



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 郭皓玮、陈泓逸、常毅成、欧凯勋

学号 22354035、22354011、22354010、22354095

学院 智能工程学院

专业 智能科学与技术

2024年12月5日

目录

1 实验目的	1
2 实验任务/要求	1
3 实验仪器、设备及材料	1
4 实验原理	1
5 实验步骤	2
5.1 任务一	2
5.2 任务二	3
5.3 任务三	3
6 实验总结	7
7 实验心得	7
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
7.5 未来改进方向	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° ；
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

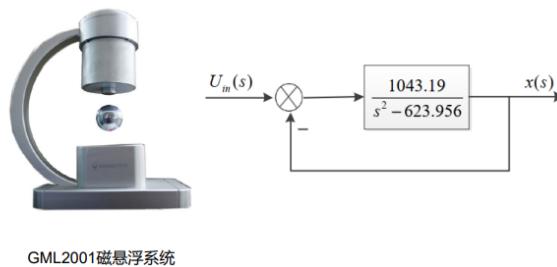


图 1：实验原理图

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

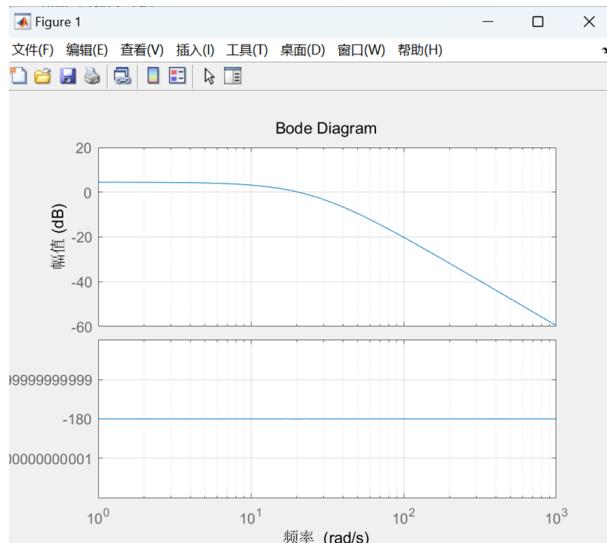


图 3: 未校正系统伯德图

```
%%
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

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

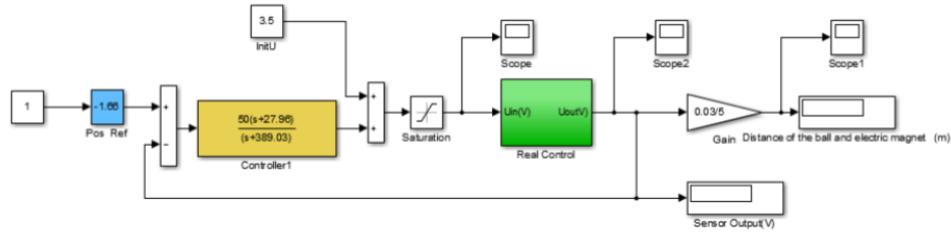
```
num = conv(Kc, conv([1, 1./T], 1043.19));
den = conv([1, 1./alpha./T], [1, 0, -623.956]);
Gs = tf(num, den);
figure(1);
bode(Gs);
grid on;
figure(2);
step(feedback(Gs, 1));
```

图 5: 校正系统伯德图代码

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

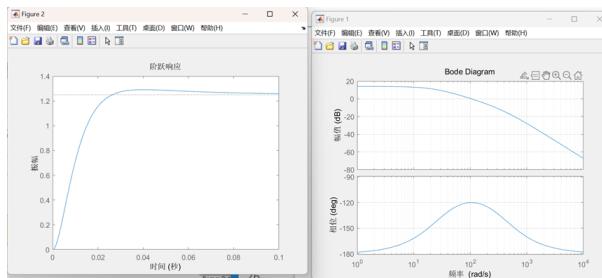


图 8: $\phi = 60$ 响应曲线和伯德图

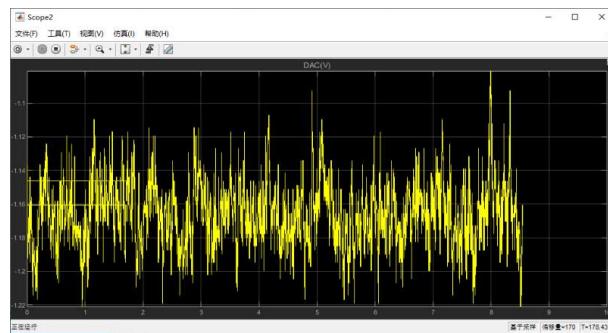


图 9: $\phi = 60$ 示波器曲线

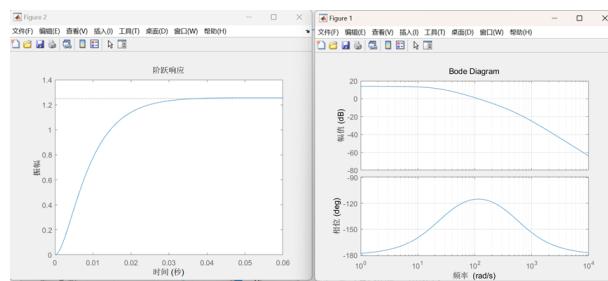


图 10: $\phi = 65$ 响应曲线和伯德图

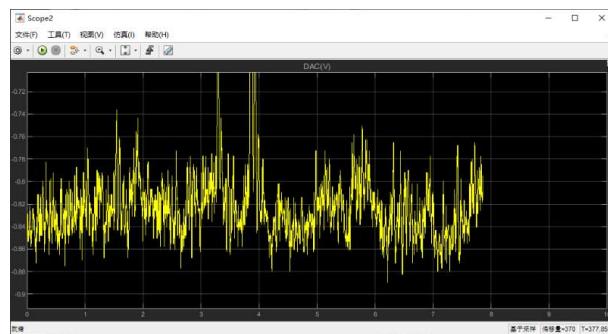


图 11: $\phi = 65$ 示波器曲线

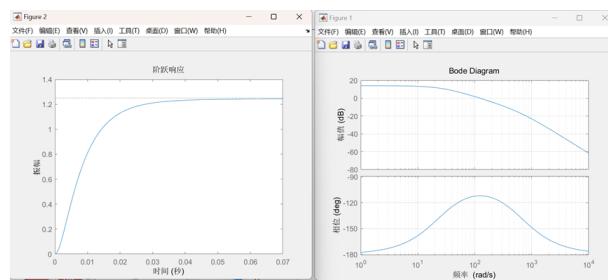


图 12: $\phi = 68$ 响应曲线和伯德图

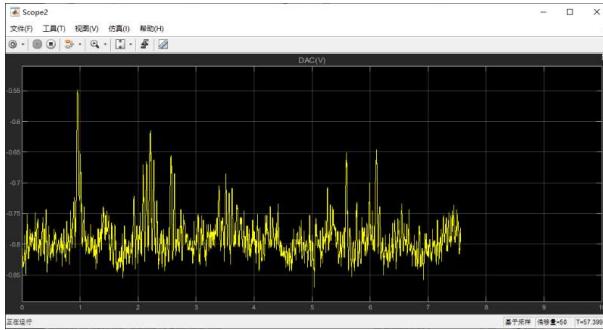


图 13: $\phi = 68$ 示波器曲线

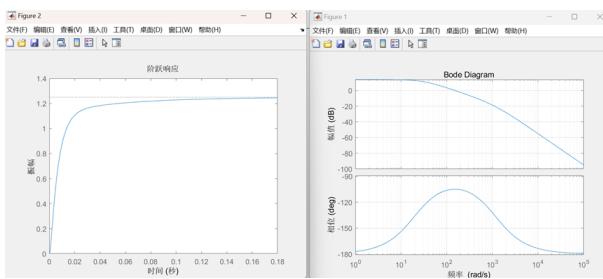


图 14: $\phi = 75$ 响应曲线和伯德图

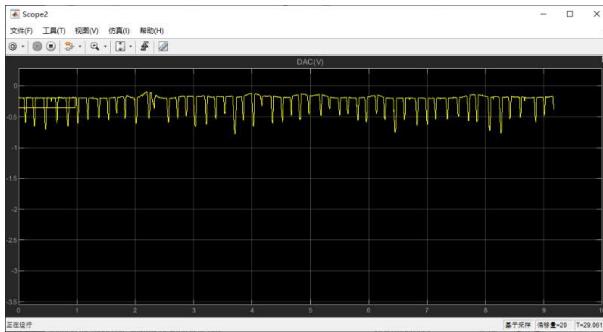


图 15: $\phi = 75$ 示波器曲线

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° 、 68° 、 75° 和 60° ）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° 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° ）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。

7.5 未来改进方向

在未来的实验中，我希望能够进一步提高频域分析的准确性，尤其是在复杂噪声环境下的分析能力。同时，通过优化控制算法，提高小球的稳定性和响应速度，以便应用到更为复杂的实际工程场景中。