

# Rotina em Matlab para Projeto de Controle Discreto para Diferentes Topologias de Conversores CC-CC

João Renato Camara Amado  
Mestrado em Engenharia Elétrica  
Universidade Federal de Santa Maria  
Santa Maria, Brasil  
engenharia4@zagonel.com.br

Cristiano Facco  
Mestrado em Engenharia Elétrica  
Universidade Federal de Santa Maria  
Santa Maria, Brasil  
engenharia6@zagonel.com.br

**Resumo** — Este artigo apresenta uma rotina em Matlab para o projeto de controladores discretos em diferentes topologias de conversores CC-CC amplamente utilizados em sistemas de iluminação. O objetivo é utilizar o software de computação numérica para criar uma ferramenta que facilite o projeto do controlador digital para esses sistemas, garantindo boa estabilidade e eficiência energética no produto final. A rotina abrange a modelagem dos conversores, cálculos dos componentes necessários, projeto e discretização do controlador, bem como uma análise do desempenho do sistema. Durante a implementação, foram considerados conceitos aprendidos na disciplina de Processamento Digital de Sinais, tais como aliasing, filtros IIR e sistemas causais. Os resultados demonstram a eficácia da rotina no projeto de controladores discretos, contribuindo para o desenvolvimento de sistemas de iluminação eficientes e controlados digitalmente.

**Palavras-chave**— Conversores CC-CC, Sistemas de Iluminação, Controle Discreto, Matlab

## I. INTRODUÇÃO

Os sistemas de iluminação desempenham um papel significativo no consumo global de energia. Portanto, é essencial que esses sistemas sejam equipados com conversores CC-CC eficientes e adequadamente controlados, a fim de garantir a regulação do fornecimento de energia aos dispositivos de iluminação. O controle discreto de conversores CC-CC possibilita o gerenciamento da potência fornecida à variável de saída dos sistemas de iluminação, ou seja, a luz. Por meio do Matlab, é possível utilizar ferramentas avançadas para o projeto e a avaliação de sistemas de controle discretos. Neste artigo, será abordada uma rotina em Matlab voltada para o projeto de controle discreto em diferentes topologias de conversores CC-CC para sistemas de iluminação.

## II. PROJETO DE CONTROLE DIGITAL DE CONVERSORES CC-CC PARA SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO

Os conversores CC-CC desempenham um papel fundamental nos sistemas de iluminação, pois têm a capacidade de converter a fonte de alimentação em energia com corrente e tensão adequadas para os dispositivos de saída. Atualmente, existem diversas topologias de conversores CC-CC utilizadas nos sistemas de iluminação, como Buck, Boost, Buck-Boost, Flyback e LLC. No entanto, para garantir a estabilidade e eficiência na conversão de energia realizada por esses conversores, é necessário incorporar um controlador ao sistema. Na prática, por meio da eletrônica digital, esse controlador deve ser discreto e atender aos requisitos específicos de cada projeto.

### A. Parâmetros e Modelagem dos Conversores

Antes de projetar o controle discreto para um conversor CC-CC, é necessário definir os parâmetros do conversor, como a tensão de entrada, a potência de saída desejada e os valores dos componentes utilizados. Esses parâmetros, juntamente com as ferramentas oferecidas pelo Matlab para modelagem dos conversores por meio de suas funções de transferência, são fundamentais para o projeto do controlador.

Na rotina implementada, a inserção dos parâmetros dos conversores ocorre por meio da seleção da topologia escolhida e, em seguida, da inserção dos principais parâmetros do controlador previamente projetado. As funções de transferência de cada topologia de controlador já estão fornecidas no código.

Além disso, na rotina do Matlab, é necessário inserir parâmetros para o filtro anti-aliasing, o sensoriamento, o conversor A/D e o PWM. Esses parâmetros geram como resultado os valores dos componentes a serem inseridos no circuito para implementação.

### B. Projeto do Controlador Discreto

O projeto do controlador discreto é um passo de suma importância para o controle efetivo dos conversores CC-CC. O controlador digital é essencialmente um filtro com resposta ao impulso de duração infinita, ou seja um filtro IIR (Infinite Impulse Response). Esse filtro é responsável por ajustar as variáveis de controle para atender aos requisitos de desempenho e regulação. O Matlab oferece várias técnicas e algoritmos de controle para o projeto de um controlador discreto.

Na rotina em que este artigo se baseia, primeiramente é definido o modelo contínuo da planta, que corresponde à função de transferência do conversor selecionado. Em seguida, o filtro anti-aliasing é adicionado à planta durante a modelagem contínua. Este filtro se trata de um passa-baixas, com frequência de corte definida pelo operador da rotina. Deve-se atentar ao critério de Nyquist para que não ocorra aliasing. O diagrama de bode de um filtro utilizado para validar a rotina pode ser visualizado na Figura 1. Para projetar um controlador digital, é necessário converter a planta com o filtro anti-aliasing em um modelo discreto, introduzindo um atraso unitário usando a função `c2d` do Matlab com o método Zero Order Hold.

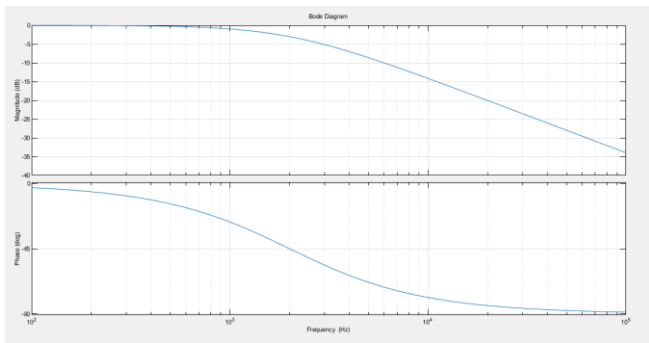


Figura 1 - Diagrama de bode de um filtro anti-aliasing

A partir da planta discretizada, é possível realizar o projeto do controlador digital. No entanto, para usar a ferramenta Sisotool, é necessário um sistema contínuo. Portanto, a planta é mapeada para o chamado "plano w", onde o sistema discreto, incluindo o filtro e o atraso unitário, se torna contínuo. Assim, o controlador pode ser projetado utilizando os diferentes métodos oferecidos pelo Sisotool. Após obter a função de transferência do controlador pelo Sisotool, é necessário realizar a discretização para aplicá-lo à planta discreta. É importante ressaltar que a função de transferência do controlador no plano Z deve ser própria ou estritamente própria, ou seja, possuir um denominador de ordem maior ou igual ao numerador, garantindo que o sistema seja causal.

### C. Simulação e Análise de Desempenho

Após o projeto do controlador, é importante realizar a análise de desempenho do sistema de controle. Utilizando o Matlab, é possível analisar parâmetros como resposta transitória e estabilidade.

Com a rotina desenvolvida em Matlab, é possível simular diferentes cenários e condições operacionais, ajustando os parâmetros do controlador e observando o comportamento do sistema em tempo discreto. A análise de desempenho auxilia na validação do projeto do controlador e permite realizar ajustes.

Inicialmente, são analisados os diagramas de Bode da planta, do controlador e da planta controlada no plano w. O que pode ser observado na Figura 2. Em seguida, é plotado o diagrama de Bode da planta discreta com o controlador em malha aberta, permitindo ao projetista analisar parâmetros como margem de fase e ganho. Também é realizado um teste degrau unitário na planta discreta, tanto em malha aberta

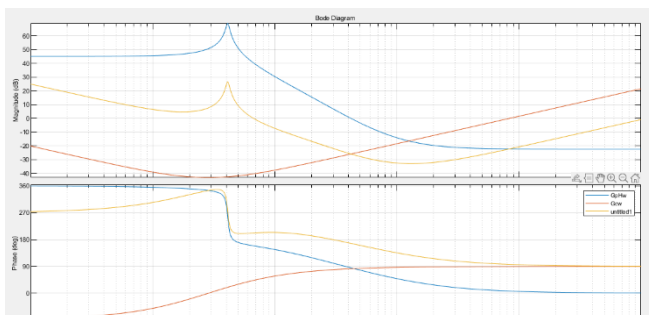


Figura 2 - Diagramas de bode no plano w

quanto em malha fechada, para que as respostas a essa excitação possam ser comparadas pelo operador.

Por fim, é feita uma comparação entre o sistema controlado analógico e digital. Inicialmente, essa comparação é realizada por meio do diagrama de Bode. Em seguida, é aplicado um teste degrau unitário em cada uma das plantas, e suas respostas são plotadas em um único gráfico para facilitar a visualização. Um gráfico deste tipo, obtido em um exemplo para validar a rotina, pode ser observado na Figura 3.

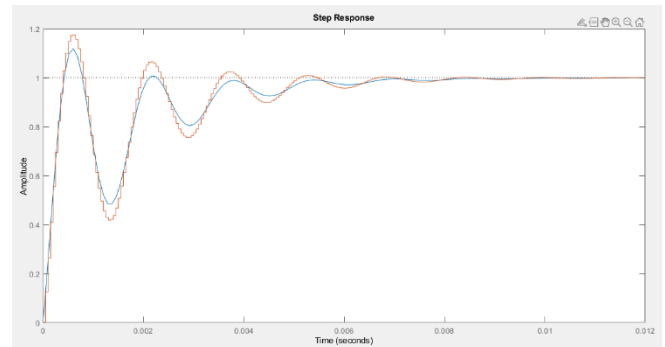


Figura 3 - Resposta ao degrau contínua e discreta

## III. CONCLUSÃO

Neste artigo, foi apresentada uma rotina em Matlab para o projeto de controle discreto de diferentes topologias de conversores CC-CC, visando sua aplicação em sistemas de iluminação. Apresentamos uma breve introdução às topologias de conversores, o projeto do controlador discreto e a simulação do desempenho do sistema.

A rotina em Matlab oferece uma abordagem flexível e eficiente para o projeto de sistemas de controle, permitindo ajustes precisos na regulação da planta. O uso adequado dessa rotina pode auxiliar engenheiros e projetistas no desenvolvimento de sistemas de iluminação eficientes e confiáveis.

É importante destacar que a implementação prática desses sistemas requer cuidados adicionais, como considerar limitações físicas, selecionar componentes adequados e realizar ensaios experimentais. No entanto, a rotina em Matlab serve como uma valiosa ferramenta no processo de projeto e otimização desses sistemas.

Por fim, o controle discreto de conversores CC-CC para sistemas de iluminação é uma área importante de pesquisa e desenvolvimento. A rotina desenvolvida neste trabalho pode ser um ponto de partida para uma exploração mais aprofundada dos conceitos aqui abordados e o desenvolvimento de soluções inovadoras para sistemas de iluminação eficientes e sustentáveis.

## REFERENCES

- [1] Ingle, Vinay K., *Digital signal processing using MATLAB : a problem solving companion / 4<sup>th</sup> ed.* Boston, MA: Cengage Learning, 2017 xvi, [23], 613 p.

- [2] Ogata, Katsuhiko, *Discrete-Time Control Systems*. 2. ed. [S. l.]: Pearson, 1995..
- [3] Erickson, Robert W.; Maksimovic, Dragan, *Fundamentals of Power Electronics*. 2. ed. [S. l.]: Springer,