

上海交通大学

学生实验报告

实验 1：系统建模实验报告

课程名称：运动控制系统

姓名：谢敬鱼

学号：516021910125

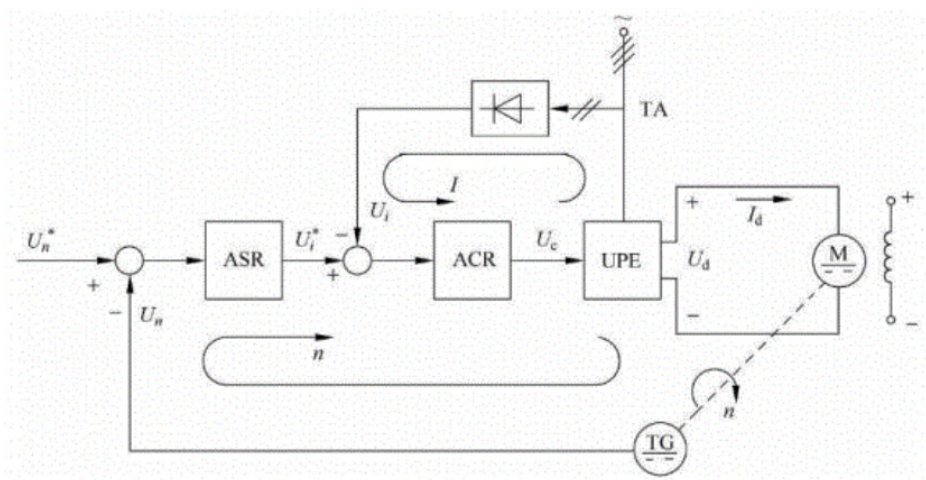
邮箱：xjy0104@sjtu.edu.cn

手机：13262935410

2019 年 5 月 4 日

1. 描述直流伺服系统的构成

直流伺服电机,它包括定子、转子铁芯、电机转轴、伺服电机绕组换向器、伺服电机绕组、测速电机绕组、测速电机换向器,所述的转子铁芯由矽钢冲片叠压固定在电机转轴上构成。



ASR——转速调节器 ACR——电流调节器 TG——测速发电电动机
TA——电流互感器 UPE——电力电子变换器 \$U_n^*\$——转速给定电压
\$U_n\$——转速反馈电压 \$U_i^*\$——电流给定电压 \$U_i\$——电流反馈电压

图 1 双闭环直流调速系统示意图，红色方框内为核心部分

2. 建立伺服系统的数学模型及传递函数

电动机的运动方程由力学和电磁学决定。关键参数是电机常数和电机电枢电阻。它们可以通过简单的实验来确定。得到的模型是电压到电机转速的传递函数：

$$G_{\omega, V}(s) = \frac{K}{\tau s + 1}$$

其中 K 是稳态增益，τ 是时间常数。

直流调速系统的基本结构如图所示：

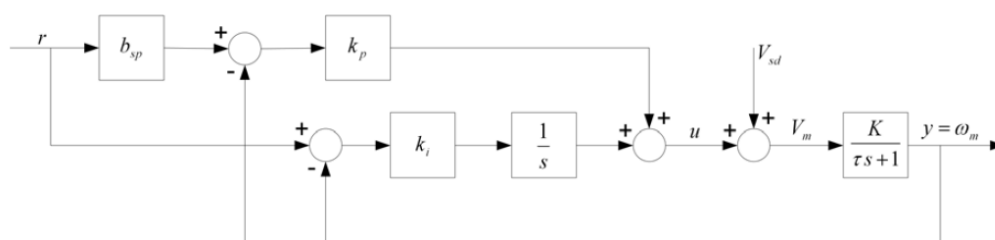


图 2 直流调速系统的基本结构

采用 PI 表达式表示直流电动机转速-电压的关系的传递函数实际 PI 控制器。其输入输出关系为：

$$u = k_p(b_{sp}r - y) + \frac{k_i(r - y)}{s}$$

其中 \$K_p\$ 是比例系数，\$k_i\$ 是积分系数，\$b_{sp}\$ 是设定值权值。

(1) bumptest 方法

bumptest 是一个基于阶跃响应的稳定系统测试。

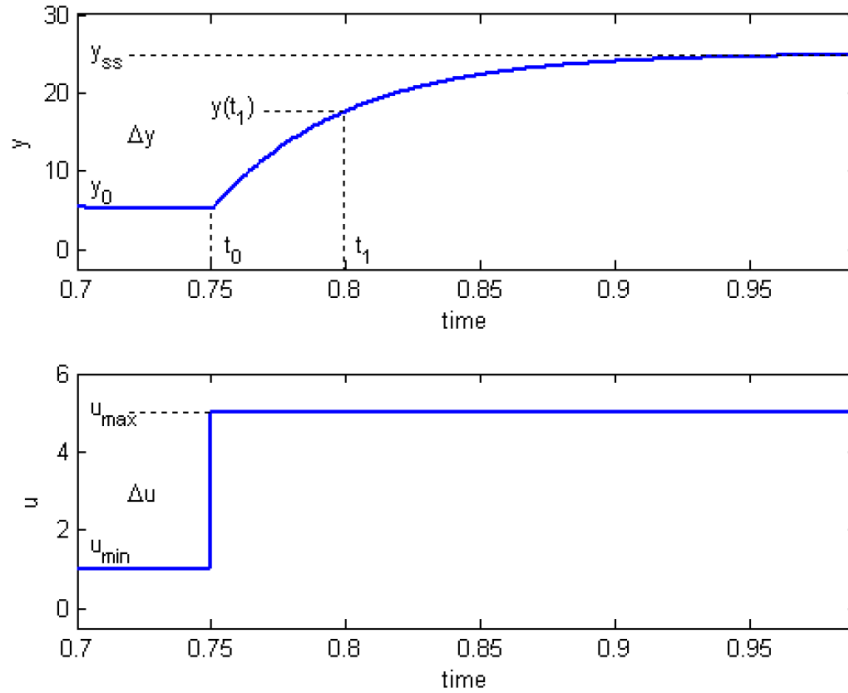


图 3 系统阶跃响应图

传递方程为: $\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{K}{\tau s + 1}$

其中 $K = 5.0 [\frac{\text{rad}}{\text{sV}}]$ $\tau = 0.05 [\text{s}]$

稳态增益是: $K = \frac{\Delta y}{\Delta u}$ 其中 $\Delta y = y_{ss} - y_0$, $\Delta u = u_{max} - u_{min}$

其中 $y(t_1) = 0.632y_{ss} + y_0$ 其中时间 $t_1 = t_0 + \tau$ $\tau = t_1 - t_0$

(2) model validation

模型建立完成后, 通过对模型和开环过程的实际过程进行预测, 验证了模型的有效性。即开环电压同时输入模型和实际器件, 使模拟和实测的响应在同一范围内都能看到。通过对模型参数的微调, 可以对模型进行调整, 使其与被测电机转速相匹配。

3. 控制器设计及仿真结果

令 Amplitude=2.0V; Frequency=0.40Hz; Offset=3.0V

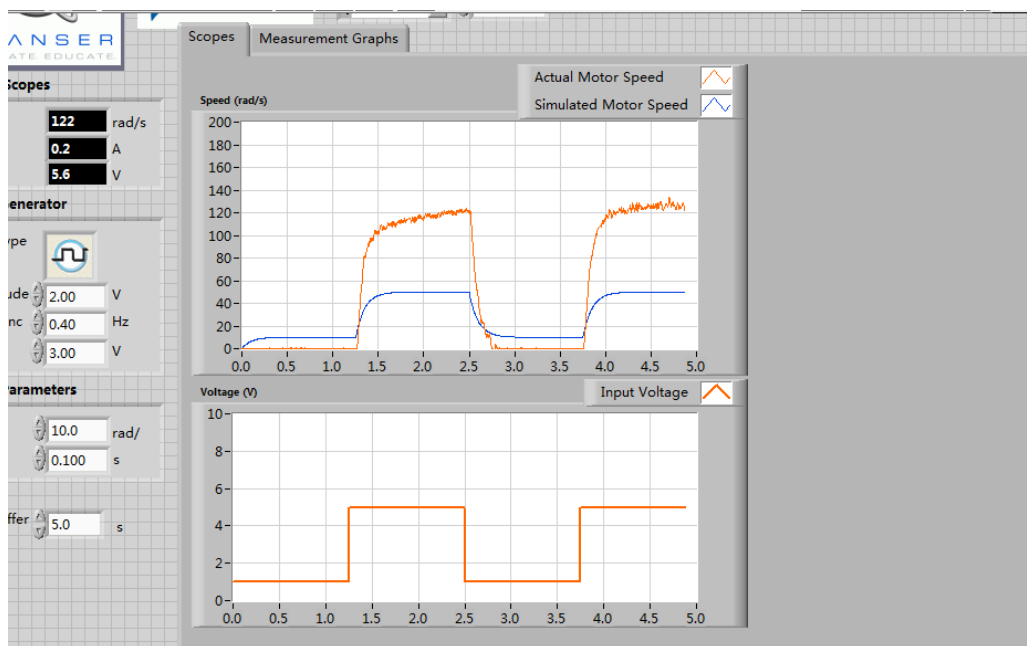


图 4 实验结果图

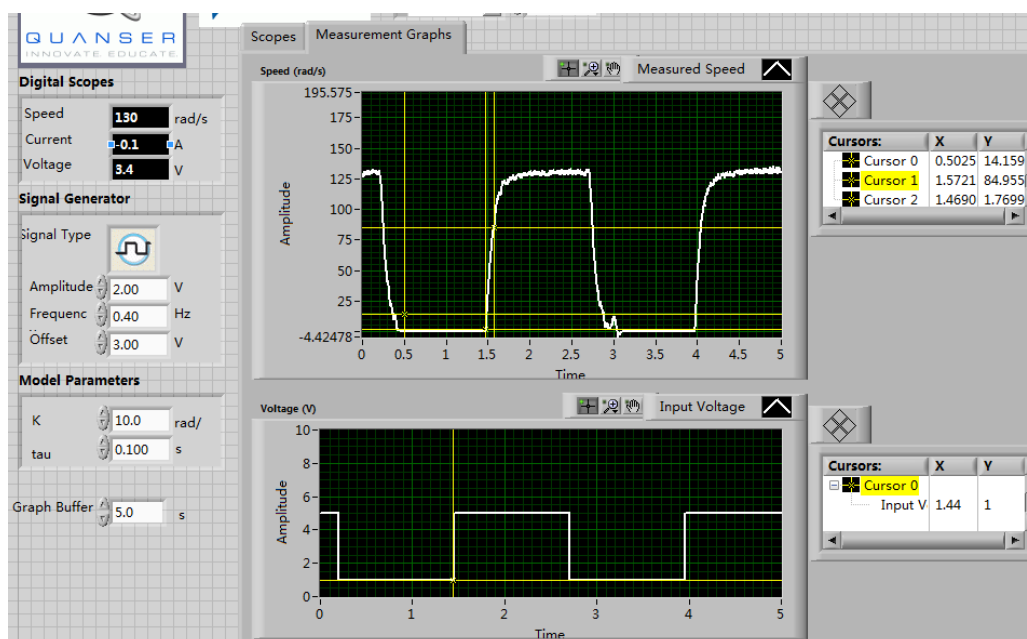


图 5 测量结果图

橙色曲线为系统输入指定信号后的实际速度，蓝色是仿真得到的速度，由于我还没有调节模型参数，所以看起来理论值与实际值偏差很大。通过图像框中的 Measurement Graphs 按钮可以测量实际输出曲线的相关参数（如图 5 所示）。求得速度最大值（速度变化） $\Delta y = 131.85 \text{ rad/s}$ ，由于系统电压输入 $\Delta u = 4 \text{ V}$ ，可以求出系统的稳态增益为

$$K = \frac{\Delta y}{\Delta u} = 32.5 \text{ rad/(s} \cdot \text{V)}.$$

接下来测量调速系统的时间常数，电机速度上升到最大值的 0.632 倍所花费的时间就是调速系统的时间常数。

$$\tau = 0.103s$$

将上述结果整理在表 1 和表 2 中：

表 1：计算稳态增益

Description	Symbol	Value	Unit
Steady-state motor speed	$\omega_{m,ss}$	131.85	rad/s
Initial step motor speed	ω_0	1.7699	rad/s
Input step amplitude	A_v	4	V
Measured steady-state gain using bump test	$K_{e,b}$	32.5	$rad/(V \cdot s)$

表 2：计算时间常数

Description	Symbol	Value	Unit
Decay speed	$\omega_m(t_1)$	84.955	rad/s
Initial step time	t_0	1.4690	s
Decay step time	t_1	1.5721	s
Measured time constant using bump test	$\tau_{e,b}$	0.1031	s

4. 实验结果

将系统的稳态增益设置为 $32.5rad/s$ ，时间常数设置为 $0.103s$ ，得到的系统响应结果如图 4 所示：

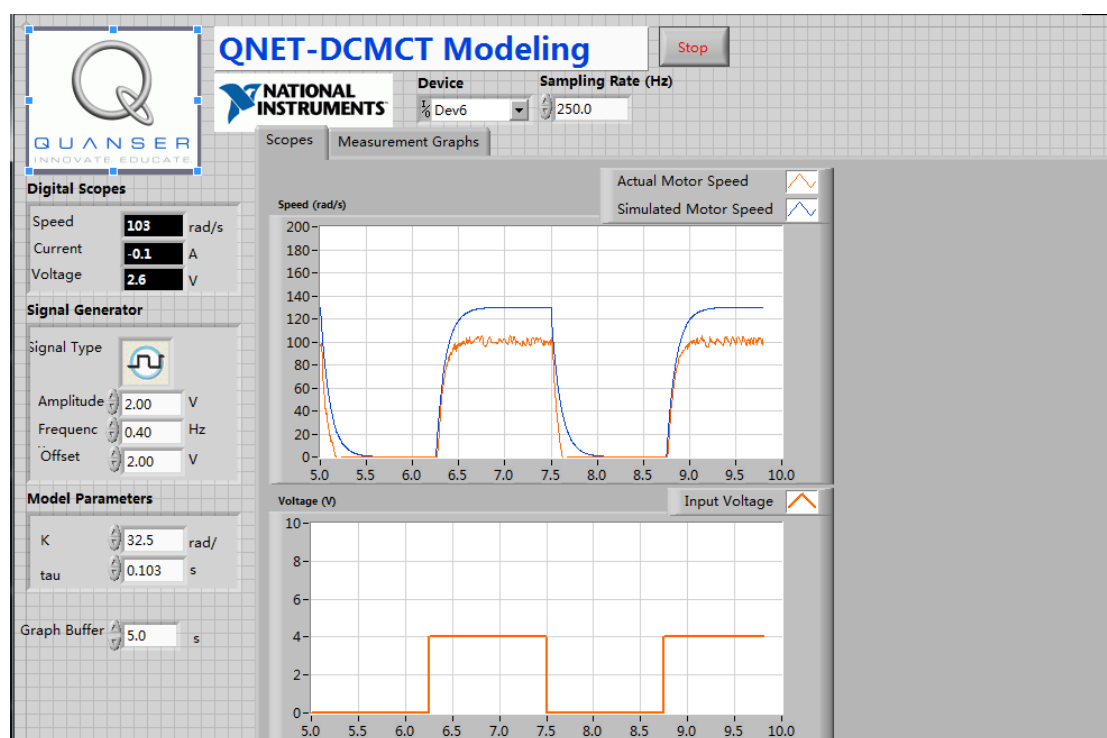


图 6 设计系统的响应图

从图 6 中可以看出实际响应与仿真响应之间的存在差别。两者在幅值上相差较大，说明计算得到的 K 与实际值相差较大，可以通过降低 K 值来实现跟随效果；仿真响应相比实际响应相比变化要慢一些，这说明计算得到的 τ 与实际相比更大。调节系统的参数 K 和时间常数，得到如图 7 所示的结果：

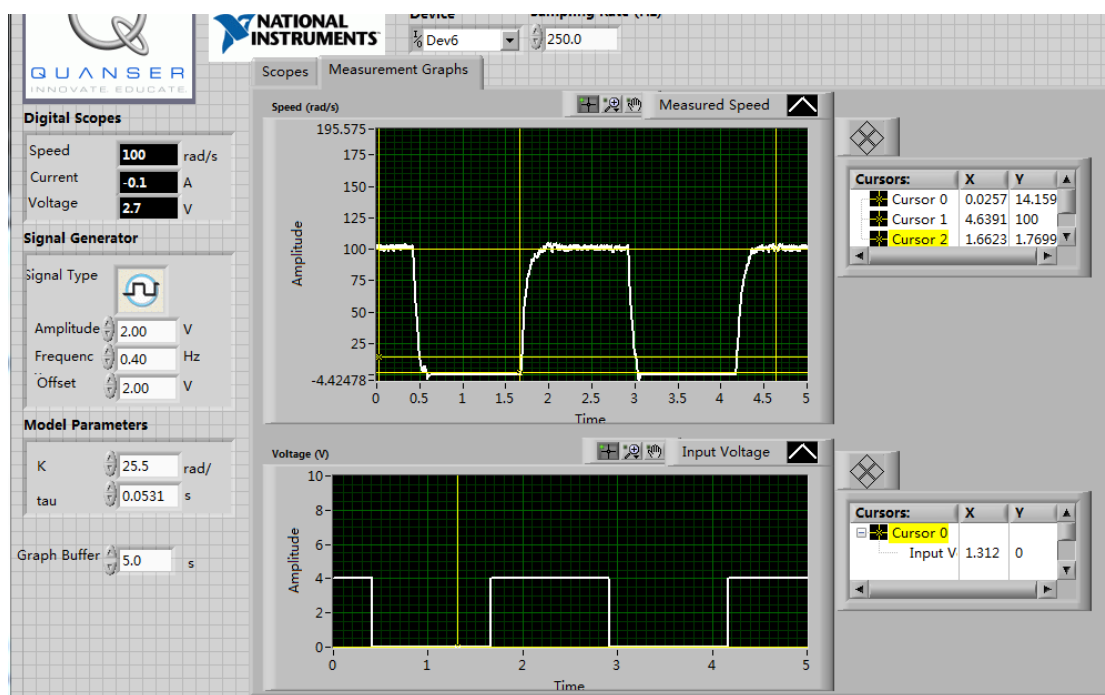
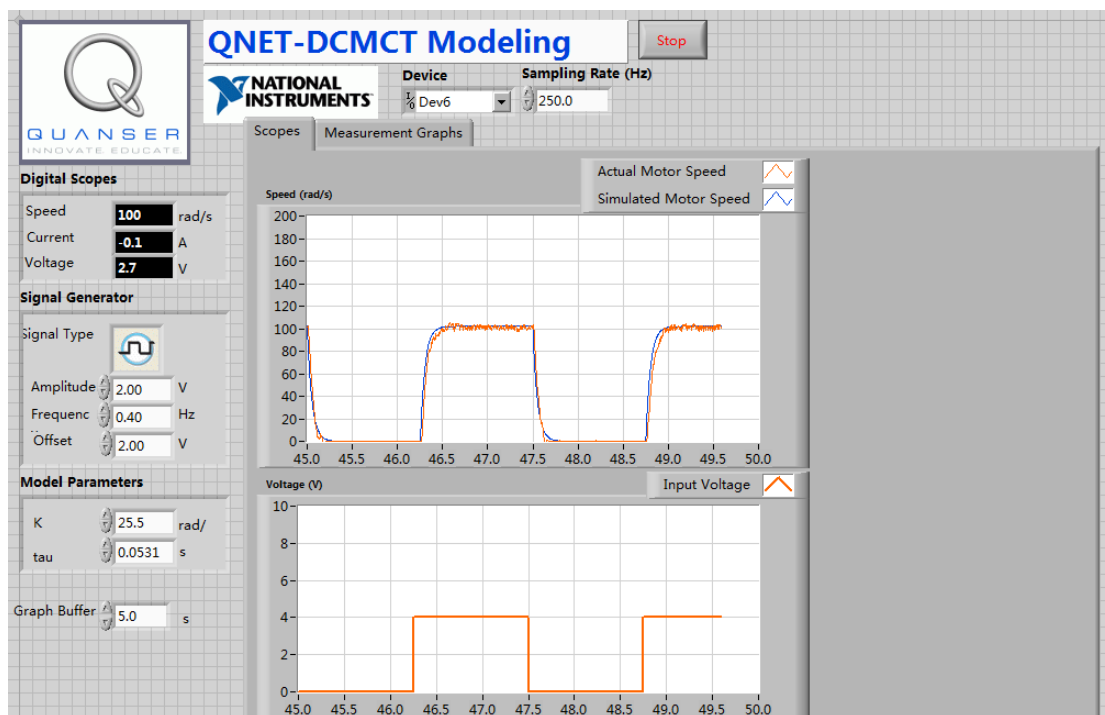


图 7 手动调节稳态增益和时间常数的实验结果图

手动调参得到的完美拟合参数为 $K=25.5$ ， $\tau=0.0531$ ，可见前面产生误差的原因主要是 K 太大， τ 太大，这与上述分析的结论相吻合。 τ 计算值太大的原因可能是实际电机的电磁时间常数和机电时间常数小于仿真模型中的预设值，也有可能是电机内部的摩擦使得在输入电压归零后电机更快地停止转动，这都与实验现象相吻合。

5. 仿真结果与实验结果对比分析

对比分析图 6 和图 7，可以分析到，通过 bump test 方法计算的稳态增益和时间常数，跟踪效果并不是特别理想，存在误差。由于转速表读数中存在噪声，难以获得准确的速度测量

值，在计算模型参数时容易产生误差。这就是模型不准确的原因。另一个原因是只使用了一阶模型(即忽略电感)，不足以捕捉系统的全部动态。通过 **model validation** 调节这两个参数，得到了比较理想的响应结果。表 3 列出了相应的参数。

表 3 设计模型的参数

<i>Description</i>	<i>Symbol</i>	<i>Value</i>	<i>Unit</i>
In-Lab: Bump test Modeling			
Open-Loop Steady-State Gain	$K_{e,b}$	32.5	rad/(V · s)
Open-Loop Time Constant	$\tau_{e,b}$	0.103	s
In-Lab: Modeling Validation			
Open-Loop Steady-State Gain	$K_{e,v}$	25.5	rad/(V · s)
Open-Loop Time Constant	$\tau_{e,v}$	0.0531	s

6. 感想和建议

实验主要进行的是直流伺服电机的建模。通过系统响应的特性，进行稳态增益和时间常数的设计，但是由于系统存在测量以及模型本身存在误差，所以根据设计值实验得到的结果是存在误差的，通过手动调节，可以得到令系统响应比较理想的结果。通过本实验我对于电机的组成和工作原理有了更加深入的了解，也体会到了理论计算与实际之间的差异性，这恰恰说明了工程问题的复杂性。

实验是对理论知识的实践，能够加深对于知识的理解。十分感谢老师在实验中的悉心指导和耐心解答，帮助我更好的完成实验，也十分感谢同组同学的合作，使实验进行的非常顺利。

实验建议：实验前可以先上传实验指导书，让同学预习一下相关实验操作，并复习一下相关的实验理论，这样实验的效果会更好！