



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

实验报告

开课学期：2022春季学期
课程名称：自动控制理论B
实验名称：直线电机一级倒立摆设计
实验性质：设计型
实验时间：2022.6.2 地点：K325 实验台号
学生专业：自动化
学生学号：190410102
学生姓名：方尧
评阅教师：
报告成绩：

一、实验目的

1. 了解状态反馈的原理
2. 通过直线电机一级倒立摆实验加深对状态反馈理解

二、实验设备

1. 直线电机一级倒立摆系统
2. 电脑 (装有 Matlab 平台)
3. 电控箱

三、实验原理

由数学建模得到的模型可知, 传递函数如下

$$\frac{\Phi(s)}{R(s)} = \frac{3}{s^2 - 29.4}$$

设计过程如下:

① 四状态反馈

状态方程为:

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \ddot{x} \\ \dot{\phi} \\ \ddot{\phi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 29.4 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ \dot{x} \\ \phi \\ \dot{\phi} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 3 \end{bmatrix} [\ddot{x}]$$

$$y = \begin{bmatrix} x \\ \phi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ \dot{x} \\ \phi \\ \dot{\phi} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} [\ddot{x}]$$

系统特征多项式为 $\det(sI - A) = s^4 - 29.4s^2$

设定期望闭环极点如下

$$\begin{cases} s_1 = -2 \\ s_2 = -3 \\ s_{3,4} = -4 \pm 3i \end{cases}$$

闭环系统特征多项式为

$$(s-s_1)(s-s_2)(s-s_3)(s-s_4) = s^4 + 13s^3 + 71s^2 + 173s + 150$$

$$\bar{K} = [-150 \quad -173 \quad -100.4 \quad -13]$$

$$P = [b \quad Ab \quad A^2b \quad A^3b] \begin{bmatrix} 0 & -29.4 & 0 & 1 \\ -29.4 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$k = \bar{K} \cdot P^{-1} = [5.102 \quad 5.8844 \quad -35.1673 \quad -6.2948]$$

② 三状态反馈

状态方程为:

$$\begin{bmatrix} \ddot{\phi} \\ \dot{\phi} \\ \ddot{x} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 29.4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \phi \\ \dot{\phi} \\ \dot{x} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 3 \\ 1 \end{bmatrix} [\ddot{x}]$$

$$y = [\phi] = [1 \quad 0 \quad 0] \begin{bmatrix} \phi \\ \dot{\phi} \\ \dot{x} \end{bmatrix} + [0] [\ddot{x}]$$

系统特征多项式为 $\det(sI-A) = s^3 - 29.4s$

设定期望闭环极点如下

$$\begin{cases} s_1 = -5 \\ s_{2,3} = -4 \pm 3i \end{cases}$$

闭环系统特征多项式为

$$(s-s_1)(s-s_2)(s-s_3) = s^3 + 13s^2 + 65s + 125$$

$$\bar{K} = [-125 \quad -94.4 \quad -13]$$

$$P = [b \quad Ab \quad A^2b] \begin{bmatrix} -29.4 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$k = \bar{k} \cdot P^{-1} = [-31.4 \quad -5.75 \quad 4.25]$$

③ 二状态反馈

状态方程为:

$$\begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ \ddot{\phi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 29.4 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \phi \\ \dot{\phi} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 3 \end{bmatrix} [\ddot{x}]$$

$$y = [\phi] = [1 \quad 0] \begin{bmatrix} \phi \\ \dot{\phi} \end{bmatrix} + [0] [\ddot{x}]$$

系统特征多项式为 $\det(sI - A) = s^2 - 29.4$

设定期望闭环极点如下

$$s_{1,2} = -4 \pm 3i$$

闭环系统特征多项式为

$$(s - s_1)(s - s_2) = s^2 + 8s + 25$$

$$\bar{k} = [-54.4 \quad -8]$$

$$P = [b \quad Ab] \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$$

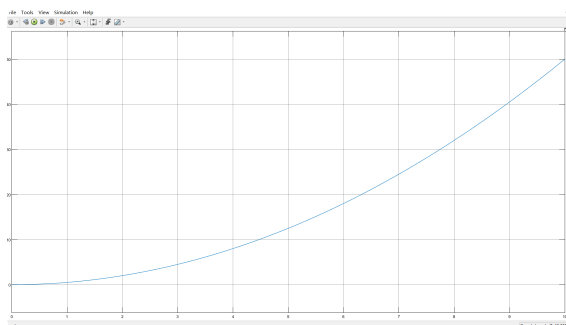
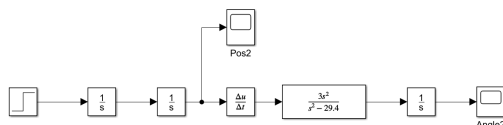
$$k = \bar{k} \cdot P^{-1} = [-18.13 \quad -2.67]$$

四 实验步骤

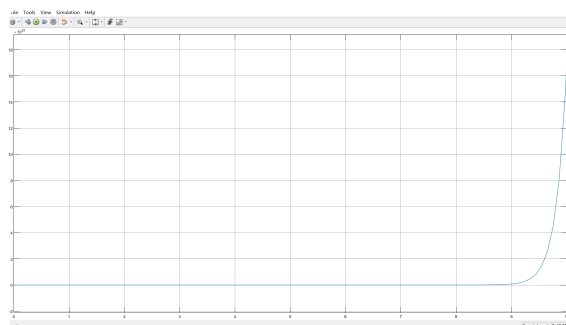
1. 分别对四状态、三状态、二状态进行状态反馈控制器设定，使闭环系统稳定
2. 分别绘制加入控制器前后阶跃响应曲线
3. 将计算好的控制器增益代入实时控制程序，观察实验现象并记录响应曲线。

五 实验结果分析

① 未引入反馈时系统阶跃响应如下：

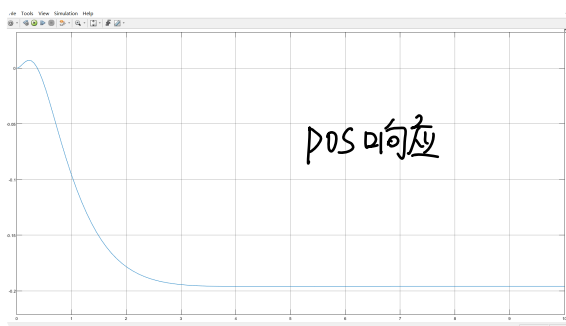
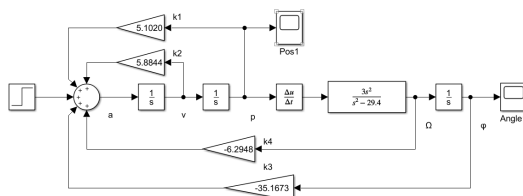


Pos 响应

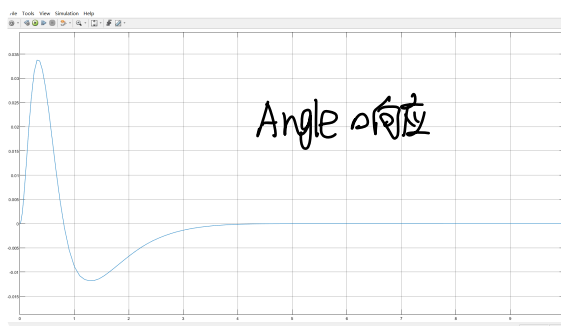


Angle 响应

② 引入四状态反馈

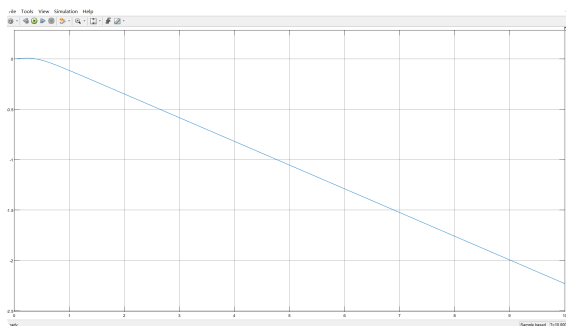
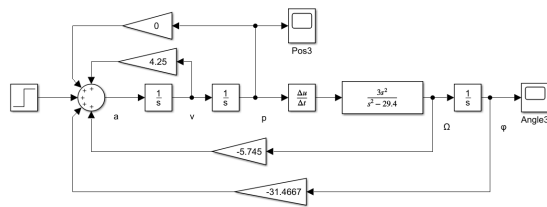


Pos 响应

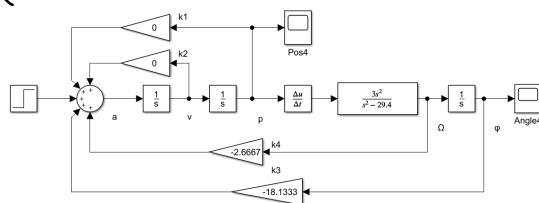


Angle 响应

③引入三状态反馈

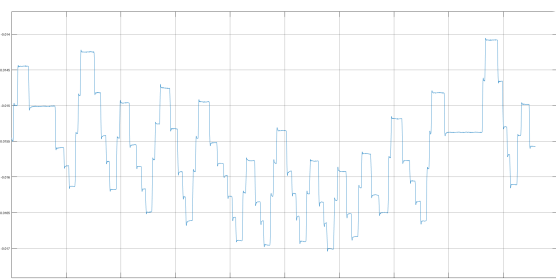
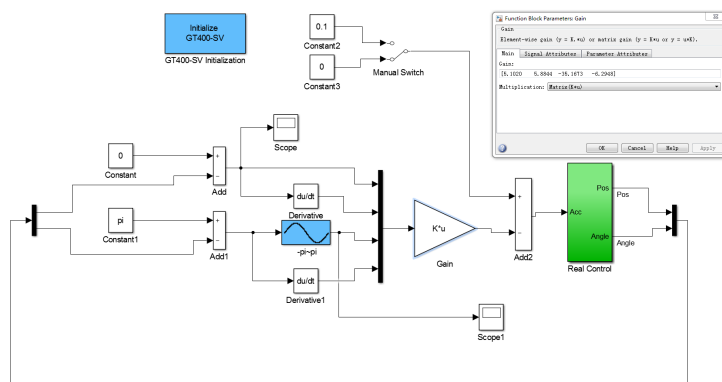


④ 引入二状态反馈

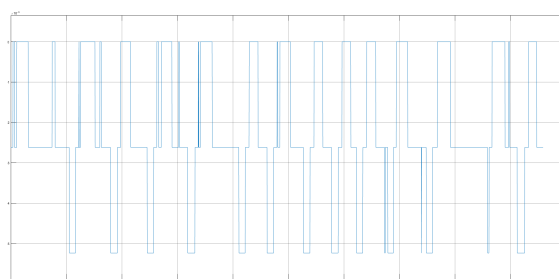


实验实时控制界面

① 四状态反馈

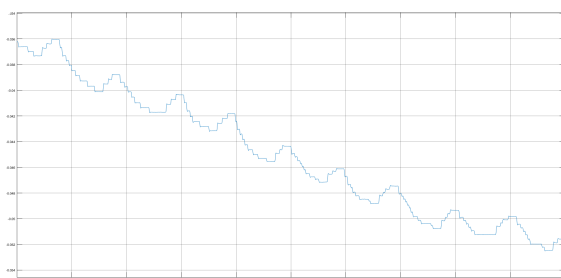
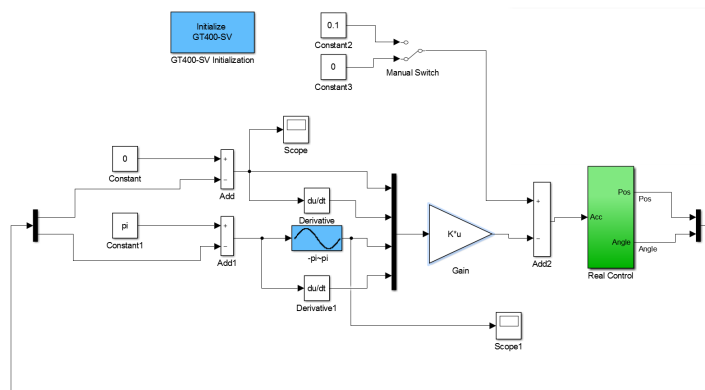


POS 响应

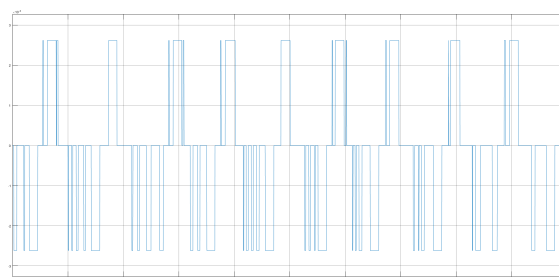


Angle 响应

② 三状态反馈

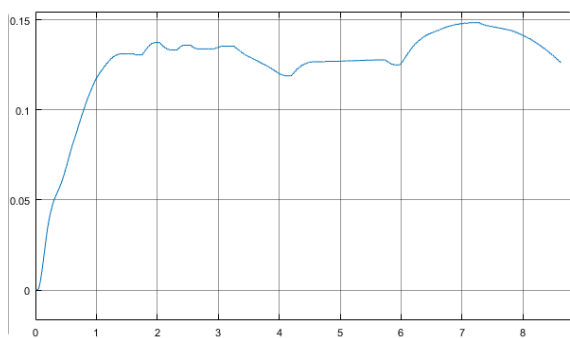
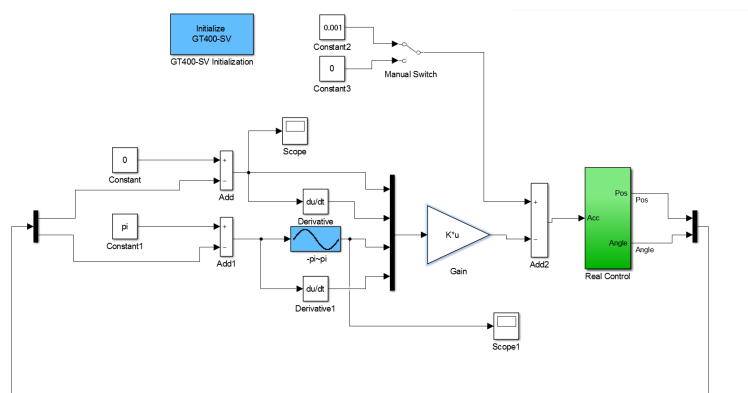


POS 响应

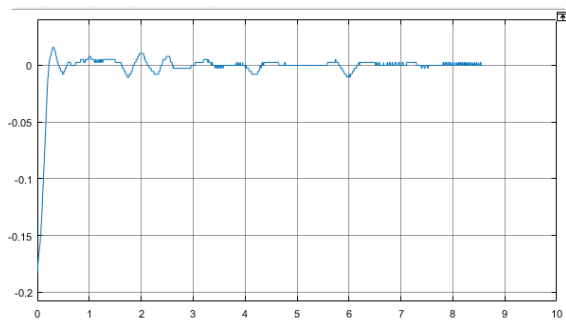


Angle 响应

③ 二状态反馈



pos 响应曲线



Angle 响应曲线

由四状态反馈、三状态反馈、二状态反馈响应曲线知, 由于四状态、对位置进行了反馈, 位置基本无差; 但是三状态、二状态、由于未引入位置反馈, 位置不能控制, 三状态向一边移动, 二状态则位置误差更为明显。