



北京航空航天大学
BEIHANG UNIVERSITY

自动控制原理实验 A

(1)

实验报告

院系名称: 自动化科学与电气工程学院-自动化系

学 号: 16711094

姓 名: 李翰韬

指导教师: 王 薇

2018 年 12 月 25 日

实验五 控制系统测试、设计综合实验

实验时间：12月25日下午8/9节 实验编号：无 同组同学：无

一、实验目的

1. 了解丝杠系统的组成及原理。
2. 熟悉控制系统设计的方法。
3. 掌握 PID 参数整定的方法。
4. 掌握控制系统建模方法及仿真分析。

二、实验过程与结果

1. 理论计算与仿真

(1) 丝杠的结构

滚珠丝杠系统机械传动机构由伺服电机、联轴器、滚珠丝杠副、两端支撑轴承、直线导轨副等部件组成，如下图所示

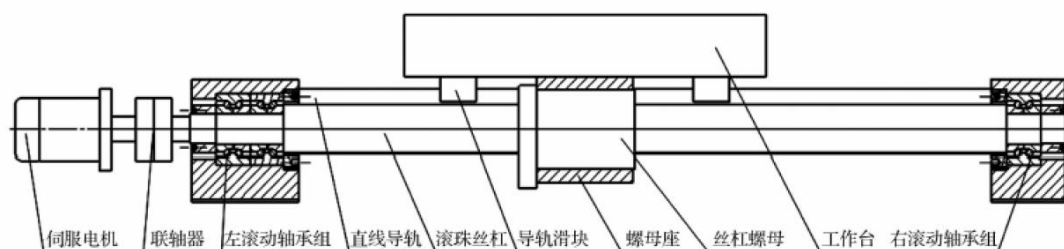


图 1 丝杠机械传动机构

(2) 数学模型的建立

① 伺服电机调速部分模型

由于系统联轴器连接部分、丝杠运动部分与轴承连接部分以及直线导轨部分的摩擦对丝杠整体运动的影响较大，建立的模型非常复杂。因此，为了简化模型复杂程度，方便对模型的分析，建模过程只考虑粘性摩擦，而电机与丝杠端的连接视作刚性连接，丝杠各部分的转动惯量全部包含进电机的负载惯量中。

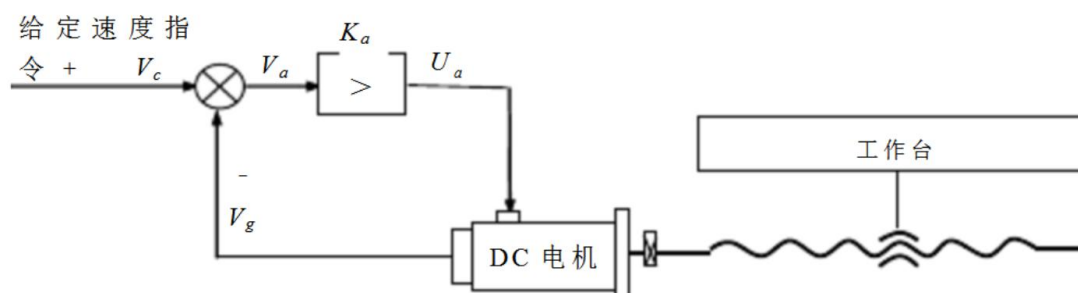


图 2 速度闭环系统

电枢控制直流电动机的工作是将电能转换为机械能，由电枢电压 U_a 在电枢回路中产生电枢电流 i_a ，该电流与激磁磁通相互作用产生电磁转矩 M_m ，拖动负载运动。直流伺服电机系统如图 3 所示。

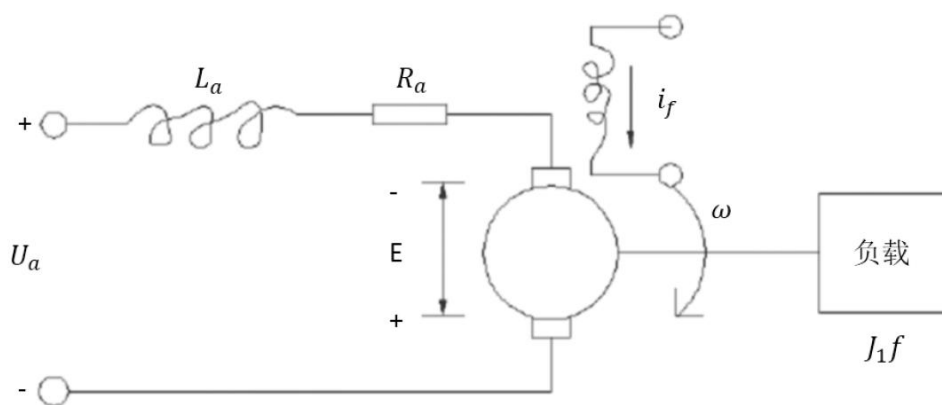


图 3 伺服电机系统

根据克希霍夫电压定律，电枢绕组中的电压平衡方程为：

$$u_a(t) = i_a(t) + L_a \frac{di_a(t)}{dt} + E_a(t)$$

其中 L_a 和 R_a 分别为电枢绕组的电感和电阻。

当直流电机的电枢转动时，在电枢绕组中有反电动势产生，一般与电动机的转速成正比。

$$E_a(t) = C_e \frac{d\theta_m}{dt} = C_e \omega_m(t)$$

其中 $E_a(t)$ 为反电动势， C_e 为反电动势常数， $\omega_m(t)$ 为电动机转速。

电枢电流和磁场相互作用产生电磁转矩，一般电磁转矩与电枢电流成正比。

$$M_m(t) = C_m i_a(t)$$

$M_m(t)$ 为电磁转矩， $i_a(t)$ 为电枢电流， C_m 为转矩常数。

电磁转矩用以驱动负载并克服摩擦力矩，只考虑与速度成正比的粘性摩擦，在无负载情况下，直流电动机转矩平衡方程为

$$M_m(t) = J_m \frac{d^2\theta_m}{dt^2} + B_m \frac{d\theta_m}{dt} = J_m \frac{d\omega_m(t)}{dt} + B_m \omega_m(t)$$

J_m 为电机等效转动惯量， B_m 为等效阻尼系数。

这样可以建立无负载情况下，伺服直流环节的控制模型

$$\frac{\omega_m(s)}{U_a(s)} = \frac{C_m}{L_a J_m s^2 + (L_a B_m + J_m R_a) s + R_a B_m + C_e C_m}$$

所需参数如下：

电机电阻 $R_a = 21.8\Omega$ ；

电机电感 $L_a = 1.37mH$ ；

反电动势常数 $C_e = 0.0307V \cdot s/rad$ ；

转矩常数 $C_m = 0.0307 \text{ Nm/A}$;

电机转子转动惯量 $J = 5.68 \times 10^{-7} \text{ kg}\cdot\text{m}^2$;

等效阻尼系数 $B_m = 0.0005$;

传动比 $i = 29$;

电机轴等效转动惯量 $J_m = 5.71 \times 10^{-7} \text{ kg}\cdot\text{m}^2$;

这样系统的开环传递函数为

$$G(s) = \frac{\omega_m(s)}{U_a(s)} = \frac{0.1932}{1.51 \times 10^{-7} s^2 + 1.32 \times 10^{-4} s + 0.0082}$$

若系统输入为给定滑块速度 V_c , 系统输出为电机转轴角速度 V_g , 则系统的闭环传递函数为:

$$\frac{V_g(s)}{V_c(s)} = \frac{3.8640}{1.51 \times 10^{-7} + 1.32 \times 10^{-4} s + 3.8722}$$

而力矩与丝杠位移之间的传递函数更为复杂, 一般是一个 4 阶系统, 经简化后可以用二阶系统近似。

$$\frac{x(s)}{T(s)} = \frac{0.00011167(s + 33006)}{s^2 + 1.245s}$$

②丝杠机械部分模型

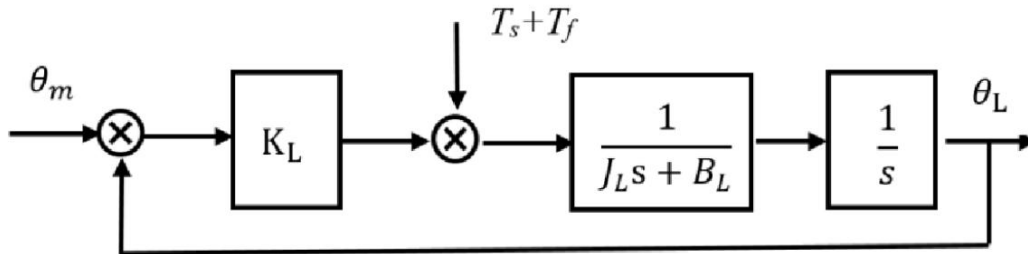


图 4 丝杠机械部分结构图 1

其中 θ_m 为伺服电机转角位移, θ_L 为丝杠转角, K_L 为折算到丝杠轴上的机械部分等效扭转刚度, J_L 为机械部分的等效转动惯量, B_L 为机械部分的等效阻尼系数, T_s 为负载转矩, T_f 为摩擦转矩。

丝杠直线位移量 x 与转角关系为 $X = \frac{h}{2\pi} \theta_L$, 其中 h 为丝杠导程。

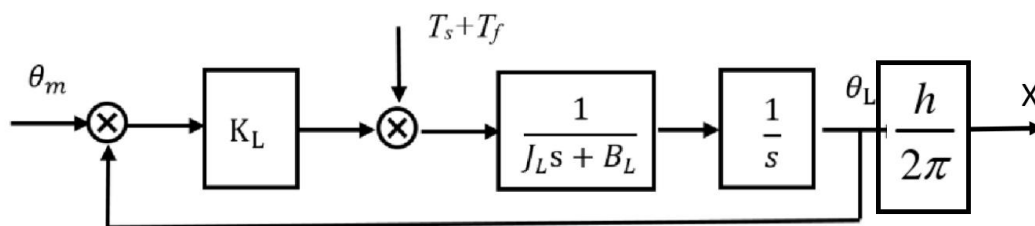


图 5 丝杠机械部分结构图 2

其中

$$K_L = 3.0517 \times 10^4, J_L = 0.0029 \text{ Kg/m}^2, B_L = 0.09 \text{ Nms/rad}, h = 0.016 \text{ m}$$

这样伺服电机转角与丝杠线位移的传递函数为

$$G(s) = \frac{2.6305 \times 10^4}{s^2 + 31.1627s + 1.0522 \times 10^7}$$

③整个系统的传递函数框图

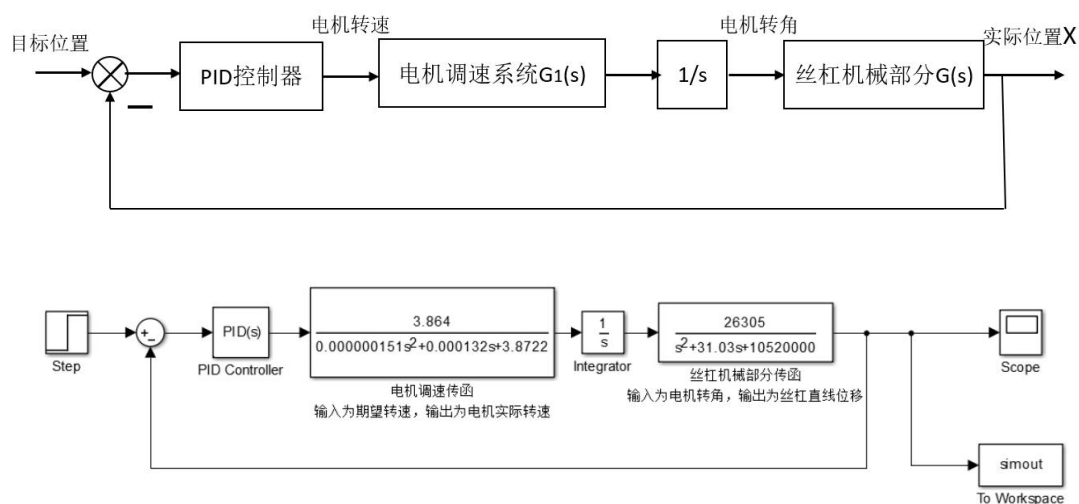


图 6 系统的结构图

(3) SIMULINK 仿真

在 SIMULINK 中搭建图 6 所示的结构图如下

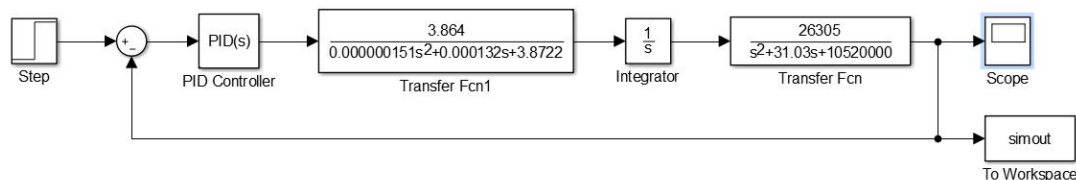
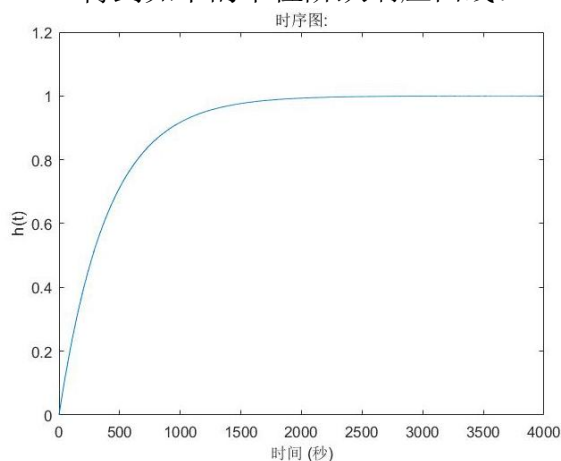


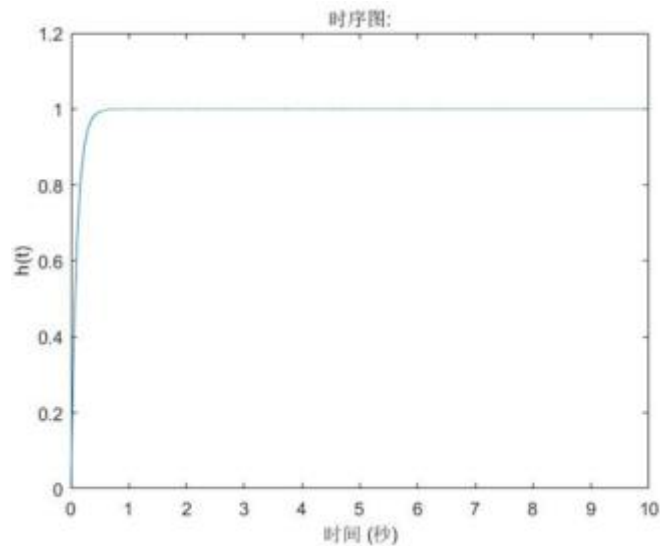
图 7 仿真图

首先观察原系统的阶跃响应曲线，经过尝试得知，原系统的调节时间很长，因此取仿真时间为 4000s 得到如下的单位阶跃响应曲线：



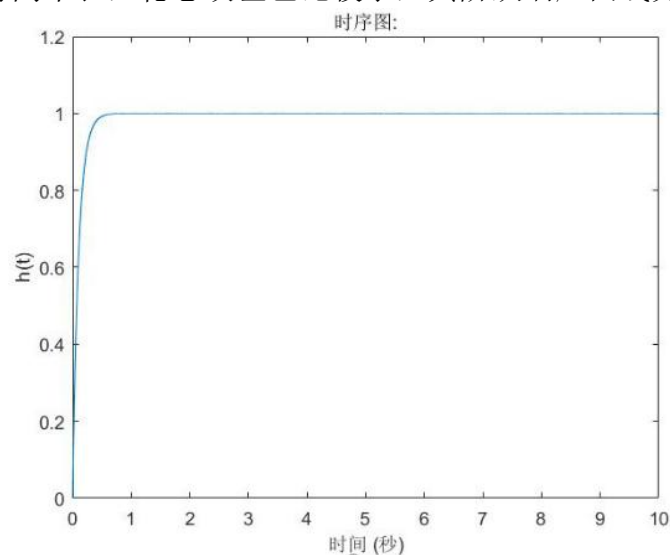
可以从图中得到超调量 $\sigma\% = 0.047\%$ ，调节时间 $t_s = 1201.1s$ ，稳态误差 $e_s = -0.0002$ ，可以看出，原系统的超调量很小，调节时间很长，因此应首先增大比例系数P。

经过尝试可以得知，P=4000 时，调节时间和超调量都较小，下图为 P=4000 时系统的单位阶跃响应曲线。



由于系统的稳态误差始终处于很小的数值范围内，所以可以近似认为系统的稳态误差已经为0，便不添加积分环节 I，考虑积分环节 D 使得超调量为0。

经过试验，从实验结果中可以看出，在 P=4000，I=0，D=10.3 时系统的超调量为0，调节时间不长，稳态误差也比较小，其阶跃响应曲线如下：



经过上述模拟可知，在 P=4000，I=0，D=10.3 时系统达到较好的状态。

2. PLC 控制丝杠实验

使用 PLC，变频器等硬件设备对丝杠实物进行位置控制，控制实验的结果如下：

	初始位置/cm					
	5.45					
	设定位置/cm					
	30			40		
比例	20	30	40	20	30	40
超调量/%	0	2.1	2.9	0.28	1.41	2.29
稳态位置/cm	29.95	29.94	29.95	39.88	39.88	39.89
调节时间/s	2.50	2.43	2.37	3.64	3.51	3.40

三、结果分析

从 PLC 控制丝杠实验的实验结果中可以看出：在对丝杠的位置进行控制的过程中，稳态位置精度始终满足位置精度不超过 1mm 的要求。且稳态位置始终不随比例系数变化而变化。

根据结果的比较可以看出，随着比例系数的增加，到达稳态所需要的时间减少，这也与理论上的比例（P）越大，则调节时间越短相吻合。

在实验中还可以注意到，超调量也会随着比例系数的增加而随之增加，因此不应为了更快的调节时间而使比例系数过大。即不能为了系统的快速响应盲目增加比例，根据理论可知，当比例过大时系统将不稳定。

由实验可知，当取比例系数为 20 时，系统基本满足“稳”，“准”，“快”的要求。

四、收获、体会及建议

1. 课后思考题：

- ①. (1).深入了解和分析被控对象的工艺条件和控制要求。
- (2).确定 I/O 设备。
- (3).选择合适的 PLC 模型。
- (4).分配 I/O 点。
- (5).编写梯形图程序。
- (6).进行软件调试。
- (7).应用系统整体调试。
- (8).编写技术文件。

②. (1).PLC 在实际系统中的使用：

开环控制：开关量的开环控制是 PLC 的最基本控制功能。PLC 的指令系统具有强大的逻辑运算能力，很容易实现定时、计数、顺序(步进)等各种逻辑控制方式。大部分 PLC 就是用来取代传统的继电接触器控制系统。

模拟量闭环：对于模拟量的闭环控制系统，除了要有开关量的输入输出外，还要有模拟量的输入输出点，以便采样输入和调节输出实现对温度、流量、压力、

位移、速度等参数的连续调节与控制。目前的 PLC 不但大型、中型机具有这种功能外，还有些小型机也具有这种功能。

数字量控制：控制系统具有旋转编码器和脉冲伺服装置(如步进电动机)时，可利用 PLC 实现接收和输出高速脉冲的功能，实现数字量控制，较为先进的 PLC 还专门开发了数字控制模块，可实现曲线插补功能，近来又推出了新型运动单元模块，还能提供数字量控制技术的编程语言，使 PLC 实现数字量控制更加简单。

数据采集监控：由于 PLC 主要用于现场控制，所以采集现场数据是十分必要的功能，在此基础上将 PLC 与上位计算机或触摸屏相连接，既可以观察这些数据的当前值，又能及时进行统计分析，有的 PLC 具有数据记录单元，可以用一般个人电脑的存储卡插入到该单元中保存采集到的数据。PLC 的另一个特点是自检信号多，利用这个特点，PLC 控制系统可以实现自诊断式监控，减少系统的故障，提高系统的可靠性。

(2)PLC 的基本组成

电源：电源用于将交流电转换成 PLC 内部所需的直流电，目前大部分 PLC 采用开关式稳压电源供电。

中央处理单元(CPU)：中央处理器是 PLC 的控制中枢，也是 PLC 的核心部件，其性能决定了 PLC 的性能。中央处理器由控制器、运算器和寄存器组成，这些电路都集中在一块芯片上，通过地址总线、控制总线与存储器的输入/输出接口电路相连。中央处理器的作用是处理和运行用户程序，进行逻辑和数学运算，控制整个系统使之协调。

存储器：存储器是具有记忆功能的半导体电路，它的作用是存放系统程序、用户程序、逻辑变量和其他一些信息。其中系统程序是控制 PLC 实现各种功能的程序，由 PLC 生产厂家编写，并固化到只读存储器(ROM)中，用户不能访问。

输入单元：输入单元是 PLC 与被控设备相连的输入接口，是信号进入 PLC 的桥梁，它的作用是接收主令元件、检测元件传来的信号。输入的类型有直流输入、交流输入、交直流输入。

输出单元：输出单元也是 PLC 与被控设备之间的连接部件，它的作用是把 PLC 的输出信号传送给被控设备，即将中央处理器送出的弱电信号转换成电平信号，驱动被控设备的执行元件。输出的类型有继电器输出、晶体管输出、晶闸管输出。

PLC 除上述几部分外，根据机型的不同还有多种外部设备，其作用是帮助编程、实现监控以及网络通信。常用的外部设备有编程器、打印机、盒式磁带录音机、计算机等。

(3).PLC 特点

可靠性高。由于 PLC 大都采用单片微型计算机，因而集成度高，再加上相应的保护电路及自诊断功能，提高了系统的可靠性。

编程容易。PLC 的编程多采用继电器控制梯形图及命令语句，其数量比微型机指令要少得多，除中、高档 PLC 外，一般的小型 PLC 只有 16 条左右。由于梯形图形象而简单，因此容易掌握、使用方便，甚至不需要计算机专业知识，就可进行编程。

组态灵活。由于 PLC 采用积木式结构，用户只需要简单地组合，便可灵活地改变控制系统的功能和规模，因此，可适用于任何控制系统。

输入/输出功能模块齐全。PLC 的最大优点之一，是针对不同的现场信号(如直流或交流、开关量、数字量或模拟量、电压或电流等)，均有相应的模板可与

工业现场的器件(如按钮、开关、传感电流变送器、电机启动器或控制阀等)直接连接,并通过总线与 CPU 主板连接。

安装方便。与计算机系统相比,PLC 的安装既不需要专用机房,也不需要严格的屏蔽措施。使用时只需把检测器件与执行机构和 PLC 的 I/O 接口端子正确连接,便可正常工作。

运行速度快。由于 PLC 的控制是由程序控制执行的,因而不论其可靠性还是运行速度,都是继电器逻辑控制无法相比的。

近年来,微处理器的使用,特别是随着单片机大量采用,大大增强了 PLC 的能力,并且使 PLC 与微型机控制系统之间的差别越来越小,特别是高档 PLC 更是如此。

2、体会

在本次实验中,我通过实验的方法体验了确定PID参数的方法。经过此次练习,我熟悉了在自动控制原理课程中学习的设定PID参数的理论思想,这些实践经验能够帮助我们更好地理解课程里学习的知识。

除此之外,我还学习了PLC在控制系统中的重要作用,其存在大大简化了设计自动控制系统的难度。