

浙江大学实验报告

专业：电气工程及其自动化

姓名：潘谷雨

学号：3220102382

日期：2024.12.20

地点：仿真实验

课程名称：控制理论（乙） 指导老师：姚维 成绩：

实验名称：基于频率法的超前校正

一、实验目的和要求

- 通过实验，理解所加校正装置的结构、特性和对系统性能的影响；
- 掌握串联校正常用设计方法和对系统的实时调试技术。
- 掌握 Sysplorer 电路仿真环境。

二、实验内容和原理

串联校正有以下三种形式：

- 超前校正，这种校正利用超前校正装置的相位超前特性来改善系统的动态性能。
- 滞后校正，这种校正利用滞后校正装置的高频幅值衰减特性，使系统在满足稳态性能的前提下又能满足其动态性能的要求。
- 滞后超前校正，由于这种校正既有超前校正的特点，又有滞后校正的优点。因而它适用系统需要同时改善稳态和动态性能的场合。校正装置有无源和有源二种。基于后者与被控对象相连接时，不存在着负载效应，故得到广泛地应用。

- 系统框图如图 1 所示，静态速度误差 $K_v=25s^{-1}$ ，相位裕量 γ 不小于 50°

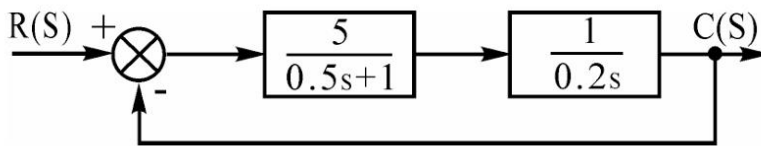


图 1 系统控制框图

2、校正前系统的性能分析

- 校正前的开环系统传递函数的静态误差 $K_v = \lim_{s \rightarrow 0} s \frac{5}{0.2s(0.5s+1)} = 25$ ，系统的静态速度误差满足要求；
- 未校正系统的开环频率特性为 $G_0(j\omega) = \frac{5}{0.2j\omega(0.5j\omega+1)}$ ，系统开环函数的伯德图如图 2 所示。

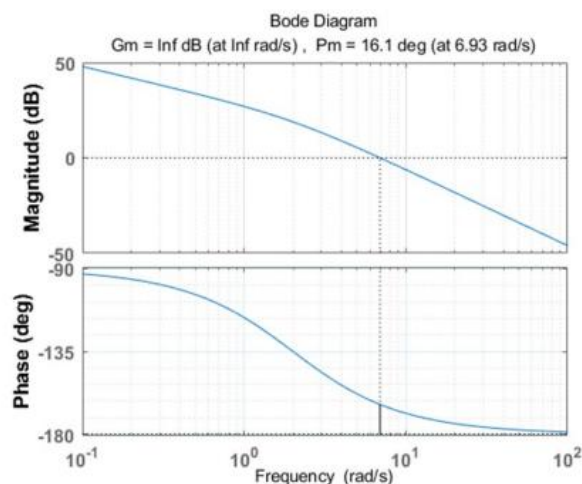


图2 未校正系统开环伯德图

相位裕量为 16.1° ,不满足需求。为此，必须在系统中加一合适的校正装置， 以使校正后系统的性能同时满足近代速度误差和相位裕量的要求。

3、校正装置的设计

(1) 根据相位裕量要求，确定校正网络提供的相位超前角 $\Phi = \gamma - \gamma_1 + \varepsilon = 50 - 16.1 + 8 = 41.9$ 。

(2) 校正装置参数 $\alpha = \frac{1 - \sin 41.9}{1 + \sin 41.9} = 0.2$ ，根据 α 计算剪切频率： $L_c(\Phi_m) = 20 \lg(1/\sqrt{\alpha}) = 7.0 \text{ dB}$ ，此时 -7.0 dB 对应 $\omega_m = 10.5 \text{ rad/s}$ 。

(3) 确定 ω_1 和 ω_2 : $\omega_1 = 1/T = 4.70$ ， $\omega_2 = 1/(\alpha T) = 23.48$

(4) 放大倍数: $\frac{1}{\alpha} = 5$

4、校正装置的传递函数

校正系统传递函数:

$$G_c(s) = \frac{(1 + 0.2s)}{1 + 0.04s}$$

校正后的开环传递函数:

$$G(s)G_c(s) = \frac{5(1 + 0.2s)}{0.2s(0.5s + 1)(0.04s + 1)}$$

校正后频率特性曲线如图3所示。

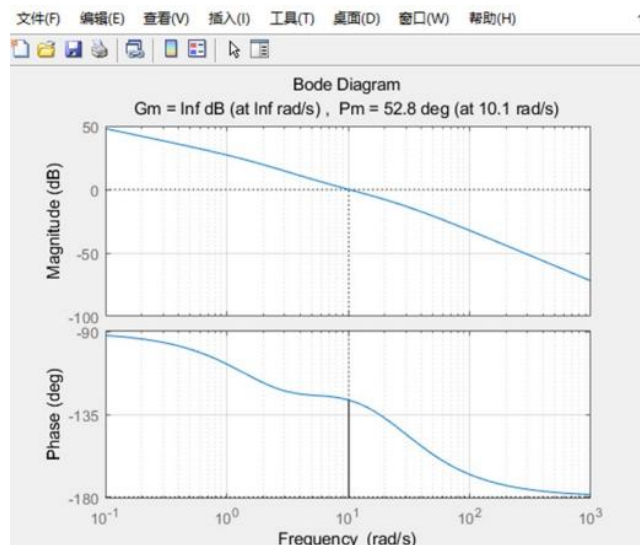


图3 校正系统后开环伯德图

设校正装置 $G_c(s)$ 的模拟电路如图4所示。

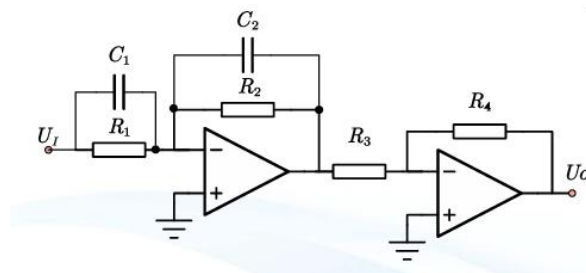


图4 校正装置

其中取 $R_1 = 200k\Omega$, $R_2 = 400k\Omega$, $R_3 = 100k\Omega$, $R_4 = 50k\Omega$, $C_1 = 1\mu F$, $C_2 = 0.1\mu F$ 。

图5中(a)、(b)分别为二阶系统校正前、后系统的单位阶跃响应的示意曲线。

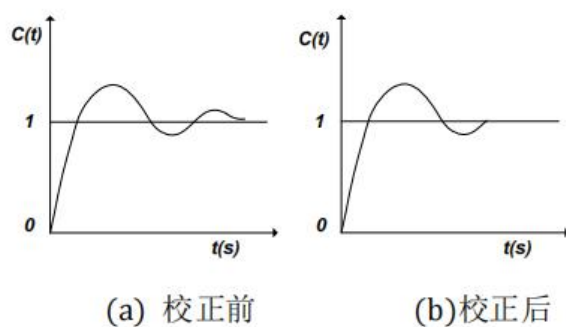


图5 加校正装置前后二阶系统的阶跃响应曲线

三、主要仪器设备

电脑、Mworks 软件

四、操作方法和实验步骤

1、校正前电路

根据系统传递函数，在 Sysplorer 上连接校正前电路，实验参数如图 6 所示，在 0.5s 时输入单位阶跃信号（1V），设置仿真时间为 10s，步长为 0.001s，记录 opAmp1 输出电压。

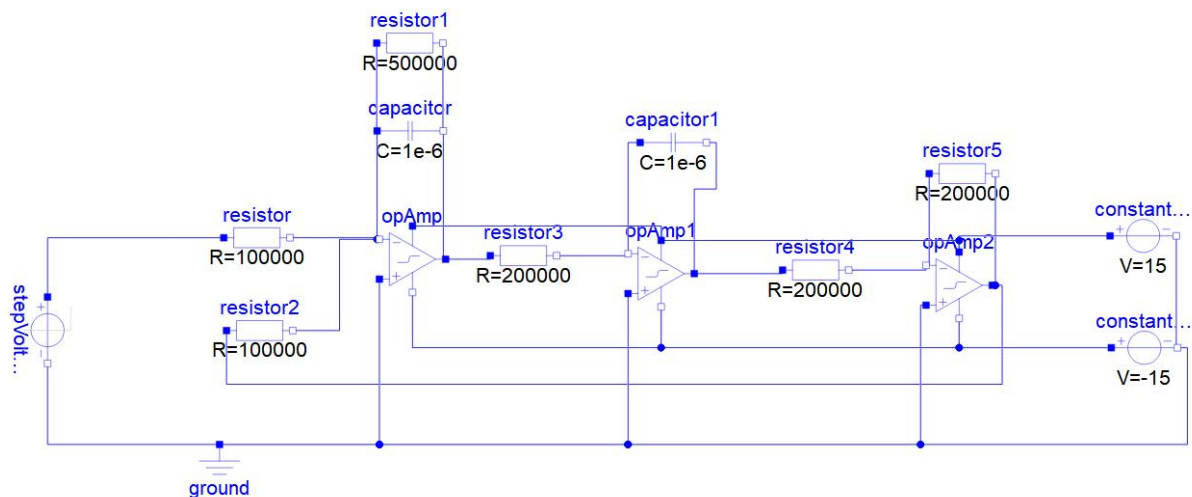


图 6 校正前电路

1、校正后电路

根据系统传递函数，在 Sysplorer 上连接校正前电路，实验参数如图 7 所示，在 0.5s 时输入单位阶跃信号（1V），设置仿真时间为 10s，步长为 0.001s，记录 opAmp1 输出电压。

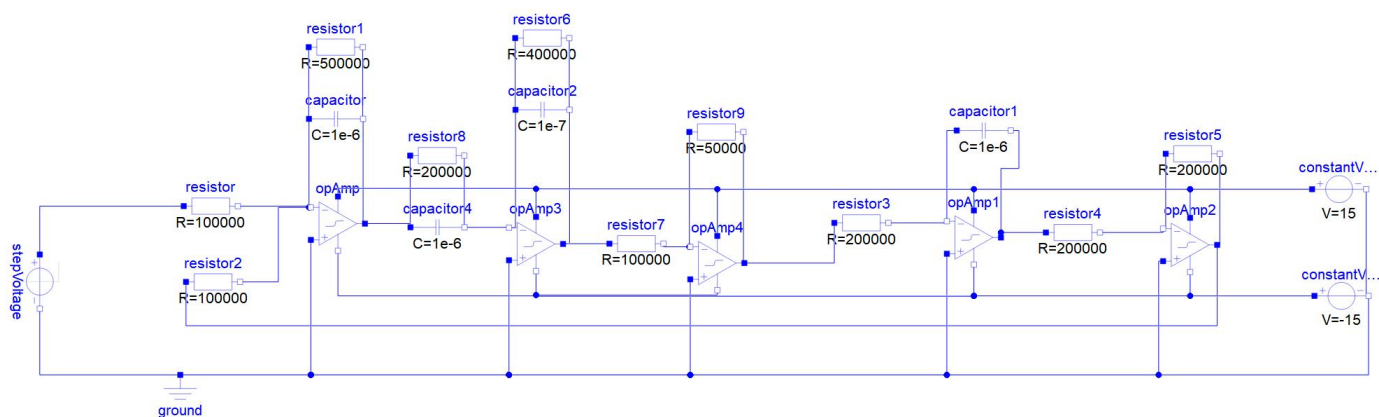


图 7 校正后电路

五、实验数据记录和处理

校正前装置波形显示如图 8 所示。

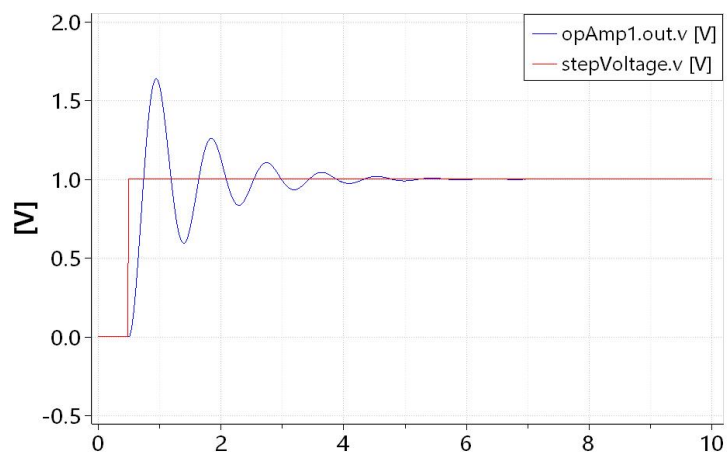


图 8 校正前输入与输出波形

读取光标对应数值，可知参数如下：

$U_{i_{pp}}$	$U_{o_{pp}}$	ΔM_p	σ_p	t_p	t_s
1.000V	1.636V	0.636V	63.6%	0.961s	4.210s

校正后装置输出波形如图 9 所示。

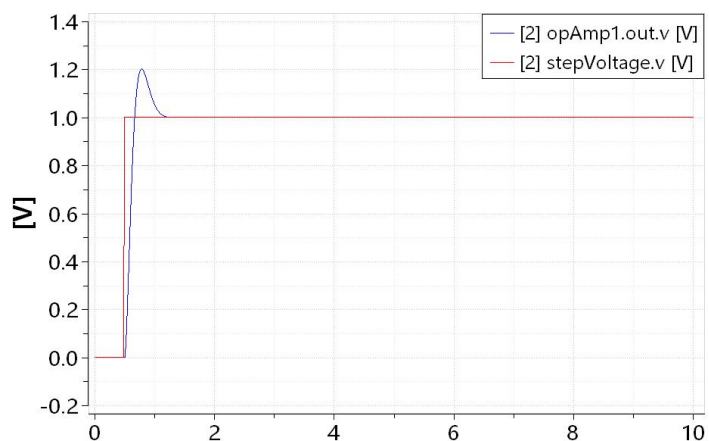


图 9 校正后输入与输出波形

读取光标对应数值，可知参数如下：

$U_{i_{pp}}$	$U_{o_{pp}}$	ΔM_p	σ_p	t_p	t_s
1.000V	1.200V	0.200V	20.0%	1.087s	0.784s

六、实验结果与分析

校正后观察系统的单位阶跃响应曲线满足设计要求：系统仍然可以达到稳定状态，系统的峰值时间基本不变，但调整时间和最大超调量显著减小，波形更快达到稳定状态。因此可以验证，加入超前校正装置可以加快系统瞬态响应，减小系统超调量，改善系统的动态性能，并且系统的稳定性能不受影响。

七、讨论、心得、体会

思考题：

1. 加入超前校正装置后，为什么系统的瞬态响应会变快？

超前校正装置的主要作用是改善系统的动态性能，实现在系统静态性能不受损的前提下，提高系统的动态性能。通过引入超前校正环节，利用其相位超前特性来增大系统的相位裕度，改变系统的开环频率特性，使系统的瞬态响应变快。具体而言，超前校正装置通过在一定频率范围内提供正的相角超前量，使得系统的相角在低频段得到改善，从而使得系统在高频段的响应更加迅速，这样不仅能够提高系统的稳定性，还能缩短系统的调节时间。

2. 什么是超前校正装置和滞后校正装置，它们各利用校正装置的什么特性对系统进行校正？

超前校正装置：其传递函数一般具有在一定频率范围内提供正的相角超前量的特性，幅频特性在该频率段也有相应提升。超前校正装置主要用于增加系统的相角裕度，改善系统的动态性能，使系统的响应速度加快，超调量得到一定控制，适用于那些动态性能欠佳但稳态性能尚可的系统校正。

滞后校正装置：传递函数通常为在低频段对幅值有一定提升作用，而在高频段幅值衰减，相角特性表现为一定的滞后。滞后校正用来提高系统的低频增益，从而减小稳态误差，同时对系统的动态性能影响相对较小，适用于稳态精度需要提高而动态性能已经基本满足或者允许稍有牺牲的情况。

超前校正装置利用其相位超前特性增大系统的相位裕度，而滞后校正装置则利用其幅值衰减特性，使截止频率下降，从而增大稳定裕量，改善响应的平稳性，但快速性降低。

心得体会：

通过这次基于频率法的超前校正仿真实验，我获得了宝贵的实践经验和深入的理解。仿真实验不仅让我掌握了超前校正装置在控制系统中的作用，还让我学会了如何利用仿真工具来分析和优化系统性能。

仿真实验的核心目的是理解和应用超前校正装置来改善控制系统的动态性能。在设计校正装置的过程中，我首先通过仿真软件建立了系统的数学模型，然后根据系统的相位裕量要求确定了校正网络的相位超前角，并计算了校正装置的参数。通过仿真，我能够直观地观察校正与参数调整对系统性能的影响，通过仿真，我观察了校正前后系统对单位阶跃信号的响应，校正后的系统在调整时间和最大超调量上都有了显著的改善，验证了超前校正装置对系统动态性能的积极影响。

仿真实验加深了我对控制理论的理解，我学会了如何使用仿真软件进行系统建模、参数调整和结果分析，也激发了我对控制理论和自动化技术的兴趣。我期待在未来的课程和项目中，能够将这些理论知识和仿真技能应用到更复杂的控制系统设计中。