

## 实验二：双容水箱液位定值控制实验

### 实验目的

- 1、学习常用的单回路控制系统工程整定方法。
- 2、了解调节器参数对控制过程动态品质指标的影响规律。

### 实验原理

当控制系统中的被控对象、检测变送器、执行器和控制方案都已经确定，系统的控制品质就取决于调节器的各个参数设定值。PID调节器参数的整定就是确定最佳过渡过程中调节器的比例度 $\delta$ （或比例系数 $K_p$ ）、积分时间常数 $T_i$ 、微分时间常数 $T_d$ 的具体数值。

系统整定方法分为两大类：**理论计算整定法**和**工程整定法**。其中，理论计算整定法需要精确的得出系统的数学模型，计算量很大，而且实际中过程系统存在大量非线性，很难得到精确的数学模型，计算结果仍然需要现场修正，所以工程中大多不采用。而工程整定法是在理论计算基础上通过实践得出，该方法无需确切知道对象的数学模型，也能迅速获得调节器的近似最佳整定参数，因而得到大量应用。

PID参数的工程整定法常见的有：动态特性参数法（响应曲线法）、衰减曲线法、临界比例度法、经验试凑法等。本实验主要研究前三种整定方法，并给出了动态特性参数法的参考整定过程和整定结果（建议使用该方法）。

#### 1、动态特性参数法

动态特性参数法是一种开环整定方法，在系统处于开环稳态的情况，给系统输入一个阶跃信号，测量系统的输出响应曲线2-1，得出广义对象的传递环数 $G_0(s)$ 。

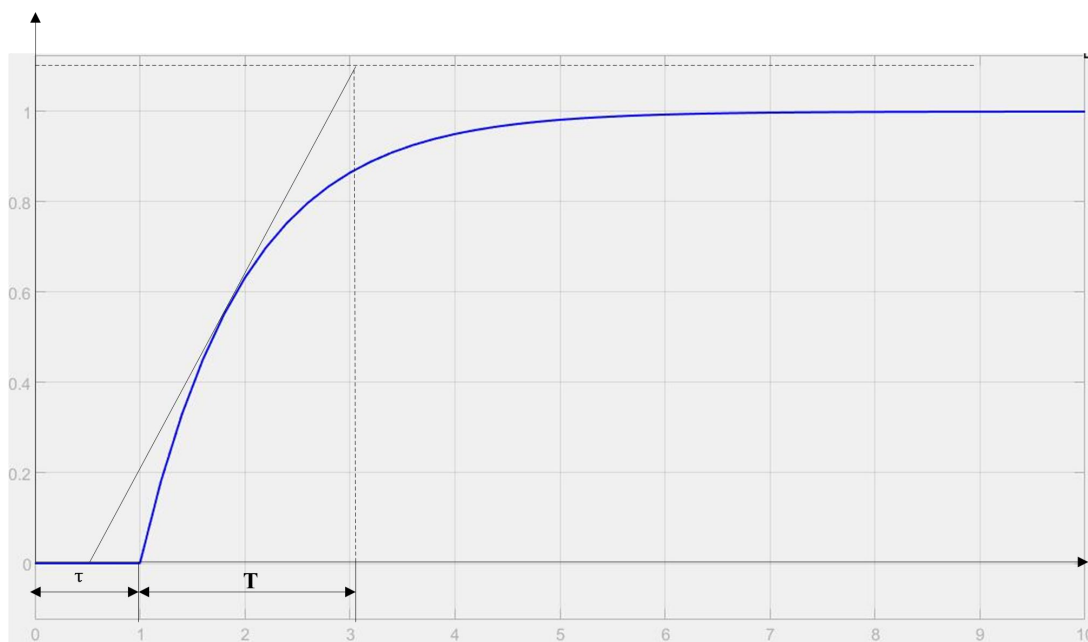


图2-1 被控对象阶跃响应曲线

广义对象用一阶惯性加纯滞后来近似，即广义对象的数学模型为：

$$G_0(s) = \frac{K}{Ts + 1} e^{-\tau s}$$

K为被控对象的增益、T为时间常数、时滞 $\tau$ 。根据齐格勒-尼克尔斯（Ziegler-Nichols）控制器参数整定法，可参考如下表格2-1得出PID控制器参数。

表2-1 Ziegler-Nichols控制器参数整定

控制规律	比例度 $\delta$	积分时间	微分时间
P	$K\tau/T$	——	——
PI	$1.1K\tau/T$	$3.3\tau$	——
PID	$0.85K\tau/T$	$2.2\tau$	$0.5\tau$

以实验一所测得双容水箱动态响应曲线为例（实验中调节阀置于某开度），如下图2-2所示。

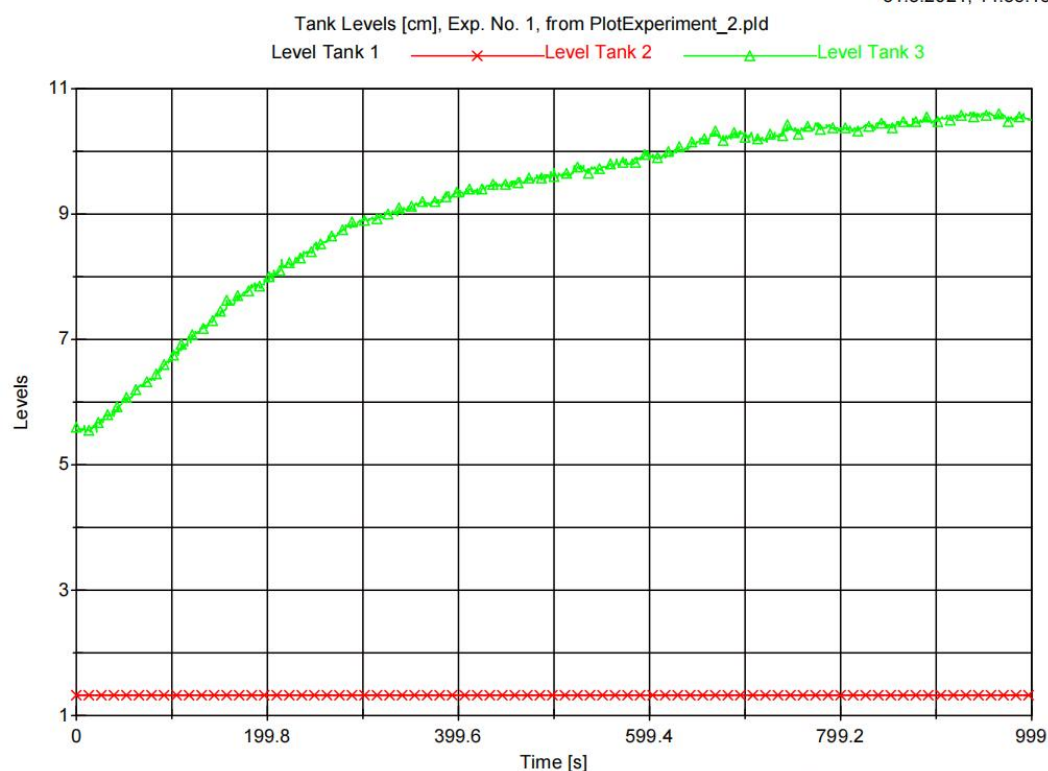


图2-2 双容水箱液位阶跃响应曲线

由上述动态响应曲线（飞升曲线）可近似得到广义被控对象的一阶惯性加纯滞后对象数学模型：

$$G(s) = \frac{Ke^{-10s}}{Ts + 1}$$

采用PI控制器，参考上表2-1的控制器参数，经多次整定和调节，最终取比例系数 $K_p=5$ ， $K_i=1/T_i=0.05$ 。置于双容水箱液位控制系统，得到下图2-3结果。

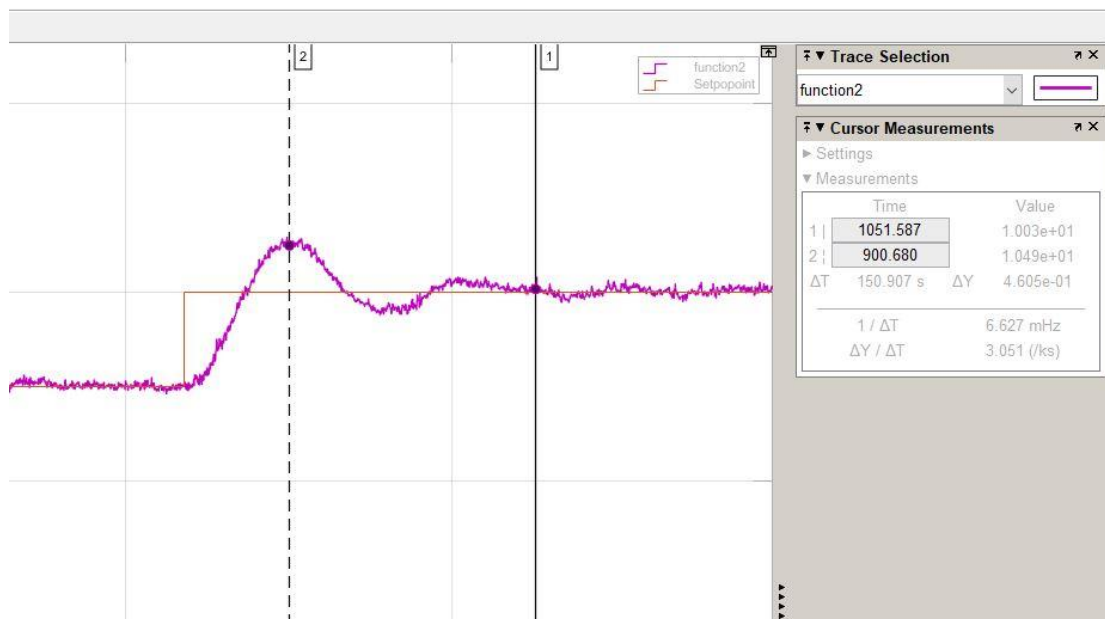


图2-3 双容水箱液位PI控制响应曲线

## 2、临界比例度法

临界比例度法是一种闭环的参数整定方法。它是基于纯比例控制系统的临界振荡实验数据——临界比例度 $\delta_k$ 和 $T_k$ ，并采用一些经验公式，获取控制器的最佳参数整定值。

理论上采用纯比例控制，由小到大改变比例度，来观测系统的闭环响应曲线，直到出现等幅振荡。实际上采用临界比例度法时，易使得调节器动作速度很快，使调节阀全开或全关，对应于本实验中注水动力泵长期游移于全开全关状态，设备损耗严重；并且实验中双容水箱液位控制的被控对象波动一次需要时间较长，进行一次实验必须测试若干个完整周期，整个实验过程十分费时间。基于上述原因，可采用双容水箱阶跃响应曲线计算出二阶系统的模型参数，由Matlab-Simulink仿真，采用纯比例调节器使系统等幅振荡，得出临界比例度 $\delta_k$ 和 $T_k$ 。

由图2-2飞升曲线求出二阶系统近似数学模型（具体方法见实验一）：

$$G(s) = \frac{Ke^{-10s}}{(9s+1)(287s+1)}$$

调整 $\delta_k$ ，使Simulink仿真结果如下图所示（不同matlab版本，结果可能不同）， $T_k$ 为100s。

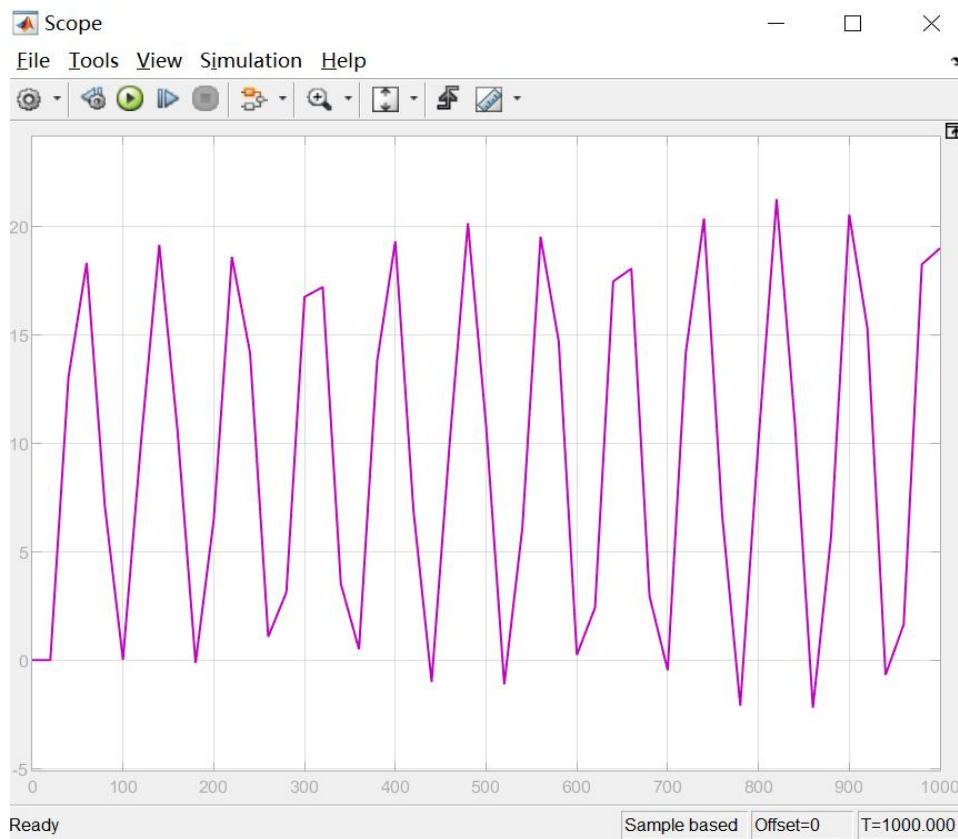


图2-4 Simulink仿真临界振荡曲线

将仿真得出的近似临界比例度 ( $\delta_k$ ) 和振荡周期 ( $T_k$ ) 计算整定参数，并置于双容水箱液位控制系统，须再做整定。

### 3、衰减曲线法

衰减曲线法也是一种闭环的参数整定方法。它是基于控制系统过渡过程响应曲线衰减比为4:1的实验数据，并利用经验公式，确定控制器的最佳参数整定值。实验中也可参考临界比例度整定法的思想，通过Simulink仿真将系统纯比例控制，使得响应曲线4:1衰减得出参数，置于实验装置的调节器，根据实验结果再做微调。

## 实验步骤

### 1、临界比例度法：

(1) 设置双容对象（开连通阀 V1 和泄露阀 W3；关其它各阀），泵1适配器开关拨到自动状态。

(2) 运行MATLAB-simulink，打开桌面“TTS20/Order2pid.slx”进入实验界面，如下图所示。

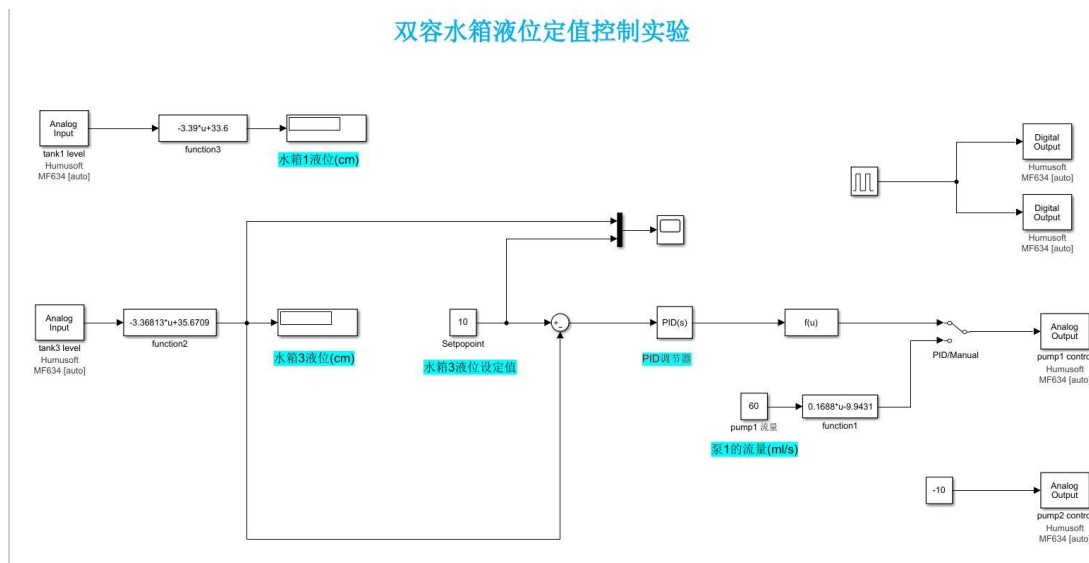


图2-5 实验程序界面

(3) 计算 P、PI调节器参数（指导书后附参考值）。

(5) 分别将计算参数置于调节器，方法是：双击PID调节器，将参数输入，编译程序、运行。**建立初稳态**，初始将第3液柱水位设为9cm。

(6) 系统稳定后改变设定值，给定第3水柱的液位为10cm，在“水箱3液位设定值”模块输入10，给二阶系统一个阶跃输入信号。

(7) 观察、记录控制过程的曲线。采集时间建议 $\geq 1000s$ ，停止程序，双击示波器，即可看到整个过程的液位变化曲线。曲线可截图保存，作为理论分析的依据。

## 2、衰减曲线法：

(1) 依然使用上述程序建立初稳态（调整使第3水柱的液位在9cm左右）。

(2) 根据仿真得出的  $\delta_s$ 、 $T_s$  计算 P、PI调节器参数（依据4:1衰减曲线整定计算公式）。

(3) 将计算出的P调节器参数值置于系统控制器（ $P=1/\delta_s$ ； $I=0$ ； $D=0$ ），控制系统按纯比例作用的方式投入运行，系统稳定后改变设定值，给定第3水柱的液位为10cm，在“水箱3液位设定值”模块输入10，给二阶系统一个阶跃输入信号。

(4) 观察、记录控制过程的曲线，采集时间建议 $\geq 1000s$ 。

(3) 计算 PI、PID 调节器参数，将计算参数置于调节器，重复上述步骤，并观察、记录控制过程的曲线。

### **注意事项：**

- （1）实验过程中，水箱的进水阀、出水阀不得任意改变开度大小（请思考问什么？）
- （2）阶跃信号不能取太大，以免影响正常运行，通常取输入信号的5%-15%，本实验中建议由第3水柱液位的设定值9cm改为10cm，作为系统阶跃输入。
- （3）指导书中示例的二阶系统传递函数，由调节阀某一开度决定。由于实验差异性，调节阀开度选择不同，传递函数即数学模型也应不同。

### **实验报告：**

- （1）比较上述两种工程整定法各自的特点和适用场合。
- （2）结合实验结果比较 P 、PI控制法对过程动态品质指标的影响。
- （3）附实验过程中采集的曲线结果。

## 附录I

I-1 4:1衰减曲线法参数整定公式参考表

控制规律	$\delta$ (%)	Ti	Td
P	$\delta_s$		
PI	$1.2\delta_s$	$0.5T$	
PID	$0.8\delta_s$	$0.3T$	$0.1T$

I-2 临界比例度法参数整定公式参考表

控制规律	$\delta$ (%)	Ti	Td
P	$2\delta_K$		
PI	$2.2\delta_K$	$0.85T_K$	
PID	$1.7\delta_K$	$0.5T_K$	$0.125T_K$

I-3 经验试凑法参数整定参考表

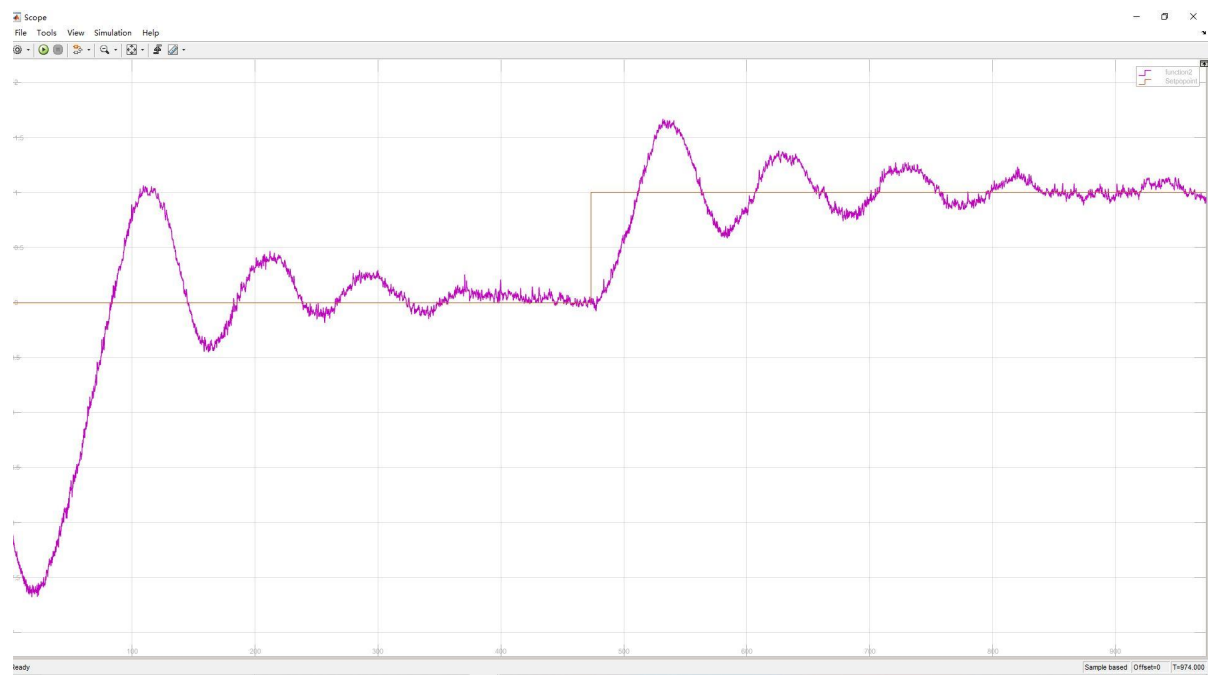
被控参数	$\delta$ (%)	Ti (分)	Td (分)
温 度	20~60	3~10	0.5~3
压 力	30~70	0.4~3	
流 量	40~100	0.1~1	
液 位	20~80	0.1~3	



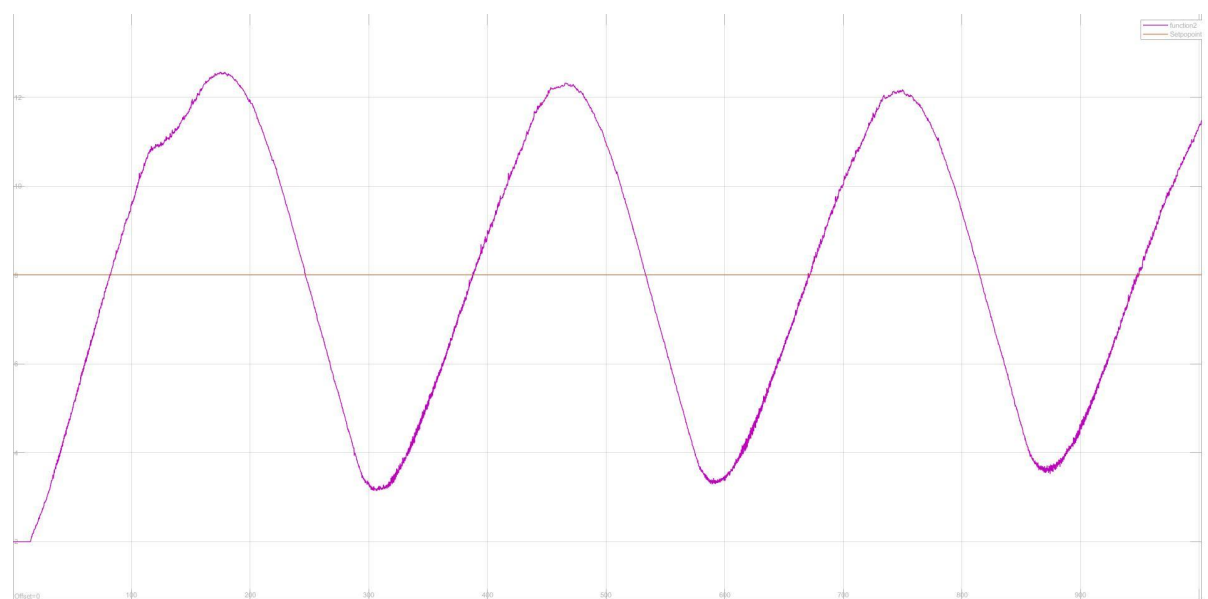
## 附录II

调节器不同参数下的过程曲线（调节阀W3置于某一开度）

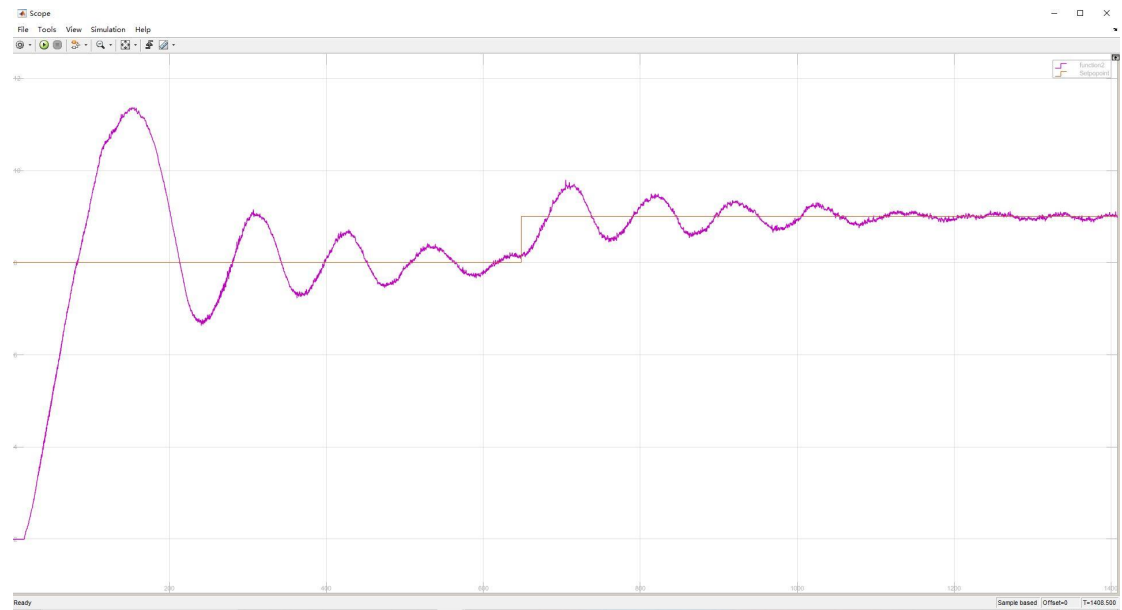
(1)  $K_P=8.0$ ;  $K_I=0.05$



(2)  $K_P=8.0$ ;  $K_I=0.33$



(3)  $K_p=5.0$ ;  $K_I=0.1$



(4)  $K_p=10.0$ ;  $K_I=0.05$

