

自动控制理论 B

磁悬浮根轨迹校正实验报告

实验名称：磁悬浮根轨迹校正实验

姓名：Fweil

学号：????

班级：?????

撰写日期：????????

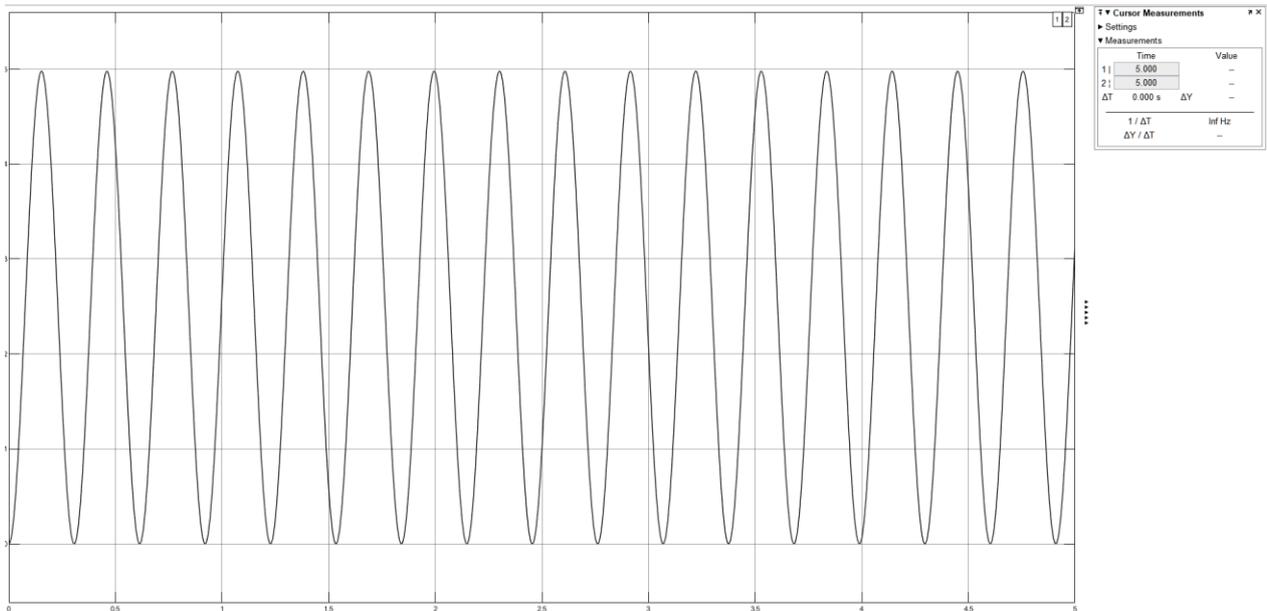
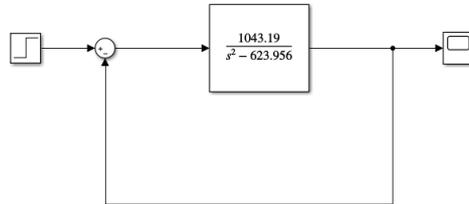
哈尔滨工业大学（深圳）

1. 校正前系统稳定性分析，有仿真图，有分析过程

被控对象含有右半平面极点，该系统闭环特征方程如下：

$$s^2 + 419.234 = 0$$

可知特征根在虚轴上，系统振荡。Simulink 仿真及单位阶跃响应如下：



2. 校正环节设计步骤与方法，手写，详细给出计算方法，和过程

题目要求闭环系统的单位阶跃响应满足 $\sigma_p \leq 15\%$, $t_s < 0.04s$ ($\Delta = 0.05$), 开环增益 $e_{ss} \leq 0.1cm$, 已知:

$$\sigma_p = e^{-\frac{\pi\xi}{\sqrt{1-\xi^2}}}$$

$$t_s = \frac{3.5}{\xi\omega_n} \quad (\Delta = 0.05)$$

可得 $\xi \geq 0.517$, $\xi\omega_n \geq 87.5rad/s$, 取 $\xi = 0.99$, $\omega_n = 260rad/s$, 则期望闭环主导极点如下:

$$s_{1,2} = -\xi\omega_n \pm j\omega_n\sqrt{1-\xi^2} = -257.4 \pm j36.7$$

将原函数化为

$$G_0(s) = \frac{k}{s^2 - 623.956}$$

由于保证开环增益 $K_p = -11s^{-1}$, 则 $k = -623.956K_p = 6863.516$, 且 $M = |s_1^2 - 623.956| = 67002.784$, 则

$$|G_0(s_1)| = \frac{k}{M} = 0.1024$$

选用超前校正环节使根轨迹左移, 超前环节的开环增益为1, 设超前校正环节的传递函数如下:

$$G_c(s) = \frac{|p_c| |s - z_c|}{|z_c| |s - p_c|}$$

为了满足幅值条件则有：

$$|G_0(s_1)G_c(s_1)| = 1$$

即

$$\frac{|p_c| |s_1 - z_c|}{|z_c| |s_1 - p_c|} = \frac{M}{k} = 9.7622$$

为了满足幅角条件则有：

$$\angle G_0(s_1) + \phi = (2l + 1)\pi$$

可得 $\phi = 163.622^\circ$ ，求解 η ：

$$\frac{1}{\tan\eta} = \frac{M}{k} \frac{1}{\sin\phi} - \frac{1}{\tan\phi}$$

即 $\eta = 1.5065^\circ$ ， $\theta = 8.1145^\circ$ ，进而求解校正环节零极点 (正弦定理)：

$$z_c = -|s_1| \frac{\sin\eta}{\sin(\eta + \theta)} = -40.899$$

$$p_c = -|s_1| \frac{\sin(\eta + \phi)}{\sin(\eta + \theta + \phi)} = -567.145$$

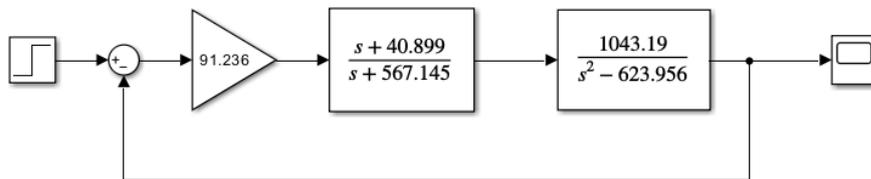
由此可知超前校正环节的传递函数如下：

$$G_c(s) = 13.867 \frac{s + 40.899}{s + 567.145}$$

校正后系统开环传递函数如下：

$$G(s) = G_0(s)G_c(s) = 13.867 \frac{k}{s^2 - 623.956} \frac{s + 40.899}{s + 567.145} = 91.236 \frac{1043.19}{s^2 - 623.956} \frac{s + 40.899}{s + 567.145}$$

3. 校正后，系统稳定性分析，使用 MATLAB，有仿真图，有分析过程。



其单位阶跃响应如下：



由图可知，其输入单位阶跃信号后。超调量在 15% 内，稳态误差为 0.1cm，调节时间接近 0.04s。

$$y(\infty) = 1.100$$

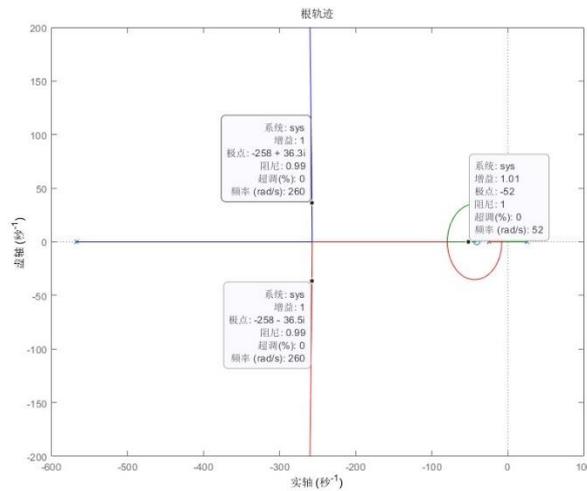
$$y_{max} = 1.217$$

$$\sigma_p = \frac{y_{max} - y(\infty)}{y(\infty)} \times 100\% = 10.64\% < 15\%$$

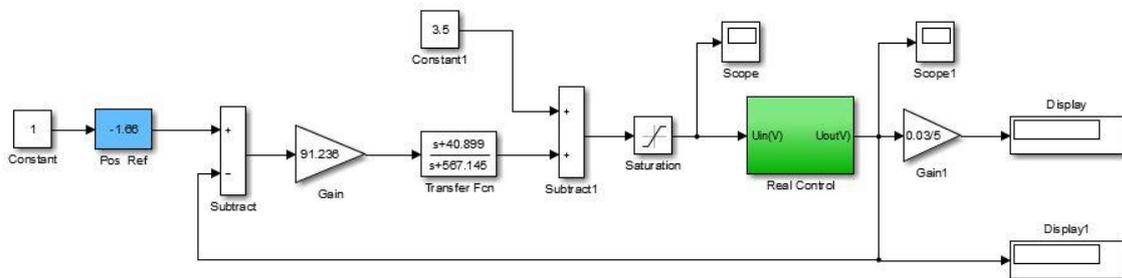
调节时间是在 $y(t_s)$ 处终止：

$$y(t_s) = 1.05y(\infty) = 1.155$$

其根轨迹曲线如下：

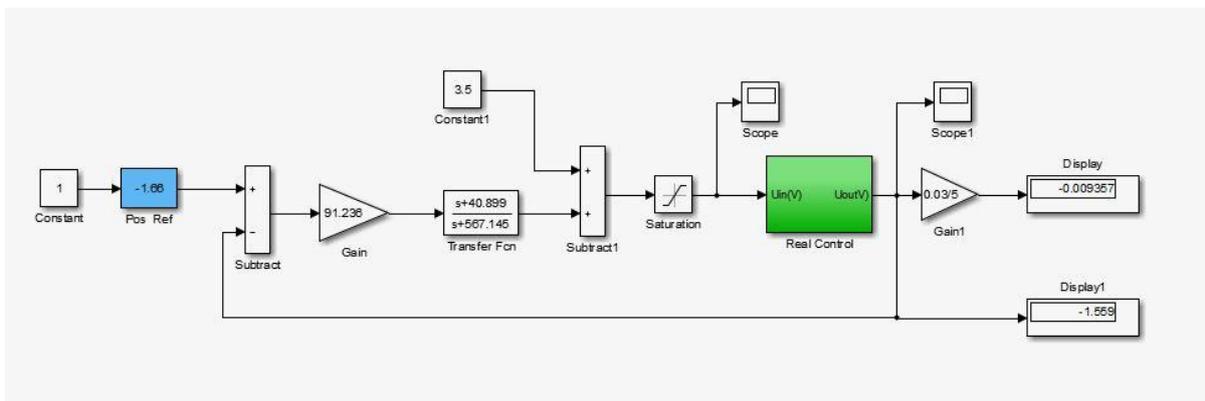


4、磁悬浮根轨迹校正控制的 MATLAB 程序搭建，将小球悬浮起来。



5、从实际系统运行角度，分析设计的控制器是否达到设计要求，如稳态误差在 1mm 以内。

由图可知稳态误差在 1mm 以内，满足设计要求。



6、给一定的干扰，系统是否能调整到稳定状态，如抗干扰性不强，可以修正校正的控制器模型。

根据下图可知，通过 Scope 和 Scope1 可知该模型可以抵抗一定的干扰并恢复稳态。

