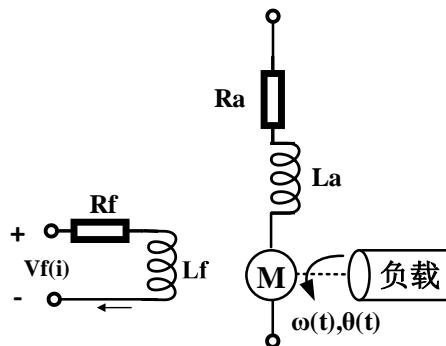


中国科学技术大学  
2023 年硕士学位研究生入学考试试题  
自动控制理论

所有试题答案写在答题纸上，答案写在试卷上无效

一、机电系统如下所示，电枢绕组电压  $V_a(t)$ ，电机扭矩系数  $K_m$ ，粘滞摩擦系数  $b$ ，转动惯量  $J$ ，存在外部扭矩扰动  $T_d(t)$ 。（30 分）



1. 画出磁场控制的直流电机传动系统方框图，以  $V_f(t)$  为输入，  $\theta(t)$  为输出， 要包含  $V_f(t)$ ， 扭矩、转速、角位移等几个系统变量之间的因果关系，写出传函  $G_1(s)$ ； 励磁绕组的电气时间常数往往较小，可以忽略，写出忽略后的传函  $G_{n1}(s)$ 。
2. 画出电枢控制的直流电机传动系统方框图，以  $V_a(t)$  为输入，  $\theta(t)$  为输出， 包含  $V_a(t)$ 、扭矩、转速、角位移等几个系统变量之间的因果关系，写出传函  $G_2(s)$ ； 励磁绕组的电气时间常数往往较小，可以忽略，写出忽略后的传函  $G_{n2}(s)$ 。
3. 增加转角传感器，假设其传函为 1，构成单位负反馈的电枢控制直流电机传动系统，串联控制器和功率放大器的增益  $G_c(s) = K_c$ ，忽略电气常数后，画出闭环系统方框图，写出闭环传函  $T(s)$ ，设定值为单位阶跃信号，扰动  $T_d = 0$ ，分析闭环  $e_{ss}$ ，若要无稳态位置误差地跟踪等速度信号，需要设计什么类型的串联控制器。

二、 $G(s) = \frac{K}{s(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)}$ ,  $\tau_1 = 0.05$ ,  $\tau_2 = 0.001$ ,  $K > 0$ ,  $K$ 未知。

1. 画出系统奈奎斯特曲线图，并判别系统稳定性；
2. 假设  $G_c = T_a s + 1$ , 利用 Bode 图法设计闭环系统满足：
  - a) 单位等速度信号的稳态跟踪误差  $e_{ss} \leq 0.005$ ;
  - b) 穿越频率  $\omega_c = 100$ ;
  - c) 相位裕量  $\Phi_{PM} \geq 60^\circ$ ;

工程中微分补偿会放大系统中的高频噪声，你有什么解决办法？

3. 如果闭环系统的过渡时间设计指标为 250ms, 请分析时间常数  $\tau_2 = 0.001$ s 的惯性环节的动态特性是否可以被忽略？

三、单位负反馈系统开环传递函数  $G(s) = \frac{K}{(Ts+1)}$

1. 给开环系统施加幅值为  $A$  的阶跃输入，试绘制开环系统输出曲线，根据输出曲线图测量计算开环系统稳态增益  $K$ , 时间常数  $T$ , 过渡时间  $T_{so}$  (98% 稳态值)。
2. 当  $K = 0.0275$ ,  $T = 153$  时，要求闭环系统满足性能指标，闭环系统阶跃响应的相对超调量  $\sigma\% \leq 5\%$ ; 闭环阶跃响应的稳态误差  $e_{ss} = 0$ , 采用根轨迹法设计串联控制系统，控制器如下：

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

- (1) 设闭环系统过渡时间为  $T_{sc} = 0.8T_{so}$ , 并将控制器零点设置在开环极点的左侧，请用根轨迹法完成设计；
- (2) 设闭环系统过渡时间为  $T_{sc} = 1.2T_{so}$ , 并将控制器零点设置在开环极点的右侧，请用根轨迹法完成设计；

四、 $\hat{g}(s) = \frac{2s+\beta}{s^3+3s^2+2s}$

1. 研究  $\beta$  取不同值时，系统能控能观性、BIBO 稳定性、渐进稳定性、李雅普诺夫意义下的稳定性；
2. 系统 BIBO 稳定时，输入为单位阶跃信号，零初始状态条件下，状态响应式和输出响应式；

$$\text{五、} \begin{cases} \dot{x}_1 = -2x_1 + 3x_2 + 3u \\ \dot{x}_2 = -2x_1 + 5x_2 + 5u \\ y = 5x_1 - x_2 \end{cases}$$

1. 若有可能，设计状态反馈，使系统的两个闭环极点均位于-2；
2. 若有可能，设计极点位于-8 处的最小维状态观测器；

## 六、对能控能观的线性定常单输入-单输出系统 $S: \{A, b, c\}$

1. 给出用全维状态观测器得到估计状态  $\hat{x}$  对系统进行状态反馈的系统结构（各状态变量之间的相互关系式及结构图）。
2.  $\bar{x} = \begin{bmatrix} x \\ \hat{x} \end{bmatrix}$  为状态变量列写该（增广）系统的状态空间方程。
3. 该增广系统能控吗？若能控，请证明。
4. 将状态观测器改为最小维状态观测器，增广系统能控性如何？为什么？