

# Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica - EPUSP

## PTC 5880 - Controle $H_\infty$

Prof. Diego Colón

Terceiro Período - 2020

### 1 Conteúdo

1. Planta: sinal controlado, sinal de controle, distúrbios e ruídos. Modelo da planta e modelo de distúrbio.
2. Realimentação (feedback) e alimentação direta (feedforward). Controladores  $K$ . Sistemas com dois graus de liberdade. Funções de transferência de malha aberta (loop transfer function  $L$ ) e de malha fechada  $T$  e  $S$ . Sinais de erro.
3. Análise dos sinais de erro e saída. Controle ideal. Espectros típicos dos sinais de referência, distúrbio e ruído. Formatos desejáveis das funções de transferência  $L$ ,  $S$  e  $T$ .
4. Estabilidade nominal em malha fechada: Critério de Nyquist. Estabilidade BIBO (bounded-input-bounded-output). Estabilidade interna. Família de controladores estabilizantes.
5. Desempenho nominal em malha fechada: diagramas de Bode de malha fechada e gráficos de Nyquist (curvas M e N). Robustez de estabilidade clássica. Projeto *loop shaping* clássico.
6. Primeiro contato com a norma  $H_\infty$ : robustez de estabilidade em termos de  $S$ . Definição de normas  $H_2$ ,  $H_\infty$  e problema de controle ótimo  $H_\infty$ .
7. Desempenho em termos de funções peso: problema de desempenho nominal. Função de transferência de controle  $KS$ . Problema de sensibilidade mista  $S/KS$ . Exemplo de projeto nominal.
8. Restrições de desempenho. Teoremas de "colchão de água". Limites mínimos para  $T$  e  $S$  para sistemas de fase não-mínima e instáveis.
9. Família de plantas e perturbações. Função peso de incertezas. teorema do pequeno ganho.
10. Condições necessárias e suficientes para robustez de estabilidade. Tipos de perturbações. Margens de estabilidade.
11. Planta estendida. Robustez de desempenho. Problema de sensibilidade mista  $S/T/KS$ .
12. Espaços vetoriais normados. Espaços de Banach e de Hilbert.
13. Propriedades de matrizes: matrizes ortogonais, Hermitianas e unitárias. Valores singulares e matrizes e matrizes de funções de transferência. Direcionalidade.
14. Normas de sinais vetoriais e de matrizes. Normas de sistemas. Espaços de Hardy  $\mathcal{H}_2$  e  $\mathcal{H}_\infty$ .
15. Critério de Nyquist MIMO. Teorema do Pequeno Ganho MIMO. Família de controladores estabilizantes MIMO.

16. Síntese  $H_2$  e  $H_\infty$ .
17. Inclusão de perturbações na planta MIMO. Problema  $S/T/KS$  MIMO.
18. Análise de Robustez de Estabilidade MIMO: valor singular estruturado  $\mu$ . Margem de singularidade de Safonov. Exemplo.
19. Análise de robustez de desempenho MIMO usando  $\mu$ .
20. Controle  $H_\infty$  Loop Shaping.
21. Redução de ordem de sistemas. Realização balanceada. Truncagem. Minimização da norma de Hankel.

## 2 Avaliação

A avaliação consistirá de lista de exercícios individuais e um projeto final. Sendo  $N_i$  a nota da lista  $i$  e  $P$  a nota do projeto final, a média será calculada por:

$$M_F = 0.6P + 0.4N_L$$

onde:

$$N_L = \frac{N_1 + \dots + N_n}{n}$$

onde  $n$  é o número de listas.

### Conversão para conceito (alunos de pós-graduação)

Vale a seguinte regra de conversão de nota para conceito:

0.0 a 4.9	Reprovado
5.0 a 7.0	C
7.0 a 8.5	B
8.5 a 10.0	A

## 3 Bibliografia

1. Multivariable Feedback Control: Analysis and Design, 2nd Edition. Sigurd Skogestad, Ian Postlethwaite. Wiley, 2005.
2. Robust Control Design with MATLAB, 2nd edition, Da-Wei Gu, Petko H. Petkov, Mihail M. Konstantinov, Springer, 2013.