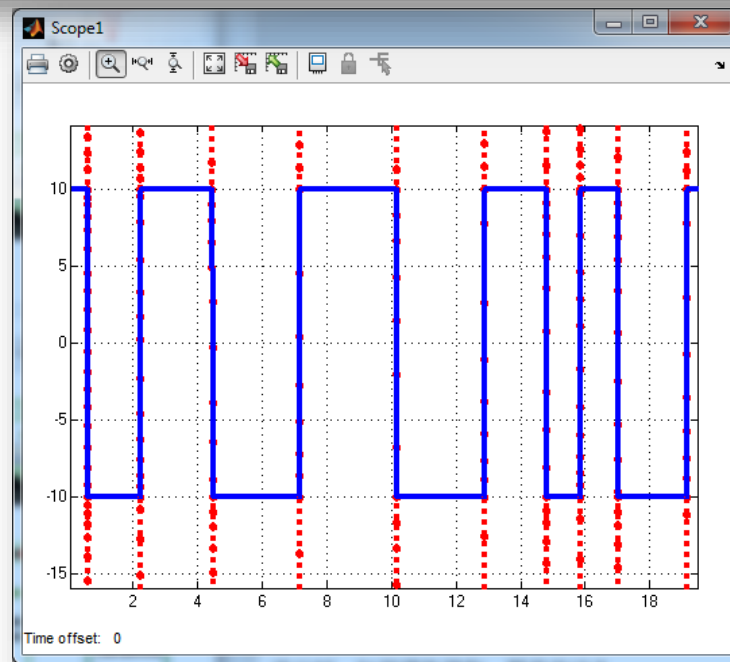
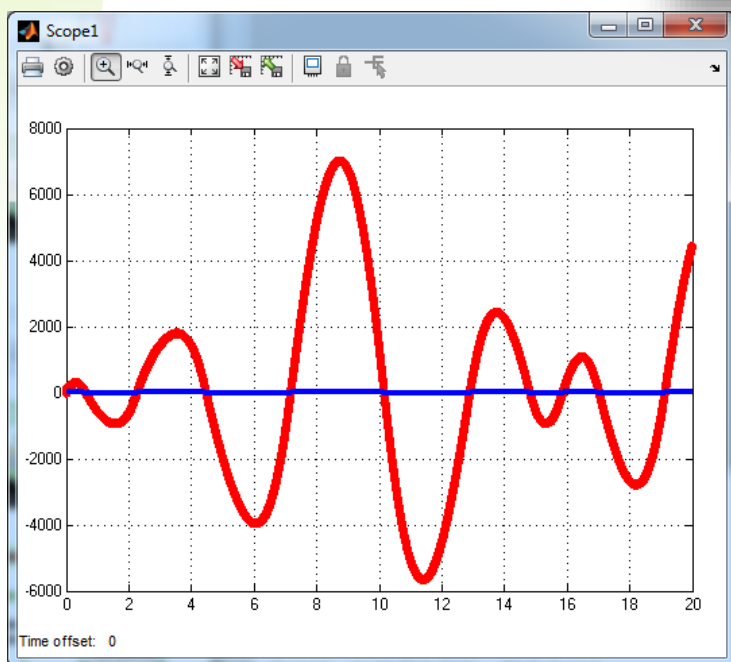
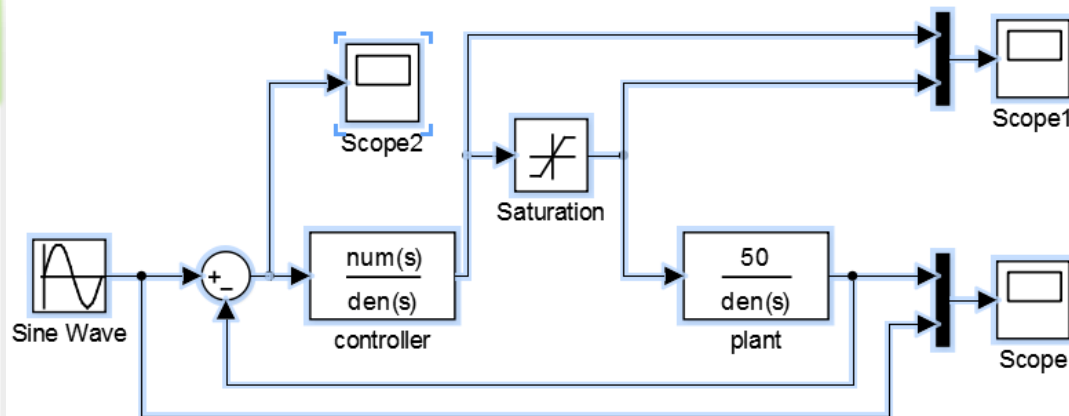




2.1 指令输入信号分析

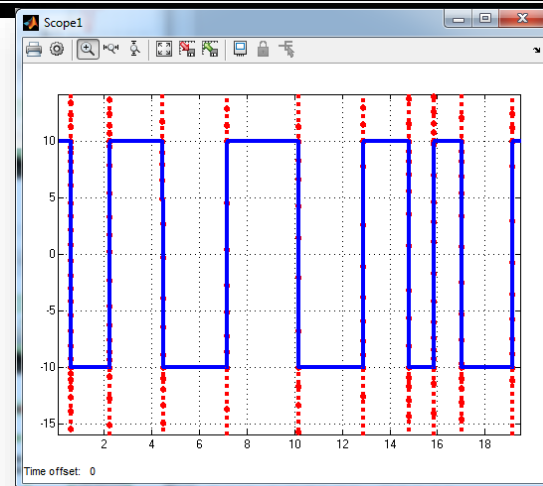
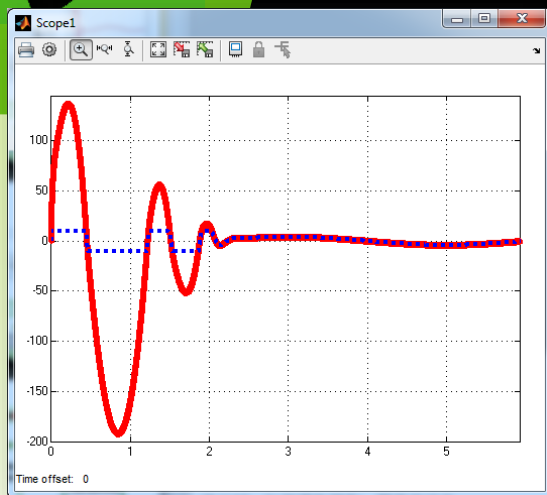
情形3：有饱和和小幅值

指令频率0.25Hz 幅值
0.03，最大控制量
7000，不稳定

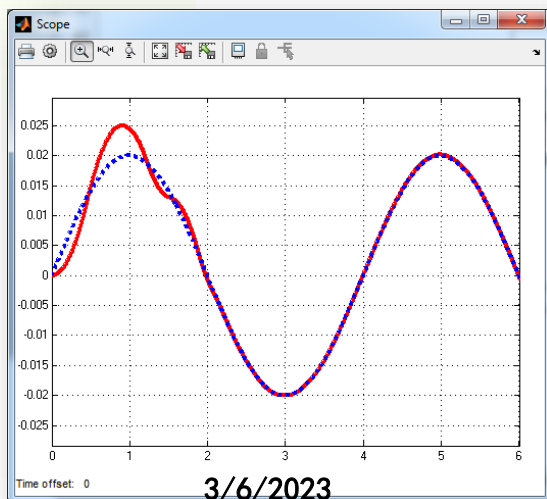




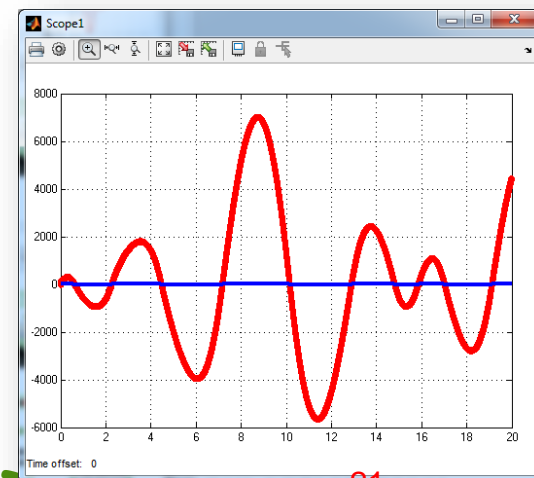
2.1 指令输入信号分析



如何解决这一问题?



3/6/2023



Logo

哪些方法可以减轻饱和问题？

- ☒ A 减小指令的幅值
- ☒ B 提高执行器的功率
- ☒ C 改变控制方法
- ☒ D 减小指令的变化率

提交



2.1 指令输入信号分析

分析什么？分析的目的？

分析典型输入信号的目的：



根据典型输入信号的**幅值、变化率及二阶或高阶导数**确定元件的参数；



根据典型输入信号的**幅值、变化率及二阶或高阶导数**计算跟踪误差，进行控制设计；



根据典型输入信号的**频谱**来确定系统的带宽。



2.1 指令输入信号分析

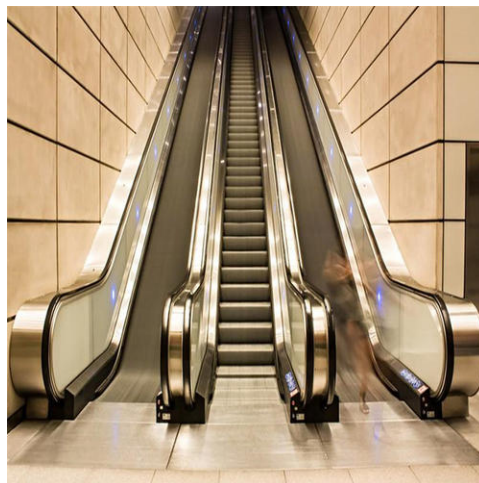
如何进行分析？

系统设计时，一般选**典型信号**作为理想的输入来进行分析。



Logo

冰箱，空调，电梯，滚梯的典型输入信号是什么？



正常使用主观题需2.0以上版本雨课堂

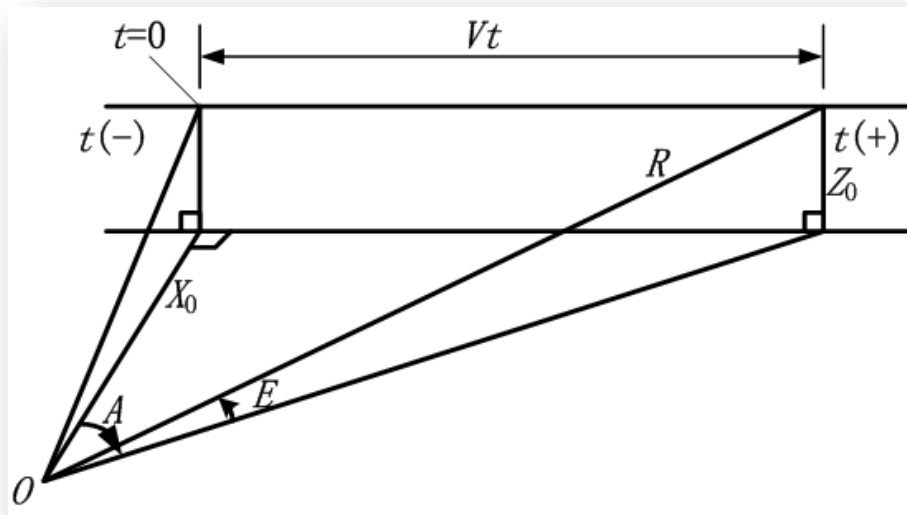


2.1 指令输入信号分析

例1.1 跟踪直线飞行目标时间伺服系统的输入



工作原理分析（雷达、激光武器）



假设目标做等高、等速直线飞行
分析跟踪系统的方位角和俯仰角的变化规律



2.1 指令输入信号分析

例1.1 跟踪直线飞行目标时间伺服系统的输入

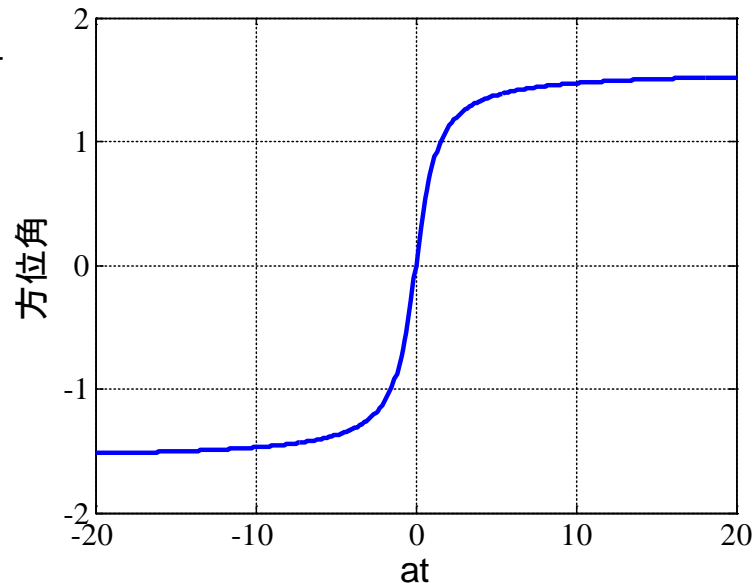
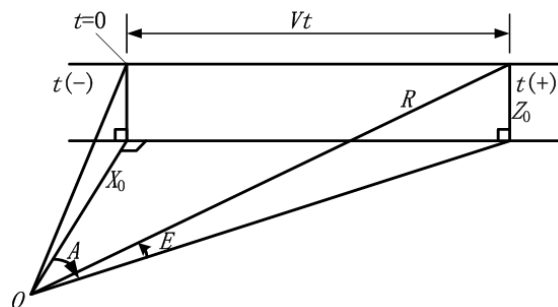
2

输入信号特性分析

$$A = \arctan \frac{Vt}{X_0} = \arctan(at), \quad a = \frac{V}{X_0}$$

$$\frac{dA}{dt} = a \cos^2 A$$

$$\frac{d^2 A}{dt^2} = -a^2 \sin 2A \cos^2 A$$



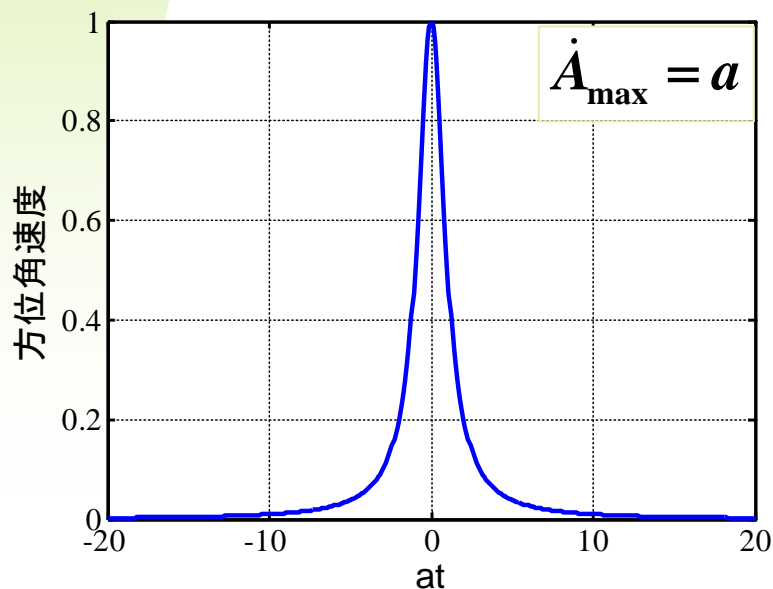
方位角变化曲线



2.1 指令输入信号分析

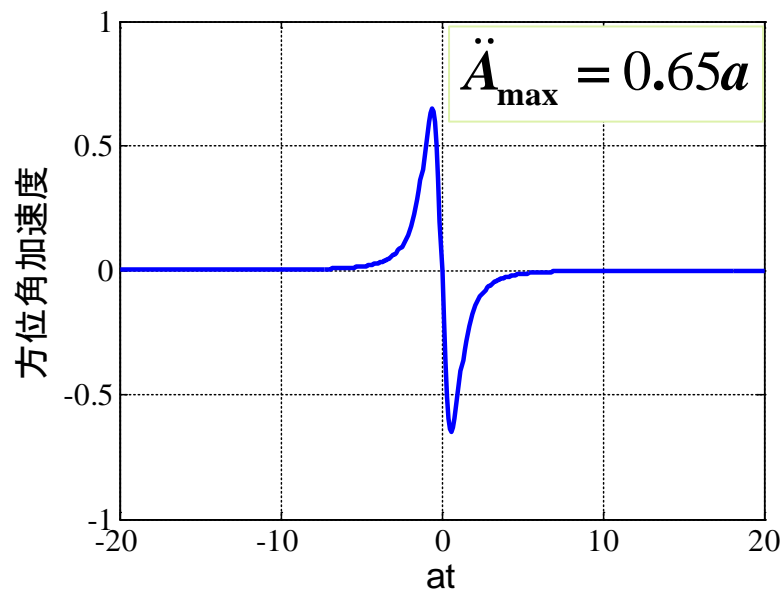
例1.1 跟踪直线飞行目标时伺服系统的输入

$$\frac{dA}{dt} = a \cos A$$



方位角速度曲线 ($a=1$)

$$\frac{d^2 A}{dt^2} = -a^2 \sin 2A \cos^2 A$$



方位角加速度曲线 ($a=1$)



2.1 指令输入信号分析

例1.1 跟踪直线飞行目标伺服系统的输入

3

部件选择

- 驱动电机的额定**速度和力矩**;
- 传感器的**量程和其它参数**
(最大速度等)。

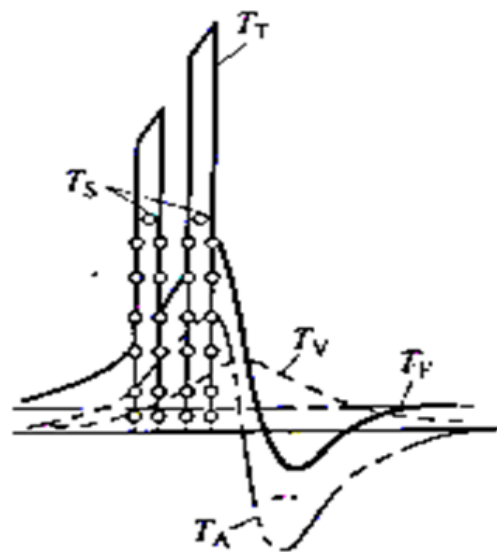


图 3-5 跟踪过程的力矩分量

T_A —加速度力矩； T_V —速度力矩； T_F —摩擦力矩；
 T_S —冲击力矩； T_T —总负载力矩

加速度力矩、速度力矩、摩擦力矩、冲击力矩、偏载力矩



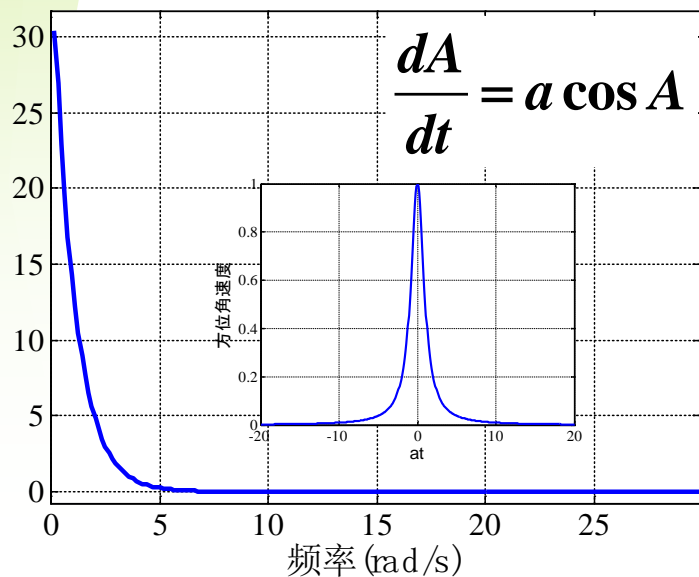
2.1 指令输入信号分析

例1.1 跟踪直线飞行目标伺服系统的输入

4

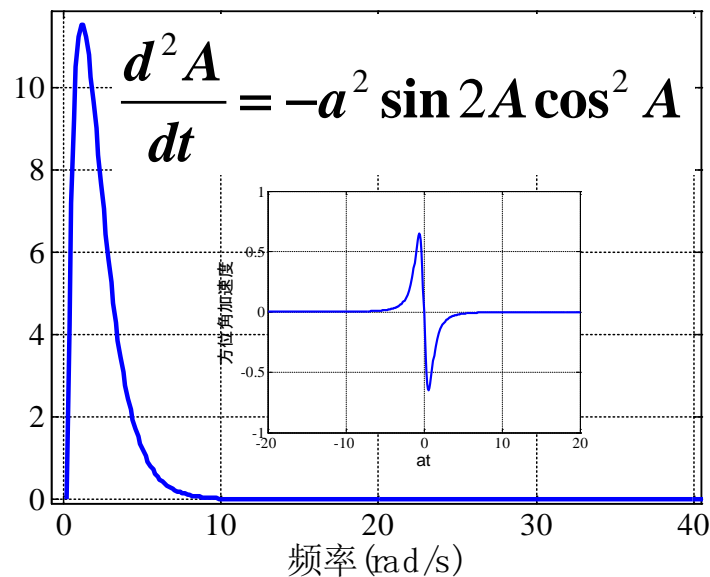
频谱分析

方位角速度频谱特性



方位角速度频率特性

方位角加速度频谱特性



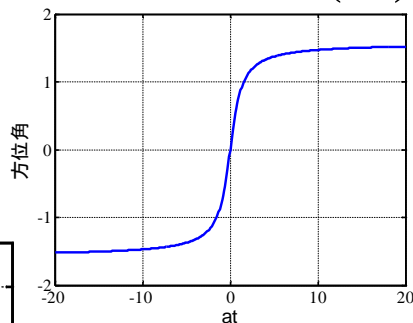
方位角加速度频率特性



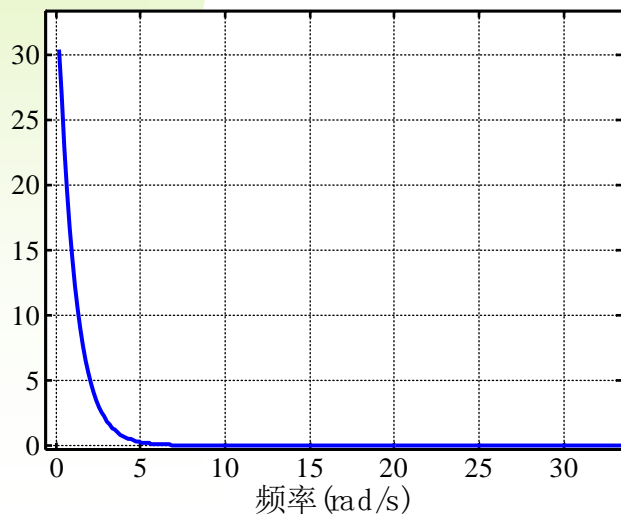
2.1 指令输入信号分析

例1.1 跟踪直线飞行目标伺服系统的输入

$$A = \arctan(at)$$

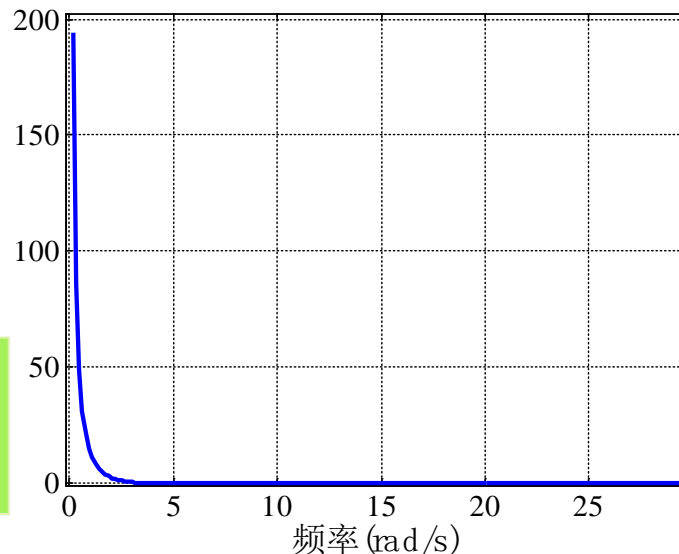


方位角速度频谱特性



方位角速度频率特性

方位角频谱特性



方位角的频率特性

$$|A(j\omega)| = \frac{|\dot{A}(j\omega)|}{\omega}$$

Logo

输入信号频谱分析的作用都有哪些？

A

确定系统的剪切频率

B

指导模型化简

C

指导元部件选型

D

指导谐振抑制滤波环节的设计

提交

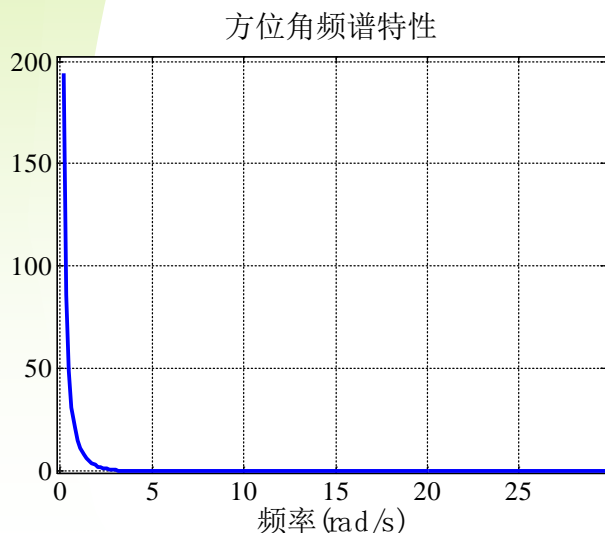


2.1 指令输入信号分析

例1.1 跟踪直线飞行目标伺服系统的输入

4

频谱分析



方位角的频率特性

方位角典型输入信号的带宽为 1.57 rad/s 0.25 Hz

- 可以确定执行器件和传感器的动态特性（指导选型）；
- 用于被控对象的模型化简；
- 用于确定闭环系统的带宽（剪切频率确定）

Logo

确定典型输入信号的方法有哪些？

A

基于典型工况的分析

B

大量的仿真模拟

C

根据实验数据确定

D

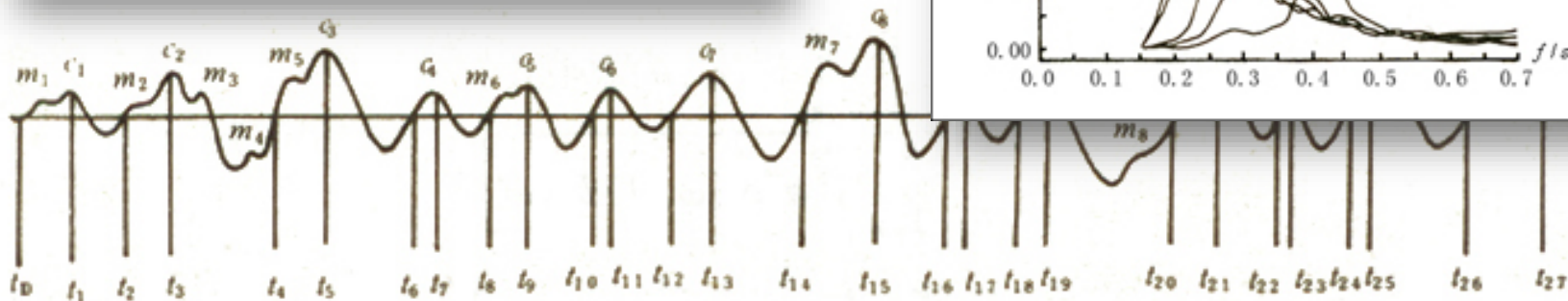
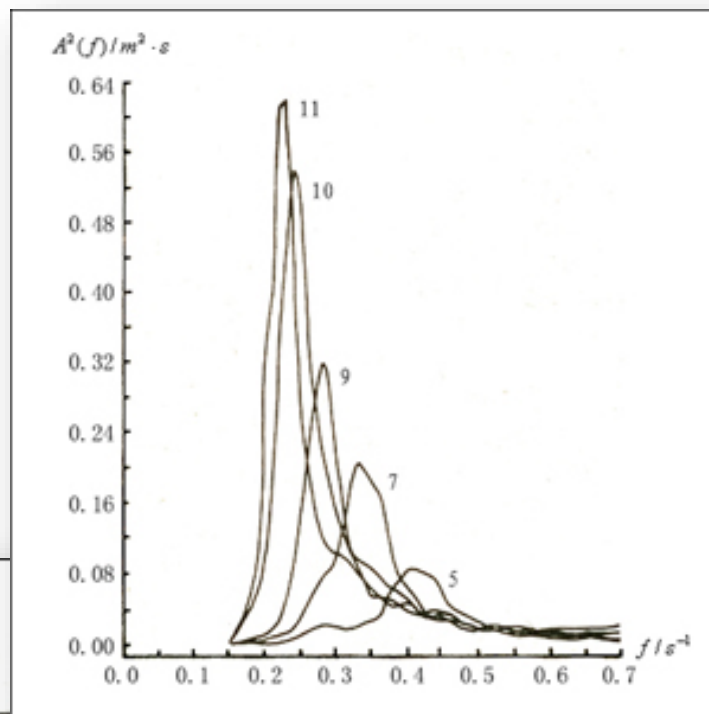
根据系统自身的特点确定

提交



2.1 指令输入信号分析

例1.2 舰用随动系统的输入信号（克服海浪并跟踪目标）



Logo

如果没有典型输入信号的解析表达式，
那该如何分析？

正常使用主观题需2.0以上版本雨课堂

作答



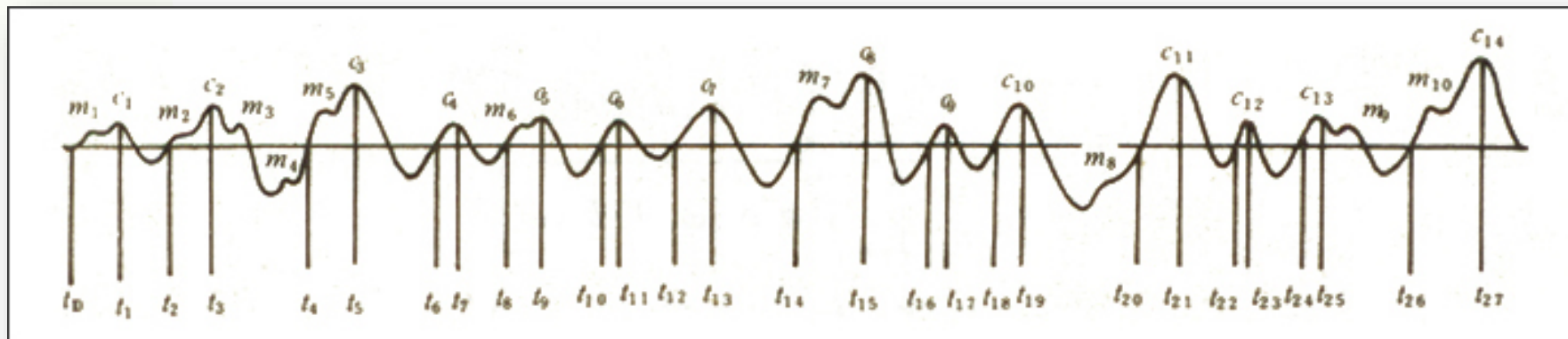
2.1 指令输入信号分析

例1.2 舰用随动系统的输入信号（克服海浪并跟踪目标）

有些典型信号是测得的，并没有解析表达式，**如何处理进行分析？**



采用差分 and 离散傅里叶分析

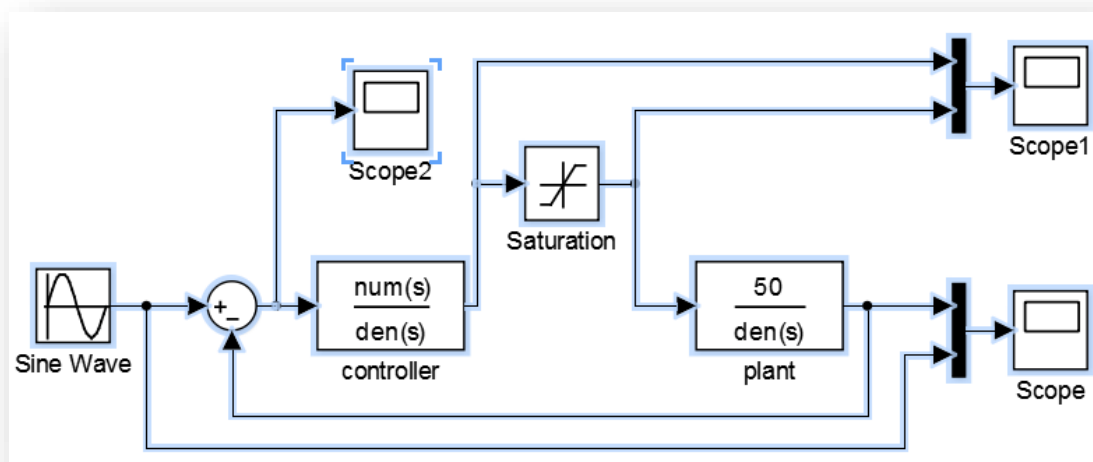




1.1.1 输入信号的分析

必选作业1

搭建MATLAB仿真模型如下图，改变正弦输入信号幅值，观察饱和和环节对系统输出和误差的影响。



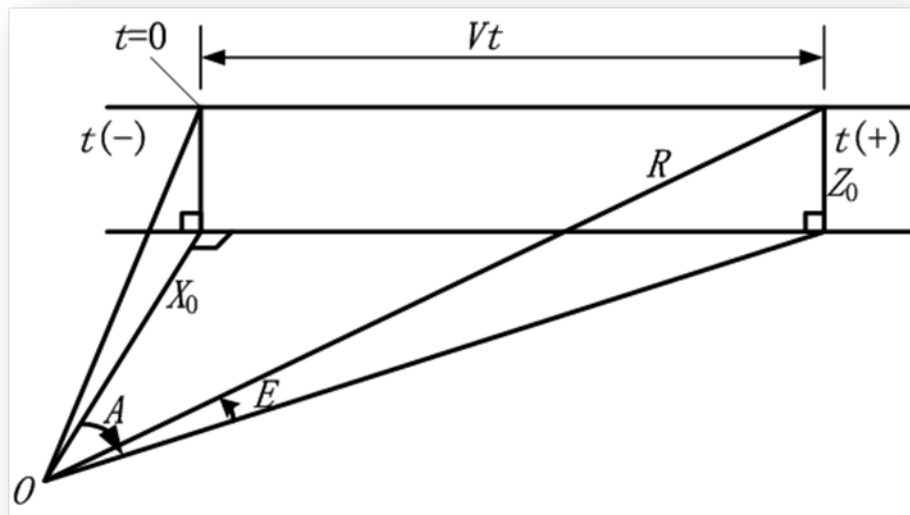


1.1.1 输入信号的分析

必选作业2

分析稳瞄系统俯仰角的角位置、角速度和角加速度的变化规律和频谱特性给出表达式并用MATLAB绘制曲线。并分析目标速度对俯仰角典型输入信号特性的影响

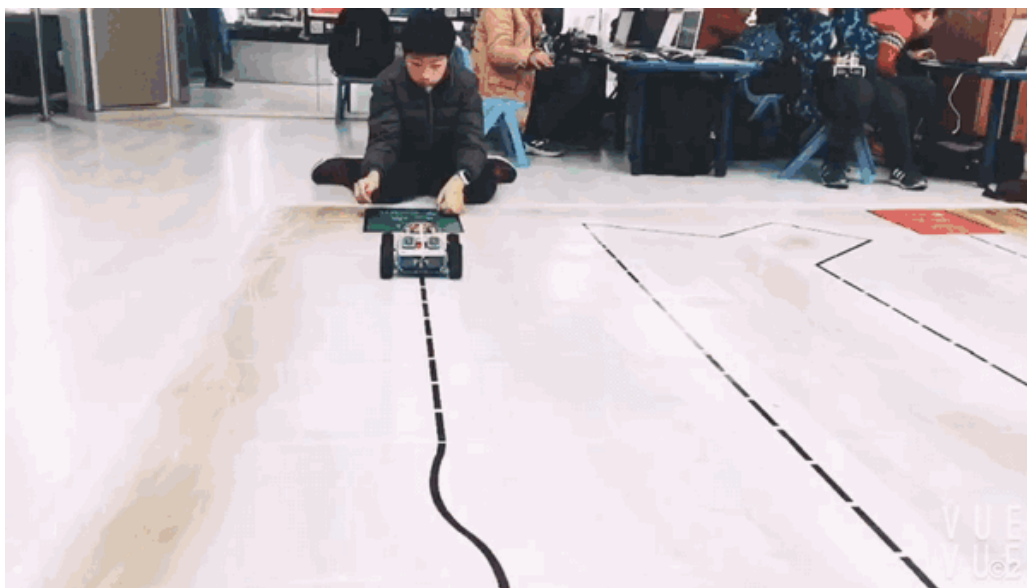
条件: $X_0 = 100\text{m}$
 $Z_0 = 1000\text{m}$
 $V_1 = 300\text{m/s}$
 $V_2 = 3000\text{m/s}$





1.1.1 输入信号的分析

可选作业



举个实际系统的例子，说明其指标并进行典型指令分析
例如：循迹车方向控制系统的性能指标及典型指令分析



Thank You !



哈尔滨工业大学控制与仿真中心