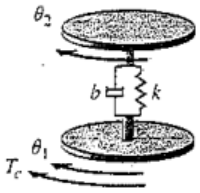
Exercício de Revisão

Entrega: 15 de março de 2017

Modo de entrega: STOA

Dica: utilize a função *sisotool* do MatLab

Considere o módulo de ensino **Junta Flexível** e o modelo simplificado deste sistema mostrados abaixo, sendo θ_1 e θ_2 os ângulos absolutos dos discos 1 e 2, respectivamente, b a constante de amortecimento entre os discos, k a constante de rigidez entre os discos e T_c o torque aplicado pelo motor.



1) Encontre o modelo dinâmico linear deste sistema, considerando que os discos possuem momentos de inércia I_1 e I_2.

2) Encontre as funções de transferência entre:

- o torque aplicado pelo motor, T_c, e a posição angular do disco 1, θ_1;
- o torque aplicado pelo motor, T_c, e a posição angular do disco 2, θ_2;

em função de b e k, considerando $I_1 = 1$ e $I_2 = 0{,}1$.

3) Simule a resposta do sistema em malha aberta para entradas degrau e impulso unitários, e para uma entrada senoidal (utilize a função *lsim* do MatLab). Considere que os valores de b e k podem assumir valores entre os seguintes limites:

$$0{,}001 \leq b \leq 0{,}005$$

$$0{,}1 \leq k \leq 0{,}3.$$

Considere pelo menos 6 combinações de valores b e k. Plote os valores de θ_1 e θ_2 no mesmo gráfico (use a função *hold on* do MatLab).

4) Considere a função de transferência entre o torque aplicado pelo motor, T_c, e a posição angular do disco 2, θ_2. Assuma como valores nominais dos parâmetros b e k, os valores intermediários dos limites acima, ou seja, $b = 0{,}003$ e $k = 0{,}2$. Mostre que com um controlador proporcional $C(s) = K$, o sistema será sempre instável. Utilize os métodos **Lugar das Raízes** e **Reposta em Frequência** para fazer esta análise. Plote os gráficos.

5) Mostre que mesmo com um controlador PD, $C(s) = K_d s + K_p$, ou seja, com a inclusão de zero na malha aberta, o sistema é de difícil ajuste, sendo estável somente para pequenos valores de K_d. Analise novamente o Lugar das Raízes e a Reposta em Frequência da malha aberta. Qual a influência do pico de ressonância neste ajuste em termos de **Margem de Ganho** e **Margem de Fase**. Plote os gráficos.

6) A resposta ao degrau unitário do sistema em malha fechada deve apresentar um tempo de acomodação de 20 segundos e um sobressinal menor que 15%. Estas especificações equivalem a:

- frequência de corte (da malha aberta): $\omega_c = 0{,}5$ rad/s;
- margem de fase: 50º.

Analise novamente os resultados obtidos no item 5, principalmente a Reposta em Frequência. As especificações são satisfeitas para valores de K_d e K_p que tornam o sistema estável? Plote a resposta ao degrau unitário do sistema em malha fechada.

7) Este problema pode ser resolvido utilizando-se um controlador com características de um **Filtro Notch**. Uma possível configuração de Filtro Notch é dada pela função de transferência:

$$N(s) = \frac{s^2 + a}{(s + c)^2}.$$

Plote a resposta em frequência de $N(s)$ considerando $a = 1$ e $c = 20$. Note que este filtro tem dois zeros no eixo imaginário e dois polos no eixo real. Analise a resposta em frequência e como ela pode melhorar a resposta do sistema.

8) Projete um controlador PD + Filtro Notch que satisfaça as especificações. Utilize o *sisotool*, alterando a posição dos polos e zeros do controlador. Plote o Lugar das Raízes e a Reposta em Frequência resultantes.

9) Simule a resposta do sistema em malha fechada para uma entrada degrau unitária, considerando as 6 combinações de valores b e k do item 3. Plote os valores θ_2 para cada combinação no mesmo gráfico. Compare as respostas.

10) Indique alternativas de projeto de controladores para este sistema.