哈爾濱工業大學(深圳)
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY,SHENZHEN

过程控制系统
实验报告

专业： 自动化

实验名称： 关联分析与控制解耦控制仿真实验

实验日期： 2023 年 5 月 30 日

实验与创新实践教育中心

Education Center of Experiments and Innovations

一、 实验原理

1.耦合系统的相对增益矩阵若为单位矩阵，则表明过程通道之间没有静态耦合，系统的每一个被控变量均可以构成单回路控制。

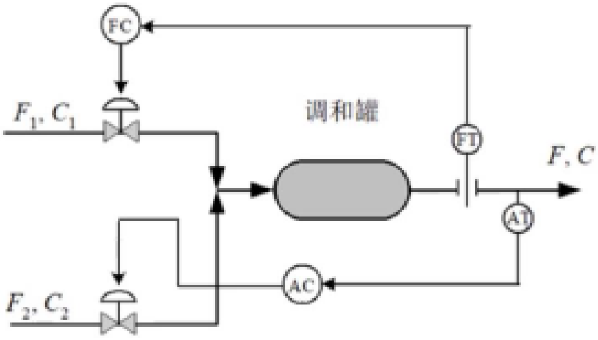
2.如果控制系统的相对增益矩阵中有一个相对增益接近 1，则采用第 j 个输入 u,控制第 i 个输出 y 可减小系统的耦合。

3.减弱与消除耦合可通过被控变量与操纵变量的正确配对以及设计合适的解耦控制器。完全解耦可使得控制器与被控变量之间成为一对一的独立控制系统，解耦控制器的设计方法有对角阵解耦、前馈补偿解耦、反馈解耦。

二、 实验内容

（简述实验内容及操作过程）

以调和罐物料混合过程为例，浓度为70%的 C_1 和浓度为20%的 C_2 进行混合，要求混合物浓度为 C=50%，AT 为成分变送器，AC 为成分控制器，FT 为流量变送器，FC 为流量控制器。流量 F_1=60T/hr，F_2=40T/hr，F=100T/hr。



出口流量 $y_1 = F_1 + F_2$，出口浓度 $y_2 = \dfrac{C_1F_1 + C_2F_2}{F_1 + F_2}$。

对于此系统，有

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F \\ C \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \end{bmatrix}$$

系统动态模型为：

$$\begin{bmatrix} y_1(s) \\ y_2(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dfrac{1}{2s+1} & \dfrac{1}{3s+1} \\ \dfrac{K_{21}e^{-5s}}{(2s+1)(10s+1)} & \dfrac{K_{22}e^{-5s}}{(3s+1)(10s+1)} \end{bmatrix} \bullet \begin{bmatrix} u_1(s) \\ u_2(s) \end{bmatrix}$$

则可求出： $K_{21} = \dfrac{\partial y_2}{\partial u_1}\Big|_{u_2=40} = 0.2$； $K_{22} = \dfrac{\partial y_2}{\partial u_2}\Big|_{u_1=60} = -0.3$ 。

双入双出系统可用如下传递函数矩阵建模：

$$\begin{bmatrix} y_1(s) \\ y_2(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dfrac{1}{2s+1} & \dfrac{1}{3s+1} \\ \dfrac{0.2e^{-5s}}{(2s+1)(10s+1)} & \dfrac{-0.3e^{-5s}}{(3s+1)(10s+1)} \end{bmatrix} \bullet \begin{bmatrix} u_1(s) \\ u_2(s) \end{bmatrix}$$

则系统的静态放大系数矩阵 K，也即第一放大系数矩阵 P 为

$$P = K = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} \\ k_{21} & k_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0.2 & -0.3 \end{bmatrix}$$

① 求该系统的相对增益矩阵 Λ。分析该系统中 U_1 控制 Y_1、U_2 控制 Y_2 的配

对是否正确。若不正确，重新建立系统的输入输出关系式。

② 对系统变量正确配对后的关联情况进行仿真分析，得出全耦合系统的响应曲线。

A. 首先根据描述的被控对象建立系统的 Simulink 仿真模型，控制器可采用 PI 控制器 $P+I\frac{1}{s}$。控制器参数的整定在无关联情况下，建议 Gc1 的参数为 P1=1.042，I1=1.564；Gc2 的参数 P2= -3.582，I2= -0.2524；

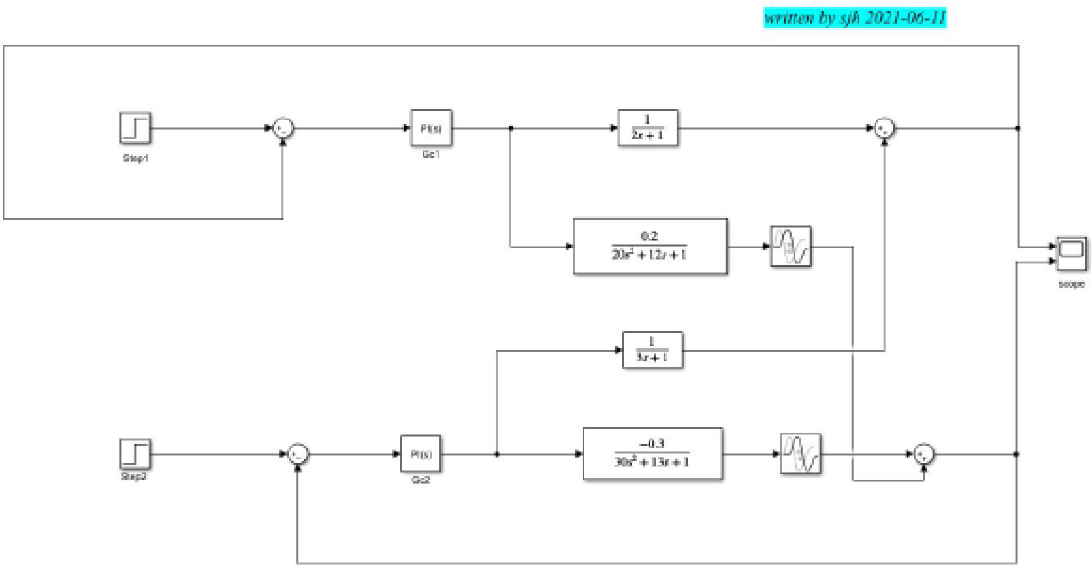
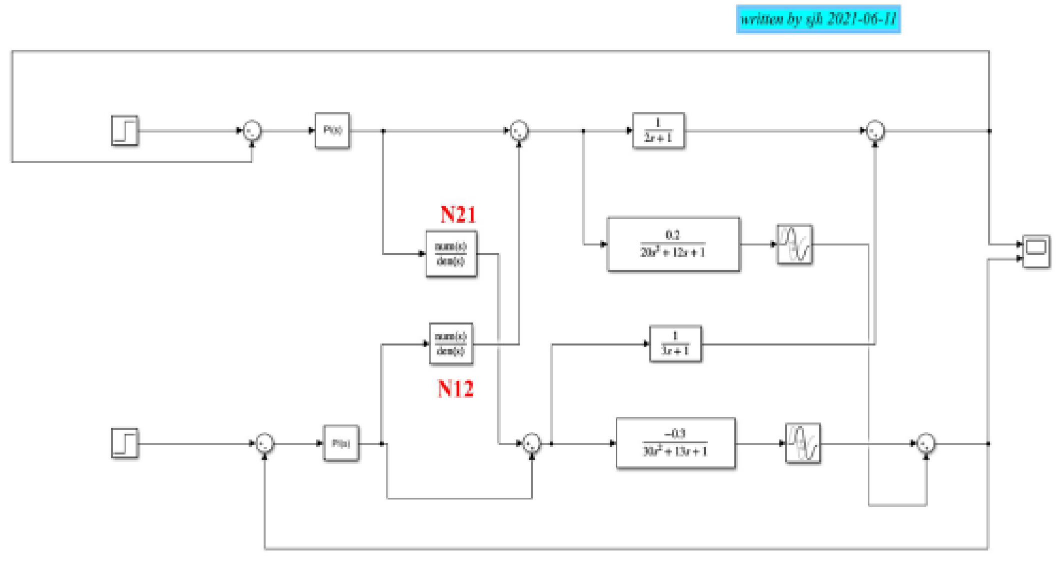


图 6-1 系统的 Simulink 仿真模型

B. 系统全耦合状态下，仿真得出回路 1 与回路 2 之间的相互影响。分别设置 Step1 为单位阶跃信号，Step2 为 0；Step2 为单位阶跃信号，Step1 为 0；以及 Step1 为单位阶跃信号作用时刻为 1s，Step2 为单位阶跃信号作用时刻为 20s，得出仿真结果。

③ 前馈补偿解耦是在回路中常规控制器输出端再添加补偿控制器，以抵消其对其他回路的耦合。设计补偿解耦控制器 N_{21} 和 N_{12}，给出具体表达式，并搭建前馈补偿解耦控制系统，采用 Simulink 得到仿真模型。



④ 给出加入前馈补偿控制后系统的仿真结果，阶跃输入情况与步骤②相同。

三、 实验结果及分析

（实验原始数据、实验曲线及其分析）

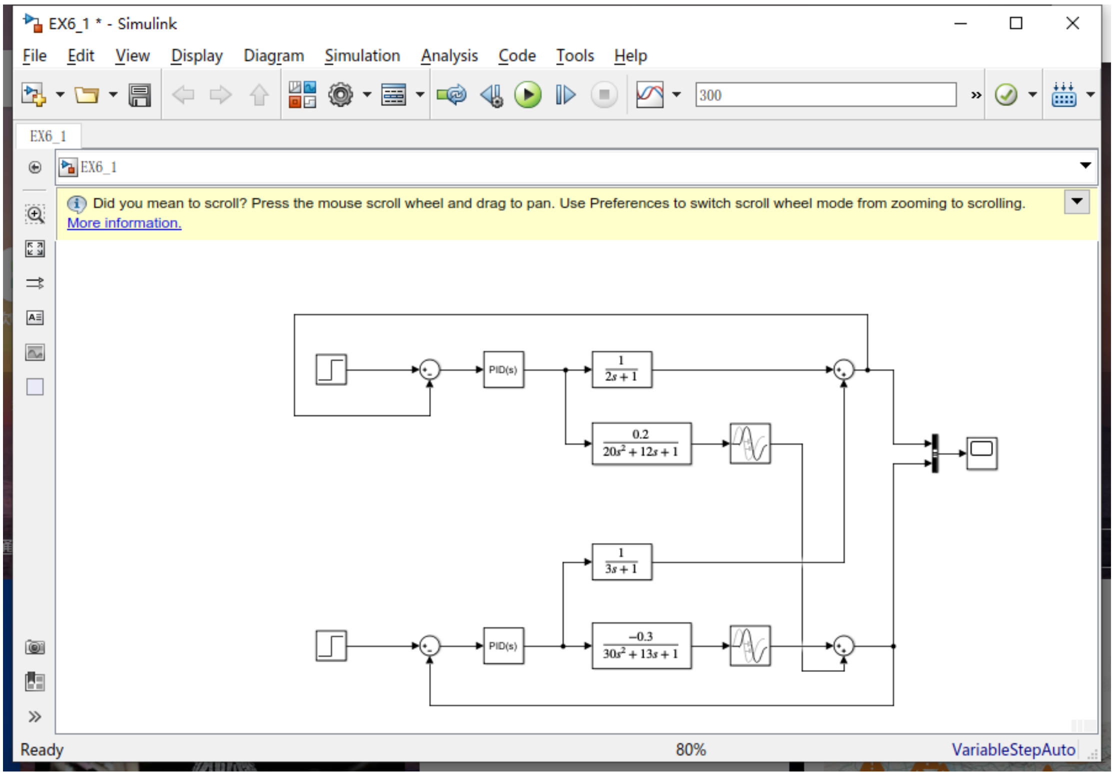
1.计算系统的相对增益矩阵 A

1）计算系统的相对增益矩阵 A。

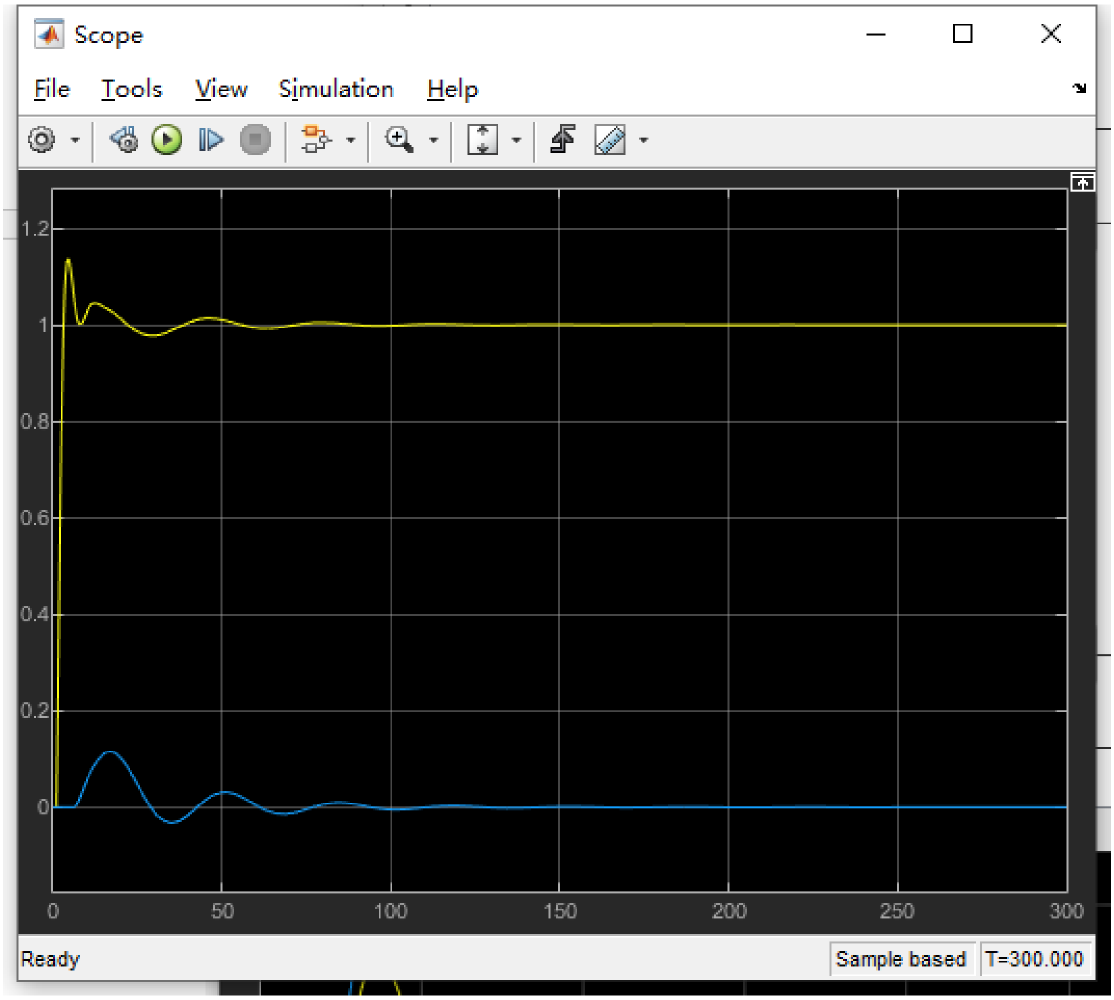
```
k=[1 1;0.2 -0.3];
a=k.*inv(k)';
abs(a-1);
disp(a);
```

```
>> Untitled
    0.6000    0.4000
    0.4000    0.6000
```

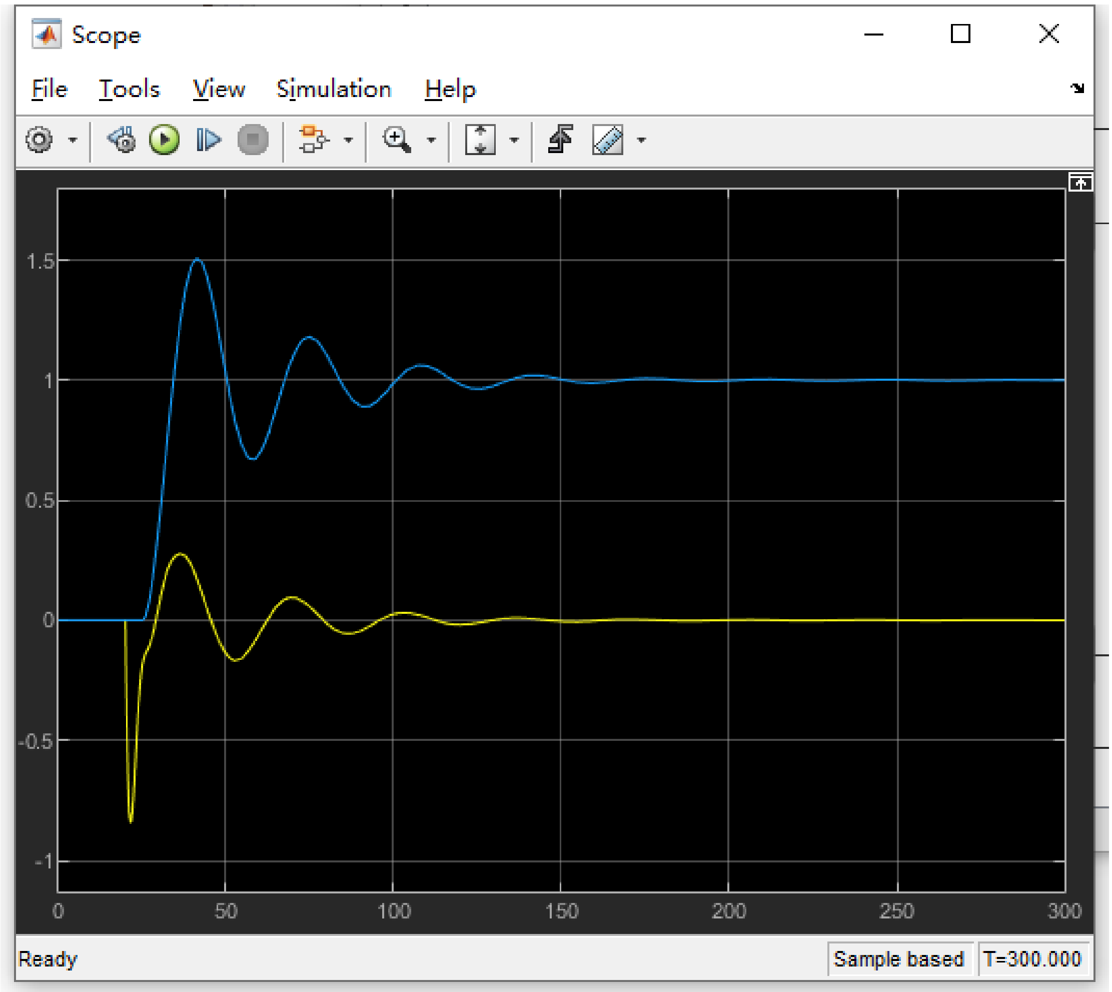
2）原系统关联情况仿真分析，给出响应曲线。



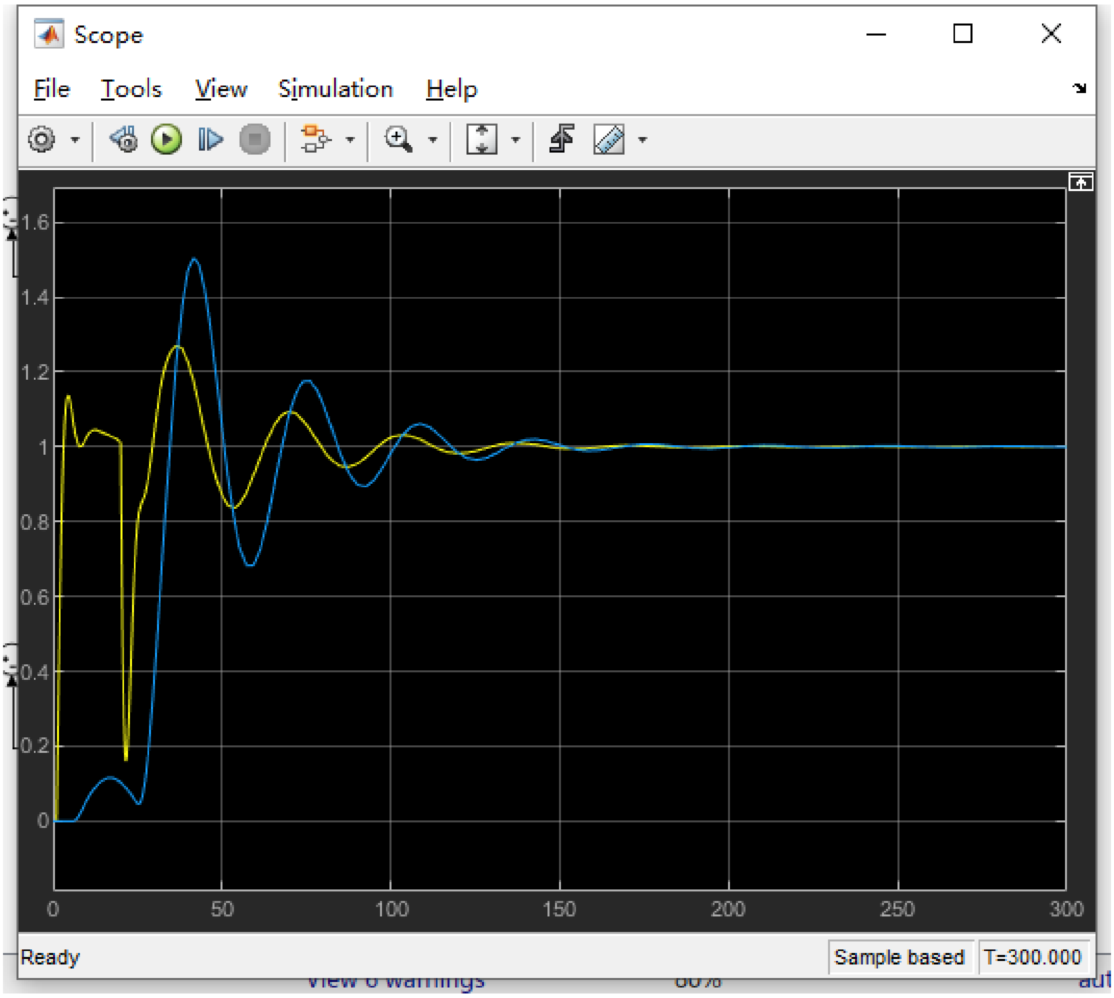
U1 阶跃


Scope
File
Tools
View
Simulation
Help
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
0
50
100
150
200
250
300
Ready
Sample based
T=300.000

U2 阶跃


Scope
File
Tools
View
Simulation
Help
1.5
1
0.5
0
-0.5
-1
0
50
100
150
200
250
300
Ready
Sample based
T=300.000

U1、U2 阶跃

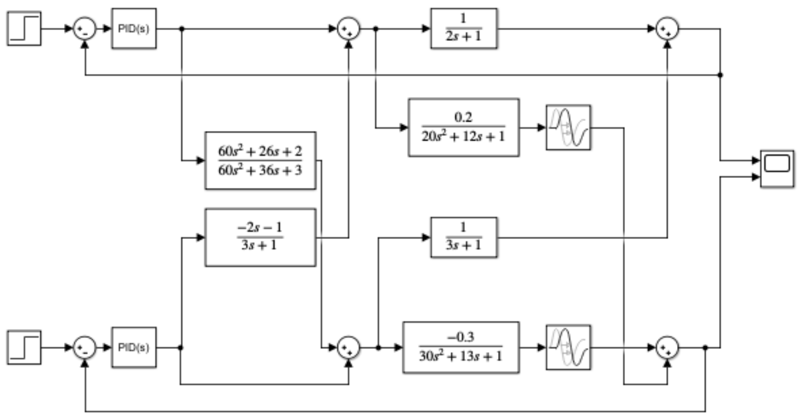


3）计算前馈补偿控制器，并给出前馈补偿解耦控制系统的结构图，以及仿真结果。

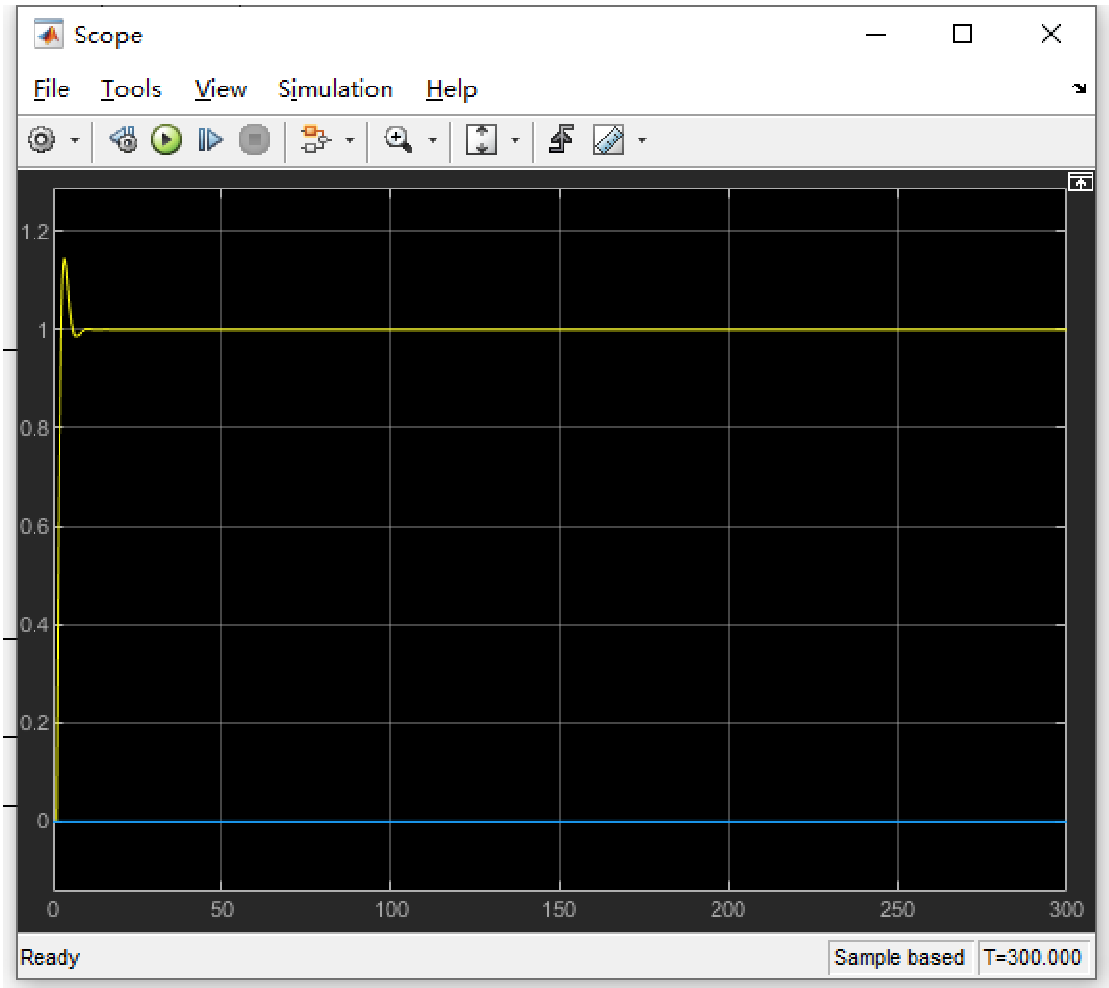
$$\begin{cases} U_{c1} N_{21} G_{22} + U_{c1} G_{21} = 0 \\ U_{c2} N_{12} G_{11} + U_{c2} G_{12} = 0 \end{cases}$$

解得 $N_{21} = -\dfrac{G_{21}}{G_{22}}$

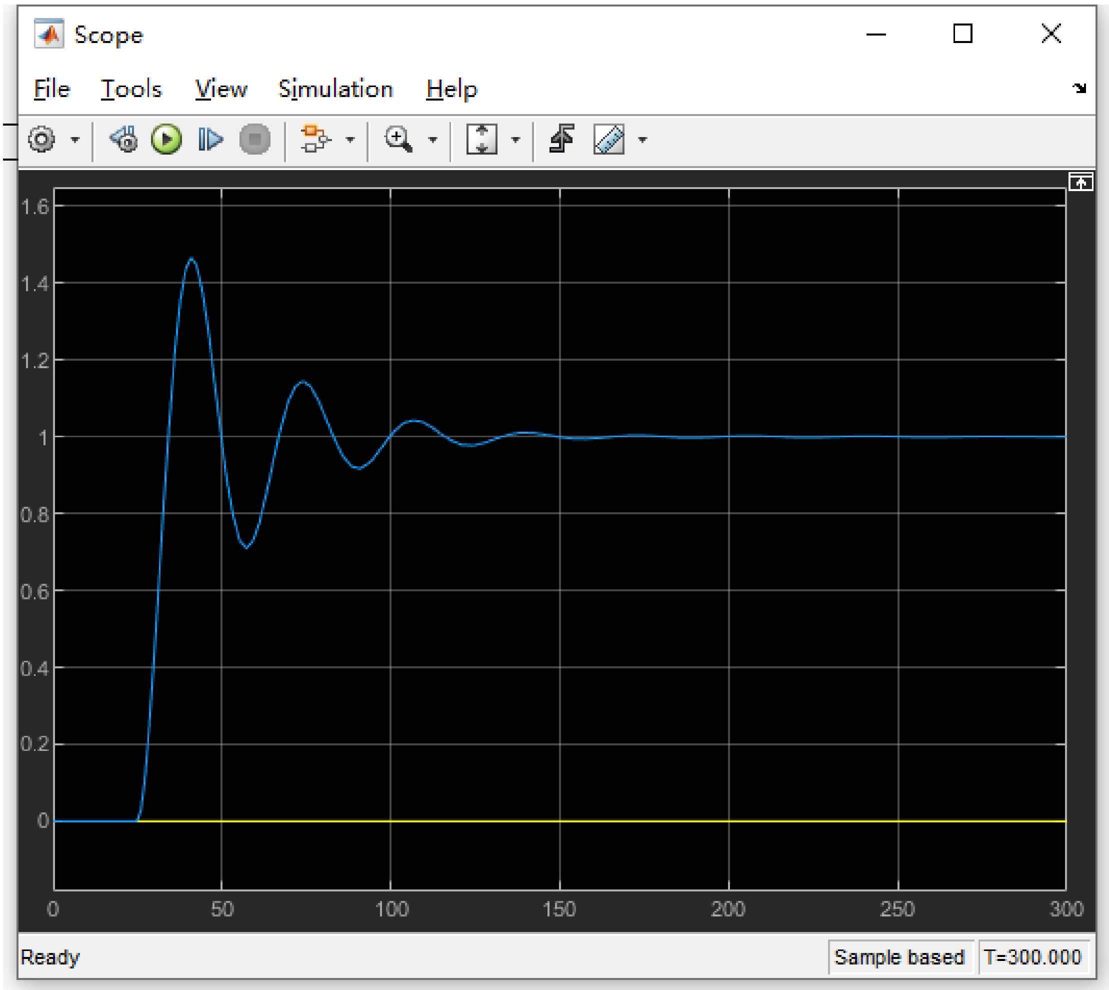
$$N_{12} = -\frac{G_{12}}{G_{11}}$$


PID(s)
PID(s)
$\frac{1}{2s+1}$
$\frac{0.2}{20s^2+12s+1}$
$\frac{60s^2+26s+2}{60s^2+36s+3}$
$\frac{-2s-1}{3s+1}$
$\frac{1}{3s+1}$
$\frac{-0.3}{30s^2+13s+1}$

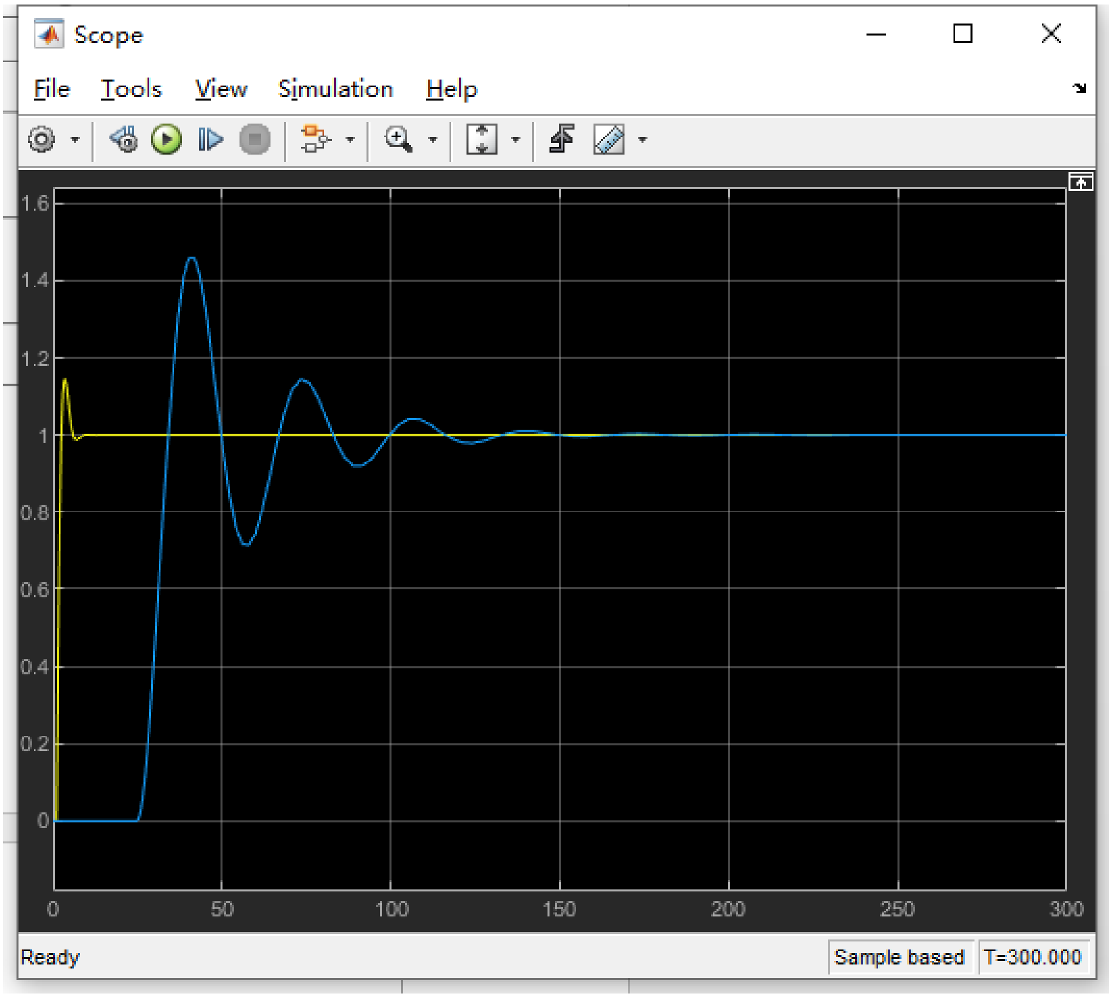
U1 阶跃


Scope
File Tools View Simulation Help
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
0 50 100 150 200 250 300
Ready
Sample based
T=300.000

U2 阶跃


Scope
File Tools View Simulation Help
1.6
1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
0 50 100 150 200 250 300
Ready
Sample based
T=300.000

U1 阶跃，U2 阶跃



4) 分析如果模型估计有误差的情况下，对前馈补偿解耦的影响?

若对模型估计存在误差，不能完全完成前馈补偿解耦。