

# 直线运动单元速度控制系统

## ——建模、仿真分析与 PID 校正

### 1. 设计题目

直线运动单元速度控制系统建模、仿真分析与 PID 校正

### 2. 设计目的

- 1) 掌握机电控制系统建模、仿真分析方法和技能；
- 2) 学习使用 MATLAB 软件 Simulink 工具箱构建控制系统的数学模型，绘制时域、频域曲线；
- 3) 学习 PID 校正方法。

### 3. 设计任务

以指定滑块速度（单位： $\text{mm/s}$ ）为输入量，以滑块实际速度( $\text{mm/s}$ )为输出量，建立直线运动单元速度控制系统的数学模型，参考给定的相关数据（参考表 1）确定关键参数，进行相应简化处理后进行 MATLAB 仿真分析，并进行 PID 校正。

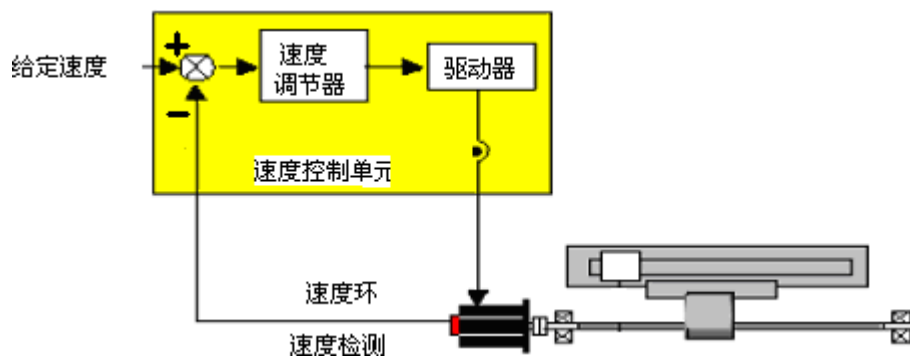


图 1 直线运动单元速度控制系统

表 1 伺服电机参数（电机型号:S 2322.983）

额定电压	24V	反电动势常数	0.003215V/rpm
齿轮减速比	29	转矩常数	0.0307Nm/A
电机电阻	21.6 欧	电机轴等效转动惯量	5.68g·cm·cm
电机电感	1.97mH	等效阻尼系数（参考）	0.0005
丝杠导程	2mm	负载（正弦）	频率:100; 幅值:0.0002
丝杠长度	360mm	滑块质量	1kg
丝杠直径	10mm	额定转速 <sup>注</sup>	4490rpm
丝杠密度	7.8g/cm <sup>3</sup>	速度放大增益 Ka	暂取 20(rad/V)

注：额定转速作业未给出，查阅相关资料得到。

<http://www.maxonmotor.com.cn/maxon/view/product/motor/dcmotor/DC-Sonderprogramm/2322.983-11.225-200>

#### 4. 设计步骤

- 1) 在无负载情况下建立直线运动单元系统开环数学模型：微分方程、传递函数与系统结构图。
- 2) 根据所得开环模型，采用 MATLAB/Simulink 对系统建模。并求出速度电压转化系数  $K_a$  (rad/V)。
- 3) 根据得到的  $K_a$ ，对其闭环系统进行 Simulink 建模,并对其阶跃响应进行分析。
- 4) 采用 MATLAB 传递函数对速度控制系统进行仿真分析，包括时域和频域分析。
- 5) 采用 Simulink 模型法或传递函数法，通过改变系统结构参数来分析其对系统性能的影响，并判断稳定性。
- 6) 在电机输出轴上有负载（表 1 列出）的情况下，对系统进行建模仿真分析，并判断其稳定性。
- 7) 给出引入 PID 控制后系统的闭环结构图（无负载和有负载两种情况），对系统进行分析，通过调节 PID 参数，使其具有较好的快速性、稳定性及准确性，不允许有超调，并分析 PID 参数对系统稳定性的影响

## 5. 无负载直线运动单元系统数学模型

5.1 在无负载情况下建立直线运动单元系统开环数学模型：微分方程、传递函数与系统结构图。

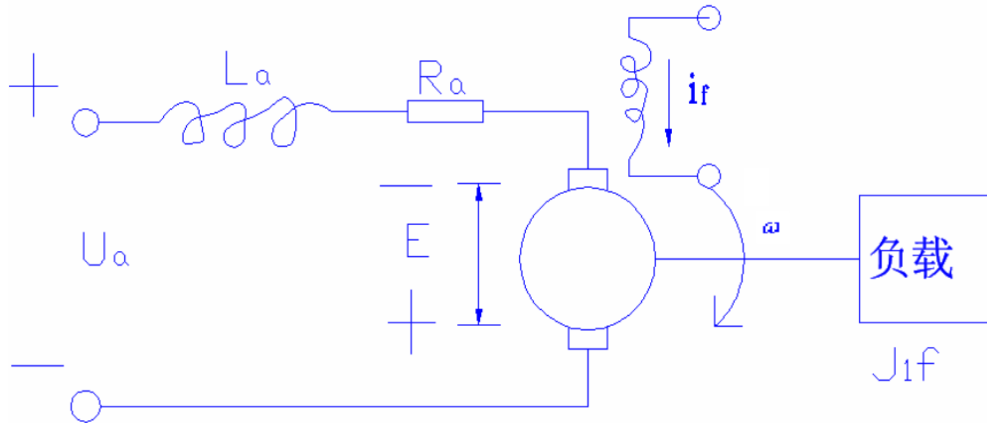


图 2 直流伺服电机系统

- 根据克希霍夫电压定律，电枢绕组中的电压平衡方程为

$$u_a = i_a R_a + L_a \frac{di_a}{dt} + E$$

式中 \$L\_a\$ 和 \$R\_a\$ 分别为电枢绕组中的电感(H)和电阻(\$\Omega\$)

- 当直流电动机的电枢转动时，在电枢绕组中有反电势产生，一般它与电动机转速成正比，即

$$E(t) = C_e \frac{d\theta}{dt} = C_e \omega(t)$$

式中，\$E(t)\$ 为反电势 (V)，\$C\_e\$ 为反电动势常数 (V/rad/s)，\$\omega\$ 为电动机轴转速 (rad/s)。

- 电枢电流和磁场相互作用而产生电磁转矩。一般电磁转矩与电枢电流成正比，即：

$$M(t) = C_t i_a(t)$$

式中，\$M(t)\$ 为电磁转矩 (N·m)，\$i\_a(t)\$ 为电枢电流 (A)，\$C\_t\$ 为转矩常数 (N·m/A)。

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

$$M(t) = J \frac{d\omega(t)}{dt} + B \omega(t)$$

式中,  $J$  为电机等效转动惯量 ( $N \cdot m/s^2$ ),  $B$  为等效阻尼系数 ( $N \cdot m/rad/s$ )。我们假设在零初始条件下分别对上式进行拉氏变换:

$$\begin{cases} U(s) = R I(s) + L I(s)s + E(s) \\ E(s) = C_{\omega} \omega(s) \\ M(s) = C I(s) \\ M(s) = J \omega(s)s + B \omega(s) \end{cases}$$

消去电枢电流  $I$ , 然后取电枢电压  $U$  为输入量, 电动机轴的角速度  $\omega$  为输出, 即

$$\omega(s) = \phi(s)U(s)$$

由此可以得到在无负载情况下, 伺服直流环节的控制模型, 即传递函数为:

$$\frac{\omega(s)}{U(s)} = \frac{C}{LJ s^2 + (LB + JR)s + RB + C^2}$$

该环节系统结构图如图 3 所示

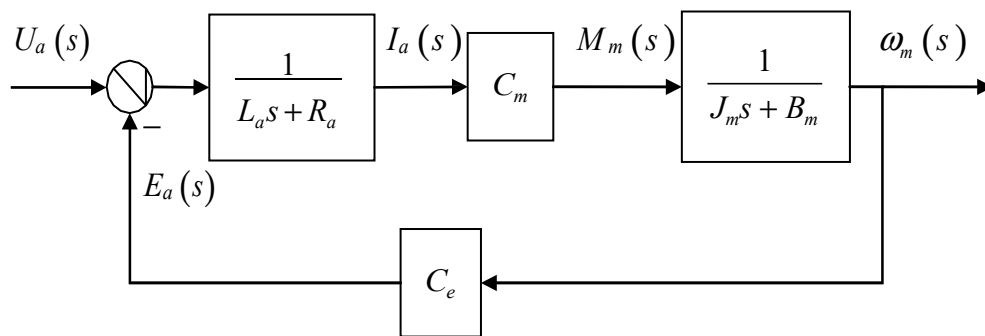


图 3 系统结构图

## 5.2 根据所得开环模型, 采用 MATLAB/simulink 对系统建模。并求出速度电压转化系数 $K$ (rad/V)

由设计要求中得到如下数据:

- 电机电阻  $R = 21.6\Omega$ ;
- 电机电感  $L = 1.97\text{mH} = 1.97 \times 10^{-3}\text{H}$
- 反电动势常数

$$\begin{aligned} C_{\omega} &= 0.003215(\text{V/rpm}) = 0.003215 \times 60/2\pi (\text{V} \cdot \text{s/rad}) \\ &\approx 0.0307(\text{V} \cdot \text{s/rad}) \end{aligned}$$

- 转矩常数  $C = 0.0307\text{Nm/A}$ ;
- 电机转子转动惯量

$$J = 5.68\text{g} \cdot \text{cm}^2 = 5.68 \times 10^{-6} \text{kg} \cdot \text{m}^2$$

丝杠的转动惯量

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/786013125232010031>