



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：磁悬浮列车轨迹校正实验
实验性质：设计型
实验时间：2022.05.18 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

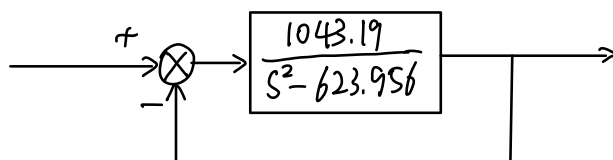
1. 了解根轨迹校正系统的原理
2. 利用根轨迹法设计磁悬浮的控制器

二、实验设备

1. GML2001 磁悬浮系统
2. 电脑 (装有 Matlab 平台)
3. 电控箱

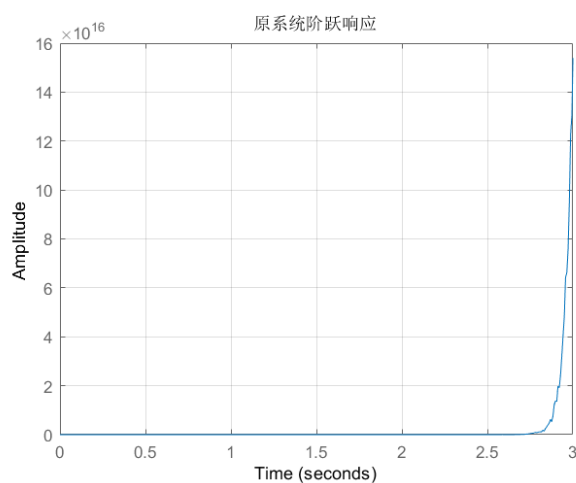
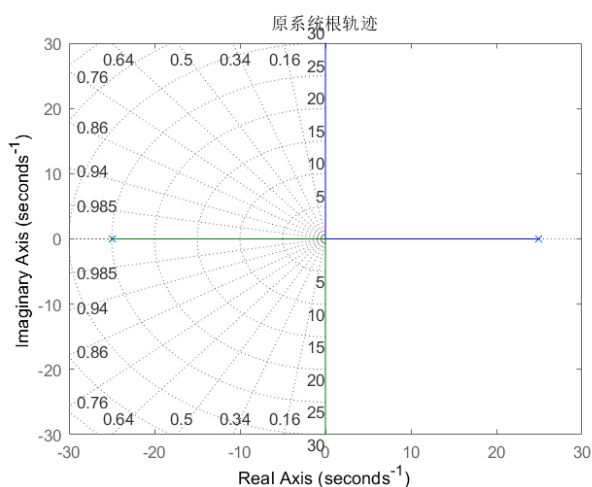
三、实验原理

未校正磁悬浮控制系统如下



$$\text{未校正开环传递函数 } G_0(s) = \frac{1043.19}{s^2 - 623.956},$$

原系统根轨迹及阶跃响应如下, 知该系统不稳定



现进行根轨迹校正,需将根轨迹左移,故设计超前环节

$$\begin{cases} \sigma\% = e^{-\frac{\xi\pi}{\sqrt{1-\xi^2}}} \leq 1.5\% \\ t_s = \frac{4}{\xi\omega_n} \leq 0.04 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \xi \geq 0.81 \\ \xi\omega_n \geq 100 \end{cases}$$

方便计算,取 $\xi = 0.81$, $\omega_n \geq \frac{100}{0.81} = 123.46$ 取 $\omega_n = 130$

$$\text{故 } \theta = \arccos \xi = 35.9^\circ$$

$$\text{主导极点 } s_{1,2} = -\xi\omega_n \pm j\omega_n\sqrt{1-\xi^2} = -105.3 \pm j76.2$$

$$\begin{aligned} \varphi &= (2l+1)180^\circ - G_0(s_1) = 180^\circ - \arctan \frac{76.2}{105.3 - \sqrt{623.956}} + \arctan \frac{76.2}{105.3 + \sqrt{623.956}} \\ &= 106.2^\circ \end{aligned}$$

$$\text{由定理4.1确定 } \begin{cases} p_c = -|s_1| \frac{\cos \frac{1}{2}(\varphi - \theta)}{\cos \frac{1}{2}(\varphi + \theta)} = -327.3 \\ z_c = -|s_1| \frac{\cos \frac{1}{2}(\varphi + \theta)}{\cos \frac{1}{2}(\varphi - \theta)} = -51.62 \end{cases}$$

$$\text{即 } G_c(s) = \frac{k_c(s+51.62)}{s+327.3}$$

$$\text{由幅值条件 } |G_c(s) \cdot G_0(s_1)| = 1 \text{ 可得 } k_c = 40.4$$

$$\text{即 } G_c(s) = \frac{40.4(s+51.62)}{s+327.3}$$

$$\text{开环增益 } k = \frac{40.4 \times 51.62}{327.3} \times \frac{1043.19}{623.956} = 10.653$$

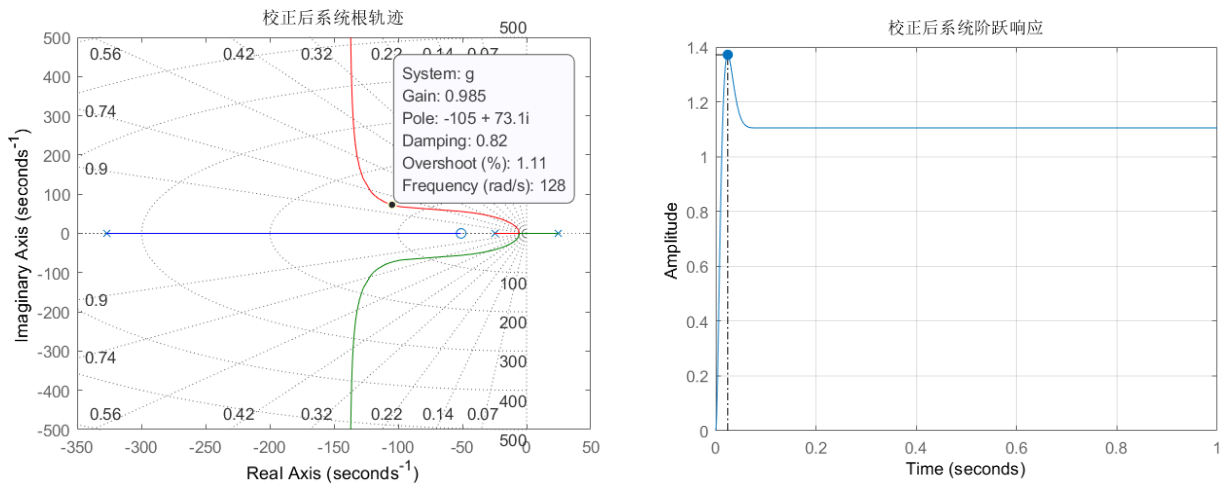
$$\text{理论稳态误差 } e_{ss0} = \frac{1}{1+k} = 0.086 < 0.1 \text{ cm}$$

根据实际实验结果,将校正模型调整为

$$G_c(s) = 40.4 \frac{s+51}{s+327}$$

$$\text{校正后 } G(s) = G_0(s) G_c(s) = \frac{1043.19}{s^2 - 623.956} \cdot \frac{40.4(s+51)}{s+327}$$

校正后系统根轨迹及阶跃响应如下



知校正后系统稳定, 稳态误差在0.1左右, 超调为38% (由后续实验可知虽超调较大, 但实际系统仍十分稳定)

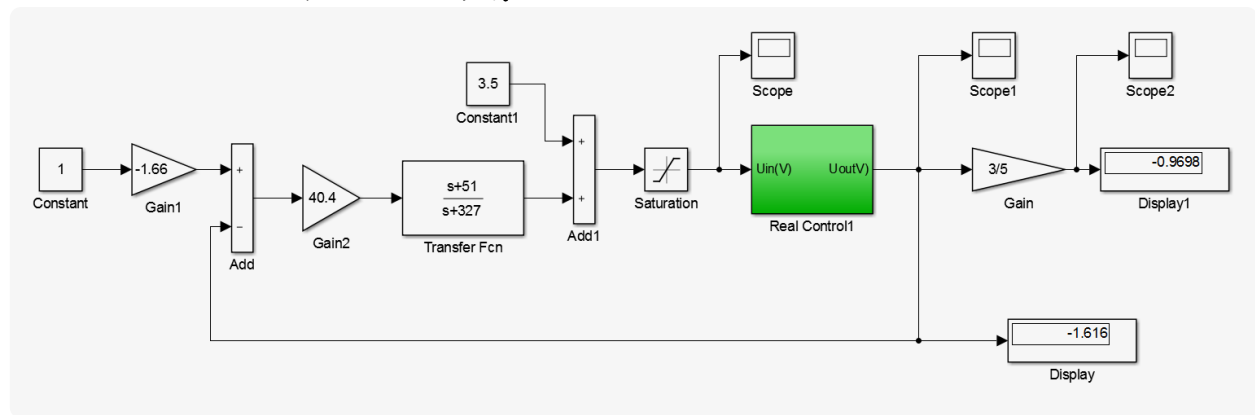
四, 实验步骤

1. 先进行理论设计, 设计出符合要求的校正环节
2. 对校正后理论系统绘制根轨迹和阶跃响应曲线

代码如下, 图形如前述所示

```
clc, clear, close all
%原系统根轨迹
g0=tf(1043.5, [1 0 -623.956]);
rlocus(g0), grid on, title("原系统根轨迹")
%阶跃响应
g=g0/(1+g0);
figure, step(g), grid on, title("原系统阶跃响应")
%校正后
gc=tf(40.4*[1 51], [1 327]);
g=g0*gc;
figure, rlocus(g), grid on, title("校正后系统根轨迹")
g=g/(1+g);
figure, step(g, 1), grid on, title("校正后系统阶跃响应")
```

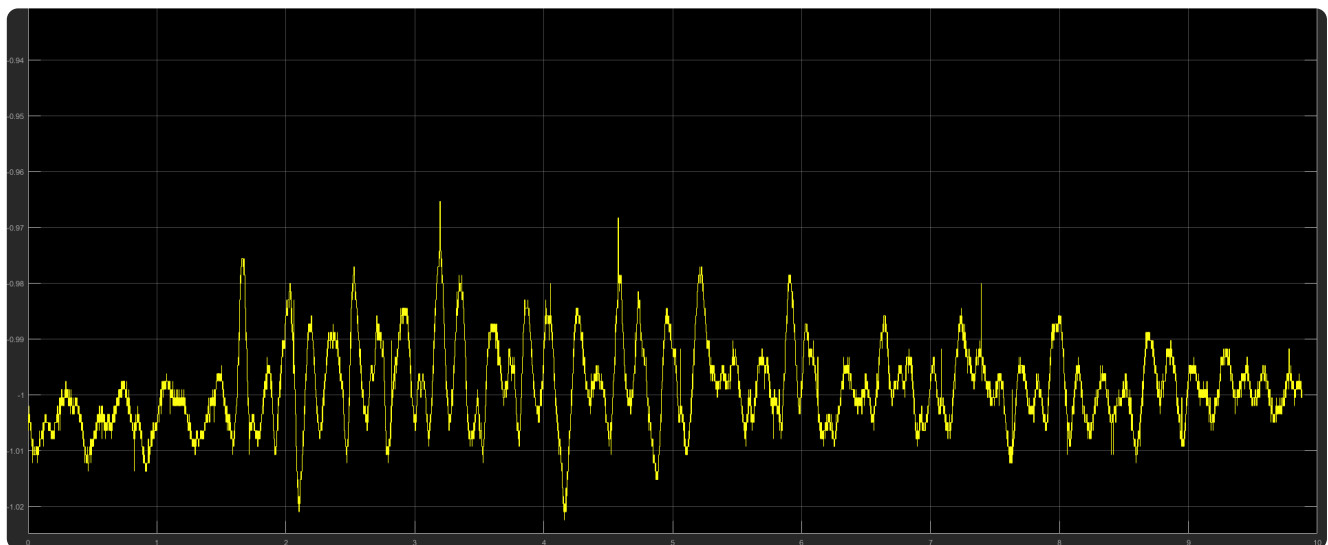
3. 搭建校正后的实物simulink模型如下, 仿真, 控制小球维持稳定, 截取响应图像, 得出结果



五、实验结果分析

由上图输出示数和下图干扰波删可知,
稳态误差在 0.4mm 内 < 1mm, 满足要求
外界加入一定干扰, 恢复过程如下

scope2 输出图形



可知系统具有一定的抗干扰性, 并能回到稳定状态, 实验成功

六 思考问题 无