

国家精品课程/ 国家精品资源共享课程/ 国家级精品教材

国家级十一(二)五规划教材/ 教育部自动化专业教学指导委员会牵头规划系列教材

控制系统仿真与CAD

# 第七章 控制器设计的经典方法

## 最优控制器设计(上)

Design of Optimum Controllers (I)



主讲：薛定宇教授



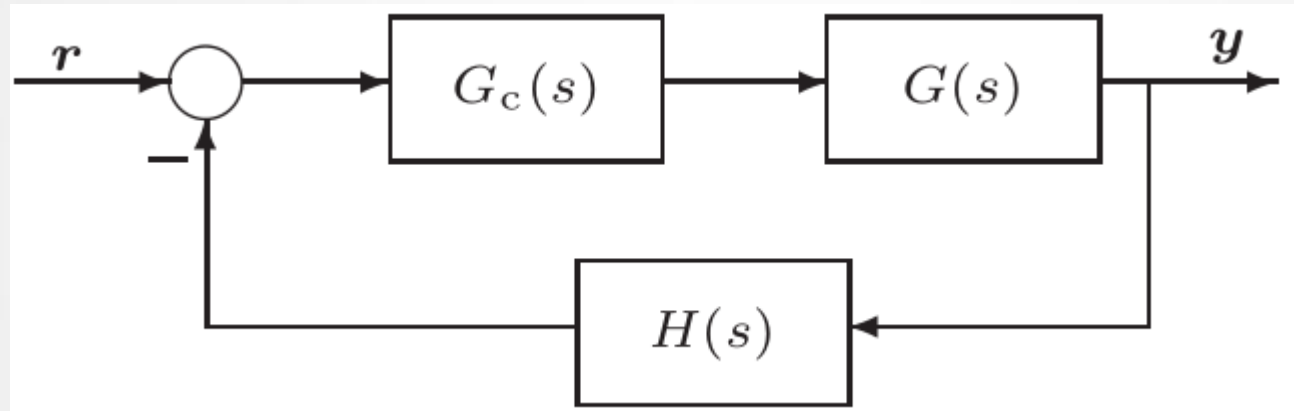
# 最优控制器设计

- LQR等最优控制存在的问题
  - $Q, R$  选择认为因素很大，缺乏客观描述
  - LQR 类控制的目标在于解析求解，如果某个问题不可求解，则试图简化问题。LQR问题已经远远偏离实际的要求
- 本节内容
  - 伺服控制选择什么样的性能指标合适
  - 如何利用数值最优化技术设计最优控制器
  - 最优控制器设计界面——OCD



# 伺服控制系统的要求

## ➤ 伺服控制框图



- 假如  $H(s) = 1$ ，则控制目标是让输出尽快跟踪输入
- 超调量小，调节时间短，跟踪的总体误差小
- 系统中如果有非线性，传统设计方法难以应用



# 最优控制的概念

➤ 所谓“最优控制”，就是在一定的具体条件下，要完成某个控制任务，使得选定指标最小或最大的控制，这里所谓指标就是目标函数。

➤ 有意义的性能指标

➤ 动态误差信号的积分指标

$$J_{\text{ISE}} = \int_0^{\infty} e^2(t)dt, \quad J_{\text{IAE}} = \int_0^{\infty} |e(t)|dt, \quad J_{\text{ITAE}} = \int_0^{\infty} t|e(t)|dt$$

➤ 速度最快、能量最省等



## 例7-7 系统的最优PID控制器设计

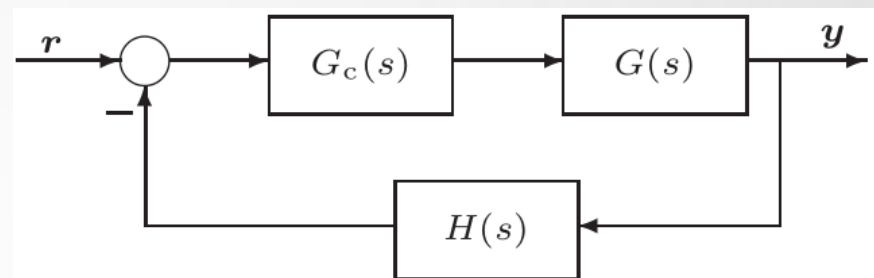
- 复杂的受控对象  $G(s) = \frac{1 + \frac{3e^{-s}}{s+1}}{s+1}$
- 误差传递函数的计算

$$E(s) = \frac{1}{1 + G(s)G_c(s)} R(s)$$

- PID控制器的描述

$$G_c(s) = K_p + K_i \frac{1}{s} + K_d s$$

$$\mathbf{x} = [K_p, K_i, K_d]$$





# 控制器的最优设计

➤ 目标函数的编写  $J_{ISE} = \int_0^{\infty} e^2(t)dt$

```
function y=c7fopt(x,s,G,t)
Gc=x(1)+x(2)/s+x(3)*s; E=1/(1+G*Gc);
y0=step(E,t); y=sum(y0.^2)*(t(2)-t(1));
```

➤ 最优化求解



```
>> s=tf('s'); G1=3/(s+1); G1.ioDelay=3; G=(1+G1)/(s+1);
t=0:0.02:30; x=fminunc(@c7fopt,[1,1,1],optimset,s,G,t)
```



```
>> Gc=x(1)+x(2)/s+x(3)*s;
step(feedback(G*Gc,1),30)
```



# ITAE 性能指标下的最优控制器设计

➤ ITAE 性能指标的目标函数描述  $J_{ITAE} = \int_0^{\infty} t|e(t)|dt$

```
function y=c7fopt2(x,s,G,t)
Gc=x(1)+x(2)/s+x(3)*s; E=1/(1+G*Gc);
y0=step(E,t); y=t*abs(y0)*(t(2)-t(1));
```

➤ 最优控制器设计



```
>> x=fminunc(@c7fopt2,[1,1,1],optimset,s,G,t)
```



```
>> Gc=x(1)+x(2)/s+x(3)*s;
step(feedback(G*Gc,1),30)
```



# 哪种性能指标更合理？

- 不同性能指标得出的控制效果不同，但都是最优解
  - 哪种性能指标是最好的呢？
  - 哪种是最客观的呢？
- ISE同等处理各个时刻的误差
- ITAE对时间加权，时间  $t$  大，会迫使误差降下来
  - 相比之下，更适合于伺服控制
  - ISE 性能指标可以通过范数计算，可以不经过仿真
  - 现在有了强大的仿真工具，没有必要再依赖ISE指标





# 这里设计方法的局限性

- 受控对象和控制器必须是线性的
  - 否则不能用step函数进行仿真
  - 实际应用中，可能PID控制器输出过大，需要接饱和非线性
- 应该如何实现有意义的设计
- 充分利用MATLAB的强大功能
  - 用数值最优化语句设计控制器参数
  - 用Simulink的强大仿真功能去处理任意复杂系统的仿真

