

Sistema de Controle: Análise Contínua e Discreta com controlador PID

Controle Digital de Sistemas Dinâmicos
Laboratório de Controle Digital de Sistemas Dinâmicos

Gabriel Oliveira Alves
Centro Federal de Educação Tecnológica - CEFET
Departamento de Computação
Divinópolis-MG, Brasil

Abstract—This document is a model and instructions for L^AT_EX. This and the IEEEtran.cls file define the components of your paper [title, text, heads, etc.]. *CRITICAL: Do Not Use Symbols, Special Characters, Footnotes, or Math in Paper Title or Abstract.

I. INTRODUÇÃO

No âmbito da eletrônica os controladores desempenham um papel fundamental, sendo utilizados para garantir o funcionamento preciso, estável e eficiente de diversos sistemas. Eles são responsáveis por ajustar e regular a resposta dos circuitos eletrônicos, assegurando que os dispositivos operem conforme os parâmetros desejados, mesmo diante de variações e perturbações.

Nesse contexto, controladores PID (Proporcional-Integral-Derivativo) são amplamente utilizados, devido à sua capacidade de fornecer uma resposta precisa e eficiente. Eles ajustam continuamente a saída de um sistema de controle utilizando três ações principais: proporcional, integral e derivativa. A combinação dessas ações permite um controle robusto, rápido e estável [1].

Este projeto tem como objetivo desenvolver um sistema web para plotar o diagrama de Bode, a resposta a um sinal degrau e o gráfico de Lugar da Raízes de um sistema dinâmico de primeira ordem que utiliza um controlador PID, a partir de valores de constantes inseridos pelo usuário.

II. FUNDAMENTO TEÓRICOS

A. Sistema de Controle Contínuo no Tempo

O controle contínuo refere-se a uma abordagem de controle de sistemas dinâmicos em que as variáveis de estado e as ações de controle são ajustadas continuamente ao longo do tempo. Nesse caso, o sistema é monitorado e ajustado de forma ininterrupta, permitindo uma resposta imediata às mudanças nas condições do sistema [2].

Para esse tipo de controle, tanto os sensores quanto os atuadores operam em tempo real, ajustando as entradas do sistema de maneira contínua para alcançar os objetivos propostos, podendo ser eles: minimizar erros, manter a estabilidade ou otimizar o desempenho.

Sistemas de controle contínuos são amplamente utilizados em aplicações analógicas onde a precisão e a rapidez de resposta são necessárias, como em sistemas de aviação, controle de motores, sistemas de climatização, entre outros. Exemplos clássicos de controle contínuo incluem o uso de controladores Proporcional-Integral-Derivativo (PID), que ajustam continuamente a saída com base no erro entre a referência desejada e o estado atual do sistema. [1]

B. Sistema de Controle Discreto no Tempo

O controle discreto no tempo está relacionado a uma abordagem onde as variáveis de estado e as entradas de controle são atualizadas em intervalos de tempo discretos, ou seja, em pontos específicos no tempo, ao invés de continuamente. Isso significa que as ações de controle e a análise do estado do sistema ocorrem em instantes separados e regulares, determinados por uma taxa de amostragem [2].

Essa abordagem é muito utilizada em sistemas digitais, onde o processamento de sinais e a execução de algoritmos de controle são realizados por meio de dispositivos como microcontroladores, computadores, entre outros. Em um sistema de controle discreto, a dinâmica é descrita por equações diferenciais ou de diferenças que modelam a evolução do sistema entre os instantes definidos pela taxa de amostragem [3].

O controle discreto é essencial para a implementação de sistemas de controle em ambientes de natureza digital. As aplicações mais comuns incluem automação industrial, sistemas de controle de processos, robótica, entre outras.

C. Transformada Z

A Transformada Z é uma ferramenta matemática fundamental em sistemas de controle digital, permitindo a análise e o projeto de sistemas dinâmicos discretos. Essa transformada é utilizada para converter equações diferenciais em equações de diferença, facilitando o tratamento de sinais digitais em controladores digitais e sistemas amostrados.

Trata-se basicamente uma extensão da Transformada de Laplace aplicada a sinais discretos. Ela transforma uma

sequência temporal discreta em uma representação no domínio Z, facilitando a análise de sistemas dinâmicos discretos. Matematicamente, a Transformada Z de uma sequência $x[n]$ é definida por [4]:

$$X(z) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n]z^{-n} \quad (1)$$

onde z é uma variável complexa que pode ser escrita como $z = re^{j\omega}$, sendo r o raio de convergência e ω a frequência.

Essa transformação mapeia uma sequência de tempo discreto para uma função no domínio complexo z . Contudo, a transformada Z só é válida dentro de uma região de convergência (ROC) no plano z . Dessa forma, ROC é fundamental para determinar a estabilidade do sistema e a aplicabilidade da transformada para diferentes sinais [2].

Utilizando a Transformada Z se torna possível obter a função de transferência discreta do sistema, relacionando a entrada e a saída em tempo discreto. Dessa forma é possível analisar a estabilidade e a resposta em frequência do sistema.

D. Estabilidade do Sistema

Para análise da estabilidade e comportamento de um sistema é possível utilizar algumas técnicas, entre elas estão:

- **Resposta ao Degrau**

A resposta ao degrau de um sistema é a saída do sistema quando a entrada é um sinal de degrau unitário. Essa resposta é uma ferramenta essencial na análise de sistemas dinâmicos, pois fornece informações importantes sobre o comportamento do sistema ao longo do tempo. A partir dela é possível calcular o tempo de subida, tempo de acomodação, o percentual de overshoot e o erro em regime permanente do sistema [3]. Para um sistema linear e invariante no tempo (LTI), a resposta ao degrau é obtida aplicando a função de transferência do sistema ao sinal de degrau.

- **Lugar das Raízes**

O método do Lugar Geométrico das Raízes (LGR) é utilizado para avaliar o comportamento da resposta transitória de um sistema em malha fechada quando submetido a um controlador. Essa abordagem facilita a seleção dos parâmetros do controlador, como o ajuste do ganho e a inserção de polos e/ou zeros, com o objetivo de aproximar o sistema do estado desejado [3].

Traçar o gráfico LGR é essencial para visualizar como o comportamento transitório do sistema se altera à medida que os parâmetros são ajustados, sendo assim possível avaliar a estabilidade do sistema, seu comportamento em regime transitório, além de proporcionar uma representação gráfica do que ocorre no sistema. [1].

- **Diagrama de Bode**

O diagrama de Bode é uma representação gráfica da resposta em frequência de sistemas lineares e invariantes no tempo. Ele é composto por dois gráficos: um que mostra a magnitude do sistema em decibéis (dB) em função da frequência, e outro que exibe a fase do sistema

em graus também em função da frequência [2]. Ambos os gráficos utilizam a escala logarítmica para a frequência, facilitando a visualização do comportamento do sistema em uma ampla faixa de frequências.

A magnitude indica como o sistema amplifica ou minimiza sinais de diferentes frequências, enquanto a fase mostra o atraso ou avanço na resposta do sistema em relação à entrada [3]. Essa representação permite uma análise detalhada do comportamento dinâmico do sistema, incluindo a identificação de ressonâncias, frequências de corte, margens de estabilidade, e características de filtros.

E. Controladores

- 1) *Controlador PI:*
- 2) *Controlador PD:*
- 3) *Controlador PID:*

F. Discretização com ZOH

G. Método de Tustin

SE PRECISAR DE MAIS TEORIA ADD OUTRA SECTION

III. METODOLOGIA

A. Hardware

- 1) *ESP32-WROOM:*
- 2) *Potenciômetro:* CITAR NO FIM DA SUBSECTION OUTROS COMPONENTES USADOS

B. Software de Controle e Interface

- 1) *Software de Controle:* FALAR DOS CÓDIGOS RELACIONADO AOS CALCULOS DE CONTROLE, FUNÇÃO DE TRANSFERENCIA, DIAGRAMA DE BLOCOS, E TUDO Q FOI APLICADO DE CONTROLE
- 2) *Interface:* FALAR DA PARTE DE DESENVOLVIMENTO WEB ESSAS COISAS

IV. RESULTADOS

V. CONCLUSÃO

REFERENCES

- [1] K. Ogata, *Engenharia de Controle Moderno*. Pearson Education, 5 ed., 2010.
- [2] B. P. Lathi, *Sinais e Sistemas Lineares*. BOOKMAN, 2 ed., 2008.
- [3] Dorf, B. Richard, and Robert, *Sistemas de Controle Modernos*. LTC EDITORA, 8 ed., 2001.
- [4] R. W. S. Allan V Oppenheim and J. R. Buck., *Discrete-Time Signal Processing*. Prentice-Hall Inc., 2 ed., 1999.