

1523301、1523302 班《控制系统设计与数值仿真》第 02 次上机实验

第 1 题:

质点单自由度受扰运动方程为 $\ddot{x} = \frac{1}{m}(u + f)$ ，其中 x 是质点位置坐标， u 是控制量， f 是外部干扰力，并且假设是常值干扰，但其具体数值不知道。试采用如下 PID 控制

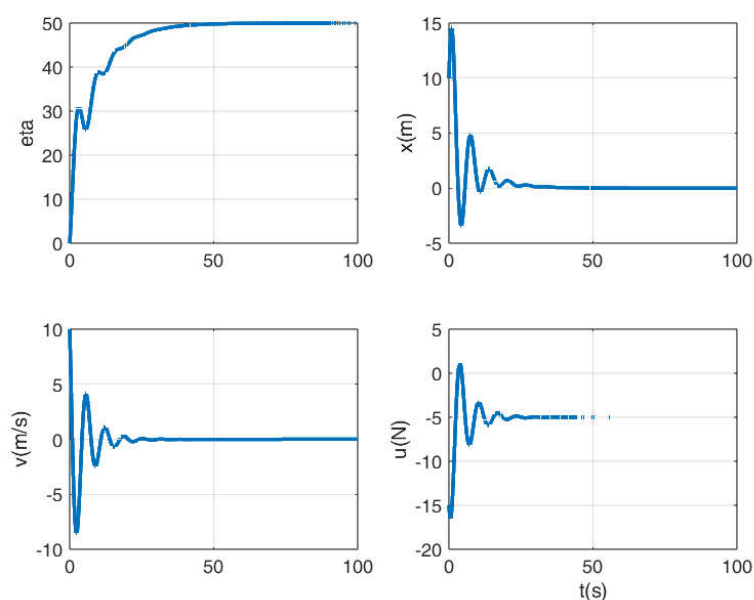
$$u = -k_p x - k_d \dot{x} - k_i \int_0^t x dt$$

将质点位置保持在零。

已知质点质量 $m = 1(\text{kg})$ ，控制器参数如下

$$\{k_p = 1, k_d = 0.5, k_i = 0.1\}$$

仿真效果图如下:



图中左上子图表示位置坐标对时间的积分变量 $\eta(t)$ 的曲线。

第 2 题:

已知航天器姿态运动方程如下

$$\begin{cases} \dot{\theta}_1 = \omega_1 - \omega_2 \cos \theta_1 \tan \theta_3 + \omega_3 \sin \theta_1 \tan \theta_3 \\ \dot{\theta}_2 = \omega_2 \frac{\cos \theta_1}{\cos \theta_3} - \omega_3 \frac{\sin \theta_1}{\cos \theta_3} \\ \dot{\theta}_3 = \omega_2 \sin \theta_1 + \omega_3 \cos \theta_1 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dot{\omega}_1 = \frac{J_2 - J_3}{J_1} \omega_2 \omega_3 + \frac{1}{J_1} (M_1 + f_1) \\ \dot{\omega}_2 = \frac{J_3 - J_1}{J_2} \omega_3 \omega_1 + \frac{1}{J_2} (M_2 + f_2) \\ \dot{\omega}_3 = \frac{J_1 - J_2}{J_3} \omega_1 \omega_2 + \frac{1}{J_3} (M_3 + f_3) \end{cases}$$

其中 J_1, J_2, J_3 分别表示三轴转动惯量， $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ 分别表示滚转角、偏航角、俯仰

角, $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ 分别表示滚转角速率、偏航角速率、俯仰角速率, M_1, M_2, M_3 分别表示滚转控制力矩、偏航控制力矩、俯仰控制力矩, f_1, f_2, f_3 分别表示三轴干扰力矩。

假设系统参数

$$\begin{cases} J_1 = 1000(\text{kg} \cdot \text{m}^2) \\ J_2 = 1500(\text{kg} \cdot \text{m}^2) \\ J_3 = 1800(\text{kg} \cdot \text{m}^2) \end{cases}$$

系统初始状态

$$\begin{cases} \theta_{10} = 10^\circ \\ \theta_{10} = 20^\circ \\ \theta_{30} = -30^\circ \end{cases}, \begin{cases} \omega_{10} = 10^\circ / \text{s} \\ \omega_{10} = 20^\circ / \text{s} \\ \omega_{30} = -30^\circ / \text{s} \end{cases}$$

三轴外部干扰力矩

$$\begin{cases} f_1 = 200(\text{N} \cdot \text{m}) \\ f_2 = 300(\text{N} \cdot \text{m}) \\ f_3 = 360(\text{N} \cdot \text{m}) \end{cases}$$

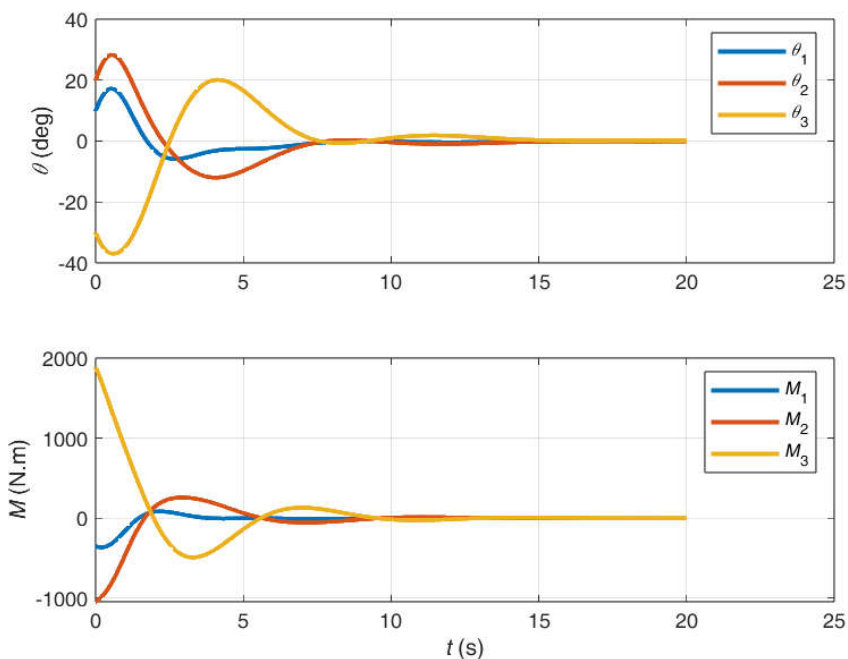
试设计三通道独立的 PID 控制器

$$\begin{cases} M_1 = k_{i1}\eta_1 + k_{p1}\theta_1 + k_{d1}\omega_1 \\ M_2 = k_{i2}\eta_2 + k_{p2}\theta_2 + k_{d2}\omega_2 \\ M_3 = k_{i3}\eta_3 + k_{p3}\theta_3 + k_{d3}\omega_3 \end{cases}$$

其中

$$\eta_i = \int_0^t \theta_i dt \quad (i=1 \sim 3)$$

使航天器姿态角稳定在 0° , 并通过数值仿真检验所设计控制器的有效性, 仿真效果如下:



第3题：（探索性题目，选做）

已知航天器姿态运动方程如下

$$\begin{cases} \dot{\theta}_1 = \omega_1 - \omega_2 \cos \theta_1 \tan \theta_3 + \omega_3 \sin \theta_1 \tan \theta_3 \\ \dot{\theta}_2 = \omega_2 \frac{\cos \theta_1}{\cos \theta_3} - \omega_3 \frac{\sin \theta_1}{\cos \theta_3} \\ \dot{\theta}_3 = \omega_2 \sin \theta_1 + \omega_3 \cos \theta_1 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dot{\omega}_1 = \frac{J_2 - J_3}{J_1} \omega_2 \omega_3 + \frac{1}{J_1} M_1 \\ \dot{\omega}_2 = \frac{J_3 - J_1}{J_2} \omega_3 \omega_1 + \frac{1}{J_2} M_2 \\ \dot{\omega}_3 = \frac{J_1 - J_2}{J_3} \omega_1 \omega_2 + \frac{1}{J_3} M_3 \end{cases}$$

三轴转动惯量参数如第二题。

要求设计三通道独立的PD控制器，使航天器三轴姿态分别跟踪幅度为 30° ，周期为25秒的方波。仿真效果图如下：

