



哈尔滨工业大学（深圳）

Harbin Institute of Technology, Shenzhen

# 实验报告

课程名称: 自动控制理论 A

学生姓名: 万尧

学生学号: 190410102

学生专业: 自动化类

开课学期: 2021年秋季学期

报告时间: 2021年11月19日

指导教师:

## 实验二 系统的稳定性分析实验

### 一、实验目的

1. 熟悉 Routh 判据, 用 Routh 判据对三阶系统进行稳定性分析。
2. 掌握香农定理, 了解信号的采样保持与采样周期的关系。
3. 掌握采样周期对采样系统稳定性的影响。

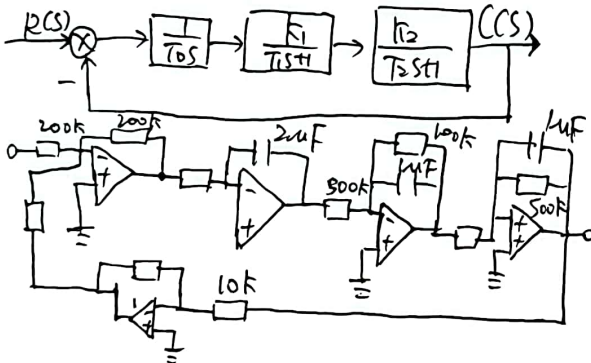
### 二、实验设备及元器件

1. PC 机 - 1 台
2. NI ELVIS III - 1 台
3. "Circuits Control Board-I"
4. "Circuits Control Board-2"
5. 导线 14 根

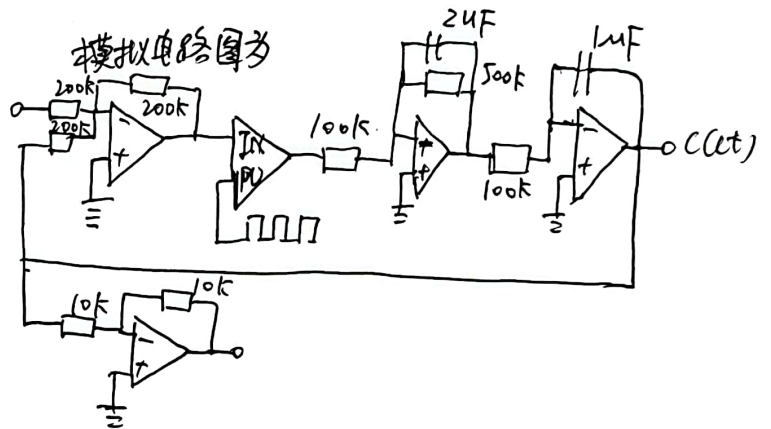
### 三、实验原理

(简述实验原理, 画出模拟电路图)

#### 1. 典型三阶系统稳定性分析

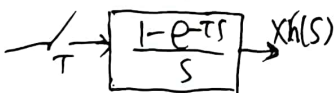


$$\text{开环传递函数 } G(s)H(s) = \frac{500/R}{s(0.1s+1)(0.5s+1)}$$

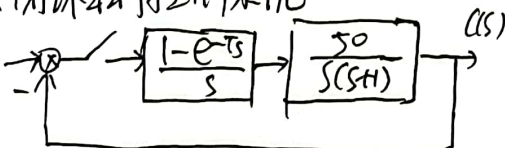


$$\text{传递函数为 } G(s) = \frac{50}{s(s+1)}$$

#### 2. 信号的采样保持



#### 3. 闭环采样控制系统



#### 四、实验过程与实验数据

（简述实验过程的步骤和方法，粘贴并打印实验数据结果图）

1. 典型三阶系统稳定性分析.
  - (1) 按照接线图（电路所示）连接电路
  - (2) 设置通道、采样配置。（放电，如有电容）
  - (3) 运行软件并观察实验结果。
  - (4) 更换阻值，重复实验。
  - (5) 寻找临界阻值，找到等幅振荡点。
    - (a) 用定值电阻代替可调电阻，让系统处于临界稳定状态边缘，
    - (b) 用滑动变阻器精调，获取更加准确的临界稳定对应的阻值。
2. 信号的采样保持
  - (1) 按照线路图接线。
  - (2) 软件上设置参数。
  - (3) 运行软件得出结果。
  - (4) 改变脉冲周期重复实验
3. 闭环采样控制系统
  - (1) 按照线图接线。
  - (2) 在软件上设置采样为单次采样，采样率、采样长度等参数。
  - (3) 运行软件并观察保存结果。
  - (4) 改变下调节至等幅振荡点。

## 五、实验数据分析

（按指导书的要求完成对实验数据的分析处理与比较，并对实验结果做出判断）

### 1. 典型环节稳定性分析

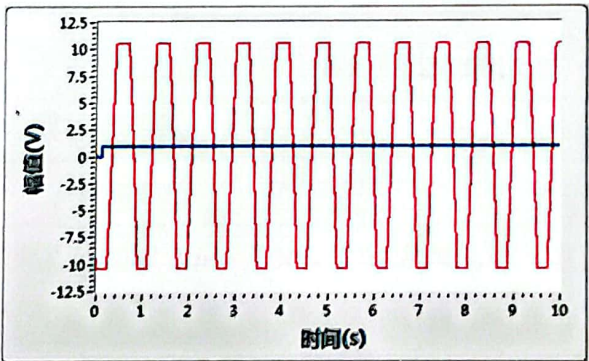
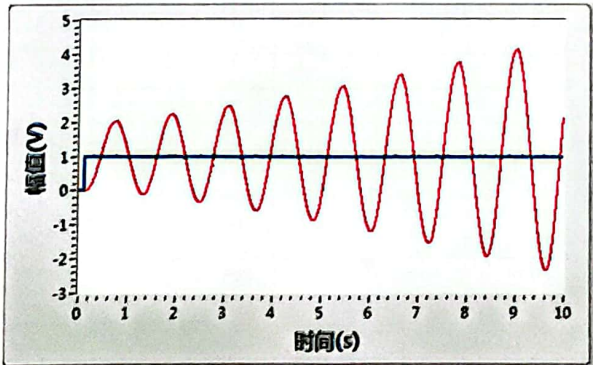
（1）由 Routh 判据得到 Routh 行列式为：

$s^3$	1	20
$s^2$	12	20k
$s^1$	12-k	
$s^0$	20k	

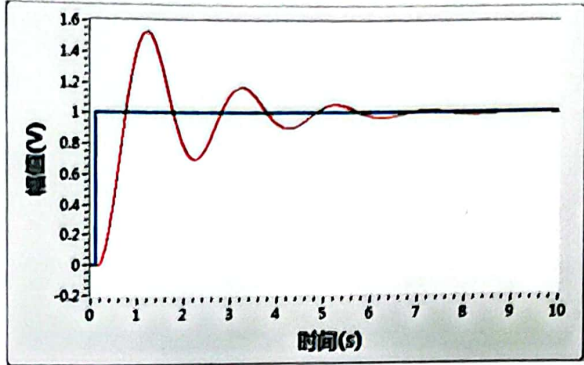
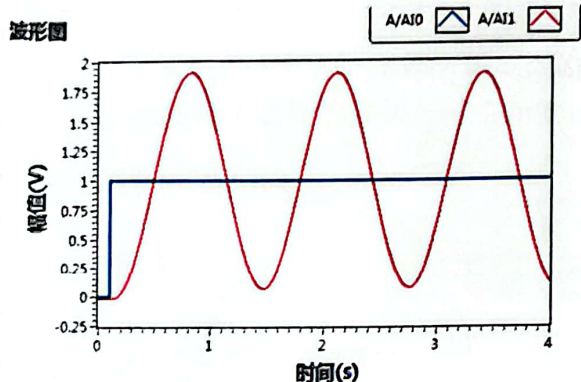
$0 < K < 12$	$R > 41.67k$	系统稳定
$K = 12$	$R = 41.67k$	系统临界稳定
$K > 12$	$R < 41.67k$	系统不稳定

（2）将典型三阶系统在不同开环增益下的响应情况实验测量值填入下表

典型三阶系统在不同开环增益下的响应情况实验结果参考值

R(K $\Omega$ )	系统响应曲线	开环增益 K	稳定性
10		50	不稳定
30		16.67	不稳定



100		5	稳定
$R=36.52$		13.69	临界稳定

## 2. 离散系统的稳定性分析

### (1) 信号的采样保持

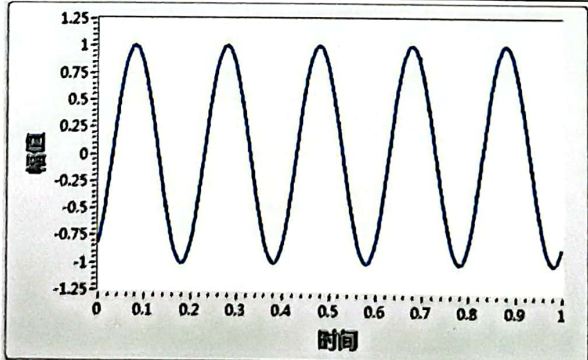
- a) 当输入角频率为  $\omega = 2\pi \times 5$  的正弦波，将采样后离散信号  $X^*(t)$  能够复原为连续信号的条件填入表 1 中。

表 1 信号采样保持条件

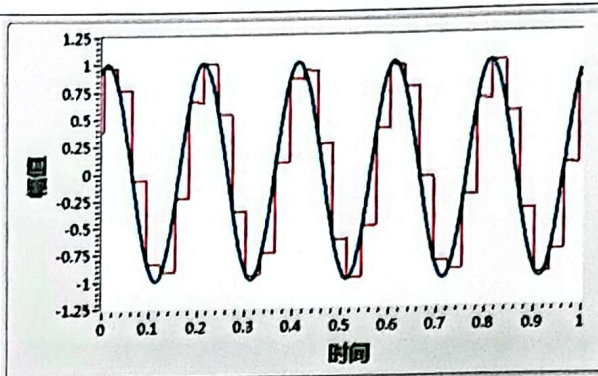
采样角频率 $\omega_s$	$\omega_s \geq 2\omega$ 或 $\omega_s \geq 20\pi$
采样周期 $T_s$	$T_s \leq \frac{1}{2}T$ 或 $T_s \leq 0.1s$

- b) 将采样周期  $T_s$  分别取 3ms、30ms 的响应曲线填入表 2 中。

表 2 采样保持电路响应曲线

$T_s = 3ms$	
-------------	--

$$T_s = 30\text{ms}$$



## (2) 离散系统的稳定性分析

a) 根据图 3-6 的闭环采样系统方框图，计算闭环系统的开环脉冲传递函数、闭环脉冲传递函数，并计算系统处于临界等幅状态时  $T$  的值。

$$\begin{aligned} \text{开环传递函数 } G(z) &= (1-z^{-1}) Z \left[ \frac{50}{s^2(s+1)} \right] = \frac{z-1}{z} 50 Z \left[ \frac{1}{s^2} - \frac{1}{s} + \frac{1}{s+1} \right] \\ &= 50 \frac{z-1}{z} \left[ \frac{Tz}{(z-1)^2} - \frac{z}{z-1} + \frac{z}{z-e^{-T}} \right] \\ &= 50 \frac{T(z-e^{-T}) + (z-1)(e^{-T}-1)}{(z-1)(z-e^{-T})} \end{aligned}$$

$$\text{闭环传递函数 } \Phi(z) = \frac{G(z)}{1+G(z)} = \frac{50[T(z-e^{-T}) + (z-1)e^{-T}-1]}{(z-1)(z-e^{-T}) + 50[T(z-e^{-T}) + (z-1)(e^{-T}-1)]}$$

$$\text{特征方程 } D(z) = (z-1)(z-e^{-T}) + 50[T(z-e^{-T}) + (z-1)(e^{-T}-1)]$$

双线性变换  $z = \frac{w+1}{w-1}$  代入得特征方程为：

$$(50T - 50Te^{-T})w^2 + (100Te^{-T} + 98e^{-T} - 98)w + (102 - 98e^{-T} - 50T - 50Te^{-T}) = 0$$

列写 Routh 列表。

$$w^2 \quad 50T - 50Te^{-T} \quad 102 - 98e^{-T} - 50T - 50Te^{-T}$$

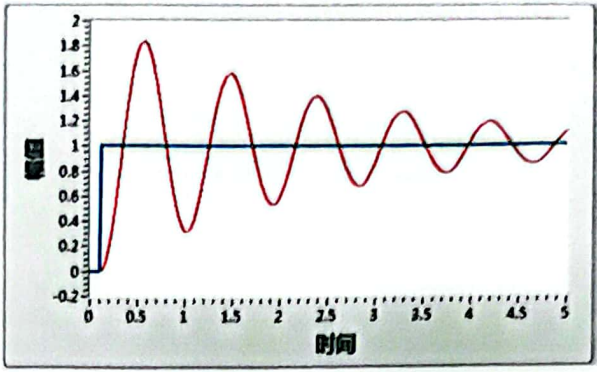
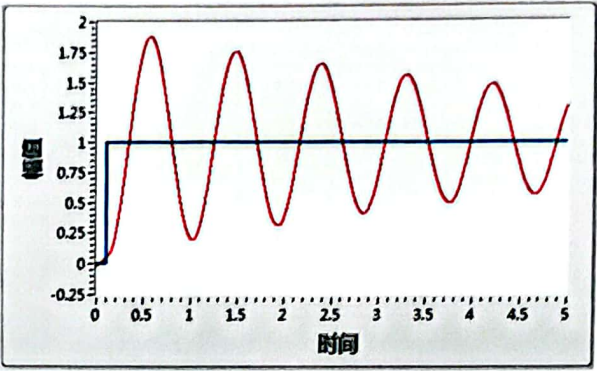
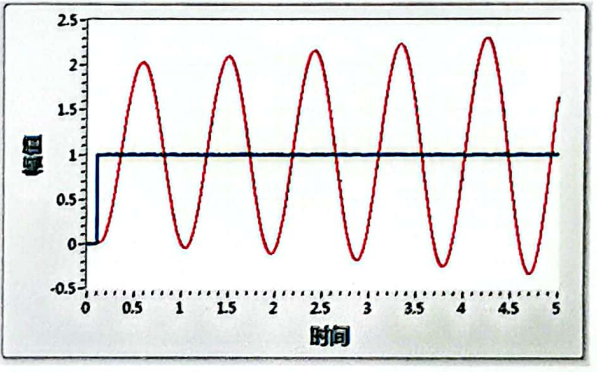
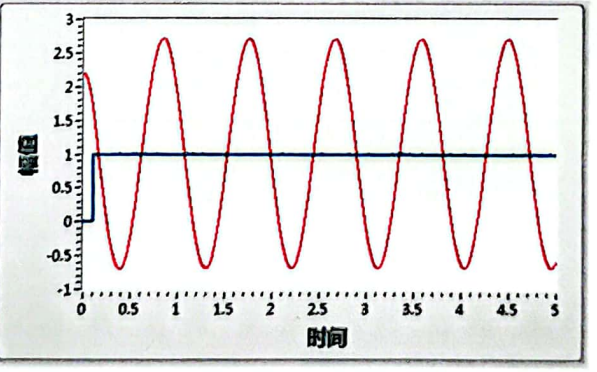
$$w^1 \quad 100Te^{-T} + 98e^{-T} - 98$$

$$w^0 \quad 102 - 48e^{-T} - 50T - 50Te^{-T}$$

$$\text{令 } 100Te^{-T} + 98e^{-T} - 98 = 0 \quad \text{得 } T = 40.27\text{ms}$$

b) 将系统在不同采样周期  $T$  时的响应情况实验测量值填入下表。

表 3 离散系统在不同采样周期下的阶跃响应曲线

采样周期	离散系统阶跃响应曲线	稳定性
$T=10\text{ms}$		稳定 衰减振荡
$T=30\text{ms}$		稳定 衰减振荡
$T=50\text{ms}$		不稳定
$T=44\text{ms}$		等幅震荡