

Guia de Prática – Erro em Regime Estacionário de Sistemas de 1ª e 2ª Ordem com Controle Proporcional

Laboratório de Teoria de Controle

30 de setembro de 2025

Objetivos

- Simular e analisar respostas de sistemas de primeira e segunda ordem em malha aberta e malha fechada.
- Avaliar erro em regime estacionário e ganho estático.
- Investigar a influência do ganho do controlador na resposta transitória e em regime permanente.

Materiais e Ferramentas

- Computador com Python instalado.
- Bibliotecas Python: `control`, `matplotlib`, `numpy`.
- Editor de código (VS Code, Spyder, Jupyter Notebook, etc.).

Introdução

Em sistemas de controle em malha fechada, a posição do controlador no diagrama de blocos é uma decisão fundamental de projeto que define a *topologia* do sistema. A forma como o controlador processa os sinais de referência e de saída impacta diretamente o desempenho, a robustez e a estabilidade. A seguir, são apresentadas as duas configurações mais comuns.

1. Controlador no Ramo Direto

Esta é a topologia mais convencional e frequentemente encontrada em aplicações industriais. Nela, o controlador atua diretamente sobre o sinal de erro, que é a diferença entre a referência (setpoint) e a saída medida do processo.

- **Estrutura:** O controlador $C(s)$ é posicionado em série com a planta $G(s)$, antes da entrada do processo. A função de transferência de malha fechada é dada por:

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{C(s)G(s)}{1 + C(s)G(s)}$$

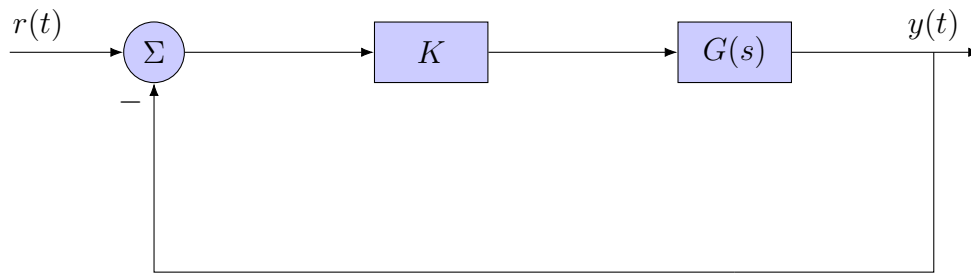


Figura 1: Controlador no ramo direto.

2. Controlador na Realimentação

Nesta configuração, menos comum mas útil em cenários específicos, o controlador é posicionado no laço de realimentação, processando o sinal de saída antes que ele seja comparado com a referência.

- **Estrutura:** O controlador $C(s)$ está no caminho de realimentação, recebendo como entrada o sinal de saída $y(t)$ da planta. A função de transferência de malha fechada neste caso é:

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{G(s)}{1 + C(s)G(s)}$$

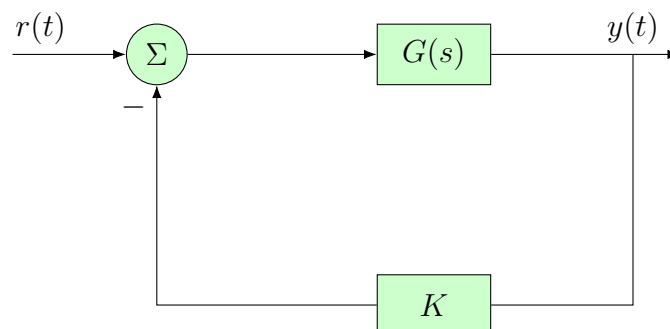


Figura 2: Controlador na realimentação.

A escolha entre as topologias depende fundamentalmente dos objetivos de controle, da natureza da planta e dos tipos de distúrbios e ruídos presentes no sistema.

Atividades

Parte I – Sistema de Primeira Ordem

- Simular a resposta de um sistema de primeira ordem em malha aberta para uma entrada degrau unitário:

$$G(s) = \frac{1}{3s}.$$

- Determinar o erro estacionário e o ganho do sistema.
- Colocar o sistema em malha fechada:

- (c.1) com ganho de realimentação $K = 1$;
- (c.2) com ganho de realimentação $K = 10$.
- (d) Simular as respostas dos sistemas em malha fechada para uma entrada degrau unitário. Determinar os erros estacionários e os ganhos dos sistemas.
- (e) Considere agora os ganhos do item (c) no ramo direto e refaça as análises.

Parte II – Sistema de Segunda Ordem

- (e) Simular a resposta de um sistema de segunda ordem em malha aberta para uma entrada degrau unitário:

$$G(s) = \frac{1}{s^2 + 1.2s + 9}.$$

- (f) Determinar o erro estacionário e o ganho do sistema. Incluir gráfico no relatório.
- (g) Colocar o sistema em malha fechada:
 - (g.1) com ganho de realimentação $K = 1$;
 - (g.2) com ganho de realimentação $K = 10$.
- (h) Simular as respostas dos sistemas em malha fechada para uma entrada degrau unitário. Determinar os erros estacionários e os ganhos dos sistemas.
- (i) Considere agora os ganhos do item (g) no ramo direto e refaça as análises.

Problema de Análise

Considerando o sistema de segunda ordem estudado, investigue se é possível obter um ganho proporcional K que resulte em erro estacionário nulo para uma entrada do tipo degrau.

A análise deve ser feita para as duas topologias de controle a seguir:

- Com o ganho K posicionado no ramo direto.
- Com o ganho K posicionado no ramo de realimentação.