

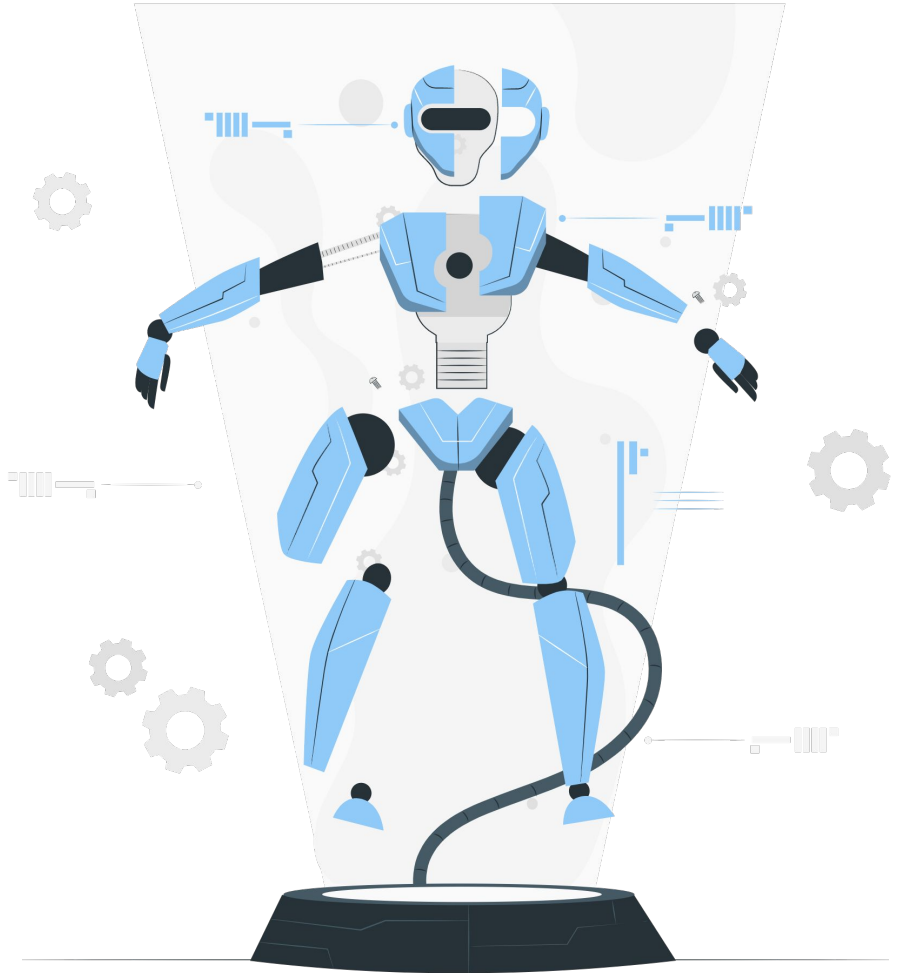
Análise e projeto de sistemas de controle

Atividade 01



Débora Oliveira

19 de abril de 2021





Sumário



01 Controle adaptativo

Fundamentação teórica e análise de aplicação

02 Análise em frequência

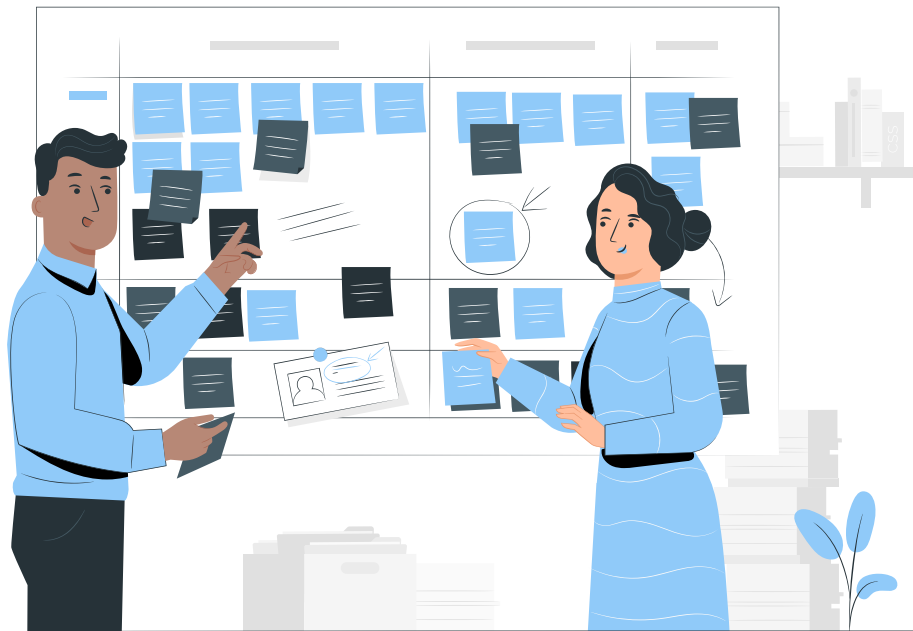
Estudo em malha aberta e em malha fechada

03 Processos não-lineares

Linearização e inversão da não-linearidade

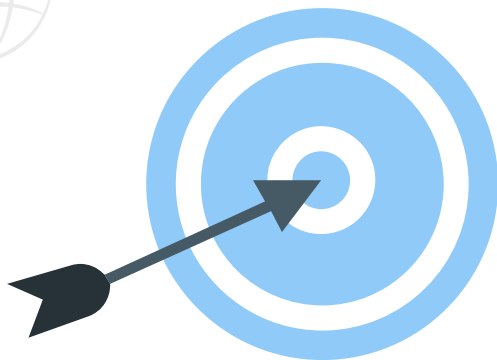
04 Processos variáveis

Controladores parametrizáveis



01 Controle adaptativo

Fundamentação teórica e
análise de aplicação

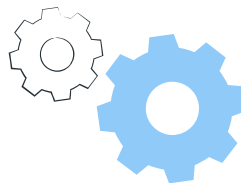


Objetivo

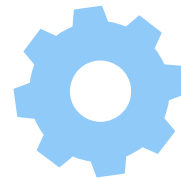
Controladores adaptativos

Garantir a estabilidade em sistemas com processo variável ou com perturbações não-lineares.

→ Mudança na lei de controle conforme identificação da condição de operação



Tipos de adaptações da lei de controle



01 Escalonamento de ganho

Atualização de ganho conforme condição de operação

03 Inversão de não-linearidade

Linearização de um modelo não-linear conhecido

02 Rejeição de ruído regular

Controlador com filtro para a frequência da perturbação

04 Parametrização do modelo

Reescrita do modelo segundo termos do controlador





Self-tuning regulator

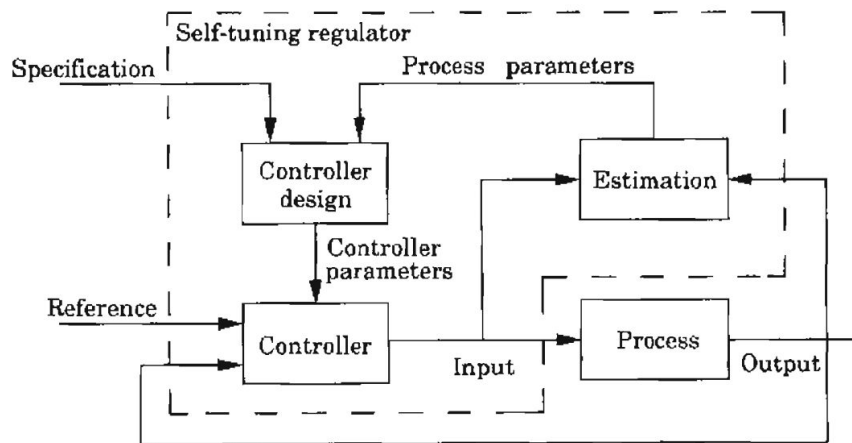


Fig. 1: Diagrama de blocos de um STR (ASTROM, 2008).

Estimativa contínua do modelo de um processo variável.

- Especificação em função do modelo de estimado
- Não considera as incertezas dos parâmetros do controlador
 - Adotar uma abordagem estocástica



02

Análise em frequência

Estudo em malha aberta e
em malha fechada



Diferença em malha aberta

Função de transferência

$$G_0(s) = \frac{1}{(s+1)(s+a)}, a \in \{-0.01, 0, 0.01\}$$

→ Malha fechada com lei de controle proporcional

$$H(s) = \frac{1}{(s+1)(s+a)+1}$$

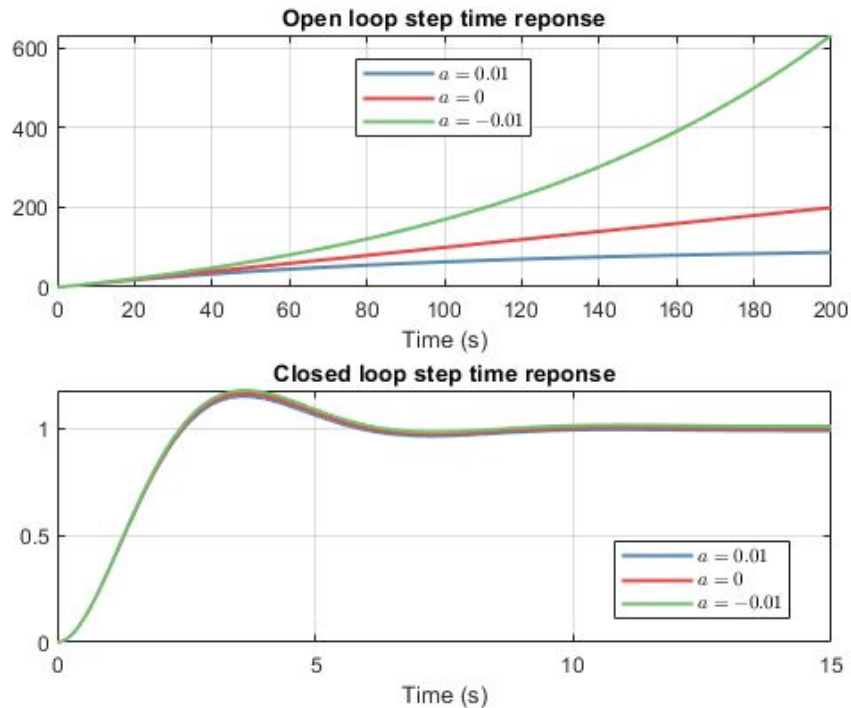


Fig. 2: Resposta da malha aberta (acima) e em malha fechada (abaixo) (Autoria própria).

Diferença em malha aberta

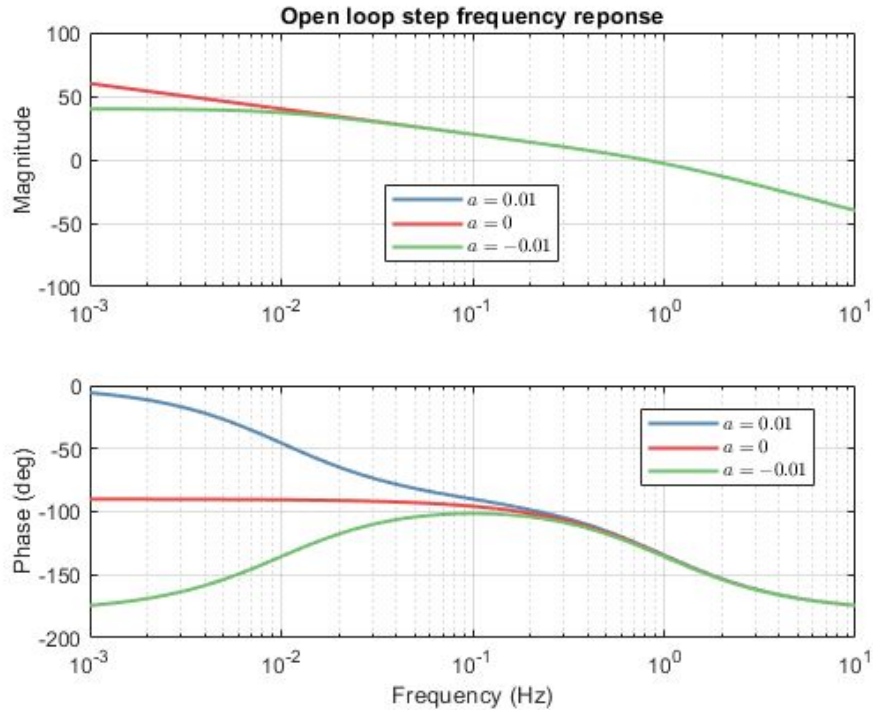


Fig. 3: Diagrama de Bode de malha aberta (Autoria própria).

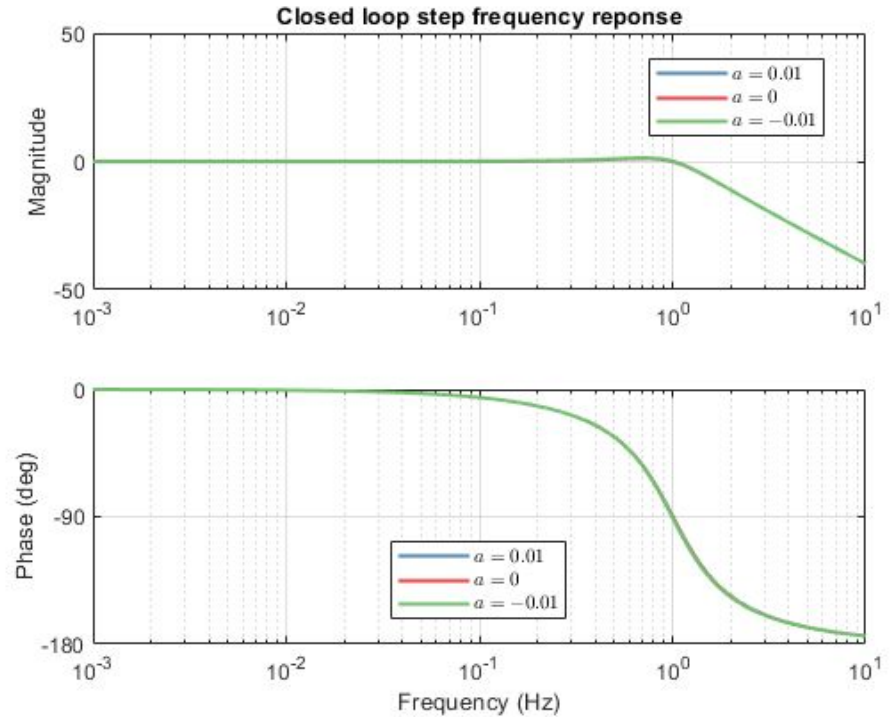


Fig. 5: Diagrama de Bode de malha fechada (Autoria própria).



Diferença em malha fechada

Função de transferência

$$G_0(s) = \frac{400(1-sT)}{(s+1)(s+20)(1+sT)}, T \in \{0, 0.015, 0.03\}$$

→ Malha fechada com lei de controle proporcional

$$H(s) = \frac{400(1-sT)}{(s+1)(s+20)(1+sT)+400(1-sT)}$$

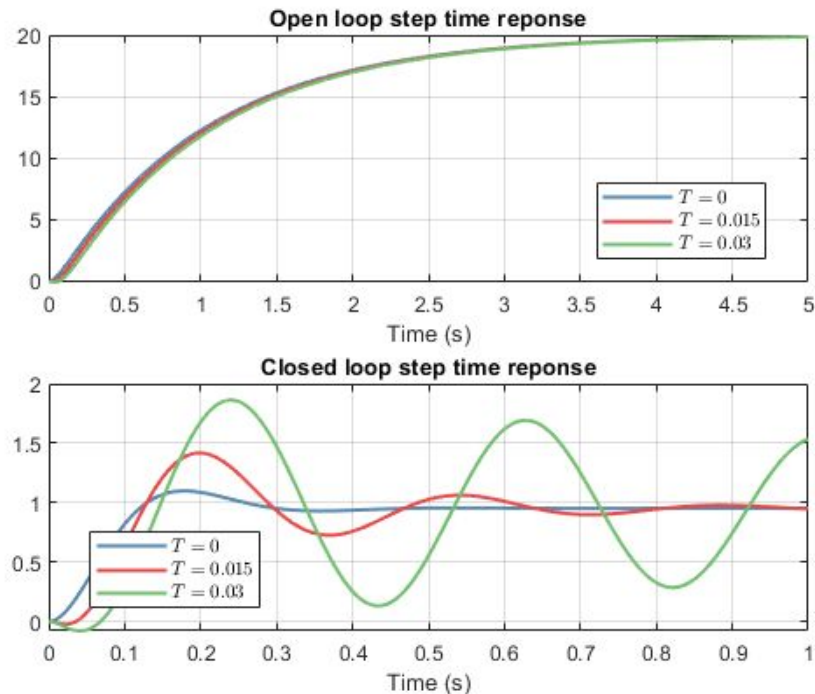


Fig. 6: Resposta da malha aberta (acima) e em malha fechada (abaixo) (Autoria própria).

Diferença em malha fechada

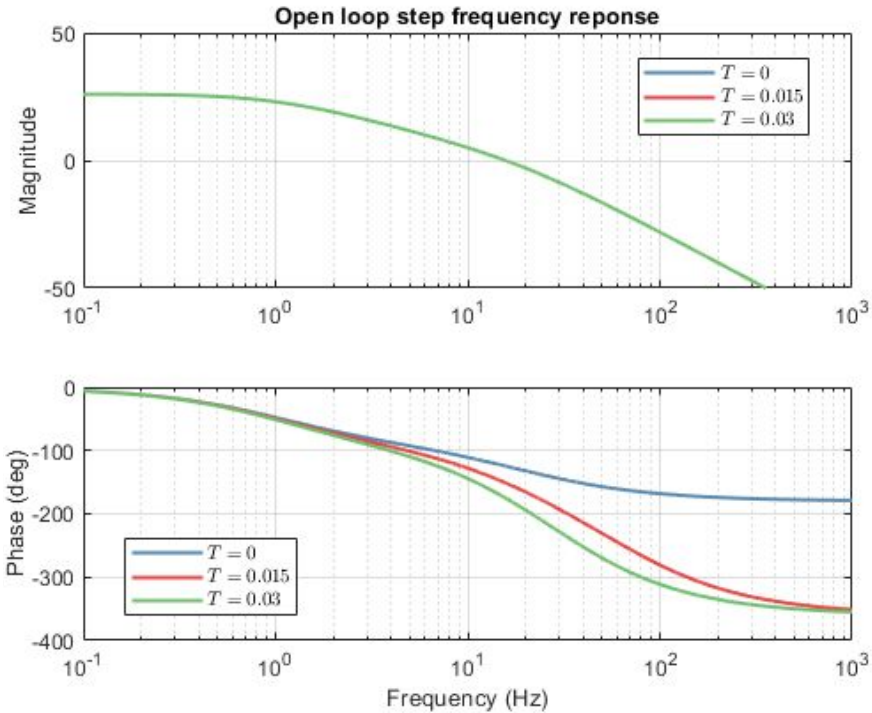


Fig. 7: Diagrama de Bode de malha aberta (Autoria própria).

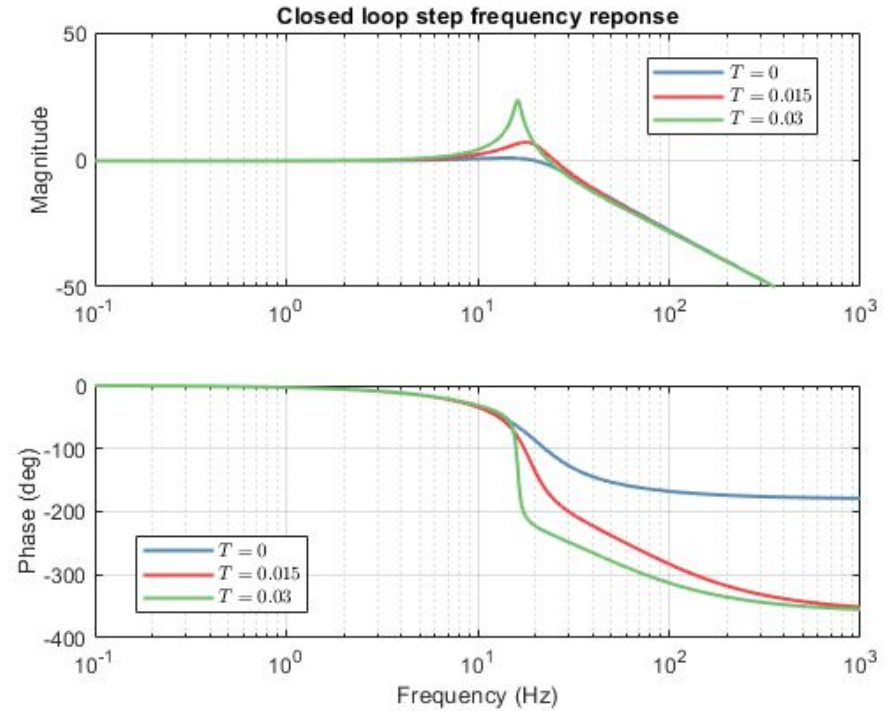
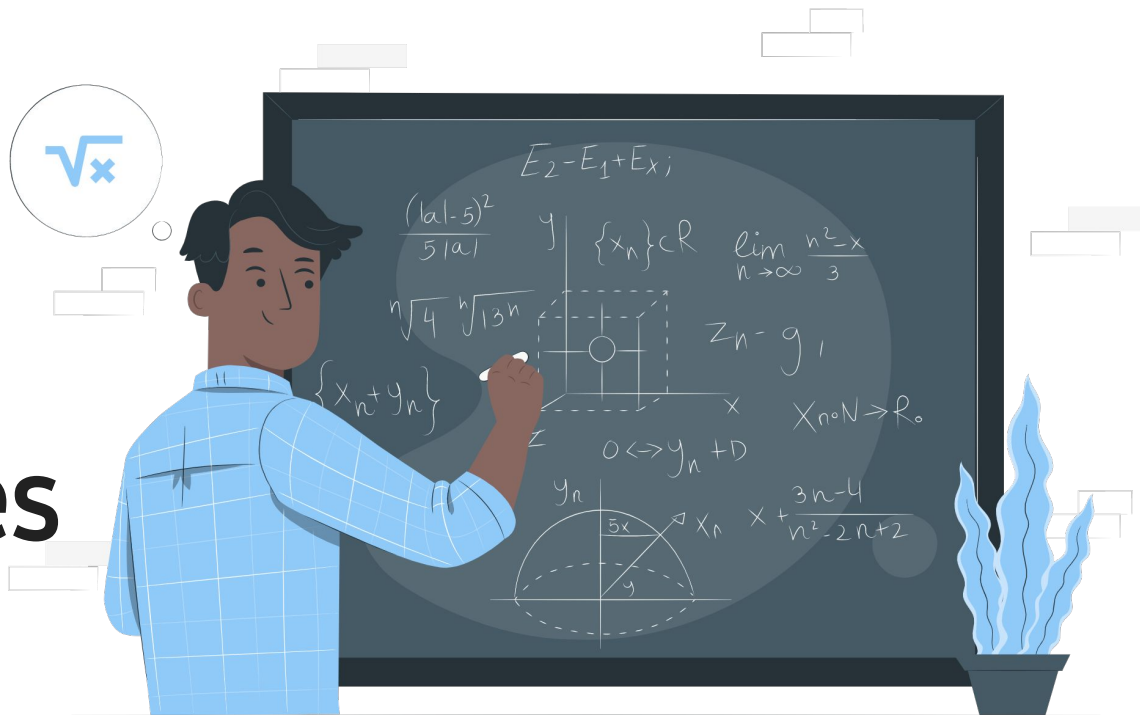


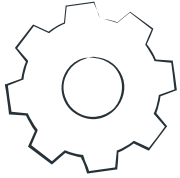
Fig. 8: Diagrama de Bode de malha fechada (Autoria própria).

03

Processos não-lineares

Linearização e inversão
da não-linearidade





Integrador com sinal indefinido



Função de transferência

$$G_0(s) = \frac{k_p}{s}, k_p \in \mathbb{R}$$

→ Malha fechada com lei de controle racional

$$P(s) = sR(s) + k_p S(s)$$

- Para $R(s) = s + \alpha$ e $S(s) = \beta$

$$p = \frac{-\alpha \pm \sqrt{\alpha^2 - 4k_p\beta}}{2} \rightarrow \text{Se } k_p < 0, \text{ há pelo menos um } \underline{\text{pólo}} \underline{\text{no semi-plano direito}} \text{ de } s$$



Inversão da não-linearidade



Válvula não-linear

Instabilidade provocada pela ordem de magnitude de y

→ Solução: Linearização da válvula não-linear

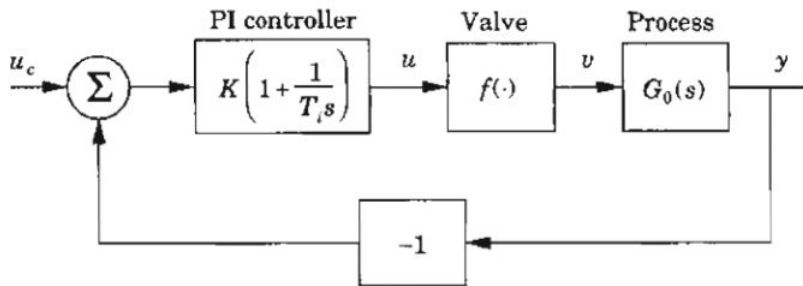


Fig. 9: Diagrama de blocos de um laço de controle PI para um processo não linear (ASTROM, 2008).

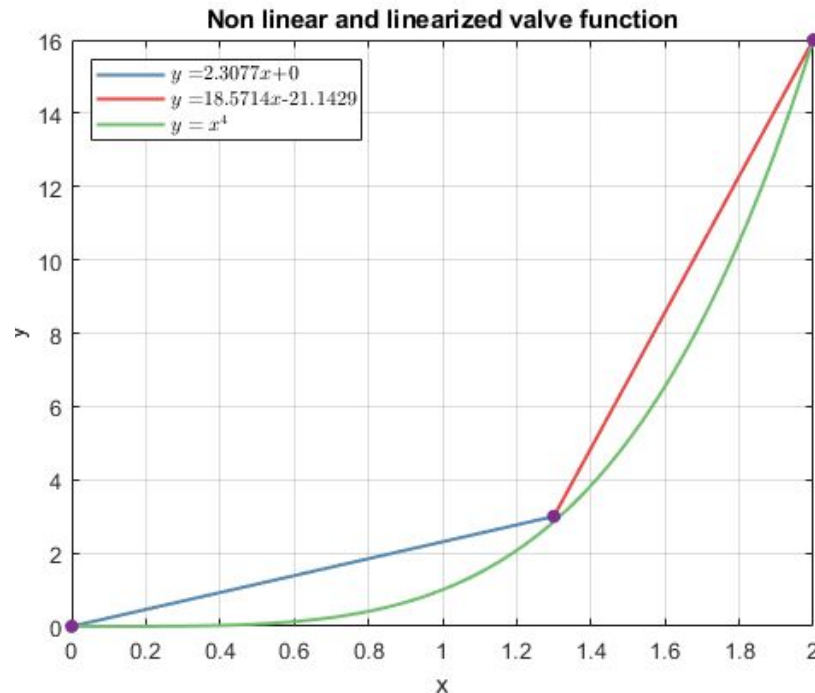


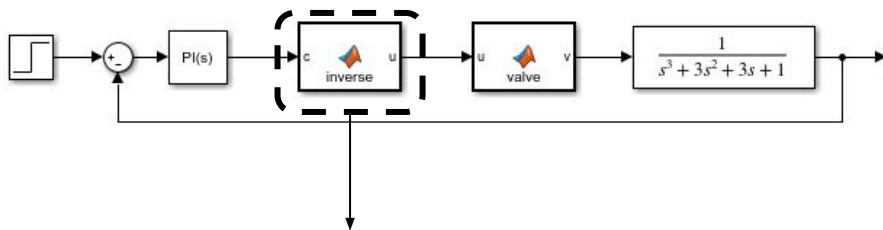
Fig. 10: Aproximação linear da função da válvula (Autoria própria).



Inversão da não-linearidade

Válvula não-linear

→ Solução: Linearização da válvula não-linear



$$f^{-1}(u) = \begin{cases} 0.433u, & 0 \leq u < 3 \\ 0.0538u + 1.1385, & 3 \leq u < 16 \end{cases}$$

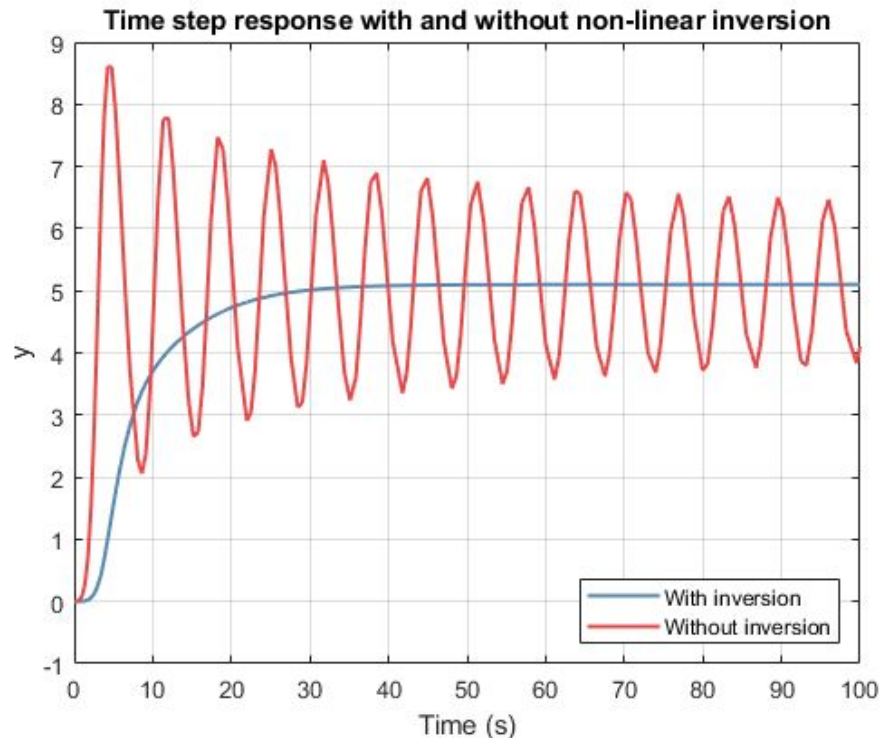
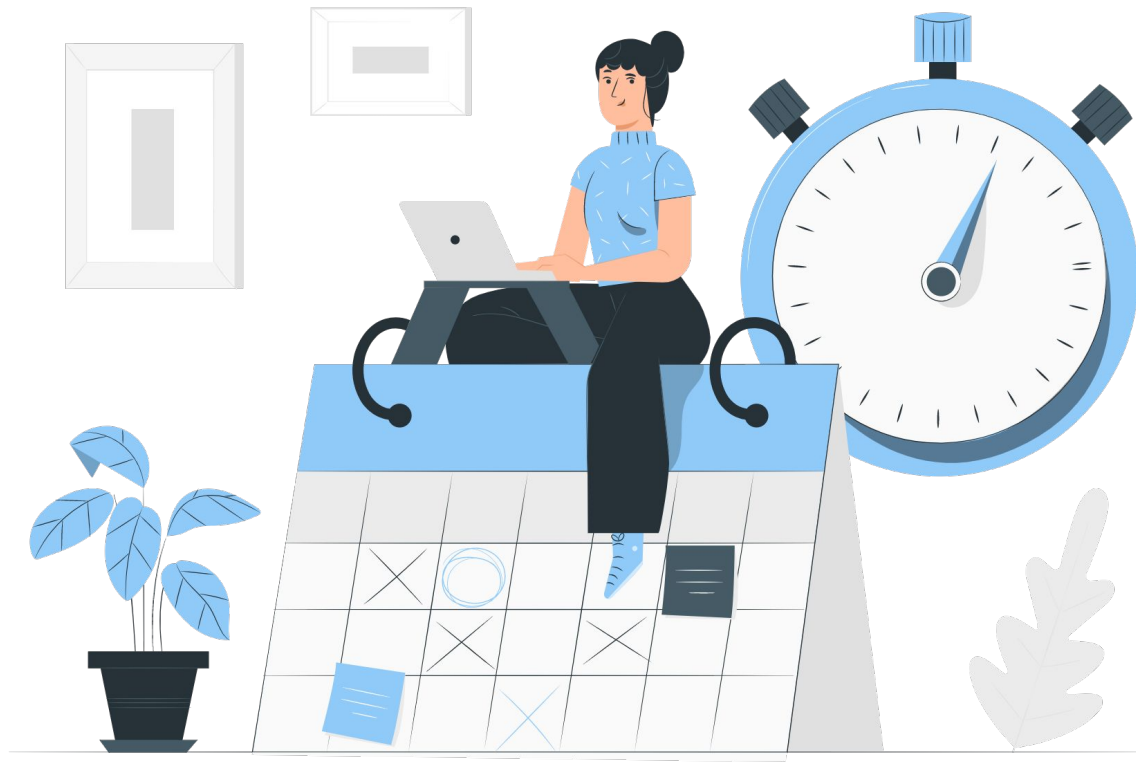


Fig. 11: Resposta ao degrau com e sem a inversão da não-linearidade do processo modelado (Autoria própria).



04

Processos variáveis

Controlador parametrizado

Vazão variável

Controle de concentração de um tanque

$$V_m \frac{dc(t)}{dt} = q(t)[c_{in}(t - \tau) - c(t)], \tau = V_d/q(t)$$

→ Função de transferência para $q(t)$ constante

$$G_0(s) = \frac{e^{s\tau}}{1+sT}, T = V_m/q(t)$$

- Para uma lei de controle PI

$$L(s) = 0.5 \left(1 + \frac{1}{1.1s} \right) \rightarrow \text{Não garante ausência de overshoot } \forall q \in \{0.5; 1.0, 2.0\}$$

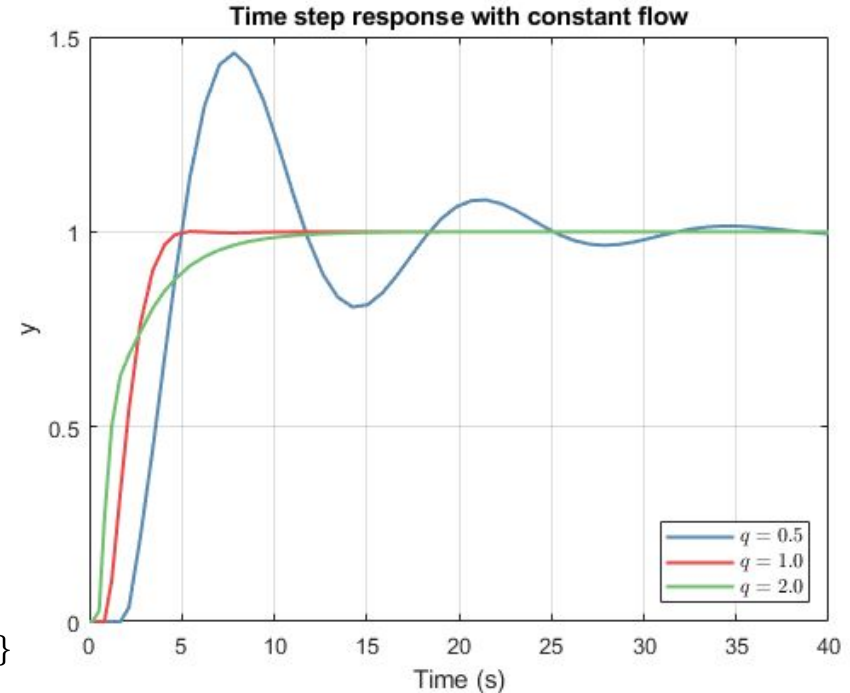


Fig. 12: Resposta ao degrau para a malha fechada para o controlador constante (Autoria própria).

Vazão variável



Ganho constante

Amostrado com a taxa h
inversamente proporcional
ao fluxo q



Ganho variável

Método de ajuste por
Ziegler-Nichols

$$K_c = \frac{0.9T}{\tau}, T_i = 0.3\tau$$

Vazão variável

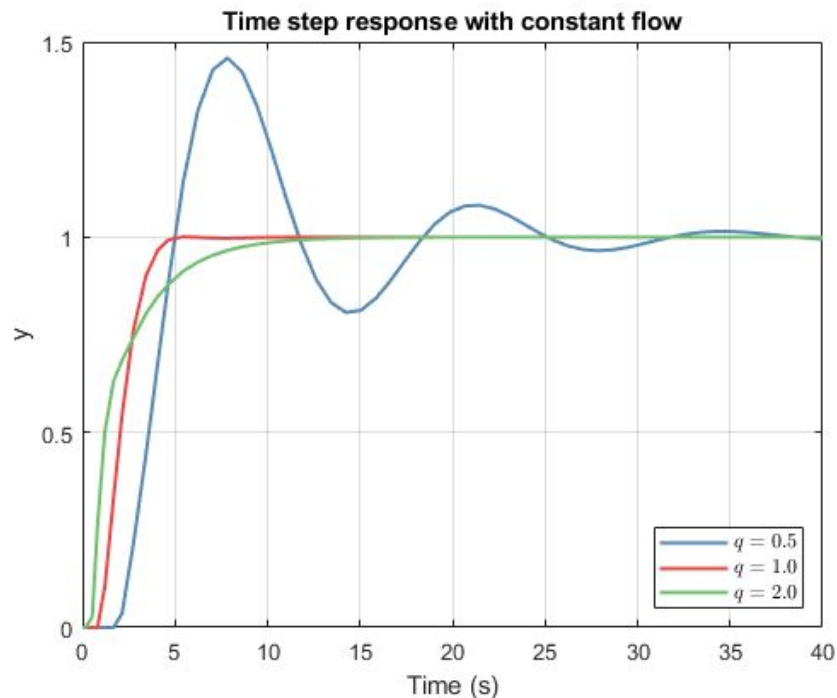


Fig. 12: Resposta ao degrau para a malha fechada para o controlador constante (Autoria própria).

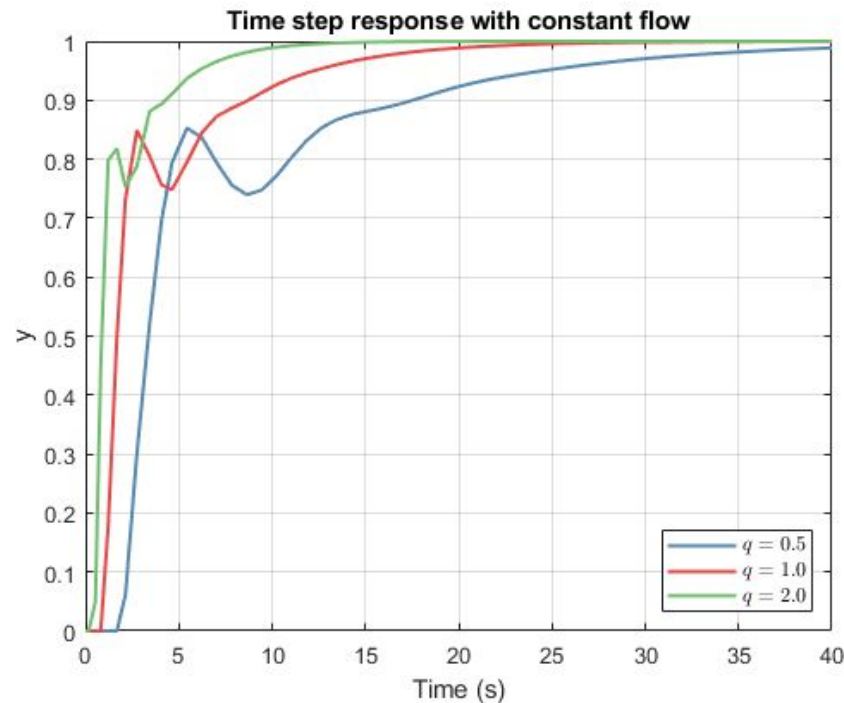


Fig. 13: Resposta ao degrau para a malha fechada para o controlador variável (Autoria própria).

Vazão variável

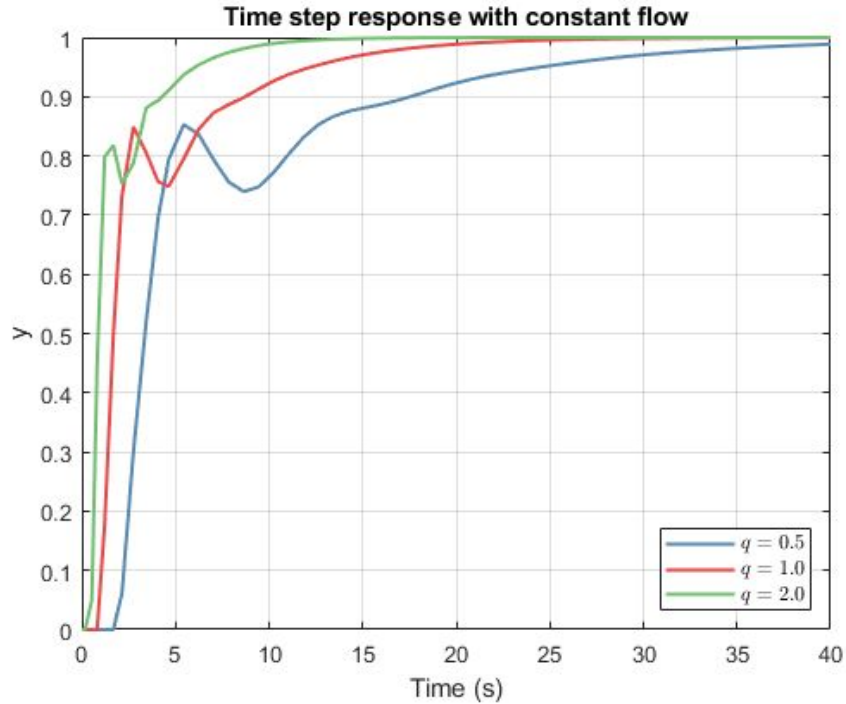


Fig. 13: Resposta ao degrau para a malha fechada para o controlador variável (Autoria própria).

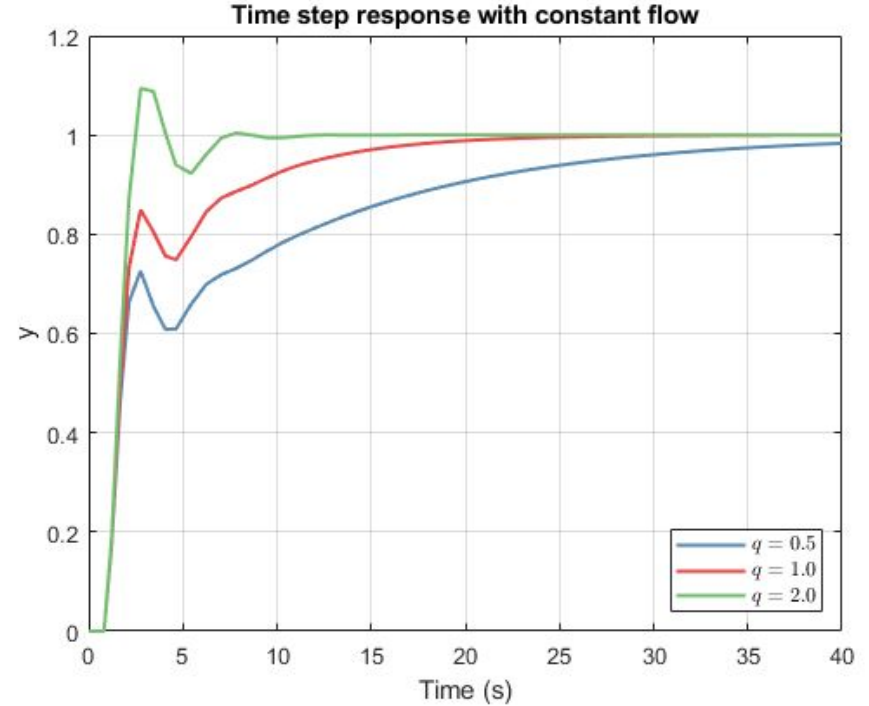


Fig. 14: Resposta ao degrau para a malha fechada para o processo variável considerando a lei de controle projetada para $q=1$ (Autoria própria).

Máquina de corte

Função de transferência

$$F = ka \left(\frac{v}{N} \right)^\alpha$$

→ Controlador PI único **não** consegue **compensar** as **variações** dos parâmetros do **modelo**

- **Solução:** Escalonamento de ganho

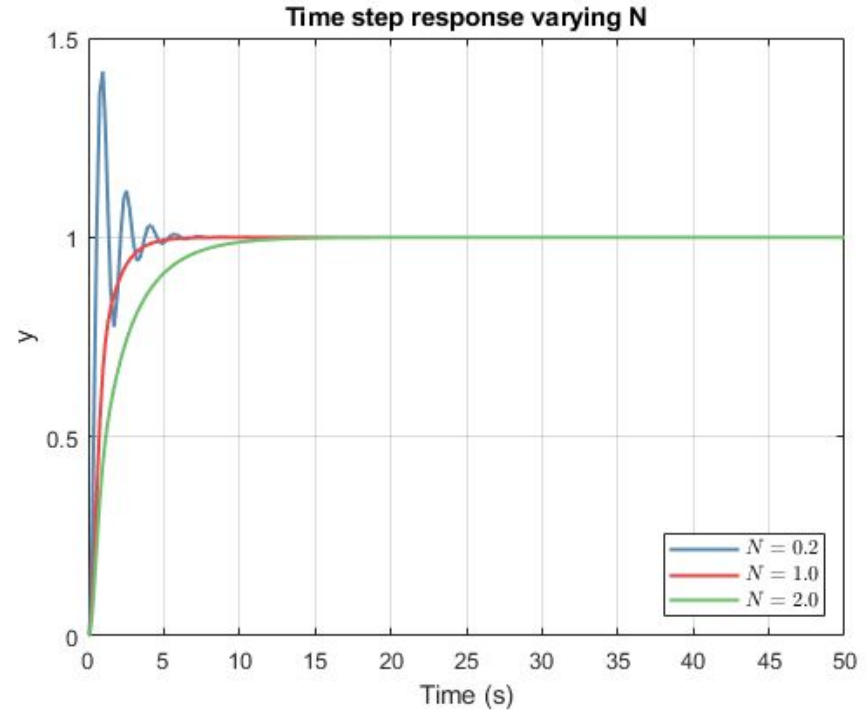


Fig. 15: Resposta ao degrau para a malha fechada variando N (Autoria própria).

Dinâmica de voo de aeronave de asa fixa

Espaço de estados

$$\frac{dx}{dt} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ 0 & 0 & -a \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} b_1 \\ 0 \\ a \end{bmatrix} u \quad x^T = [N_z \quad \dot{\theta} \quad \delta_e]$$

→ Autovalores dependentes das condições de voo

- Sistema instável ou sub-amortecido para um controlador de ganho constante

→ Solução: Escalonamento de ganho

$$K_{QD} = K_{AS} + (K_S - K_{AS})MF$$

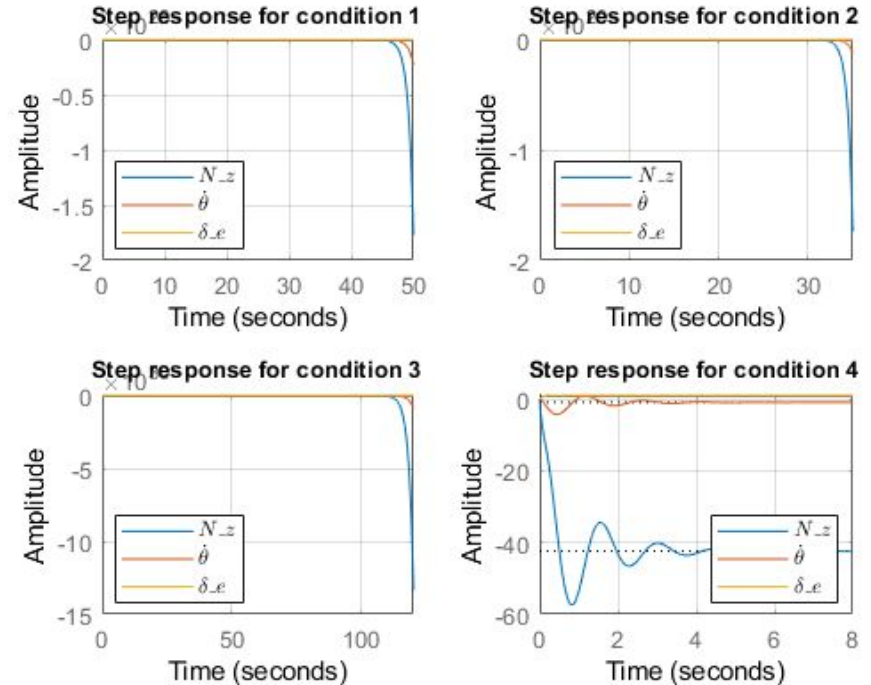


Fig. 16: Resposta ao degrau para um controlador constante nas quatro condições de operação da aeronave de asa fixa (Autoria própria).

Distúrbio regular

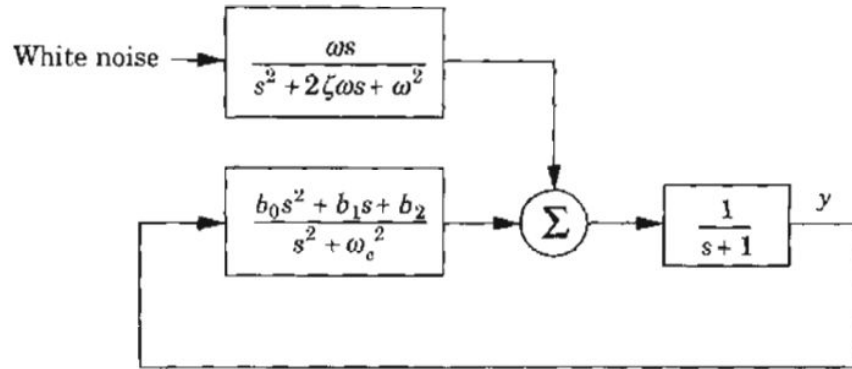


Fig. 17: Diagrama de blocos para um distúrbio em frequência característica (ASTROM, 2008).

Distúrbio em frequência central ω

- \rightarrow Lei de controle com alto ganho na frequência ω_c
- \rightarrow Considera apenas perturbações equivalentes ao modelo
 - Adotar uma abordagem estocástica

Distúrbio regular

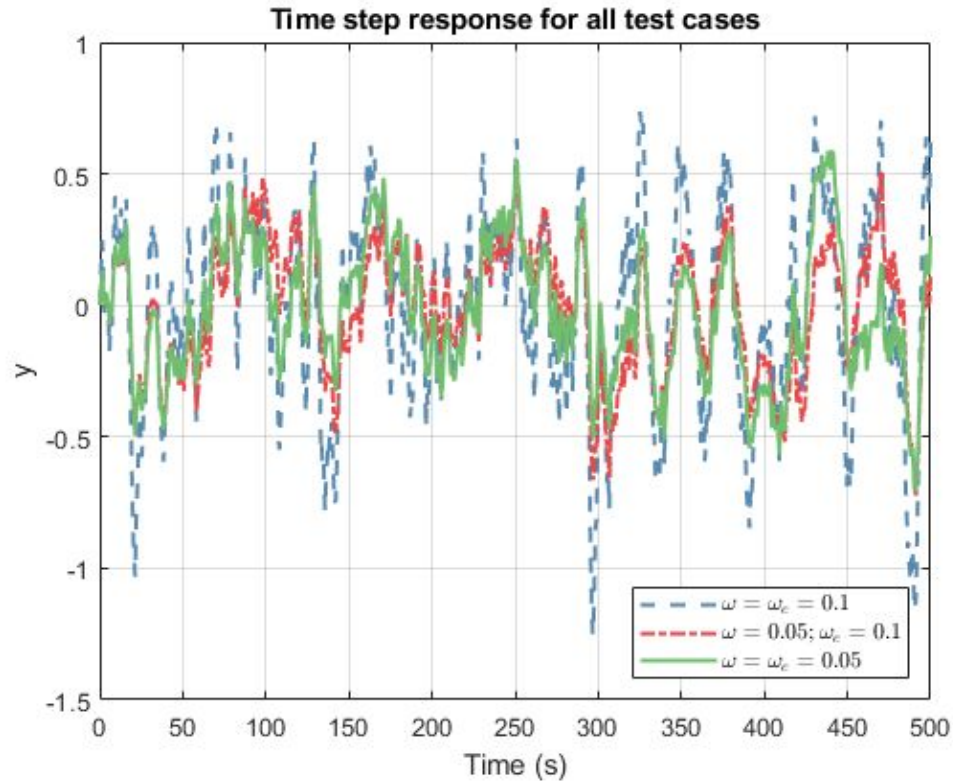
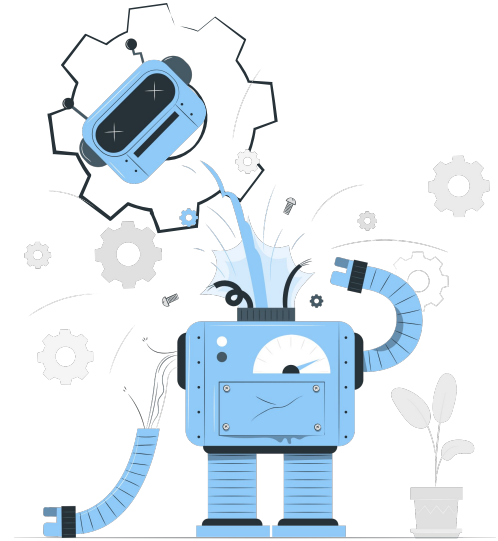


Fig. 18: Resposta de malha fechada à referência nula (Autoria própria).



Análise e projeto de sistemas de controle

Atividade 01



Débora Oliveira

19 de abril de 2021

