



院(系): 智能工程学院

组号: 第一组

组长: 方桂安

日期: 2022.12.15

实验名称: 一级倒立摆系统根轨迹校、PID

校正实验

一、实验目的

1. 掌握根轨迹分析方法;
2. 使用根轨迹法校正直线一级倒立摆;
3. 掌握 PID 控制方法;
4. 使用 PID 法校正直线一级倒立摆。

二、小组成员

1. 方桂安: 20354027, 负责仿真
2. 刘梦莎: 20354091, 负责仿真
3. 陈石翰: 20354019, 负责仿真以及报告撰写
4. 刘恩骐: 20354086, 负责仿真
5. 刘 玥: 20354229, 负责仿真

三、实验任务

1. 设计根轨迹校正环节使系统性能指标达到: $t_s \leq 1s$, $\sigma \leq 10\%$;
2. 设计 PID 校正环节使系统性能指标达到: $t_s \leq 1s$, $\sigma \leq 10\%$;

四、实验设备

1. 一级倒立摆本体、倒立摆电控箱、PC 机 (Matlab 平台、运动控制卡)

五、实验原理

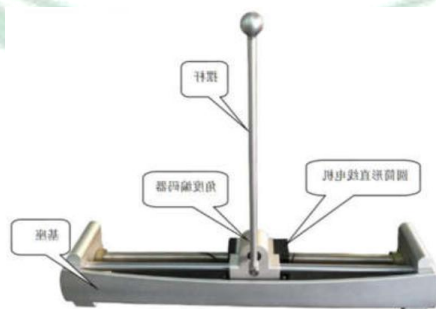
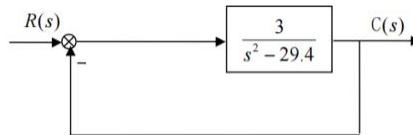


图 5-1 一级倒立摆系统

系统传递函数：

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

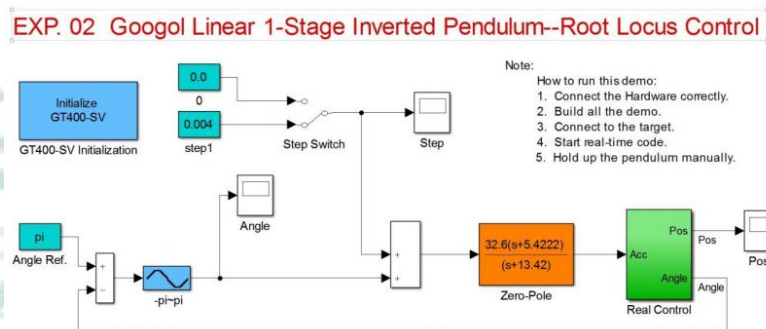


六、 实验步骤

任务 1：一级倒立摆系统根轨迹校正

(1) 打开倒立摆电控箱上的电源按钮，然后将**倒立摆小车扶至导轨中间位置**。

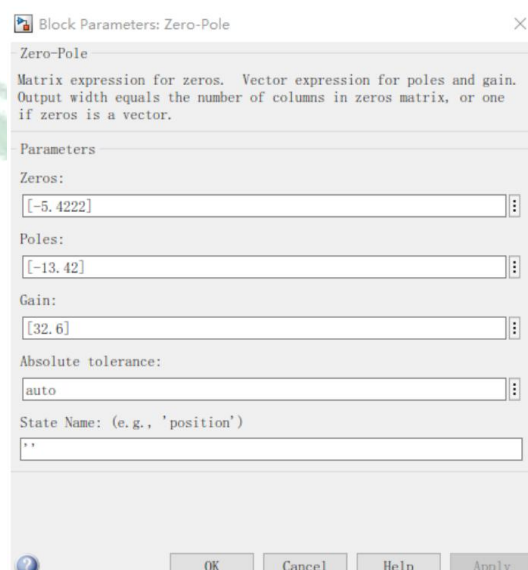
(2) MATLAB 输入 gtbox，点击进入：Inverted Pendulum/Linear Motor Driven/GLM1SIP-II/C-Typed Linear Motor-Acc/2-Root Locus”
/“Real Time Control”程序，弹出如图所示的实时控制界面。



实时控制图

模块说明：由于倒立摆运动中，不可避免地会受到各种因素的干扰，即使在平衡状态，角度、位移也会在一定范围内波动。因此，可以通过在输入端加入恒定的一个小阶跃信号，补偿各种干扰对倒立摆稳定造成的影响，即静态补偿的方法，使倒立摆系统静态稳定。

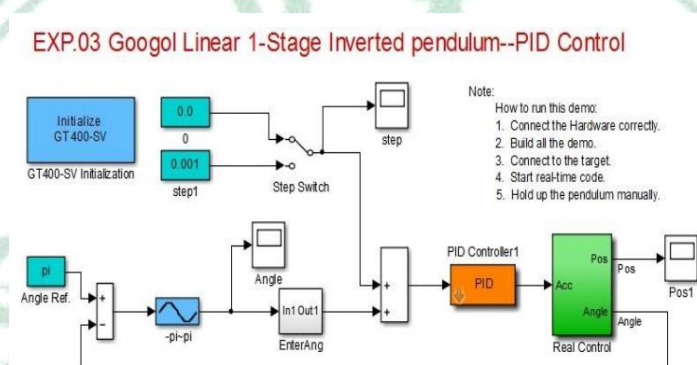
Zero-Pole 参数配置如下图：



控制器形式及参数	增益 K	超调量 σ	调节时间 t_s	系统是否稳定?
$K \frac{s+5.4222}{s+13.42}$	29	0	1.72	稳定
	32	0.936%	0.831	稳定
	35	4.42%	1.05	稳定

任务 2: 一级倒立摆系统 PID 校正

- (1)打开倒立摆电控箱上的电源按钮，然后将倒立摆小车扶至导轨中间位置。
- (2)进入“.../C-Typed Linear Motor-Acc/ 3-PID Control”路径下的“Real Time Control”，弹出实时控制界面。



- (5) 改变控制器 PID 的参数值, 并把实验数据填入下表(实验数据源于上次的仿真实验):

控制器参数	PID 参数	系统性能
$\frac{K_d s^2 + K_p s + K_i}{s}$	$K_p = 400, K_D = 2000, K_i = 40$	$t_s = 0.264s, \sigma = 7.9\%$
	$K_p = 500, K_D = 2500, K_i = 50$	$t_s = 0.239s, \sigma = 6.37\%$
	$K_p = 600, K_D = 3000, K_i = 60$	$t_s = 0.217s, \sigma = 5.33\%$

七、实验结果

由于实物系统存在着误差与外界环境因素的干扰，无法完全达到仿真中稳定的效果。最终我们在以下两种条件下完成了实物实验：

- 1.对于任务 1 的根轨迹矫正，我们在原有的校正系统前添加了一个超前校正项： $\frac{s+1}{s+18}$ ，并设置增益 $K = 38.6$ ，使得一阶倒立摆系统得以稳定。最终摆杆角度输出响应图如下图 1 所示。
- 2.对于任务 2 的 PID 矫正，我们在原有的校正系统前添加了一个超前校正项： $\frac{s+2}{s+9}$ ，并设置 $K_p = 25$ ， $K_D = 5$ ， $K_i = 5$ ，使得一阶倒立摆系统得以稳定。最终摆杆角度输出响应图如下图 2 所示。

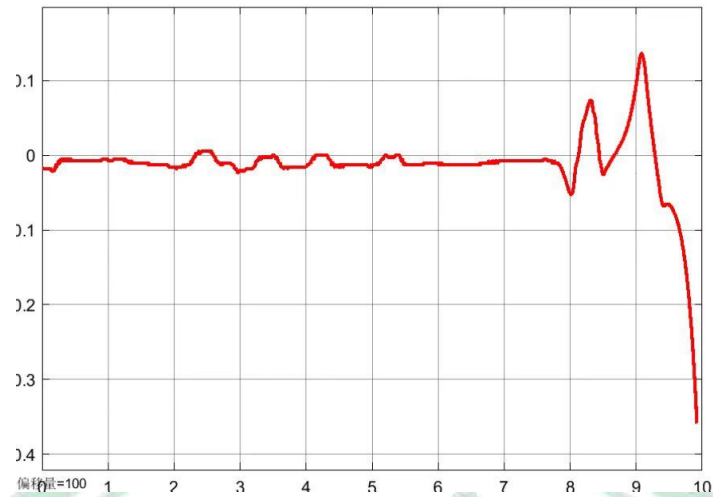


图 1 根轨迹矫正

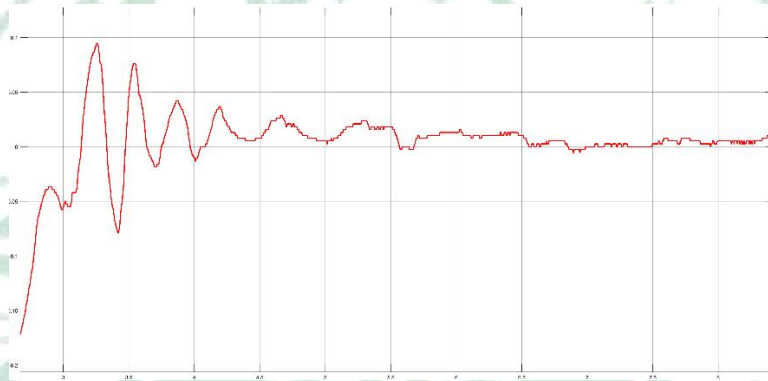


图 2 PID 矫正

八、 实验心得

通过上述实验，我们可以得到以下结论：

1. 增加了一个开环零点，使闭环极点可以远离虚轴，同时在 K 增大时， β 先增大后减小，超调量先增大后减小，调整时间在 K 增大时也会减小，不改变系统型别，所以不改变系统稳定精度。
2. 在虚轴左侧增加一个零点，右侧两个主导极点在 k 增大时， β 增大，超调量逐渐增大，距离虚轴距离基本不变，调节时间基本没有优化。系统型别发生变化，变为二阶系统，提高稳态精度。
3. 增加两个零点，优化了动态性能，使闭环极点有向左移动的趋势，减小超调量和调节时间。同时系统型别增加，稳态性能优化