



哈爾濱工業大學
Harbin Institute of Technology

控制系统时域控制器设计





- 1、控制系统时域控制器设计Simulink建模仿真
- 2、控制系统时域控制器设计Simulink半实物仿真



被控对象的数学模型用传递函数表示如下

$$G_0(s) = \frac{1}{(s+1)(0.5s+1)}$$

多项式表达式

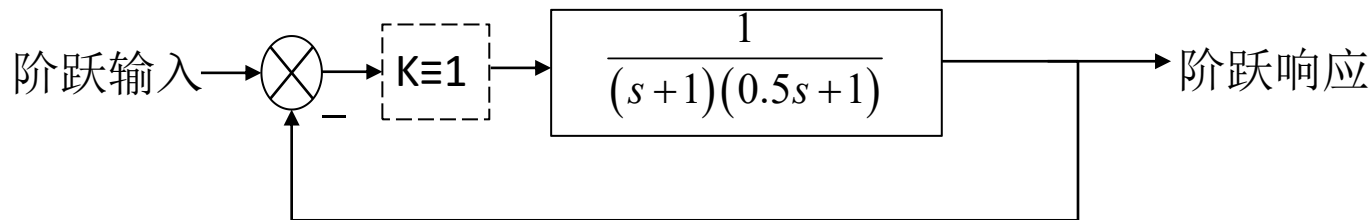
$$G_0(s) = \frac{1}{0.5s^2 + 1.5s + 1}$$



1、控制系统时域控制器设计Simulink建模仿真

1) 单位负反馈控制

在Simulink中，建立单位负反馈控制仿真程序，采用阶跃响应实施系统控制，观察记录系统的稳定性、稳态误差 e_{ss1} ，上升时间 t_r 、调整时间 t_s ($\Delta=0.02$)、超调量 σ_p 。



注1：在Simulink仿真中，控制对象使用传递函数模块（Transfer Fcn模块）进行建模即可，无需搭建电路模型。

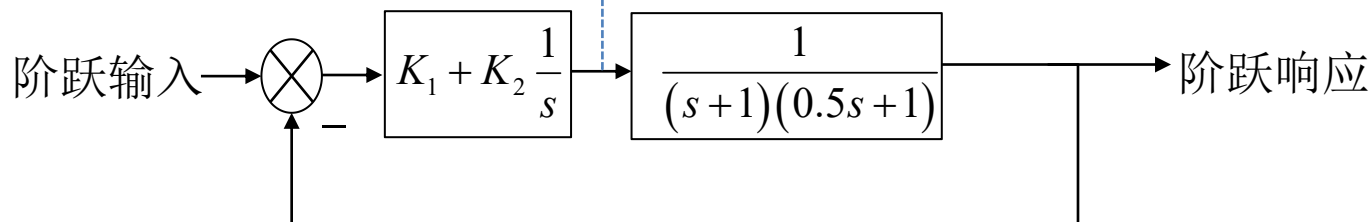
1、控制系统时域控制器设计Simulink建模仿真



2) PI控制器闭环控制仿真

在Simulink中，建立包含PI控制器的闭环控制仿真程序，PI控制器结构如下：

$$G_{PI}(s) = K_1 + K_2 \frac{1}{s}$$

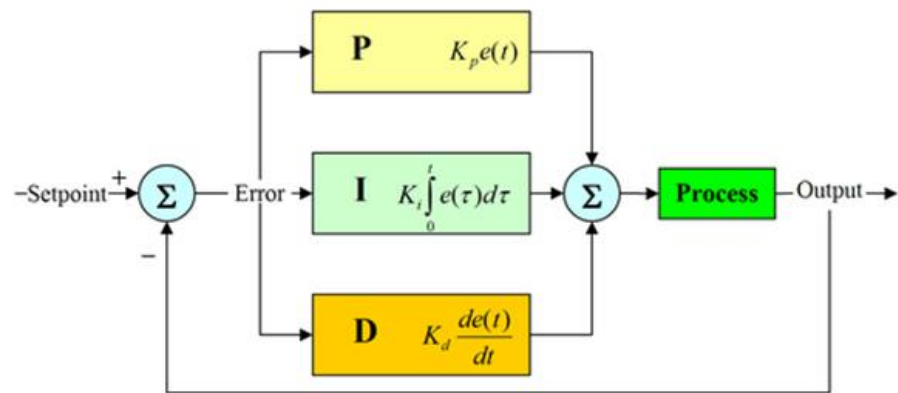


设计合适的 K_1 、 K_2 ，通过阶跃响应实施系统控制，实现闭环控制指标。

1、控制系统时域控制器设计Simulink建模仿真



PID控制器，即比例-积分-微分控制器，是工业控制中应用最广泛和成熟的控制器，工业应用中的控制器大约85%为PID，是一种线性控制器，根据给定值和实际值构成控制偏差，将偏差的比例、积分和微分通过线性组合构成控制量，对被控对象进行控制。



气动式PID控制器



电子式PID控制器

$$G_{PID}(s) = K_P + \frac{K_I}{s} + K_D s$$

1、控制系统时域控制器设计Simulink建模仿真

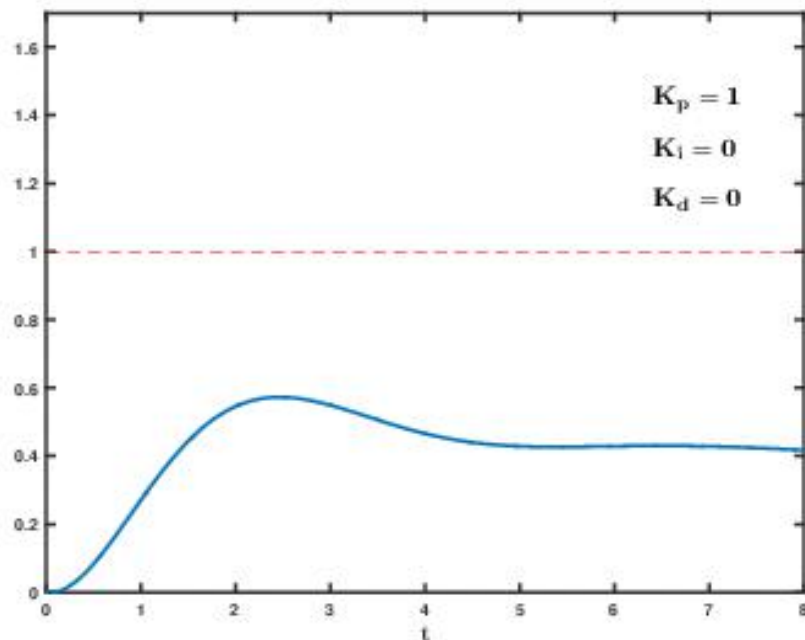


比例控制P: 增大时, 提高增益, 减小稳态误差, 过大时系统不稳定

积分控制I: 增大时, 消除稳态误差, 过大时系统不稳定

微分控制D: 预测系统变化趋势, 增加阻尼, 减小超调增加系统稳定

使用形式: PI控制器, PD控制器, PID控制器



1、控制系统时域控制器设计Simulink建模仿真



设计3个PI控制器的K1、K2，分别满足控制指标：

PI闭环控制1

开环放大倍数 $K_p \geq 0.9$;

超调量 $3\% \leq \sigma_p \leq 5\%$;

调整时间 $t_s \leq 6s$;

PI闭环控制2

开环放大倍数 $K_p \geq 0.9$;

超调量 $5\% \leq \sigma_p \leq 15\%$;

调整时间 $t_s \leq 6s$;

PI闭环控制3

开环放大倍数 $K_p \geq 0.9$;

超调量 $15\% \leq \sigma_p \leq 25\%$;

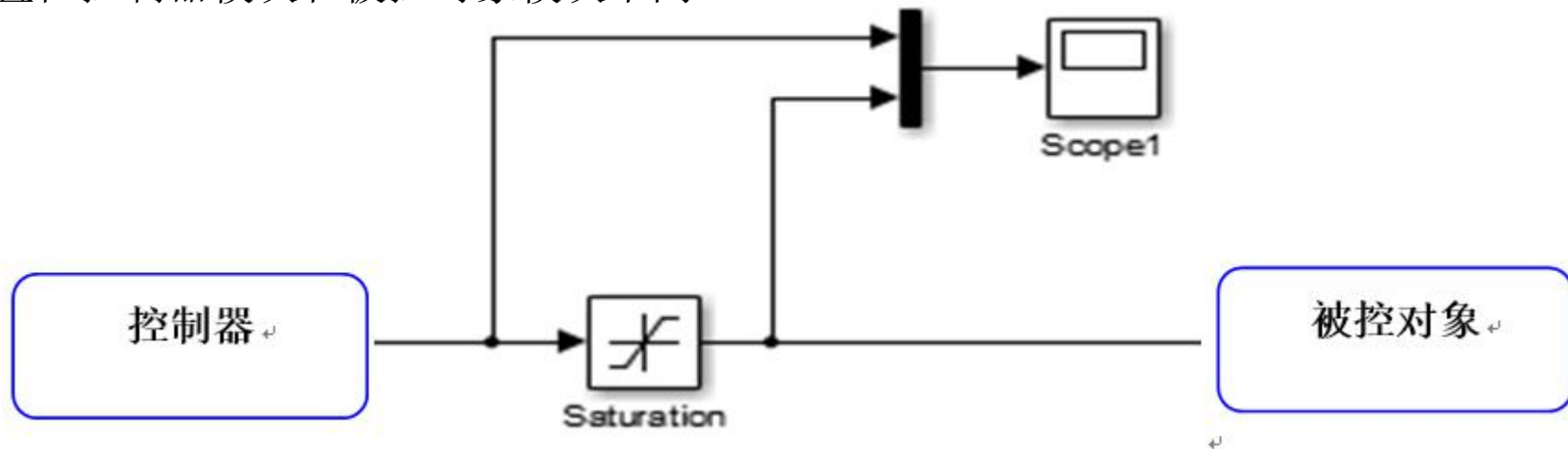
调整时间 $t_s \leq 6s$;

观察记录阶跃响应的稳定性、上升时间 t_r 、调整时间 t_s 、超调量 σ_p 。再将输入信号改为斜坡信号，测试斜坡响应的稳态误差 e_{ss2} 。

1、控制系统时域控制器设计Simulink建模仿真



注2： 在加入控制器的控制系统Simulink仿真中，需要加入与半实物仿真类似的饱和模块（-10~+10），来测试控制器输出的信号是否超过-10~+10的范围，添加位置在控制器模块和被控对象模块中间



通过scope模块若观察到饱和模块前后的信号不一致，则需进一步减小输入信号（阶跃）的幅值，或减小控制器增益，使得饱和模块前后信号一致。

2、控制系统时域控制器设计Simulink半实物仿真

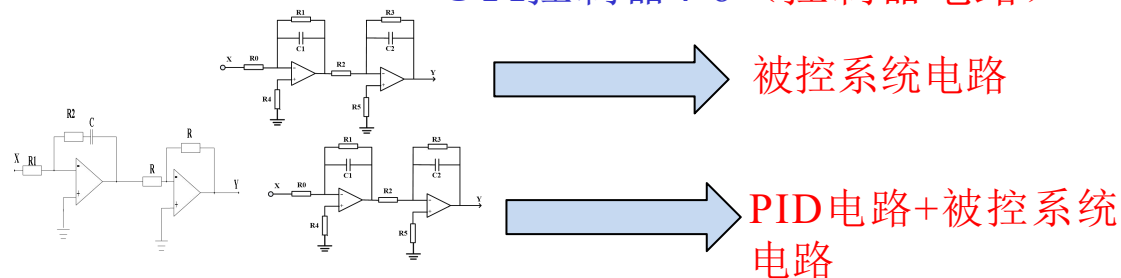
使用运算放大器、电阻、电容器件，以及实验箱上的**可调电阻**，在面包板上搭建模拟电路，再与仿真程序连接，进行半实物仿真。

Simulink半实物闭环仿真程序：

◎单位反馈控制

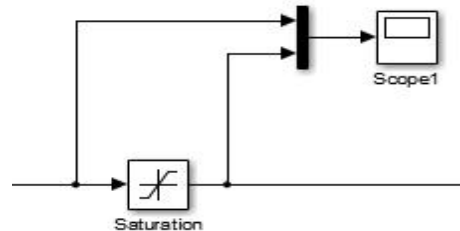
◎PI控制器1-3（控制器模块）

◎PI控制器4-6（控制器电路）



- 1) 阶跃响应：测量实际的性能指标，保存响应图；
- 2) 斜坡响应：测量稳态误差 e_{ss2} 。

注3：当测试阶跃响应时，将Simulink半实物仿真文件的饱和模块前后的信号，输入到一个新增的scope模块中，来观察到饱和模块前后的信号是否一致，若不一致，需进一步减小输入信号（阶跃）的幅值，或减小控制器增益。





- 1) 控制系统的PI控制器设计
- 2) 控制系统的Simulink仿真和Simulink半实物仿真

