

自动控制理论 B

直线电机一级倒立摆综合设计实验

实 验 名 称 ： 直线电机一级倒立摆综合设计实验

姓 名 ： 朱方程

学 号 ： SZ170410221

班 级 ： SZ1703202

撰 写 日 期 ： 2020. 7. 8

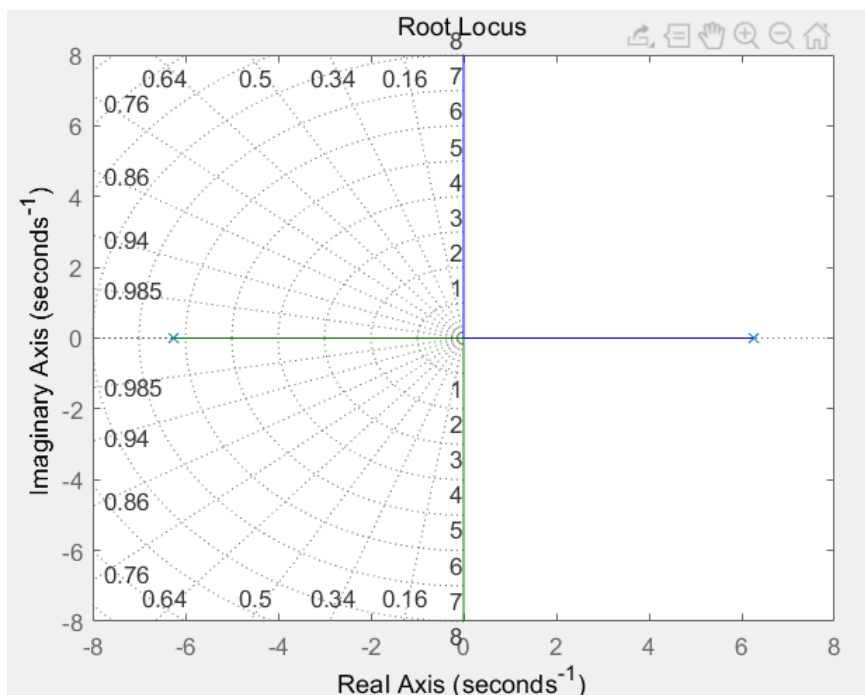
哈尔滨工业大学（深圳）

根据根轨迹法设计控制律

- 被控对象

$$G_0(s) = \frac{3}{s^2 - 29.4}$$

易知被控对象有一个在右半平面的极点，系统不稳定，利用matlab画出原系统的根轨迹



按照稳定性要求，希望使根轨迹往左移动，期望的闭环主导极点位于其左侧，可以通过串联超前校正环节使根轨迹左移。

根据指标：取 $\sigma_p \leq 8\%$, $t_s \leq 0.38s$

则有

$$\begin{cases} \xi \geq \cos(\arctan \frac{-\pi}{\ln \sigma_p}), \sigma_p \in (0, 1) \\ \omega_n > \frac{3.5}{t_s \xi} \end{cases}$$

取 $\xi = 0.6266$, $\omega_n = 14.6997$, 闭环主导极点为 $s_{1,2} = -9.2105 \pm 11.4564j$

- 则超前环节产生的幅角为

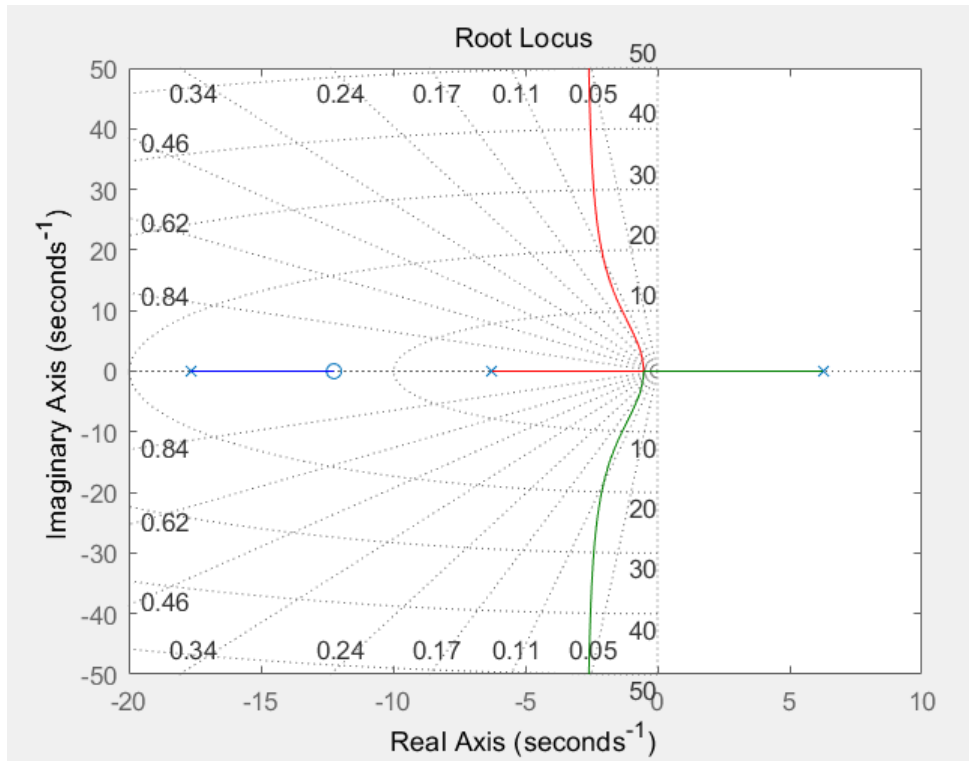
$$\phi = (2l + 1) \times 180^\circ - \angle G_0(s) = 67.8718^\circ$$

利用最小极零比法，求出超前校正环节的零极点为

$$\begin{cases} p_c = |s| \frac{\cos \frac{1}{2}(\theta - \phi)}{\cos \frac{1}{2}(\theta + \phi)} \\ p_c = |s| \frac{\cos \frac{1}{2}(\theta + \phi)}{\cos \frac{1}{2}(\theta - \phi)} \end{cases}$$

解得 $p_c = 17.6597, z_c = 12.2372$

检验得根轨迹为



期望的闭环主导极点仍在该根轨迹左侧，造成该误差的原因可能是磁悬浮系统的数学模型与实际的模型有较大误差，导致理论的校正环节无法满足所给的指标。

解决办法：将极点再往左移，可以使根轨迹继续左移，动态性能提高。取极点为-67.577

取增益为300，可获得很小的稳态误差。

故校正环节为

$$G_c = \frac{300(s + 12.2372)}{s + 67.577}$$

仿真结果显示系统稳定，但是实际的控制系统并不稳定，倒立摆无法稳定地倒立。

经排查，可能的原因是再推导倒立摆的模型时，出现了疏忽，从式 (3-10a) 推到 (3-10b) 时，应当为

$$2F_f + \frac{4}{3}ml\ddot{\phi} - mg\phi = m\ddot{x} \rightarrow \ddot{\phi} = \frac{29.4\phi}{4l} + \frac{3\ddot{x}}{4l} - \frac{6F_f}{4ml}$$

忽略 F_f 得到的被控对象传递函数应为

$$G_0(s) = \frac{4}{s^2 - 39.1}$$

设计校正环节

$$G_c = \frac{300(s + 11.429)}{s + 67}$$

用此控制器有较好的控制效果，倒立摆可以处于稳定。