

SEL 417 Fundamentos de Controle

Profa. Vilma A. Oliveira 1º. Semestre de 2023

Tem como objetivo introduzir os fundamentos teóricos de sistemas de controle linear e desenvolver competências em análise e projeto de sistemas de controle entendendo as limitações das soluções. O aluno ao final será capaz de compreender os objetivos de controle de sistemas e suas aplicações. O aluno vai realizar tarefas individuais ou em grupo contribuindo para a sua formação profissional.

Programa resumido: Fundamentos de controle realimentado usando modelos de sistemas dinâmicos. Tópicos cobertos incluem modelos espaço de estado, linearização e função de transferência; análise no domínio do tempo e na frequência; métodos de estabilidade; projeto de controladores PID.

Bibliografia: Vilma A. Oliveira, Manoel L. Aguiar, Jerson B. Vargas, Engenharia de Controle: Fundamentos e Aulas de Laboratório, Elsevier (livro text).
Plinio L. Castrucci, Anselmo Bittar, Roberto M. Salles, LTC. Controle Automático, LTC
Gene F. Franklin, J. David Powell Abbas Emani-Naeini, Feedback Control of Dynamic Systems, Prentice Hall.
Richard, C. Dorf, Robert H. Bishop, Modern Control Systems, Prentice Hall.

SEL 417 Fundamentos de Controle

Profa. Vilma A. Oliveira 1º. Semestre de 2023

Metodologia de ensino

Aulas expositivas, enquetes para acompanhamento da aprendizagem e aulas de simulação iniciando com a revisão dos tópicos ensinados e competências a serem desenvolvidas

SEL 417 Fundamentos de Controle

Profa. Vilma A. Oliveira 1º. Semestre de 2023

Aula introdutória

Objetivo de controle

– Gerar entradas para a planta usando medições para fornecer uma saída com comportamento desejado

Conceitos importantes

– Sistemas e modelos
– Realimentação

Exemplos

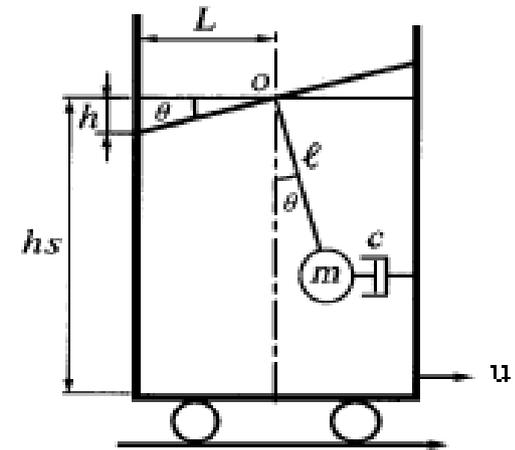
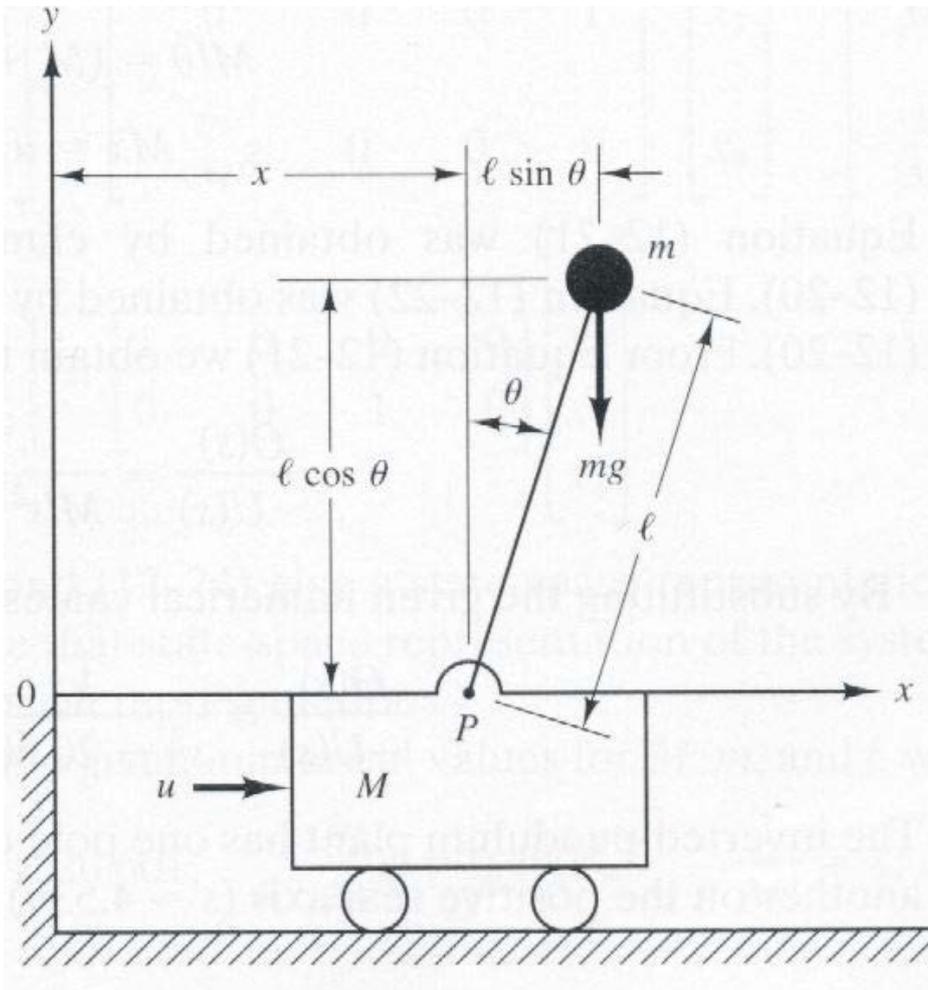
– Sistema de leitura de disco, sistema de suspensão magnética, sistema de temperatura, motor cc e braço robótico (tarefa)

Histórico

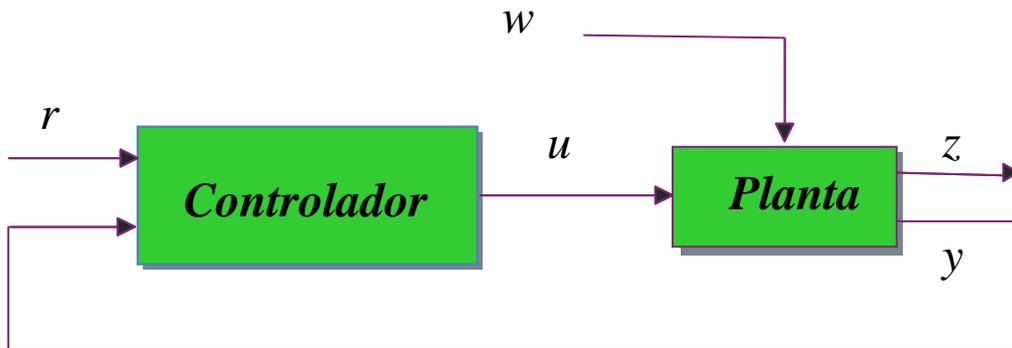
Avaliação da disciplina

Formulações dos problemas de controle

- Controle de referência ou estabilização
- Controle de trajetória



Conceitos de malha aberta e fechada



Componentes e variáveis de um sistema de controle

Processo/planta

Entrada e saída da planta

Sensor

Atuador

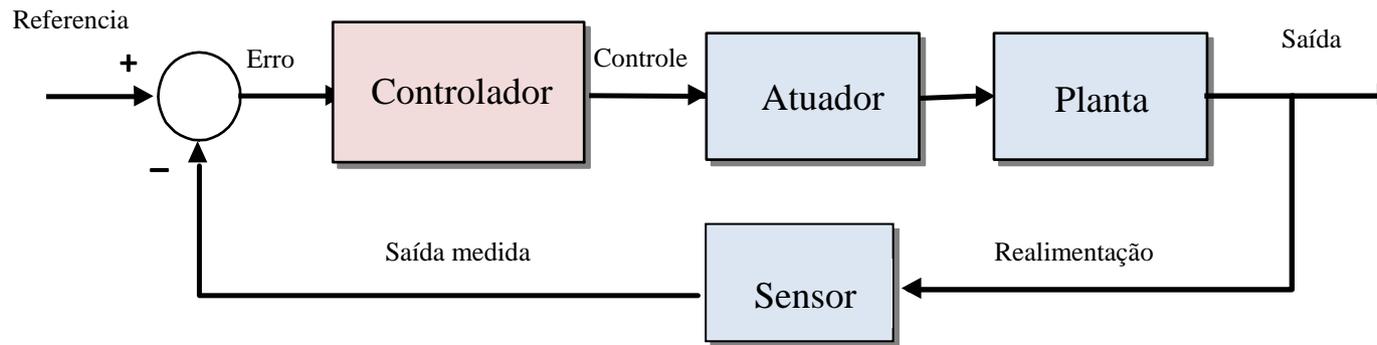
Saída do atuador

Entrada de referência

Entrada de perturbação

Componentes e sinais de entrada-saída

Diagrama de blocos



Exemplos de sistemas de controle

Leitora de disco

Objetivo: posicionar o cabeçote nas trilhas do disco para ler os dados armazenados

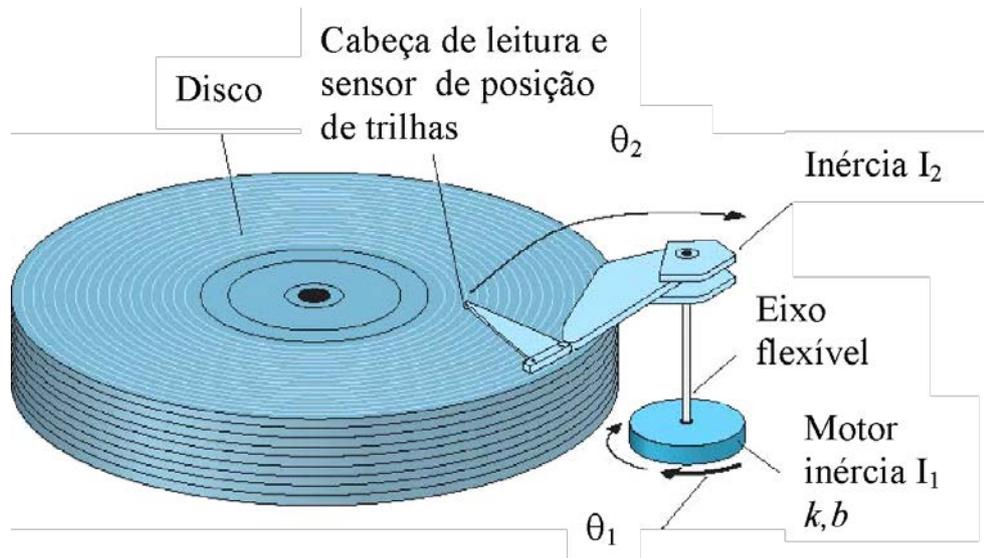
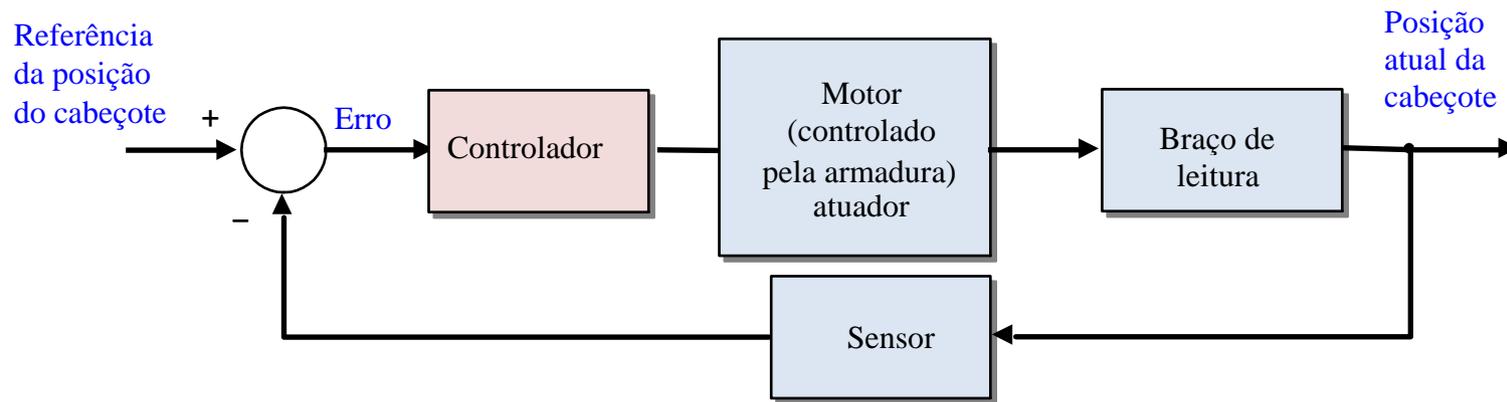


Diagrama esquemático de uma leitora de disco (Exemplo 2.4 do Franklin et alli , 3a. edição, 1994).

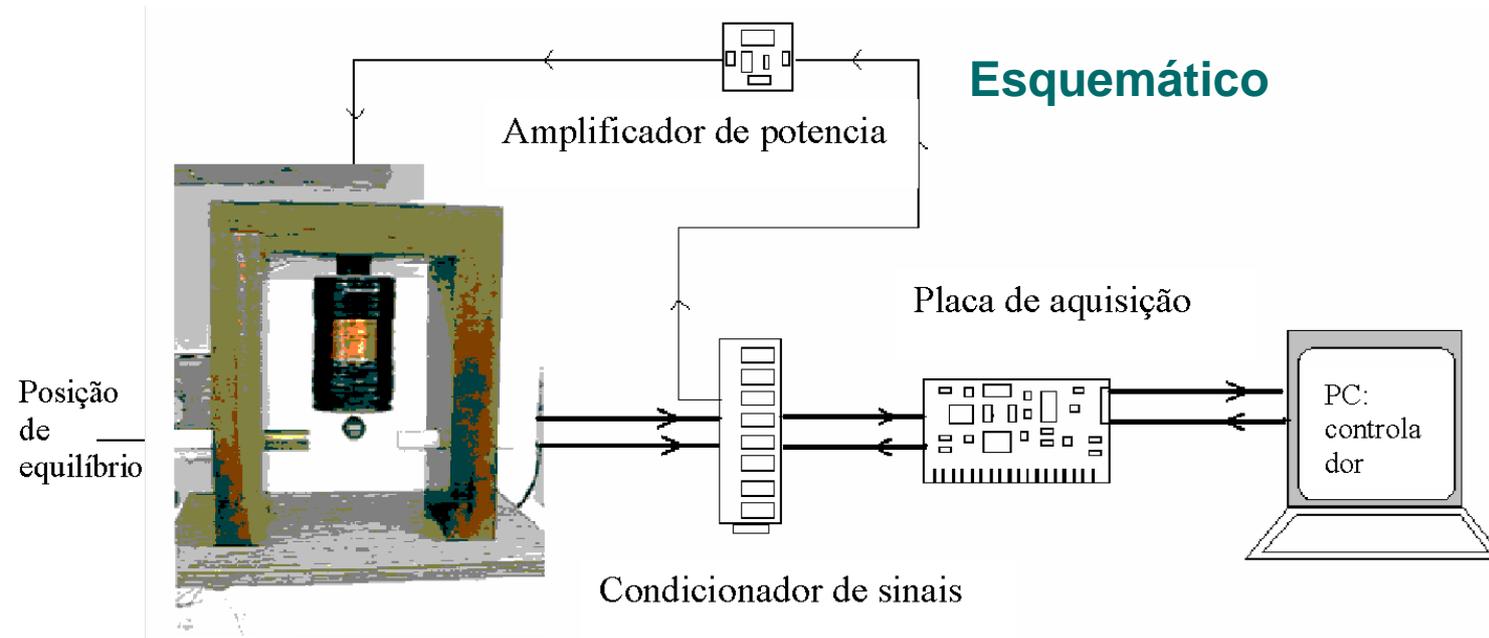
Exemplo Leitora

Diagrama de blocos do sistema de controle para a leitora de disco



Exemplo Suspensão

Esquemático



Objetivo: estabilizar esfera em posição desejada

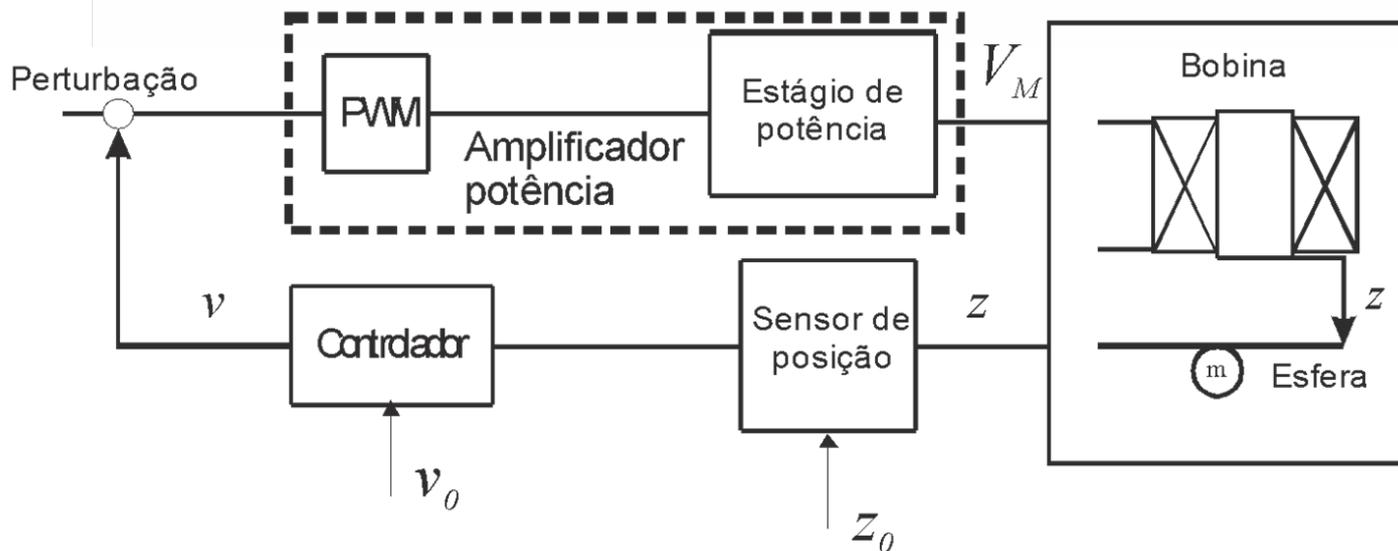
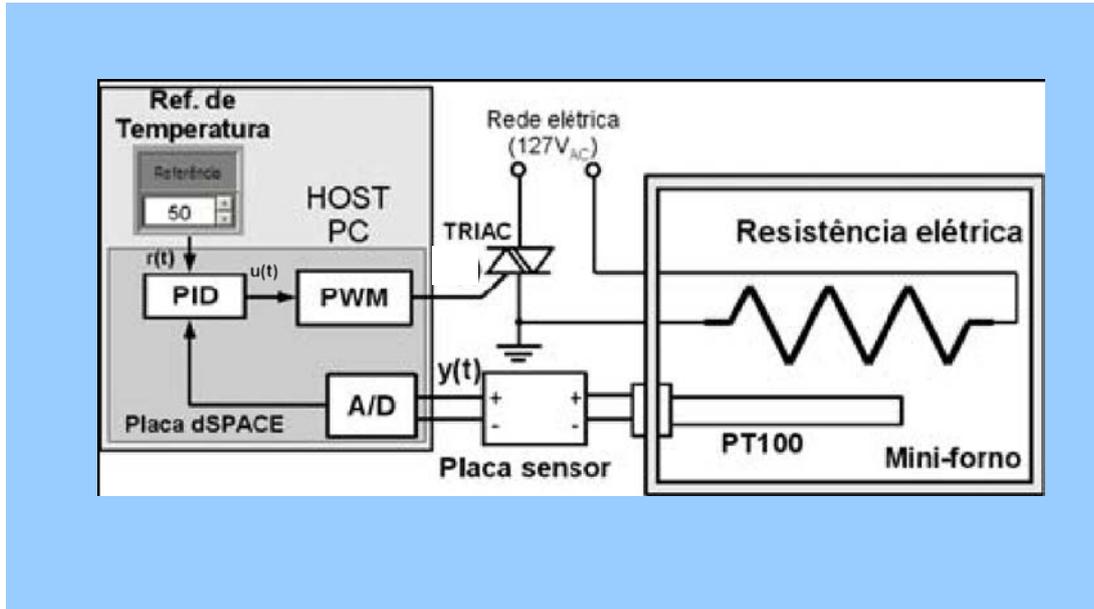
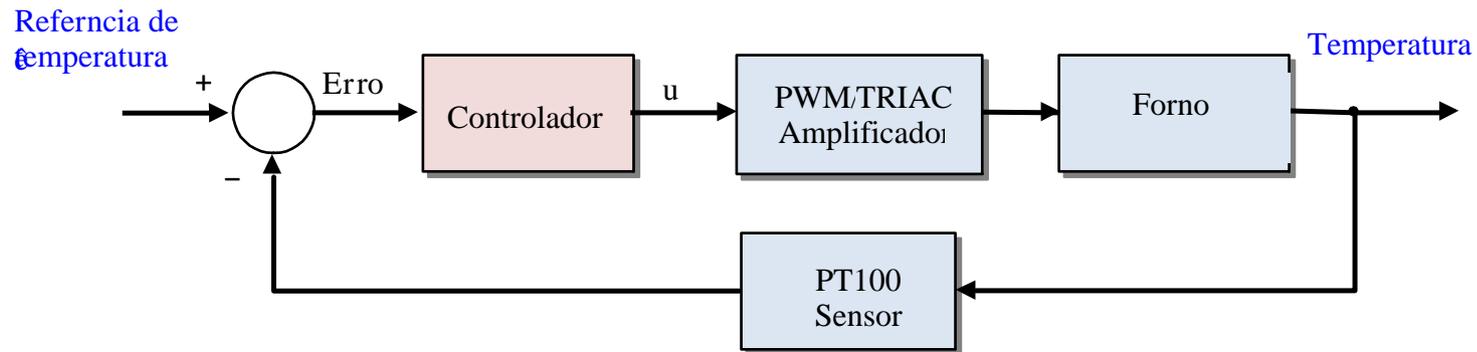


Diagrama suspensão magnética

Exemplo Forno Elétrico

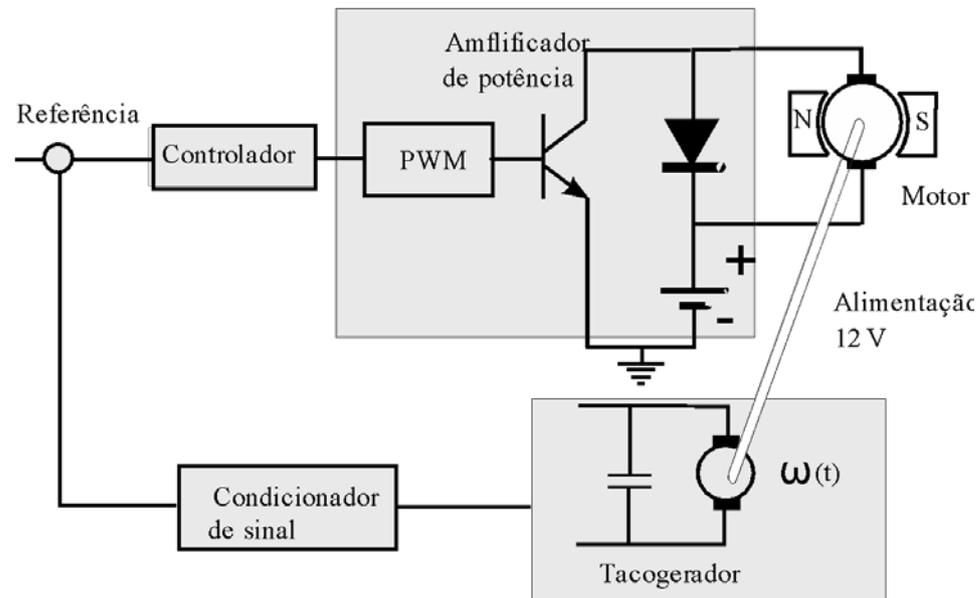
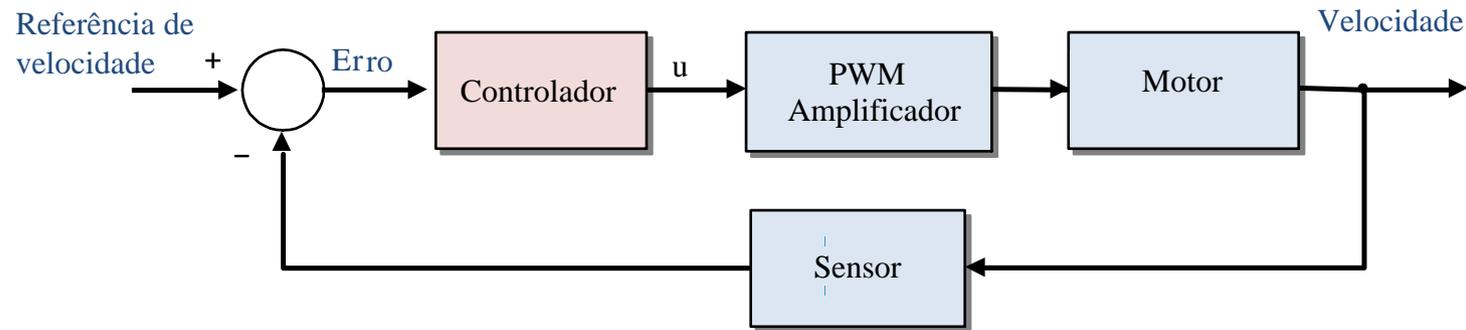


Esquemático



Exemplo Motor CC

Regulador de velocidade



Histórico de ferramentas controle

Primeiras ferramentas de análise de sistemas de controle

Equações diferenciais no domínio do tempo

Raízes da equação característica

- Maxwell (1868) Físico e matemático (Inglaterra)

Critério de Routh-Hurwitz

- Routh (1877) Matemático (Inglaterra)
- Hurwitz (1895) Matemático (Alemanha)

Primeiras ferramentas

Estabilidade de equações diferenciais não-lineares via noção de energia

– Lyapunov (1892)

Noção de sistemas

Princípio de organização: teoria geral de sistemas

– Whitehead (1925)

– L. von Bertalanffy (1938)

Metodos de análise e projeto

Análise e projeto no domínio da frequência (Bell Telephone Laboratory)

Realimentação negativa (amplificador com realimentação negativa)

- Harold. S. Black (1927) Engenheiro eletricista Bell Telephone Laboratories, USA

Critério de estabilidade de Nyquist

- Harry. Nyquist (1932) Engenheiro eletricista Bell Telephone Laboratories, USA

Gráficos de Bode e Margens de estabilidade

- Hendrik. W. Bode (1938) Matemático Bell Telephone Laboratories, USA

Métodos de análise e projeto

Modelos espaço de estado e controle ótimo

- Pontryagin, Bellman e Kalman (1960)
Matemáticos

Controle robusto

- Diversos autores (1980)

Controle modos deslizantes

- Vadim Utkin (1990) Engenheiro eletrícista
- Antonella Ferrara Engenheira eletrícista

IEEE Fellow in 2020 "for contributions to sliding mode control theory"
- Liu Hsu (Brasil) Engenheiro eletrícista

Controle preditivo

- Diversos autores
- Eduardo Camacho, Julio E. Normey-Rico (Brasil)

Engenheiros eletrícistas

Controle fuzzy e controle chaveado

- Diversos autores

Projeto controladores PID estabilizantes (2000)

- Shankar Bhattacharyya
Engenheiro eletrícista

Habilidades desejadas para o engenheiro atual

Pensamento sistêmico (systems thinking) *

Compreensão de um sistema com conexões e interações entre os elementos do sistema como um todo.

Análise de sistemas e avaliação dois das 15 principais habilidades projetadas para 2025 (World Fórum Econômico, 2020)

Plataforma de sistemas

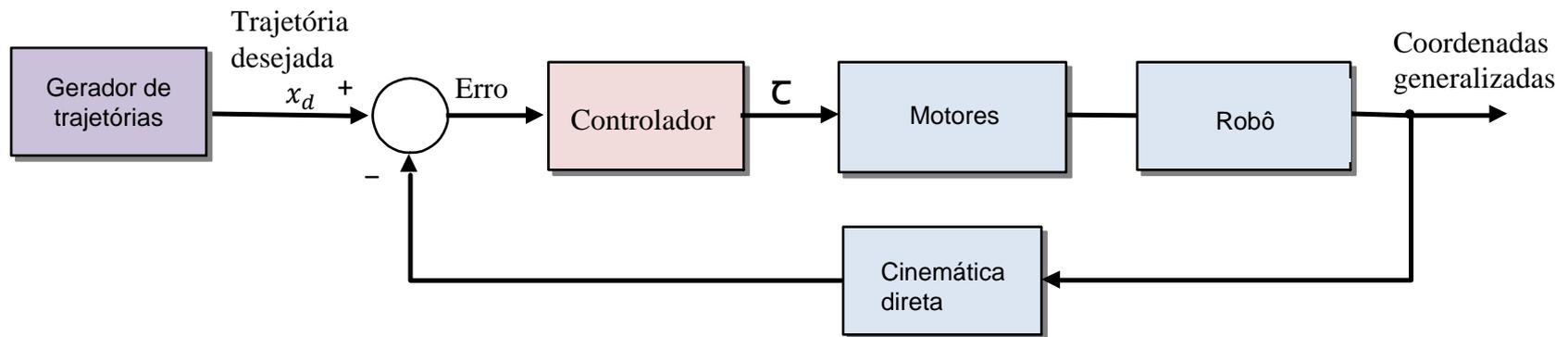
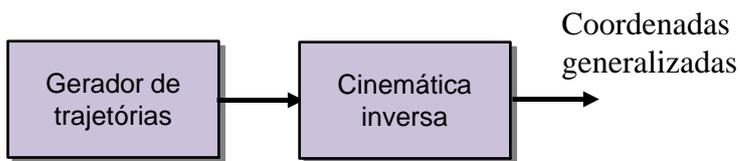
- Arquitetura: como o sistema opera
- Função: o que o sistema faz
- Resultado: como o sistema impacta a sociedade

Avaliação deve refletir os objetivos da atividade proposta

* The NEET Ways of Thinking: Implementing them at MIT and Assessing their Efficacy. REA LAVI, MARK BATHE, ANETTE 'PEKO' HOSOI, AMITAVA 'BABI' MITRA, EDWARD CRAWLEY, MIT, 2021

Exercício: braço robótico articulado

Descrever as variáveis



Avaliação

Nota final: $0.8 * \text{média 2 provas} + 0.2 * \text{média 4 tarefas}$
propostas durante o semestre

1ª prova dia 03/05, 2ª prova dia 13/07

Tarefas:

Atividades de aula interativas supervisionadas pelo professor e monitor usando o Matlab. Estão previstas 6 tarefas e o aluno, aluna pode escolher usar as notas de 4 tarefas na nota final. A média das notas das tarefas pode valer até 20% da nota final de acordo com a escolha do aluno.

Exercícios do livro Dorf&Bishop:

Existe uma página do livro texto do Dorf & Bishop com testes de múltipla escolha para avaliar a aprendizagem do aluno nos tópicos estudados. Vale a pena acessar esta página e fazer os testes:

http://wps.prenhall.com/esm_dorf_modctrlsys_10

Programa detalhado

Matéria da primeira prova

1- Modelos de sistemas básicos com base nas equações diferenciais e a diferença (ver parte do Capítulo 2 livro texto). Exemplos de obtenção de modelos ver Capítulo 3 livro texto e os temas nos livros do Dorf e Franklin.

2- Resposta impulsional, modos do sistema, teoremas do valor final e inicial, função de transferência, polos e zeros, descrição espaço de estado, linearização em torno de pontos de equilíbrio (parte do Capítulo 2 livro texto)

3- Estabilidade entrada-saída e comportamento típico de resposta temporal (ver parte do Capítulo 4 livro texto- não inclui realização, nem método de Lyapunov, nem teorema de hermite biehler , nem resposta em frequência)

- Função sensibilidade, erros de regime e efeito de perturbações (Capítulo 5 livro texto)

Programa detalhado

Matéria da segunda prova

Resposta em frequência

- Diagramas de Bode, margens de estabilidade
- Especificação de desempenho no domínio da frequência para sistema de segunda ordem: sobressinal, largura de banda
- Estabilidade de Nyquist, margens de estabilidade

Projeto PID

- Root locus
- Alocação de polos
- Forma recursiva
- Método Ziegler-Nichols