



中山大學

SUN YAT-SEN UNIVERSITY

# 自动控制原理第十三次实验报告

第六组

姓 名 张瑞程、孙大伟、钟镇宇

学 号 22354189、22354115、22354205

学 院 智能工程学院

专 业 智能科学与技术

2024 年 12 月 15 日

## 目录

<b>1 实验目的</b>	<b>1</b>
<b>2 实验任务/要求</b>	<b>1</b>
<b>3 实验仪器、设备及材料</b>	<b>1</b>
<b>4 实验原理</b>	<b>1</b>
<b>5 实验步骤</b>	<b>2</b>
5.1 任务一 . . . . .	2
5.2 任务二 . . . . .	3
5.3 任务三 . . . . .	3
<b>6 实验总结</b>	<b>7</b>
<b>7 实验心得</b>	<b>7</b>
7.1 频域分析的应用重要性 . . . . .	7
7.2 数据处理与分析技巧 . . . . .	7
7.3 实验中控制系统的挑战 . . . . .	7
7.4 跨学科的结合与实践 . . . . .	7

## 1 实验目的

1. 掌握频域法分析系统稳定性；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。
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。

## 2 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。

## 3 实验仪器、设备及材料

- GML2001 磁悬浮系统
- 计算机
- Matlab 平台
- 电控箱

## 4 实验原理

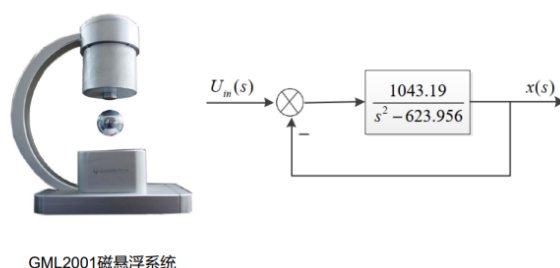


图 1: 实验原理图

## 5 实验步骤

### 5.1 任务一

#### 串联超前校正控制器的设计

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

图 2: 未校正系统代码

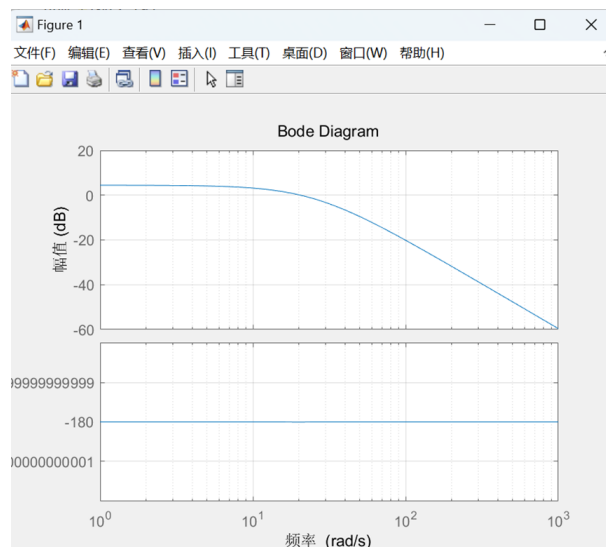


图 3: 未校正系统伯德图

```

%%
omega = 75;
alpha = (1 - sind(omega)) ./ (1 + sind(omega));
syms w
equ = abs(1043.19*2.989752/(-w^2-623.956))-sqrt(alpha) == 0;
w = solve(equ, w);
w = double(w(find(w>0)));
T = 1 ./ w ./ sqrt(alpha);
K = 2.989752;
Kc = K ./ alpha;
num = conv(Kc, [1, 1./T]);
den = [1, 1./alpha./T];
[z,p,k] = tf2zpk(num, den);
num = conv(Kc, conv([1, 1./T], 1043.19));
den = conv([1, 1./alpha./T], [1, 0, -623.956]);
Gs = tf(num, den);
figure(1);
bode(Gs);
grid on;
figure(2);
step(feedback(Gs, 1));

```

图 4: 校正系统设计的代码

## 5.2 任务二

FandolKai-Regular

1. 在 matlab 中新建一个.m 文件，输入如下代码，保存并运行。
2. 画出校正后系统的 Bode 图
3. 画出阶跃信号下系统的输出

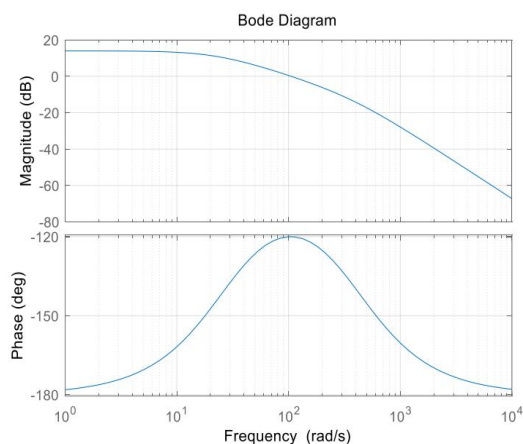
```

num = conv(Kc, conv([1, 1./T], 1043.19));
den = conv([1, 1./alpha./T], [1, 0, -623.956]);
Gs = tf(num, den);
figure(1);
bode(Gs);
grid on;
figure(2);
step(feedback(Gs, 1));

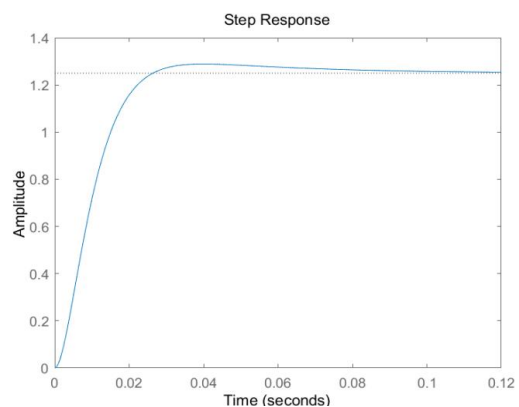
```

图 5: 校正系统伯德图代码

相角裕度满足要求



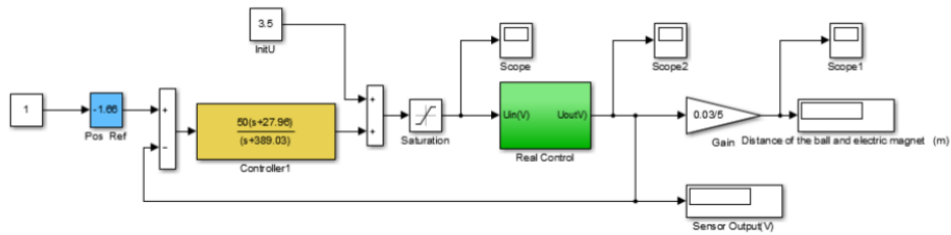
画出阶跃信号下系统的输出



## 5.3 任务三

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”



1. Pos Ref 模块: 位置转换成模拟电压, 厘米转换成伏特;
2. Controller1 模块: 频域法控制器;
3. InitU 模块: 平衡点的电压;
4. Gain 模块: 电压转换成位置, 伏特转换成米

图 6: 任务三题目


- 2) 点击  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。

图 7: 任务三题目 2

分析在不同值选取下 (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	参数器 a	参数 T	浮球位置
$\phi = 60$	0.0718	0.0356	1.16
$\phi = 65$	0.0491	0.0389	0.82
$\phi = 68$	0.0378	0.0414	0.8
$\phi = 75$	0.0173	0.05	0.2

表 1: 参数表

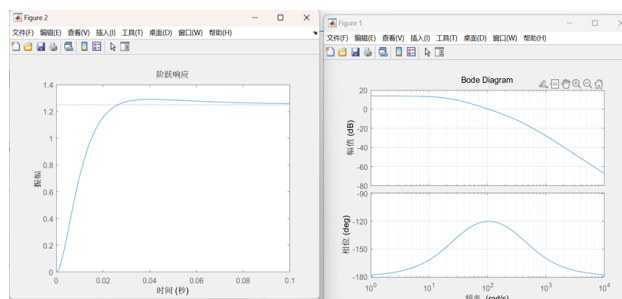


图 8:  $\phi = 60$  响应曲线和伯德图

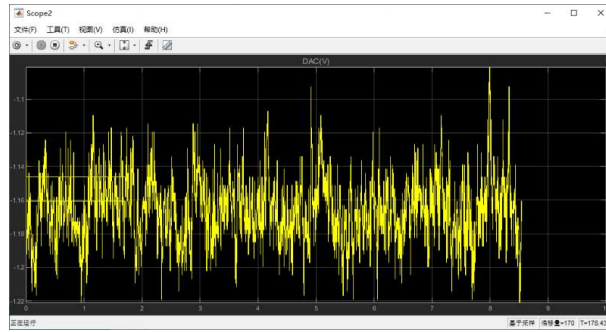


图 9:  $\phi = 60$  示波器曲线

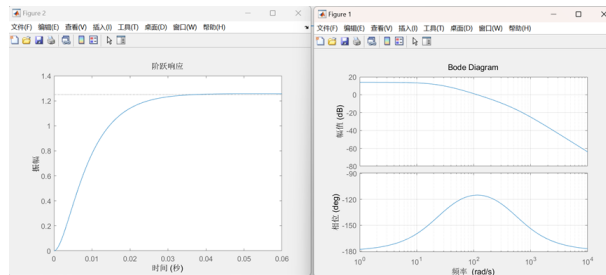


图 10:  $\phi = 65$  响应曲线和伯德图

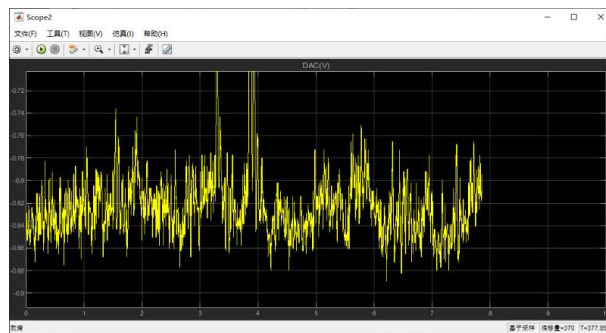


图 11:  $\phi = 65$  示波器曲线

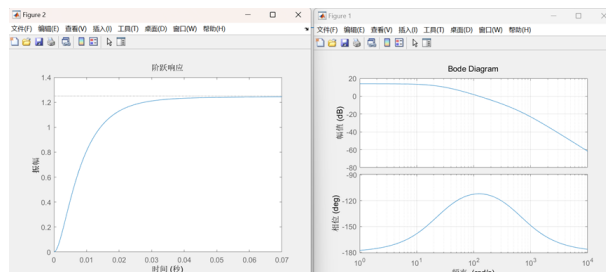
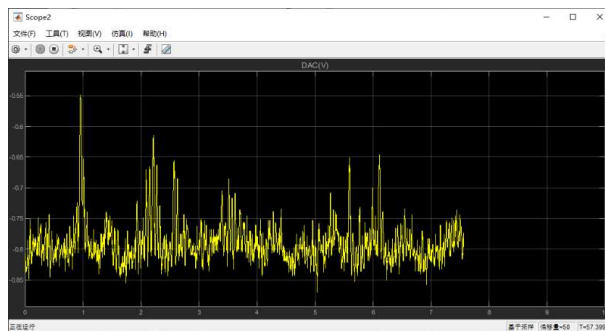
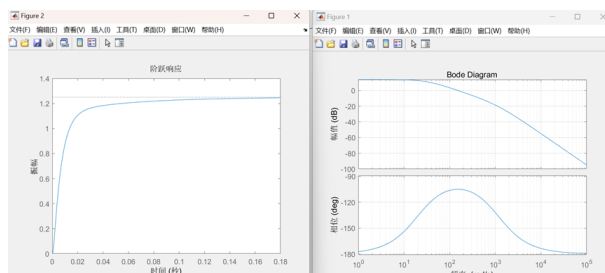
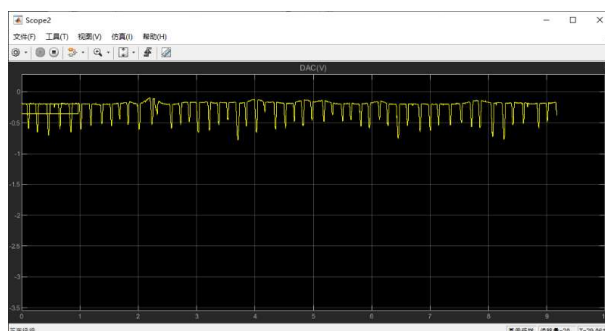


图 12:  $\phi = 68$  响应曲线和伯德图

图 13:  $\phi = 68$  示波器曲线图 14:  $\phi = 75$  响应曲线和伯德图图 15:  $\phi = 75$  示波器曲线

### 不同 $\phi(\omega_m)$ 值下系统响应变化分析

在实验中，选择了不同的  $\phi(\omega_m)$  值（例如  $65^\circ$ 、 $68^\circ$ 、 $75^\circ$  和  $60^\circ$ ）来分析系统的响应变化。结果显示，随着  $\phi(\omega_m)$  的增加，系统的相角裕度得到增强，从而提高了系统的稳定性。特别是当  $\phi(\omega_m)$  选择为  $68^\circ$  时，系统表现出更强的抗干扰能力和更快的响应速度，但可能会在某些情况下产生小的过冲。相反，选择较小的  $\phi(\omega_m)$  值（如  $60^\circ$ ）时，虽然响应速度较快，但系统可能更加容易受到外部扰动的影响，稳定性相对较差。因此，选择合适的  $\phi(\omega_m)$  值是平衡系统性能的关键。



## 6 实验总结

通过频域法校正，系统的响应频率得到了优化，磁悬浮小球的稳定性和精确度均有所提高。尤其在高频扰动下，系统的稳态响应表现更为平稳，能够有效减少外界干扰的影响。实验数据表明，频域校正能够在一定程度上提高系统的容错能力和鲁棒性。

## 7 实验心得

### 7.1 频域分析的应用重要性

通过本次实验，我深刻体会到频域分析在控制系统中的重要性。频域方法能够有效地揭示系统的动态特性，尤其是在面对复杂的干扰时，频域分析为我们提供了更为直观的思路来进行问题诊断与优化。

### 7.2 数据处理与分析技巧

本实验让我学到了如何使用傅里叶变换等频域工具进行信号分析，理解了如何从实验数据中提取有价值的信息。尽管初期对于如何有效提取频率成分感到困惑，但随着实验的深入，我逐渐掌握了数据处理的技巧。

### 7.3 实验中控制系统的挑战

本次实验也让我意识到，控制系统的调试往往需要考虑多个变量和因素。即使是在理想条件下，系统的表现也可能受到多种干扰因素的影响，需要通过不断调整算法和参数，找到最适合当前系统状态的解。

### 7.4 跨学科的结合与实践

磁悬浮小球实验不仅仅是控制理论的应用，还涉及了物理、数学、计算机等多个学科的知识。这种跨学科的结合让我更加认识到多学科知识融合的重要性，尤其是在实际工程应用中，综合的解决方案往往更具实际价值。