



院(系):智能工程学院

组号:第1组

组长:方桂安

日期:2022.11.25

实验名称:磁悬浮小球频域法校正

## 一、实验目的

1. 掌握频域法分析系统稳定性;
2. 设计串联超前校正环节,仿真并应用于磁悬浮小球系统,使得使小球稳定悬浮于电磁铁下方 10mm 位置。

## 二、小组成员

1. 方桂安:20354027, 负责任务一,二,三
2. 刘梦莎:20354091, 负责任务一,二,三
3. 刘 玥:20354229, 负责全部任务及结果计算
4. 陈石翰:20354019, 负责全部任务及结果计算
5. 刘恩骐:20354086, 负责全部任务及报告撰写

## 三、实验任务、要求

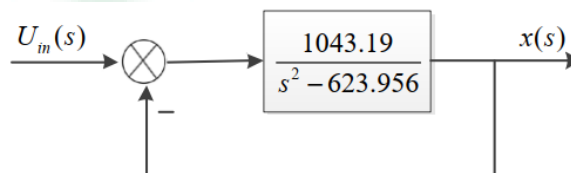
1. 设计串联超前校正控制器  $G_c(s)$ , 使得系统的静态位置误差系数为 5, 相角裕度不小于  $55^\circ$ ;
2. 仿真实验, 观察在设计的控制器  $G_c(s)$  作用下, 磁悬浮小球系统的性能指标是否满足要求;
3. 应用实验, 应用设计的超前校正控制器到实际的磁悬浮小球系统, 观察系统性能指标是否满足要求。

## 四、实验仪器、设备及材料

MATLAB/Simulink 平台

GML2001 磁悬浮系统

## 五、实验原理

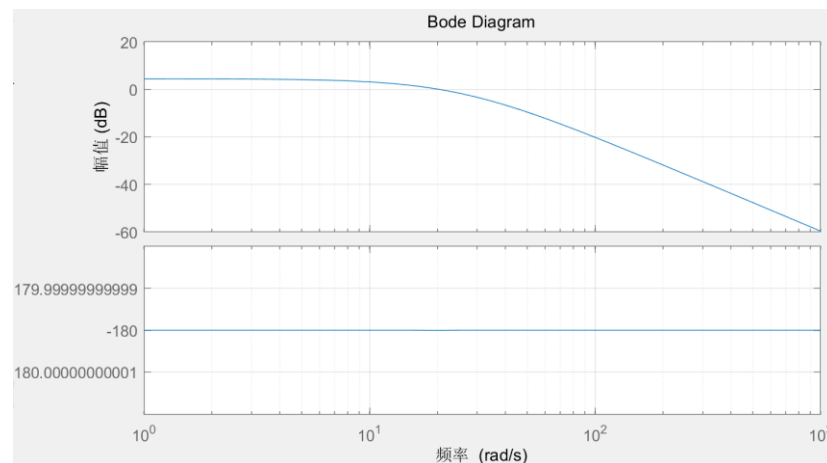


## 六、实验步骤及结果心得

任务 1: 串联超前校正控制器的设计

1) 在 MATLAB 中新建一个.m 文件，输入如下代码，保存并运行。

```
num=[1043.19];
den=[1 0 -623.956];
p=roots(den)
figure();
bode(num,den);
grid;
```



命令行窗口

```
>> Week13
```

```
p =
```

```
24.9791
```

```
-24.9791
```

```
fx>>
```

未校正系统不稳定；需要设计控制器，系统才能稳定。

2) 根据系统的 Bode 图，给系统增加一个超前校正装置。

设超前校正装置为：

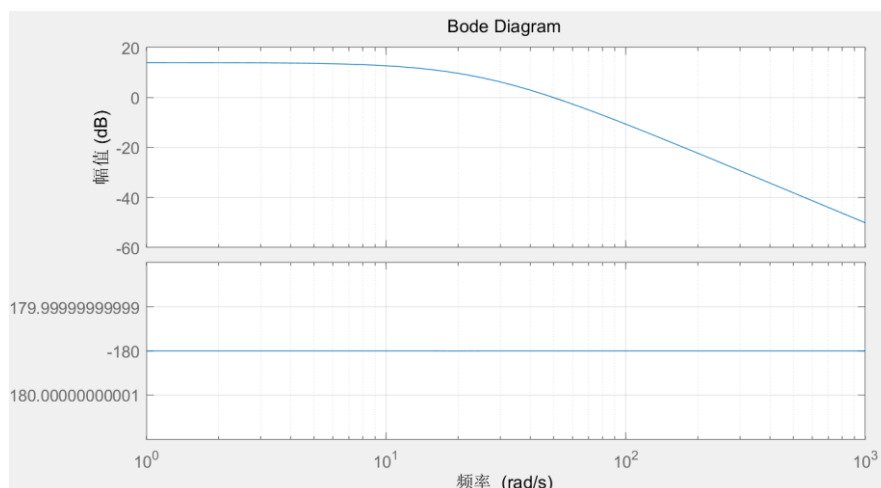
$$G_c(s) = K_c \alpha \frac{Ts + 1}{\alpha Ts + 1} = K_c \frac{s + \frac{1}{T}}{s + \frac{1}{\alpha T}}$$

校正后系统的开环传递函数：

$$\begin{aligned} G_c(s)G(s) &= K_c \alpha \frac{Ts + 1}{\alpha Ts + 1} \cdot \frac{1043.19}{s^2 - 623.956} \\ &= \frac{Ts + 1}{\alpha Ts + 1} \cdot \frac{K_c \alpha 1043.19}{s^2 - 623.956} = G_{c1}(s)G_1(s) \\ G_1(s) &= KG(s) = \frac{1043.19 \times 2.99}{s^2 - 623.956} \end{aligned}$$

3) 画出  $G_1(s)$  的 Bode 图

```
num=[1043.19*2.99];
den=[1 0 -623.956];
p=roots(den)
figure();
bode(num,den);
grid;
```



可观察到,  $G_1(s)$  的相角裕量为 0, 根据设计要求, 系统的相角裕度至少为  $55^\circ$ , 因此需要增加的相角裕度至少为  $55^\circ$ 。

校正后系统的开环传递函数为

$$G_{c1}(s)G_1(s) = \frac{Ts + 1}{\alpha Ts + 1} \cdot G_1(s)$$

在设计超前校正时, 环节  $G_{c1}(s) = \frac{Ts + 1}{\alpha Ts + 1}$  在  $\omega = \omega_m$  (最大超前角频率) 处, 提供的最大相角应大于  $55^\circ$ 。

$$\text{取 } \varphi(\omega_m) = 60^\circ$$

4) 计算参数  $\alpha$ 、 $T$

在  $\omega = \omega_m$  处, 最大超前角  $\varphi(\omega_m)$  只与  $\alpha$  相关, 且  $\sin \varphi(\omega_m) = \frac{1-\alpha}{1+\alpha}$ , 故  $\alpha = 0.0718$

校正后系统的开环传递函数为:

$$G_{c1}(s)G_1(s) = \frac{Ts + 1}{\alpha Ts + 1} \cdot G_1(s)$$

$$\frac{1}{T} = 27.96$$

校正装置为

$$G_c(s) = K_c \frac{s + 27.96}{s + 389.03}$$

$$K_c = \frac{K}{\alpha} = 41.64$$

校正后系统的开环传递函数为:

$$G_c(s)G(s) = 41.64 \frac{s + 27.96}{s + 389.03} \cdot \frac{1043.19}{s^2 - 623.956}$$

任务 2: 仿真实验

1) 在 MATLAB 中新建一个 .m 文件, 输入如下代码, 保存并运行。

k=41.64\*1043.19;

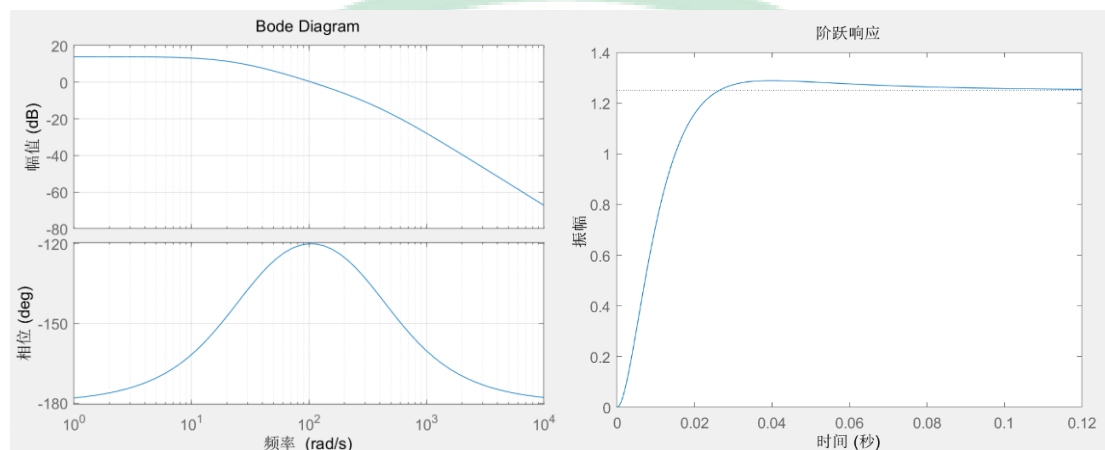
z=[-27.96];

```

p=[-389.03, 24.9791,-24.9791];
G=zpk(z,p,k);
figure();
bode(G);
grid;
figure();
G_closed=feedback(G,1);
step(G_closed);

```

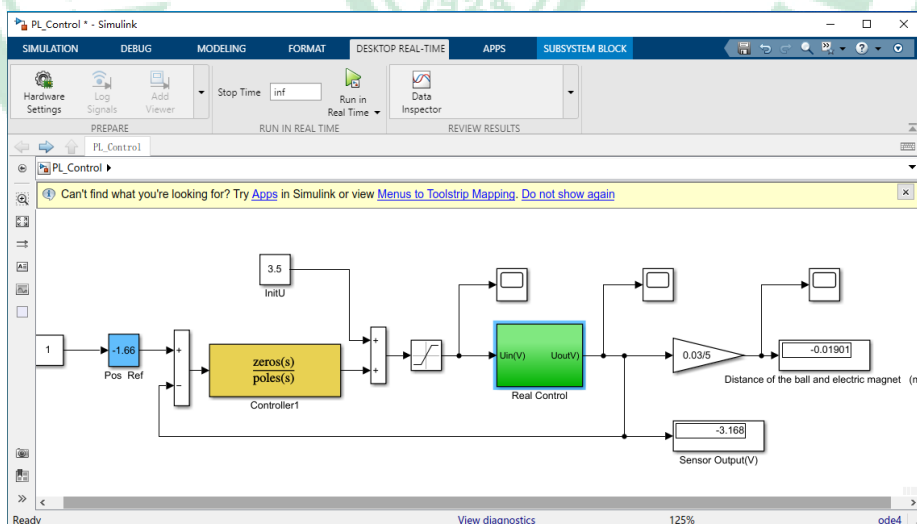
## 2) 画出校正后系统的 Bode 图



相角裕度满足要求，系统稳定。

## 任务 3：应用设计的控制器到实际的磁悬浮小球系统

1) 在 MATLAB 命令行输入 `gtbox` 后回车，打开 `gtbox` 工具箱中“MagLev”→→“GML2001-1711”→→“Frequency Response”下的“PL\_Control.slx”



Pos Ref 模块：位置转换成模拟电压，厘米转换成伏特；

Controller1 模块：频域法控制器；

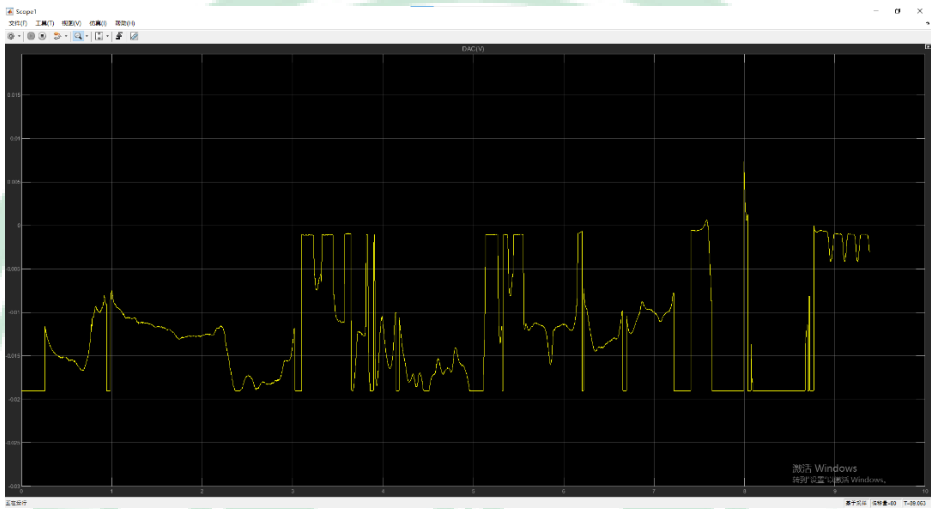
InitU 模块：平衡点的电压；

Gain 模块：电压转换成位置，伏特转换成米

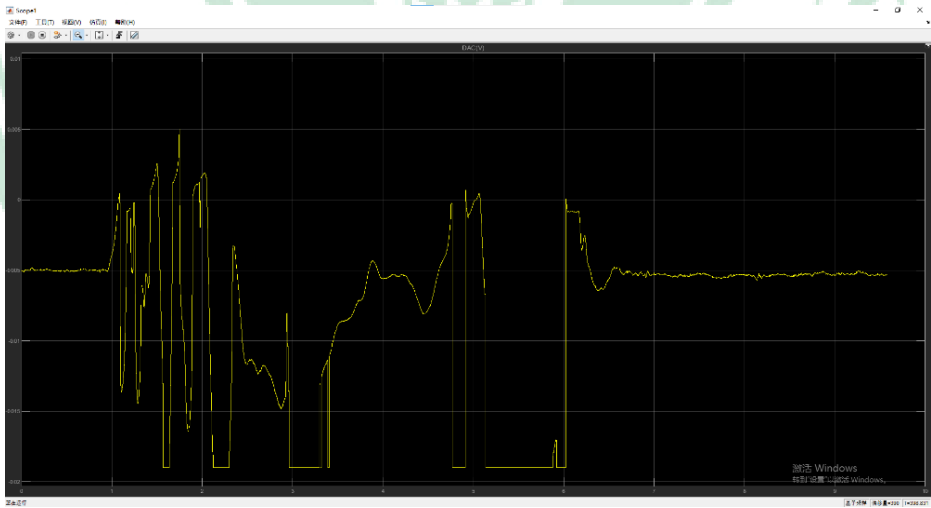
- 2) 运行程序；
- 3) 用手扶起小球，尝试将小球稳定地悬浮于距离电磁铁约 10mm 位置。
- 分析在不同 $\varphi(\omega_m)$ 值选取下（至少 3 组）系统响应有何变化，截图保存不同参数下系统的响应曲线，并填写下表。

| 校正器                          | 参数 $\alpha$ | 参数 T   | 浮球位置        |
|------------------------------|-------------|--------|-------------|
| $\varphi(\omega_m)=60^\circ$ | 0.0718      | 0.0358 | 距离电磁铁约 10mm |
| $\varphi(\omega_m)=65^\circ$ | 0.0491      | 0.0389 | 距离电磁铁约 10mm |
| $\varphi(\omega_m)=68^\circ$ | 0.0378      | 0.0414 | 距离电磁铁约 10mm |

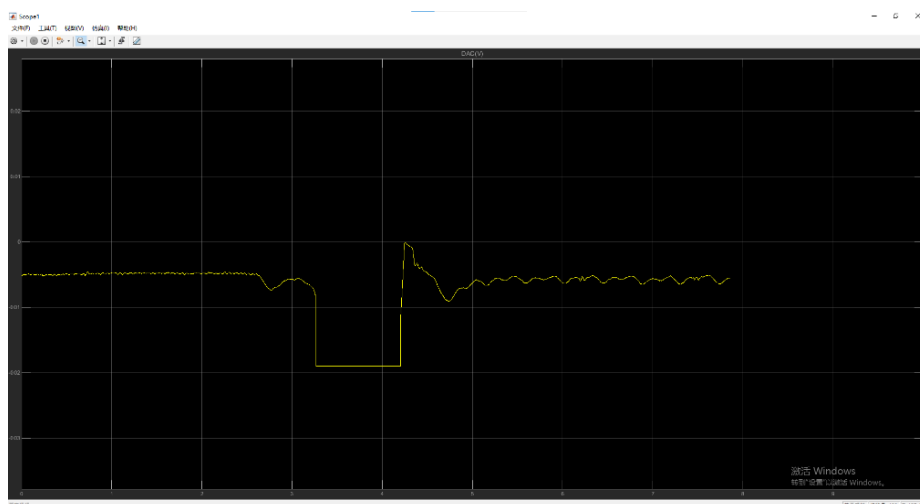
不同参数下系统的响应曲线分别如下所示：



$\varphi(\omega_m)=60^\circ$



$\varphi(\omega_m)=65^\circ$



$$\varphi(\omega_m)=68^\circ$$

通过对比在 $\varphi(\omega_m)$ 三组不同取值的情况下的阶跃响应曲线，可以看出随着 $\varphi(\omega_m)$ 取值的越来越大，校正过后的系统的相角裕度越来越大，系统越来越稳定即波动越来越小，但响应时间也相应地变长即响应的速度变慢了。