系统建模与仿真实验指导书

直流伺服系统

（V3.0 版）

2024 年 10 月

力矩环系统建模及稳定性分析实验

(一) 实验目的

1. 了解机理法建模；
2. 掌握控制系统稳定性分析的基本方法；

(二) 实验设备

1. GSMT2014 型直流伺服系统控制平台；直流伺服系统电控箱；PC（MATLAB 平台）

(三) 实验原理

系统建模可以分为两种：机理建模和实验建模。机理建模是在了解研究对象的运动规律基础上，通过物理、化学的知识和数学手段建立起系统内部的输入——输出状态关系。实验建模是通过在研究对象上加上一系列的研究者事先确定的输入信号，激励研究对象并通过传感器检测其可观测的输出，应用数学手段建立起系统的输入——输出关系。这里面包括输入信号的设计选取，输出信号的精确检测，数学算法的研究等内容。

1. 机理法建立直流伺服电动机过渡过程的数学模型

用下列诸式描述其动态过程：（忽略了系统摩擦阻力）

1) 直流伺服电机转矩方程：

$$T = J\frac{d\omega}{dt} + B\omega \quad （1\text{-}1）$$

2) 电磁转矩方程：

$$T_e = C_m I_d \quad （1\text{-}2）$$

由转矩平衡可得 $T = T_e$，即：

$$J\frac{d\omega}{dt} + B\omega = C_m I_d$$

等式两边进行拉普拉斯变换，即：

$$Js\omega(s) + B\omega(s) = C_m I_d(s)$$

整理可得：

$$\frac{\omega(s)}{I_d(s)} = \frac{C_m}{Js + B} \quad （1\text{-}3）$$

式（1-3）是以电枢电流 I_d 为输入，以角速度 ω 为输出时，直流电动机的传递函数.

参数列表：

参数	参数名称	值	单位
T_e	电磁转矩		
T	电机转矩		
I_d	电枢电流		A
ω	电动机的角速度		rad/s

J	电机轴上的转动惯量	J	kgm^2
B	阻尼系数	$0.05\,C_m$	Nm/（rad/s）
C_m	转矩常数	0.0644	Nm/A
ENC	电机编码器	4000	PPR

阻尼单位注释：由于阻尼力矩$T_b = B\omega = k\omega C_m$，由于$T_b$单位为 Nm，$\omega$单位为 rad/s，所以 B 单位为 Nm/rad/s

直流电机模型为：公式（1-3）

$$\frac{\omega(s)}{I_d} = \frac{C_m}{J * s + B}$$

带入$B \approx B_1 = k * C_m$，（此处k=0.05，经验值）可得：

$$\frac{\omega(s)}{I_d} = \frac{1/k}{\frac{J}{k * C_m} * s + 1}$$

系统参数为：

$$C_m = 0.0644$$

$$J = 0.00029kgm^2$$

$$B = 0.05 * C_m$$

直流伺服系统数学模型为’:

$$\frac{\omega(s)}{I_d} = \frac{20}{0.09s + 1} \qquad (1\text{-}4)$$

2. 稳定性分析

机理法建模建出系统模型传递函数为：

$$\frac{\omega(s)}{I_d} = \frac{20}{0.09s + 1}$$

由此可以看出，直流伺服电机转速与电流的传递函数是个一阶系统，有一个极点（-11.1），在 s 的左半平面，所以系统是稳定的。可以通过 MATLAB 中 Simulink 中仿真验证，也可以连接直流伺服系统进行实时控制验证。

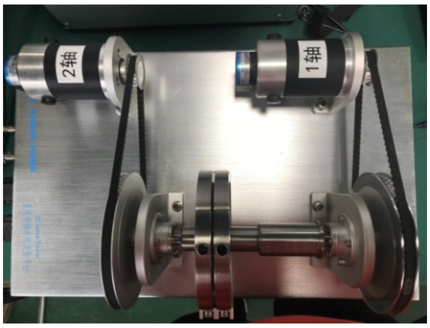
(四) 实验步骤

1. 机理法模型稳定性分析实验

注意：

1) 运行 MATLAB 程序前需把两个电机驱动器模式改为力矩环运行。大带轮通过同步带同时连

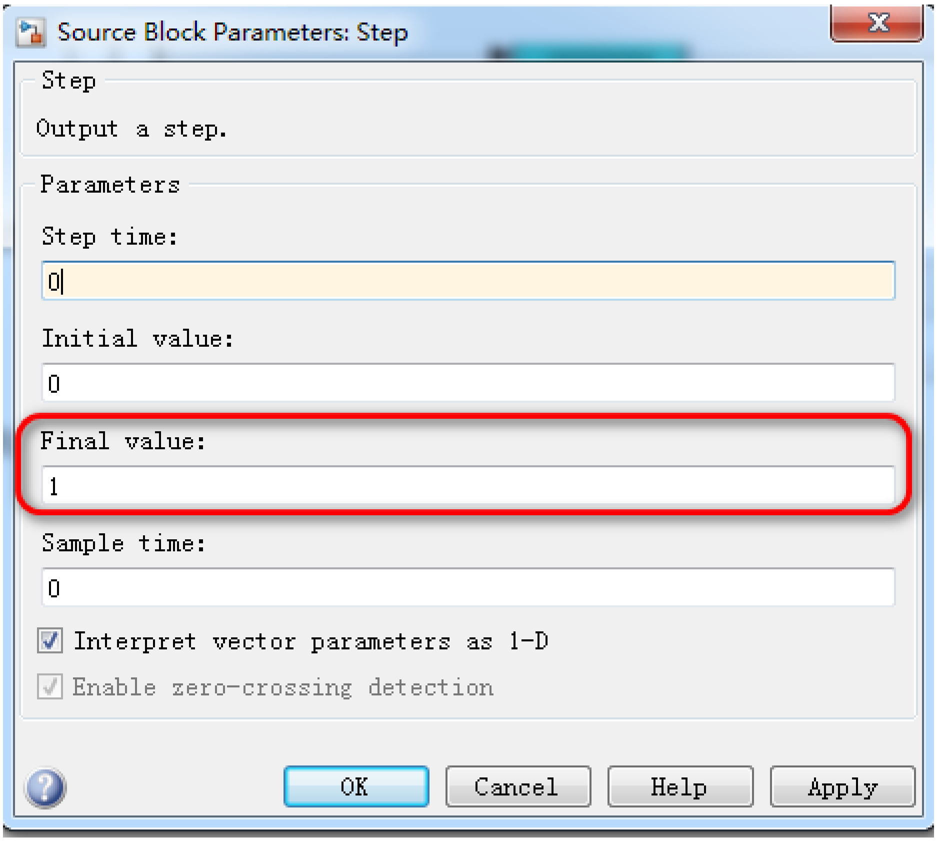
接一轴电机和二轴电机。



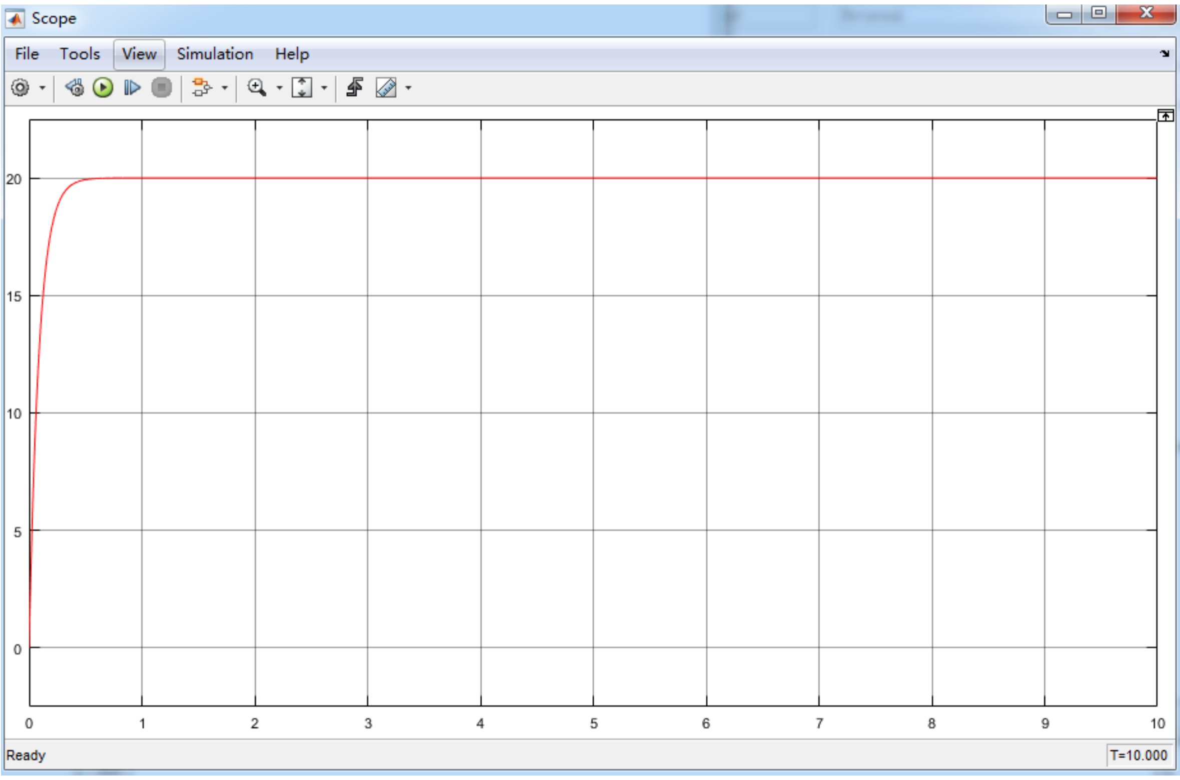
1) 建立系统的 MATLAB 仿真模型，参考程序如图 2.1.1（并保存名为“ModleTest_sim”，保存默认格式为“slx”

图 2.1.1 系统开环仿真结构图

2) 设置输入阶跃信号为 1，即双击 Step 模块设置 Final value 为 1。



3) 点击运行，双击 Scope 模块，得到系统仿真曲线



4) 开环系统稳定，稳态值 20rad/s，超调量：σ=0，调节时间：T_s =0.35s

2. 实验法建模

1) 打开桌面程序“DampingDemo.slx”， 如图 2.1.2 控制架构。

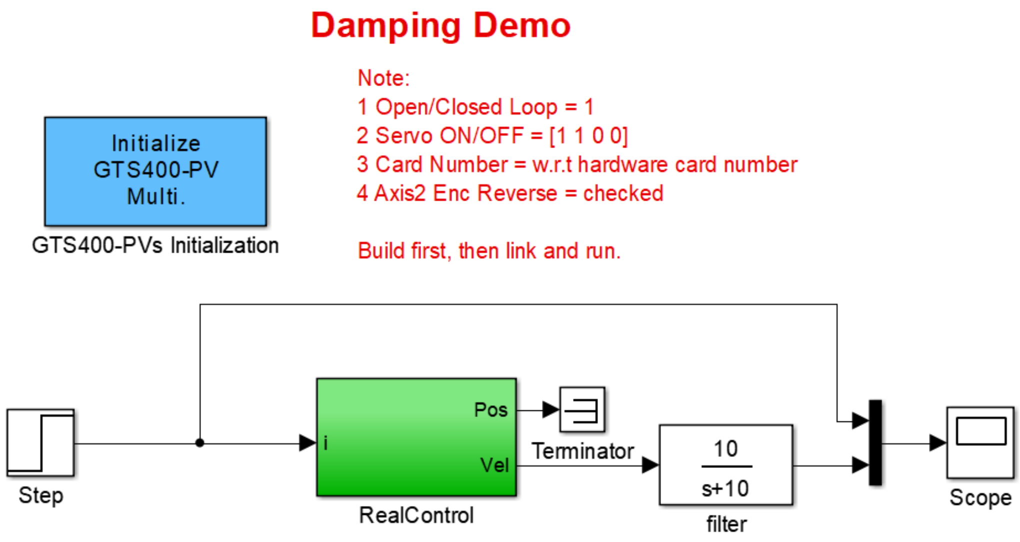
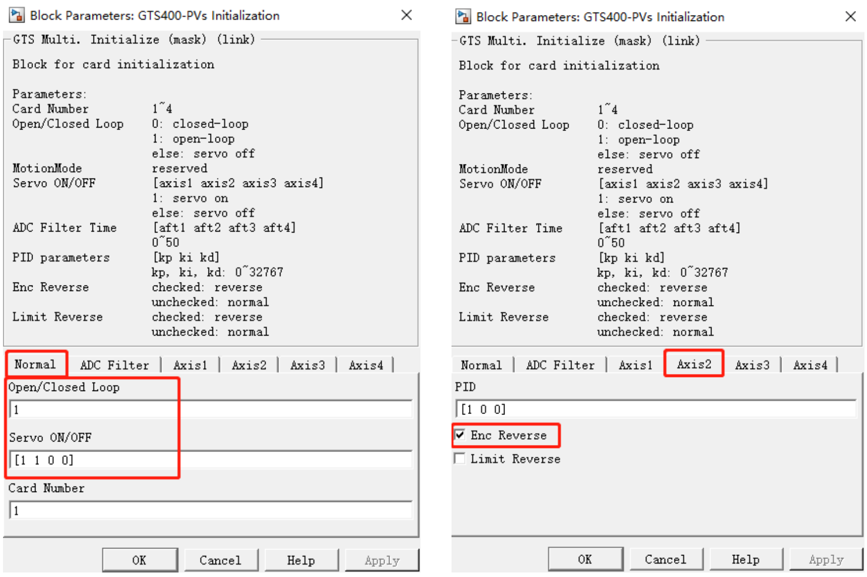


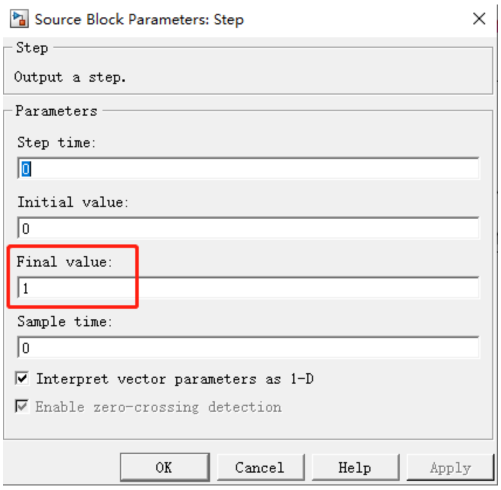
图 2.1.2 系统开环架构图

注意：以下 2）、3）、4）步骤查看一下，一般都已经修改好了。

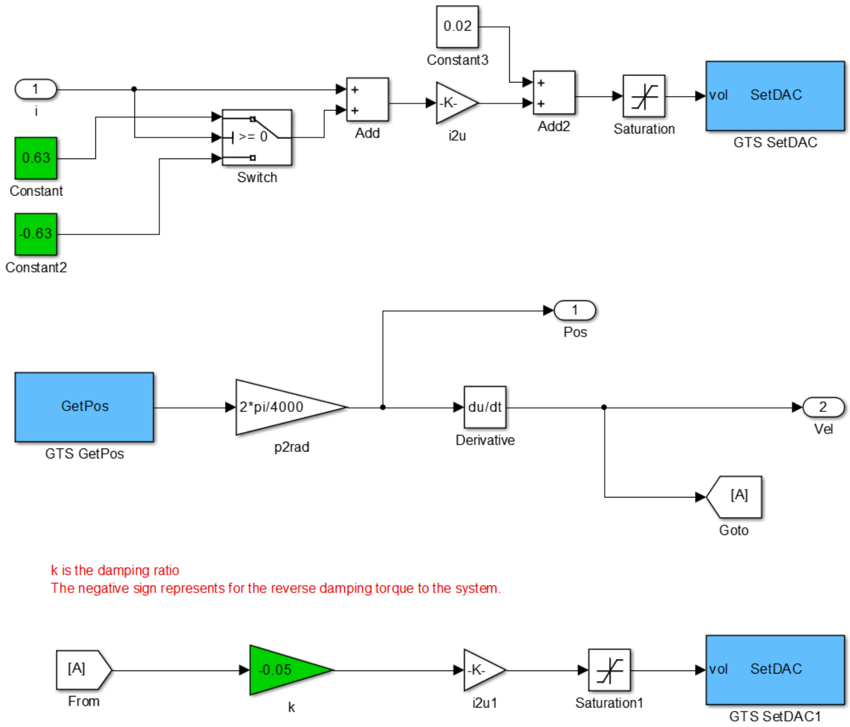
2) 双击“GTS-PVs Initialization”，设置“Open/ClosedLoop”为 1，“ServeON/OFF”为[1 1 0 0]，并设置“Axis2”中“EncReverse”为选中



3) 双击“Step”模块，设置“Finalvalue”为 1



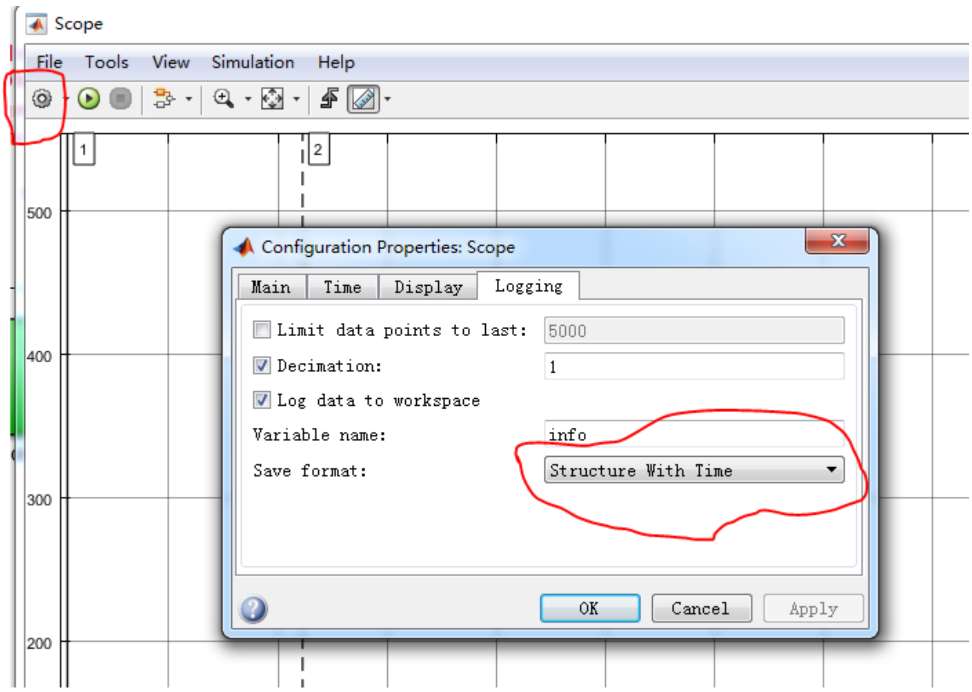
4) 双击“RealControl”模块，其中蓝色模块“GTSSetDAC”和“GTSGetPos”设置轴号为 2，“GTSSetDAC1”设置轴号为 1；



5) “filter”模块为滤波模块，建议添加；

6) 双击“Scope”模块，设置“Save data to workspace”中“Vaiable name”为 info，“Format”为“Structure With Time”；

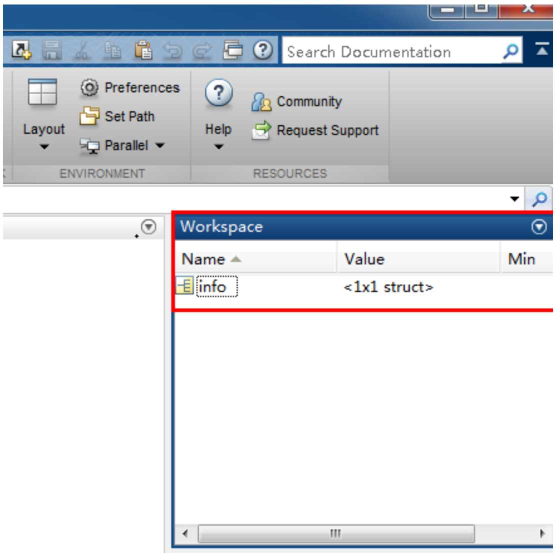
注意：“Vaiable name”，换输入信号时，建议修改，以免数据覆盖；



7) 点击“”编译程序；

8) 点击“”运行程序，建议修改运行时间至少在 30~100 秒之间；

9) 程序运行后，在 workspace 中可以看到采集到的实验数据；



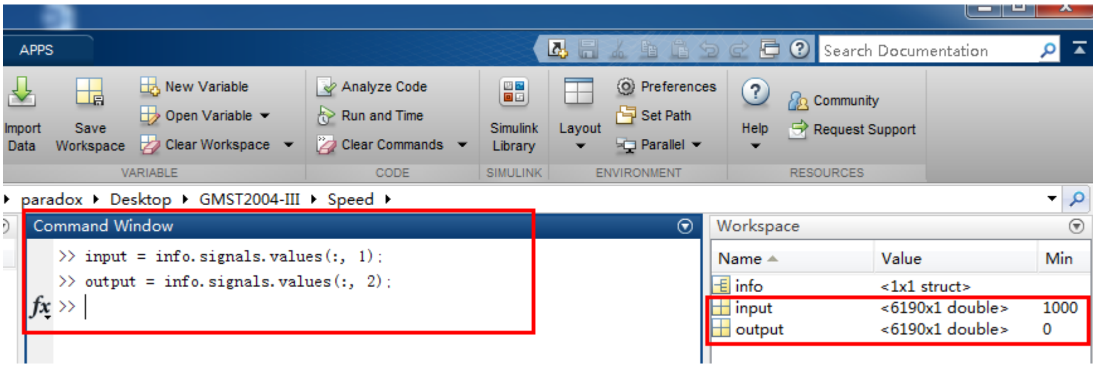
10) 提取 info 中的数据，在 matlab 控制台输入：

input = info.signals.values(:, 1);

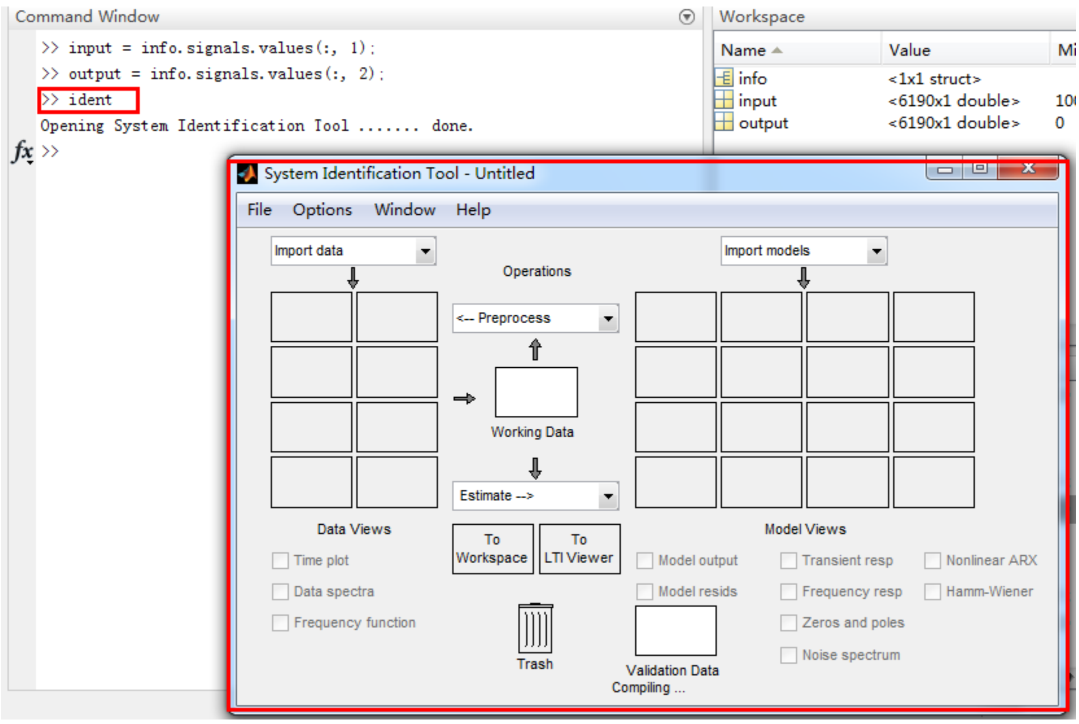
output = info.signals.values(:, 2);

注意：“Vaiable name”，修改时，则将 info 改为自己修改的变量名。

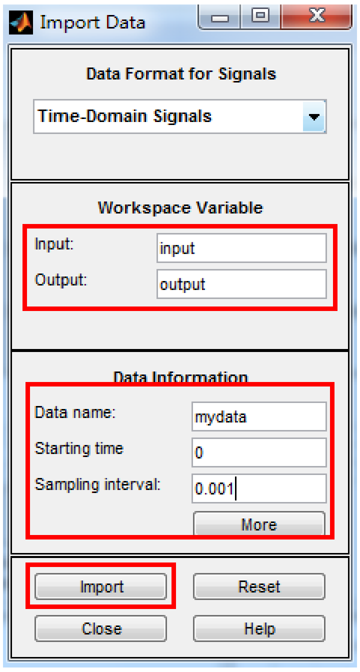
建议：不同输入信号下，修改 intput 和 output 的名称，以免数据覆盖报错。

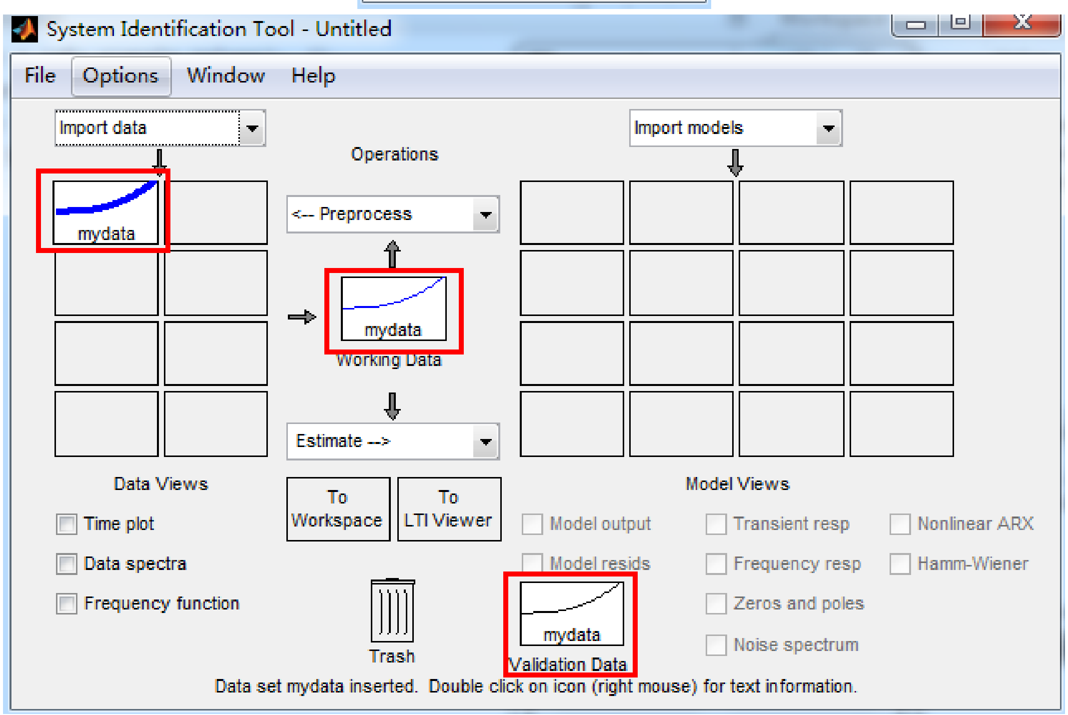


11) 在控制台输入“ident”打开系统辨识工具箱

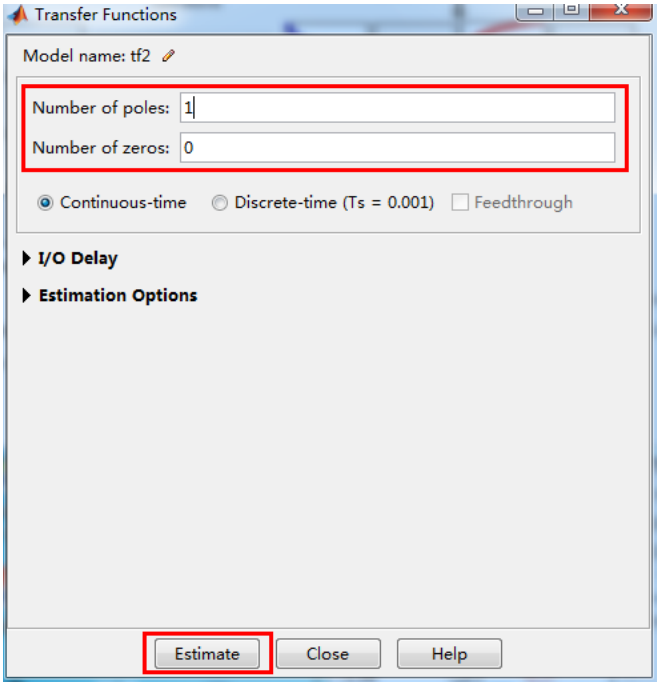


12) 点击“Import data”，选择“Time domain data”导入数据，Input 设置 input，Output 设置为 output，Startingtime 设置为 0，Samplinginterval 设置为 0.001，最后点击“Import”导入系统辨识数据；





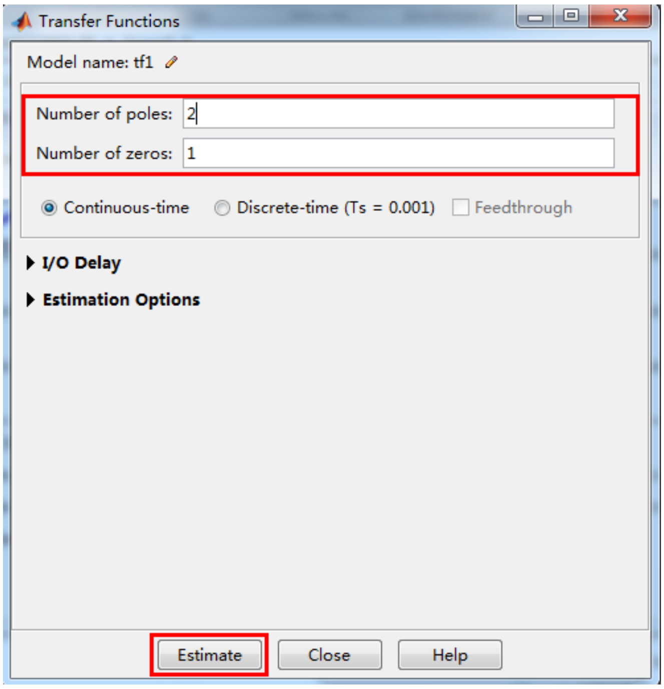
13) 点击“Estimate-->”选择“TransferFunctionModels”，点击“Estimate”开始辨识一阶系统；



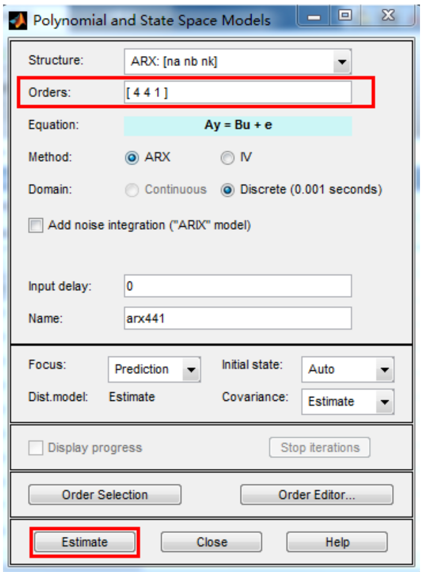
注意：如果辨识的拟合度低于 70%，建议重新采集数据，再进行辨识；

对于 step 信号，辨识的拟合度一般会很低，可能达不到 70%；但对于扫频信号和 M 序列信号，二阶传递函数和多项式模型的拟合度会在 80%以上。

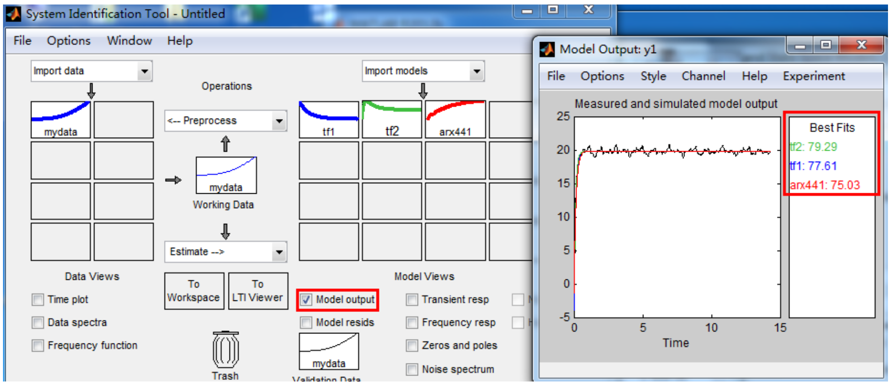
14) 点击“Estimate-->”选择“TransferFunctionModels”，并设置“Numberof poles”为 2，设置“Numberofzeros”为 1，点击“Estimate”开始辨识二阶系统；



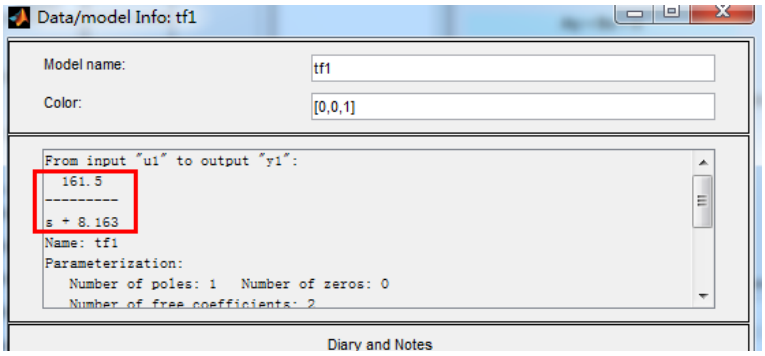
15) 点击“Estimate-->”选择“PolynomialModels”，设置“Orders”为[4 4 1]，点击“Estimate”开始辨识；备注说明：多项式模型[4 4 1]，其中第一个“4”代表输出 y 的阶数；第二个“4”代表输入 u 的阶数，最后一个“1”代表误差为白噪声。

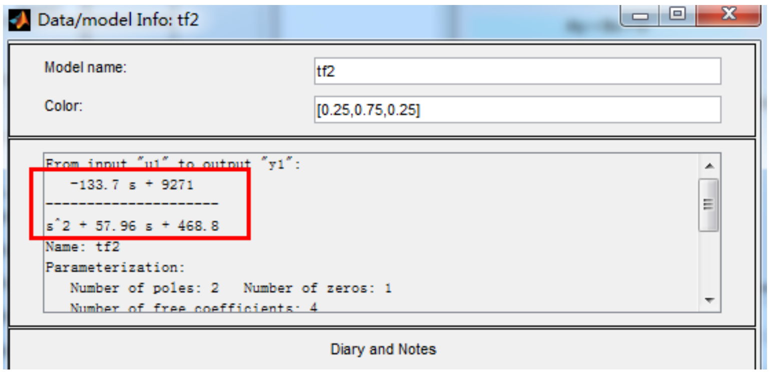


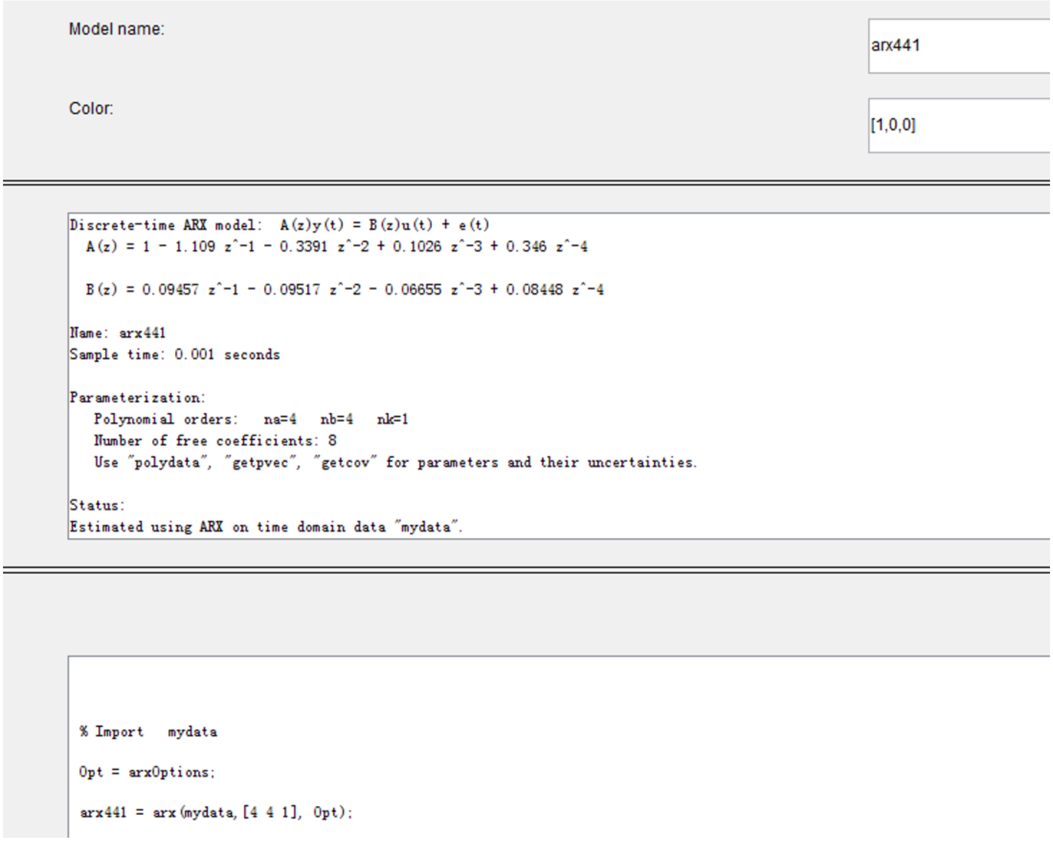
16) 辨识完成后，输出辨识结果“tf1”为一阶系统辨识模型，“tf2”为二阶系统辨识模型，“arx441”为多项式模型，勾选“Modeloutput”，查看辨识效果；



17) 双击“tf1”、“tf2”及“arx441”,即可看到系统辨识模型；







18) 记录系统辨识结果（以下仅为参考，不同系统模型会不同）：

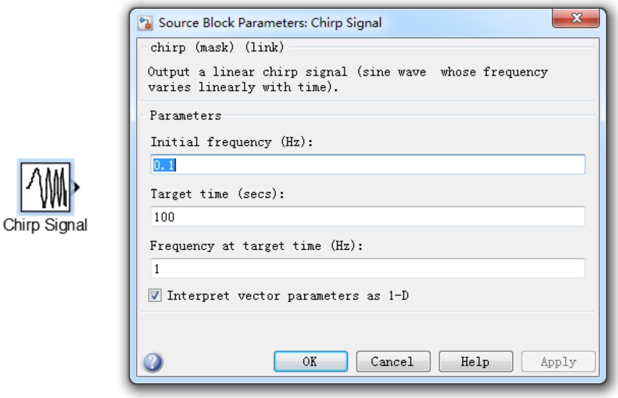
$$G_0 = \frac{161.5}{s + 8.163}$$

$$G_0 = \frac{-133s + 9271}{s^2 + 57.96s + 468.8}$$

$\mathrm{A}(z) = 1 - 1.109z^{-1} - 0.3391z^{-2} + 0.1026z^{-3} + 0.346z^{-4}$

$\mathrm{B}(z)=0.09457z^{-1} - 0.09517z^{-2} + 0.06655z^{-3} + 0.08448z^{-4}$

19) 重复步骤 1)-11)，将图 2.1.2 中的阶跃信号（step）换成扫频信号（Chirp Signal），如下图所示：

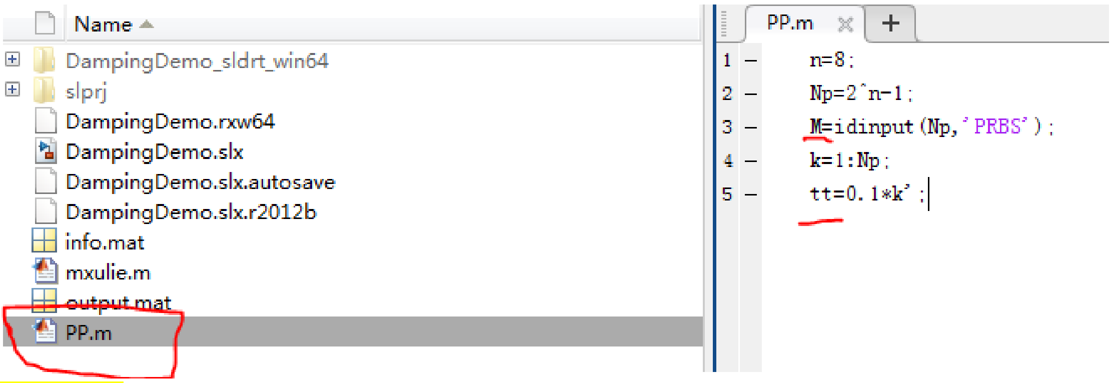


提示：Frequency at target time(Hz)，可以设置为 1~10 之间。

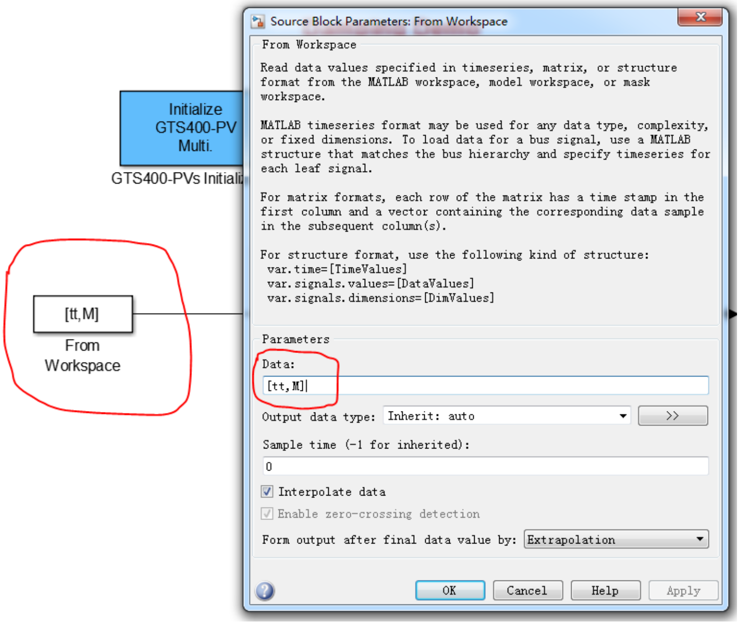
程序运行时间建议设置为 90 秒。如果运行时间设置为 100s，生成的数据可能只有两个数。

20）重复步骤 1)-11)，将图 2.1.2 中的扫频信号（Chirp Signal）换成伪随机序列信号（M 序列），可以采用如下程序方式生成：

新建一个 pp.m 程序，程序中的输入变量为 tt，输出变量为 M，如下图所示：



运行 pp.m 程序，在 simulink 中添加 From Workspace 模块，并将数据修改为[tt,M]；



21）运行 M 序列信号输入的程序，建议运行时间小于 30s。

22）采用自己编写的最小二乘辨识程序（程序一定要准确），分别采集相应的输入输出数据，利用最小二乘辨识程序辨识系统模型，记录下来并与系统辨识工具箱辨识的结果进行比较。

(五)实验记录与实验结果分析

1、实验法建模实验数据记录

模型	阶跃信号	扫频信号	M 序列
一阶系统开环传递函数			
	拟合度：	拟合度：	拟合度：
二阶系统开环传递函数			
	拟合度：	拟合度：	拟合度：
多项式模型			
	拟合度：	拟合度：	拟合度：
最小二乘辨识模型			

2、对比分析工具箱辨识模型与最小二乘辨识模型的区别。

3、去掉 simulink 程序中的滤波模块，分析滤波器的作用。

提示：可以使用扫频信号或 M 序列，获取一组数据，对系统模型进行辨识，分析模型的拟合效果。