



Controlo

2005/06 – 1º semestre

Licenciatura em Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Programa Detalhado

Introdução ao Controlo. Exemplos motivadores. Controlo em malha aberta *versus* controlo em malha fechada. Objectivos genéricos de um sistema de controlo.

Modelação. Representação matemática: equação diferencial, transformada de Laplace, função de transferência. Exemplos. Linearização.

Resposta no tempo a partir da função de transferência: decomposição em fracções parciais, regime transitório e localização de pólos. Teoremas do valor inicial e do valor final.

Resposta ao escalão do sistema de 1ª ordem sem zero. Ganho estático e constante de tempo.

Resposta ao escalão do sistema de 2ª ordem sem zeros: regimes sub-amortecido, criticamente amortecido e sobre-amortecido. Parâmetros da resposta, relação com a localização dos pólos e respectivas expressões analíticas. Efeitos de pólo e zero adicionais. Conceito de pólos dominantes. Redução de ordem: pólos dominantes e desprezo pólo-zero. Zero no semi-plano complexo direito. Nota: apresentado brevemente por constituir conhecimento já adquirido na disciplina de Sinais e Sistemas.

Diagramas de blocos: redução sucessiva. Forma canónica da realimentação. Função de transferência da malha aberta. Função de transferência da malha fechada. Polinómio característico.

Estabilidade entrada limitada-saída limitada. Teste de Hurwitz. Critério de Routh-Hurwitz: caso geral e casos especiais (zero na primeira coluna, linha de zeros).

Efeitos da realimentação e Erros de seguimento em regime estacionário: estabilidade, seguimento da referência, rejeição de perturbações, sensibilidade à variação de parâmetros. Definição de erro de seguimento em regime estacionário. Erro em regime permanente para entrada escalão, rampa, parábola. Tipo do sistema. Erro em sistemas com perturbações.

Diagrama do lugar geométrico das raízes (*root-locus*). Condição de módulo e condição de argumento. Regras para a construção do diagrama do lugar geométrico das raízes para ganho positivo e para ganho negativo. Zeros da malha fechada. Cancelamento pólo-zero no *root-locus*. *Root-locus* em função de qualquer parâmetro. Projecto apoiado no *root-locus*. Controladores PID.

Controlo digital. Revisão dos conceitos de amostragem, quantificação, interpolação, retentor de ordem zero (ZOH), transformada-Z. Relação entre os pólos de $X(s)$ e os pólos de $X(z)$. Localização de pólos no plano-z e resposta transitória. Função de transferência discreta $G(z)$. *Root-locus* no plano-z e análise de estabilidade. Projecto digital directo no plano-z, realizabilidade do algoritmo de controlo. Projecto digital por emulação: método do mapeamento dos pólos e zeros; método da transformação bi-linear; escolha do período de amostragem.

Resposta na frequência: conceito. Função resposta em frequência. Diagrama de Bode: característica de amplitude, característica de fase, aproximação assintótica. Diagrama de Bode dos factores elementares de uma função resposta em frequência racional de fase-mínima: ganho, pólo/zero na origem, pólo/zero real, pólos/zeros complexos. Relação tempo-frequência. Diagrama de Bode de sistemas de fase não-mínima.

Análise de estabilidade no domínio da frequência. Teorema de Cauchy. Critério e Diagrama de Nyquist. Margem de Ganho. Margem de Fase. Coeficiente de amortecimento em margem de fase. Largura de banda. Relação entre as respostas em frequência em malha aberta e em malha fechada. Estabilidade em sistemas com atraso.

Projecto no domínio da frequência. Compensador de avanço de fase. Compensador de atraso de fase. Quantificação dos objectivos de seguimento da referência, atenuação do efeito de perturbação na cadeia de acção e atenuação do ruído na cadeia de retroacção. Constricções ao “ganho de malha”. Moldagem do “ganho de malha”.