

## 实验 2 二阶系统特性分析

### SRV02 旋转伺服基本单元



# 二阶系统特性分析

## 实验目的：

- 通过实验掌握二阶系统模型关键参数对实际系统的影响。

## 实验内容：

- 二阶欠阻尼系统特性观察
- 阻尼比和自然角频率的影响
- 峰值时间和超调量等时域特性。

.

## 前期准备：

- 实验系统已经连接并通过“旋转伺服基本单元快速入门”的相关测试
- 具备传递函数基本知识，例如知道如何从微分方程获得传递函数
- 熟悉 MATLAB 和 SIMULINK 的基本操作
- 通过系统集成实验，已熟悉 QUARC 有关旋转伺服基本单元的基本操作
- 完成 SRV02 建模实验



**注意：**在本实验开始前，请确认实验系统已经正确连接并已通过“旋转伺服基本单元快速入门”的测试

# 1 背景

## 1.1 二阶系统阶跃响应

标准二阶系统传递函数形式如式 1.1 所示

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad (1.1)$$

其中， $\omega_n$  为自然角频率， $\zeta$  为阻尼比。系统响应特性依赖于参数  $\omega_n$  和  $\zeta$  的值。

输入以下阶跃信号，

$$R(s) = \frac{R_0}{s}$$

如果取阶跃幅值为  $R_0 = 1.5$ ，方程(1.1)所示二阶系统的响应如图1.1 所示。其中红线为响应输出  $y(t)$ ，蓝线为阶跃输入  $r(t)$ 。

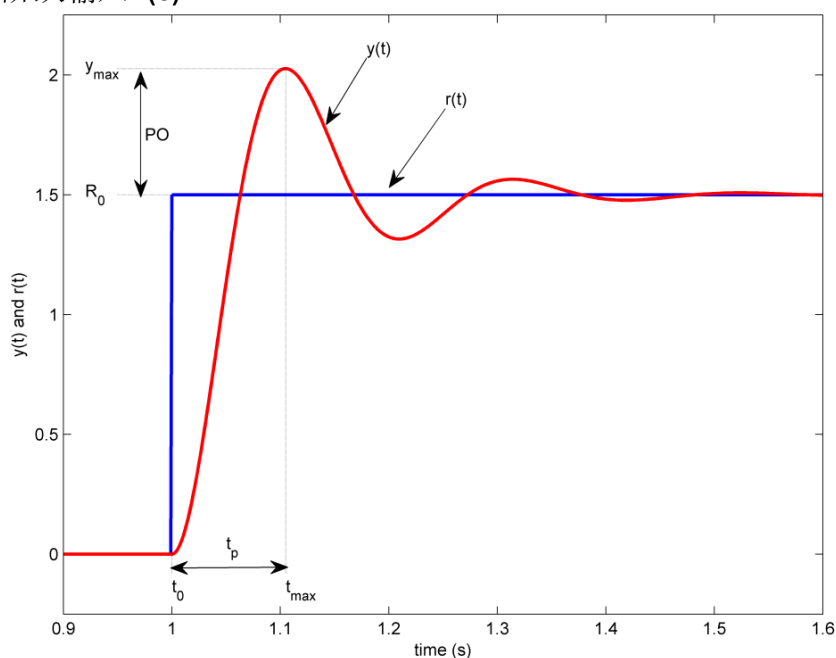


图 1.1: 标准二阶系统的阶跃响应

## 1.2 峰值时间和超调量

响应的最大值为  $y_{max}$ ，发生于时刻  $t_{max}$ 。对于类似于图1.1 所示响应，超调百分比记为

$$PO = \frac{100(y_{\max} - R_0)}{R_0}。 \quad (1.2)$$

从初始起跳时间 $t_0$ ，到达响应曲线的最大值所经历的时间为

$$t_p = t_{\max} - t_0 \quad (1.3)$$

该值称为系统的峰值时间（*peak time*）。

在一个二阶系统中，超调量仅依赖于阻尼比，可通过下面的方程计算

$$PO = 100e^{\left(-\frac{\pi\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}\right)}。 \quad (1.4)$$

峰值时间依赖于系统的阻尼比和自然角频率，可由下式计算

$$t_p = \frac{\pi}{\omega_n \sqrt{1-\zeta^2}}。 \quad (1.5)$$

一般来讲，阻尼比影响响应的形状，而自然角频率影响响应速度。

### 1.3 单位反馈

图 1.2 所示为单位负反馈闭环系统，可采用该形式，使 SRV02 旋转伺服基本单元实现位置控制。

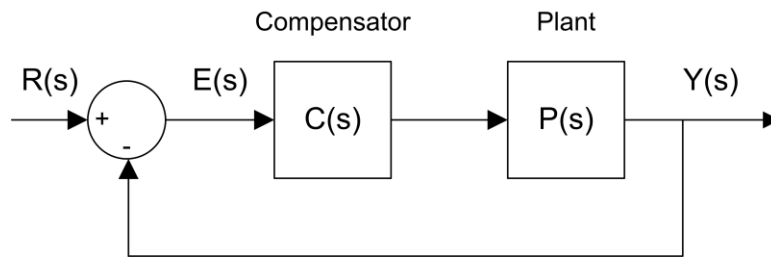


图 1.2：单位反馈闭环

SRV02 电压到位置传递函数为

$$P(s) = \frac{\Theta_m(s)}{V_m(s)} = \frac{K}{s(\tau s + 1)}。 \quad (1.6)$$

其中， $K$  为电机电压至转速模型的稳态增益， $\tau$  为模型的时间常数。

$\Theta_m(s)=L[\theta_m(t)]$ 为 SRV02 负载的位置， $V_m(s)=L[v_m(t)]$ 为施加到电机上的电压。

控制器记为 $C(s)$ 。在本实验中，如果取

$$C(s)=1 \quad (1.7)$$

如图 1.2 所示单位负反馈下，从指定值输入  $R(s)=\Theta_d(s)$ 到输出  $Y(s)=\Theta_m$  的 SRV02 位置控制闭环传递函数为：

$$\frac{\Theta_d(s)}{V_m(s)} = \frac{\frac{K}{\tau}}{s^2 + \frac{1}{\tau}s + \frac{K}{\tau}} \quad (1.8)$$

## 2 实验预习

在进行正式实验前，请预习第 1 节的背景知识并完成本节中的任务。

1. **A-1, A-2** 实验一中将电机输入电压至输出转速的传递函数简化为一阶惯性环节，并通过实验获得了一阶惯性环节的时间常数  $\tau$  和增益  $K$ ；按照如图 1.2 所示组成单位负反馈的位置控制系统，如果  $C(s)$  为比例环节，比例系数为变量  $K_{gain}$ ，请写出该位置控制系统的传递函数，计算无阻尼自然角频率和阻尼比与  $K$ 、 $\tau$ 、 $K_{gain}$  的关系。
  
2. **A-2** 将实验一中的  $K$  和  $\tau$  数值带入单位负反馈的位置控制系统传递函数，估算系统的超调量和峰值时间与  $K_{gain}$  的关系。

# 3 现场实验

1. 打开名为“Position\_Control.slx”的 Simulink 模型。如图 3.1 所示，采用与图 1.2 相同的单位负反馈控制。
2. 设置 Step 模块，“阶跃时间”为 1，“初始值”为 0，“终值”为  $0.25\pi$ ；
3. 设置系统运行总时间，在 Simulink 界面中的“硬件”标签中，设置“停止时间”为 10，使系统运行总时长为 10 秒。

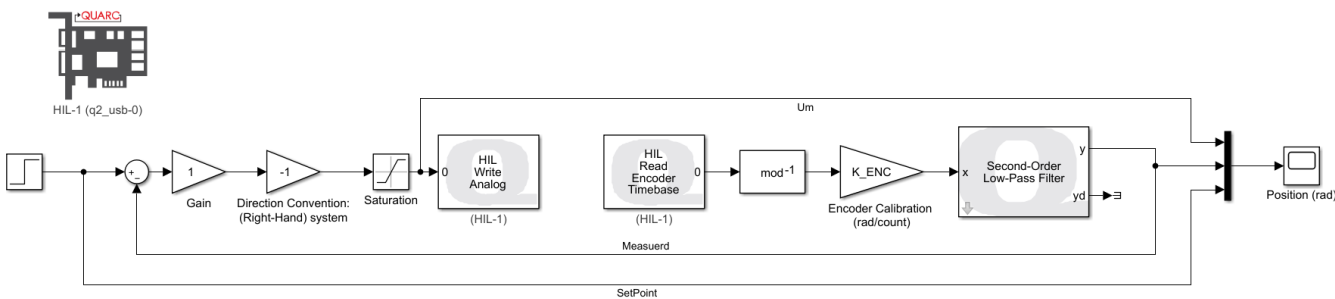



图 3.1:SRV02 单位反馈位置控制

4. SRV02 的负载和实验一中保持一致。

5. 在“硬件”标签中，单击“监控并调节”按钮 ，获得系统响应曲线图，与图 3.2 相似。

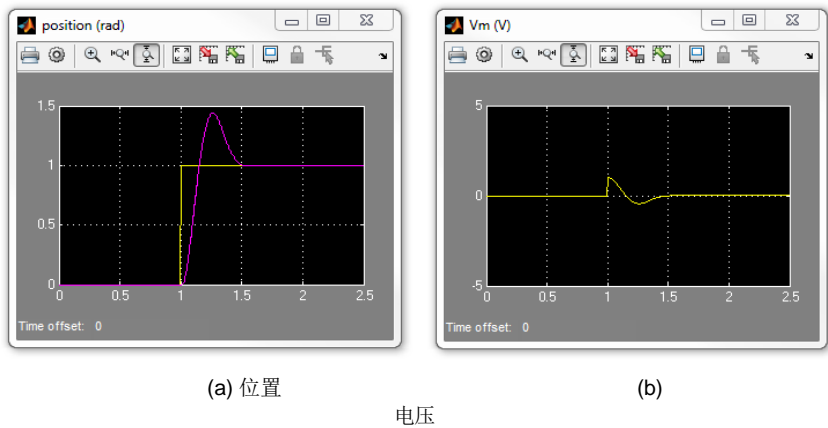


图 3.2:SRV02 单位反馈阶跃响应

6. **B-5, K-2** 在 Scope 窗口中同时显示 SRV02 的位置响应曲线以及给定值的图形，思考该响

应过程是否为二阶系统欠阻尼的响应过程？有何不同？关注记录电机电压曲线，观察电机电压  $U_m$  是否出现被“Saturation”模块截止的情况，思考出现截止时对系统的影响。

提示：记录 Scope 模块的数据，请参考实验一中的 3.1 节第 3 步的描述。

7. **B-9, K-1** 从响应曲线中测量峰值时间和超调百分比，并与理论计算所得的期望结果进行比较。（如不是典型的欠阻尼响应过程，本步跳过）提示：使用 Matlab 中的 `ginput` 命令测量曲线中各点或者直接在 Scope 窗口中使用游标进行测量。
8. 根据本实验预习 2.1 的内容，代入实验一中  $K$  和  $\tau$ ，求取二阶系统阻尼比与  $K_{gain}$  的关系，进一步尝试调整设置图 3.1 所示的“Gain”环节的增益数，使得实际响应过程为典型的二阶系统欠阻尼响应过程，记录系统对应的响应曲线，实际测量峰值时间和超调百分比，并与理论计算所得峰值时间和超调量相比较。
9. 思考，由 SRV02 组成的位置控制系统和理想的二阶系统有何不同？由哪些可能因素造成这些差异？可列举上述实验中的数据波形进行说明。
10. 停止 QUARC 控制器。
11. 关闭 SRV02 电源。

## 4 实验报告

请根据本节内容要点准备实验报告。

### 4.1 内容模板

#### I. 实验过程

简要描述本次实验的主要目的和过程

#### II. 实验结果

本节中只需提供数据结果即可，解释和分析另行提供。

1. 实验所用的位置反馈闭环控制 Simulink 程序图；
2. 不同 Gain 参数下的系统阶跃响应曲线；
3. 实际测量的峰值时间、超调百分比；

#### III. 实验分析

1. 对本实验中所涉及的计算过程进行详细阐述；
2. 对实验所得的实验数据进行分析；

#### IV. 结论及收获

对实验结果进行归纳总结，写出其内在的理论逻辑。

### 4.2 实验报告格式要求

请提供更具认真且专业的实验报告，并以“pdf”格式准时提交至网络学堂。

- 每位同学均需要提交实验报告
- 包含封面，封面请标注必要信息（实验名称、学生姓名、学号、实验日期、同组学生姓名，同组学生学号、理论课教师姓名等）；
- 包含实验要求的所有内容（过程、结果、分析和结论）；
- 将实验中所产生、记录的原始数据、程序文件整体压缩为一个文件作为实验报告的一部



分同时提交；

- 语句通顺无错别字；
- 布局清晰整洁美观；
- 请编写页码；
- 所有公式都有编号；
- 所有图形都有编号，具备描述性标题，坐标轴都有标签；
- 所有表格都有编号，具备描述性标题，表格内容具备恰当表头；
- 实验数据以合适的形式（图形、图表、数字、表格等）呈现；
- 图表、框图请勿手绘；
- 使用正确的格式进行参考和引用。