

不客观的非客观题答案

4 简答题

4.1 简述控制系统设计的主要内容和流程，并说明仿真在其中的作用和不足

主要内容和流程：

1. 需求分析
 2. 方案设计
 3. 选型采购
 4. 软硬设计
 5. 集成安装
 6. 数学建模
 7. 控制设计
 8. 仿真计算
 9. 系统调试
 10. 指标测试
- 仿真的作用

模拟和还原现实系统

降低控制器设计、调试成本

提高系统设计效率

仿真的不足

无法完全还原现实系统，与实际存在偏差

4.2 四种扰动抑制方法

扰动测量&补偿

适用范围：扰动可测量场合

优点：设计简便（顺馈补偿）

缺点：

测量可能引入噪声

有时候往往难以测量扰动大小

扰动估算&补偿

适用范围：已知扰动模型，可对扰动进行预测

优点：基于模型，可有效预测扰动，设计简便

缺点：

依赖模型，不能用于未建模扰动

模型推演可能需要较大计算量

扰动观测&补偿 (DOB)

适用范围：已知标称模型，大部分SISO均可？

优点：可有效消除干扰，维持标称模型对象的特性

缺点：

回路引入噪声

须考虑稳定性问题

须考虑物理可实现性

ADRC自抗扰控制器

适用范围：大部分SISO系统均可？

优点：

引入ATP过程，优化指令信号，减小超调

改进微分器，降低微分噪声

采用ESO进行状态观测&跟踪，可通过状态观测将绝大部分系统补偿为标称模型，普适性强

缺点：

参数确定较为复杂

多回路控制

适用范围：大部分SISO系统均可？

优点：

不同回路具有不同作用，可有效抑制干扰与噪声

内回路：抑制干扰、改善带宽

外回路：抑制噪声、保证稳定性

缺点：

设计复杂

系统复杂，调试不便

多回路存在带宽分配问题，响应速度受限

4.3 串联校正&反馈校正

串联校正

适用范围：

模型摄动小

被控对象已知

优点：

设计直观简便

缺点：

难以改善反馈特性

反馈校正

适用范围：

模型摄动大

被控对象未知

优点：

反馈校正实现（测速电机和微分网络）

只改变 $GH \gg 1$ 的频率段（可能是中频段或低频段），含微分时，具有高通性

不受对象变化影响，鲁棒性好

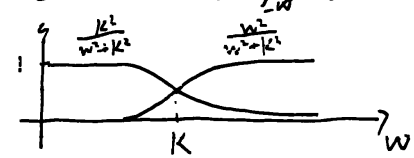
缺点：

反馈回路带来了稳定性问题

测速增加成本，带来误差、延迟和噪声

4.4

偏差 $E(s) = R(s) - Y(s) - N(s)$
误差 $\varepsilon(s) = R(s) - Y(s)$
 $Y(s) = G(s)E(s), G(s) \approx 1/s$
 $\Rightarrow E = \frac{R-N}{1+G}, Y = \frac{G}{1+G}(R-N)$
 $\varepsilon = \frac{1}{1+G}R - \frac{G}{1+G}N$

$$\begin{aligned}\Phi_\varepsilon(\omega) &= \left| \frac{1}{1+G} \right|^2 \Phi_R(\omega) + \left| \frac{G}{1+G} \right|^2 \Phi_N(\omega) \\ &= \frac{\omega^2}{\omega^2 + K^2} \Phi_R(\omega) + \frac{K^2}{\omega^2 + K^2} \Phi_N(\omega) \\ \bar{\varepsilon}^2 &= R_\varepsilon(0) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \Phi_\varepsilon(\omega) d\omega\end{aligned}$$


一般而言，噪声功率谱密度集中在高频，而输入信号功率谱密度集中在中低频。

为使得 $\bar{\varepsilon}^2$ 尽可能小，应使得 $\omega_c = K$ 低于噪声频带，高于输入信号频带。

4.5 机械谐振的抑制方法

1. 开环补偿矫正

抑制方法：开环测出谐振特性，利用带阻滤波器进行补偿（校正），使补偿后对象特性Bode图中的谐振特性消失。

带阻滤波器：

$$G(s) = \frac{s^2 + as + \omega_m^2}{s^2 + bs + \omega_m^2}$$

注意事项：

可能带来的相位滞后和幅值衰减

系统剪切频率一般都在谐振频率之前，因此添加带阻滤波器一定会损失剪切频率处的相角，减小系统的稳定裕度。

考虑到物理系统的不确定性，滤波器的陷波宽度一般要比谐振带宽

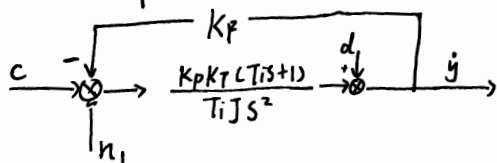
2. 闭环实时分析矫正

抑制方法：开环校正时不做处理，闭环后出现谐振再进行补偿。对反馈信号进行傅里叶分析，确定是否存在谐振，如果存在，则确定谐振频率，添加陷波滤波器进行抑制，直至谐振现象消失。

为保证实时性，采用【滑动FFT】实现实时分析谐振频率，获取谐振频率和幅值信息，自动调整限波环节参数，对谐振进行动态抑制。

5 计算题

1. 内回路设计



已知: $J=0.1, K_T=0.5, K_P=1.5$

扰动传递函数:

$$\frac{y}{d} = \frac{1}{1 + L(s)}$$

噪声传递函数:

$$\frac{y}{n_1} = \frac{L(s)/K_P}{1 + L(s)}$$

则: $L(s) = \frac{K_P K_T L(TiS+1)}{TiJS^2}$ 开环传递函数 = $\frac{7.5K_P L(TiS+1)}{TiS^2}$

稳定性不稳定性:

$$G = (1 + \Delta(j\omega)) G_0, |\Delta(j\omega)| < |G_0|$$

$\ln(W) \geq 1$ (when $W > 100 \text{ rad/s}$)

其中电机 $G_0 = \frac{K_T}{JS}$, 其余部分为传递函数 $K = \frac{L(s)}{G_0}$

鲁棒稳定性要求

$$|1 + G_0 K| > |G_0 K|$$

$$\left| \frac{G_0 K}{1 + G_0 K} \right| < \left| \frac{1}{1 + L} \right| \Rightarrow \left| \frac{L}{1 + L} \right| < \left| \frac{1}{1 + L} \right|$$

设计要求

① 尽量大的带宽

② 尽量克服扰动 d

③ 尽量减小等效噪声带宽 $(W_n) \rightarrow W_s = W_p, (7.5K_P Ti = 1)$

④ 满足鲁棒稳定性要求

⑤ $W_{ni} > 5 W_{no}$, 内环带宽需大于

外环带宽

设计参数: K_P, Ti

① $7.5K_P Ti = 1$

② $\left| \frac{7.5K_P L(TiS+1)}{TiS^2 + 7.5K_P L(TiS+1)} \right| < \left| \frac{1}{1 + L} \right|$ (too)

1. 当 $W \gg 100 \text{ rad/s}$, 不必为设 (不完全严谨)

$$\left| \frac{K_P}{K_P + \frac{TiS^2}{7.5L(TiS+1)}} \right| < 1 \rightarrow \left| \frac{7.5K_P L(TiS+1)}{7.5K_P TiS^2 + 7.5L(TiS+1)} \right| < 1$$

2. 当 $W \ll 100$

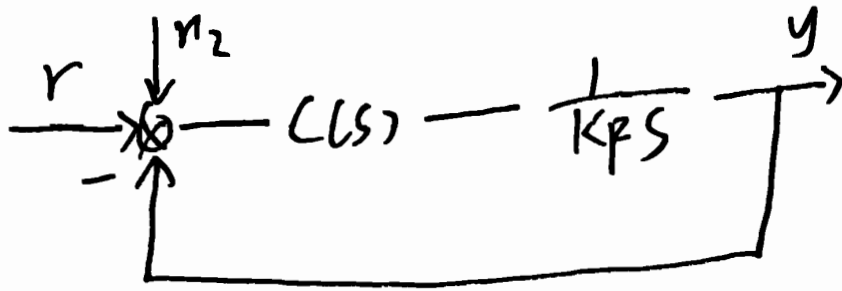
$$\text{即: } 7.5K_P - TiW^2 < 7.5K_P, TiW^2 > 15K_P$$

$$\text{即: } TiW^2 > \frac{2}{Ti}, Ti^2 W^2 > 2 \text{ (当 } W > 100 \text{ rad/s)}$$

$$\therefore Ti > \frac{2}{W^2}, \text{ 取 } Ti = \frac{1}{50}$$

$$\Rightarrow K_P = \frac{1}{7.5 \times \frac{1}{50}} = \frac{50}{7.5} = 6.67$$

2. 外回路设计.



参考输入.

(题中单位有误差?)

$$r = 0.002 \times t \text{ rad/s}, \quad e_{ss} \leq 0.0001 \text{ rad/s}.$$

可将外回路设计为基本I型.

$$\frac{K_v}{s(Ts+1)} = \frac{C(s)}{1/K_p s}.$$

根据 e_{ss} 要求, $K_v = 20$. (尽量小抑制噪声)

一般取 $K = K_v T = 1$; $T = \frac{1}{20}$

$$C(s) = \frac{30}{\frac{1}{20}s + 1}.$$

此时 $\omega_{no} \approx 20 \text{ rad/s}$, $\omega_{ni} \approx 60 \text{ rad/s}$, 在允许范围.