

Applying PID Control to a Buck Converter

Carlos Henrique da Silva Fonseca

Depart. de Eng. Elétrica

Instituto Federal do Paraná - Paranavaí

Paranavaí, PR, Brasil

carloshenriquefonseca01@gmail.com

Felipe de Oliveira Rossi

Depart. de Eng. Elétrica

Instituto Federal do Paraná - Paranavaí

Paranavaí, PR, Brasil

felipeoli28@gmail.com

Lucas Fregolente de Brito

Depart. de Eng. Elétrica

Instituto Federal do Paraná - Paranavaí

Paranavaí, PR, Brasil

lucasfregolente02@gmail.com

Mateus Crepaldi da Silva

Depart. de Eng. Elétrica

Instituto Federal do Paraná - Paranavaí

Paranavaí, PR, Brasil

m1crepaldi0@gmail.com

Thiago Tonon

Professor Orientador

Instituto Federal do Paraná - Paranavaí

Paranavaí, PR, Brasil

thiago.tonon@ifpr.edu.br

Abstract—Currently, one of the main focuses of any company or industry is the constant improvement of the performance, cost and quality of internal systems. Thus, automation is part of this improvement process and has become something indispensable nowadays. Automation can solve many problems as well as offer innovative proposals. Control system is a technology dedicated achieve this type of automation, one of the most used controllers in the industry is the PID controller, as it is a simple control with easy application and cost efficient. Proportional, Integral and Derivative (PID) control comes from the sum of the transfer functions of each individual control. The PID control will be responsible for controlling the system's response, comparing the value of the desired voltage and the output voltage, applying a compensating system if necessary. The system chosen to apply a PID control is the DC-DC (direct Current to direct Current) buck converter, which is a voltage lowering circuit, where this reduction occurs due to the switching circuit. This converter is applied to various electronic circuits of our daily routine, such as power supplies for portable devices (cell phones, tablets, laptops and others). This project proposes to apply a PID controller in a Buck DC-DC converter, aiming to improve the output control and validate the knowledge acquired during the course.

Index Terms—PID controller, Buck converter, automation

I. INTRODUÇÃO

O termo "controle de processos" costuma ser utilizado para se referir a sistemas que tem como objetivo manter certas variáveis de uma planta industrial entre os seus limites operacionais desejáveis, sendo esses sistemas em malha aberta ou malha fechada [1].

Nesse tipo de configuração há algumas características marcantes como: a presença de distúrbios, uma imprecisão com relação ao valor da saída ao se comparar ao valor desejado e a necessidade de uma estimativa humana para analisar a saída deste sistema. O sistema em malha fechada terá sempre um *feedback* (retorno) do resultado encontrado, dando a precisão desejada ao sistema [2].

Para sistemas que buscam uma saída fixa o controlador mais utilizados é o controlador Proporcional Integral e Derivativo (PID), ele possui um algoritmo que se torna muito versátil devido a sua simplicidade de funcionamento e robustez. Como

o próprio nome já diz, esse tipo de controle apresenta três coeficientes: proporcional, integral e derivativo, onde, com suas respectivas atuações, tornará a resposta do sistema com determinadas características presentes apenas com esse tipo de controle [2].

Essa facilidade remete em diversas aplicações, existem vários trabalhos que abordam sobre controladores PID em conversores de potência, com base em características no domínio da frequência. Como exemplo de aplicação, temos os conversores de tensão, que são dispositivos capazes de alterar a amplitude da tensão de corrente contínua em sua saída, a partir da tensão de entrada. Dessa forma, é possível perceber que existem conversores abaixadores de tensão, conhecidos como buck, e conversores elevadores de tensão, conhecidos como boost. [3].

O conversor buck está presente na maioria das fontes de alimentação de dispositivos portáteis (celulares, tablets, laptops, etc.), que tipicamente se utilizam da característica abaixadora de tensão do conversor, onde se usa a tensão da rede como fonte na entrada e geram uma tensão contínua regulada na saída, menor que a tensão de entrada [4].

Ao aplicar o controle PID para regular a tensão de saída desse conversor, com um erro teoricamente nulo em regime permanente, é possível, em geral, encontrar boas respostas transitórias em termos de tempo enquanto o sinal de saída está se estabilizando e redução no *overshoot*, que é quando a saída ultrapassa o valor alvo [5].

Sendo assim, o projeto propõe aplicar um controlador PID em um conversor CC-CC buck, visando o aprimoramento do controle de saída, fazendo uso de conhecimentos de controle digital e softwares que permitem simular o sistema, de forma que obtenhamos o resultado desejado, e, por fim, a implementação prática.

II. DESENVOLVIMENTO

Como já sabemos, o conversor buck está presente em diversos aparelhos e ele é um circuito abaixador de tensão CC-CC, ou seja, o circuito recebe uma tensão de entrada de

20 Volts (V) e a reduz para 5 V por exemplo. Apesar da boa precisão do conversor buck, ele pode sofrer com algumas interferências levando à variações na tensão de saída, assim, o controle PID pode ser utilizado para solucionar esse problema do conversor buck e em outros diversos sistemas para trazer melhorias para o circuito, tornando a saída sempre estável e controlada [4].

Dito isso, é necessário entender os princípios de funcionamento completos desses dois assuntos para a aplicação do objetivo.

A. Princípio de funcionamento do conversor buck

O conversor buck tem seu princípio de funcionamento baseado na redução da tensão aplicada à corrente contínua (CC), que, apesar de não ser ideal, apresenta perdas mínimas. Neste conversor, na teoria, são usadas apenas chaves, indutores e capacitores não dissipativos, assim, a forma de onda da tensão de saída da chave, estando em comutação, gera harmônicos indesejáveis. Com isso, a utilização de um filtro passa-baixa em que irá passar somente as componentes CC, resolve esse problema de harmônicos no conversor como exemplificado na Figura 1 [6].

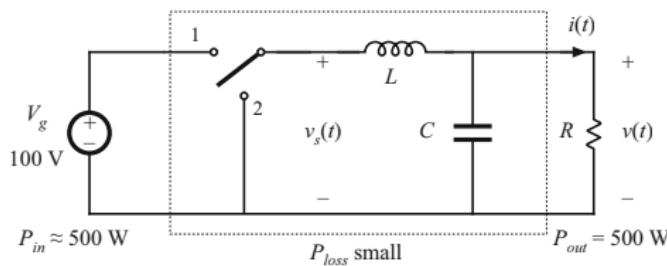


Fig. 1. Conversor Buck [6]

O filtro deve ser projetado de forma que a sua frequência de corte seja muito menor que a frequência de comutação da chave para ter um funcionamento adequado. O conversor idealmente tem a característica que a potência de entrada é igual a potência de saída, ou seja, não possui perdas de potência em seu funcionamento [6].

Muitas vezes, ao ser feito na prática, há mudanças nos dispositivos, sendo um exemplo de mudança a chave ou interruptor, em que pode ser complementado com um drive que irá controlá-los para tenha um funcionamento aproximadamente de uma chave quando necessário e entre outras funções podem ser adquiridas [6].

Pode-se perceber que a posição da chave determina a maneira com que o circuito funciona, a seguir percebe-se a posição das chaves exposto na Figura 2, sendo o item (a) com a chave na posição fechada, enquanto no item (b) está aberta [6].

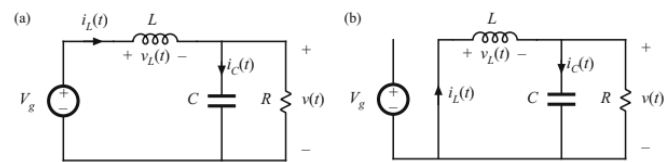


Fig. 2. Posições da chave [6]

Quando a chave está na posição 1 ela fica fechada (em modo de condução), conforme a Figura 2 (a), há a passagem de corrente no indutor, que está expandindo seu campo magnético até que se estabilize. Posteriormente, estabilizado, o indutor se comporta como um curto, assim o capacitor armazena energia em campo elétrico e a carga R também será alimentada [6].

Já quando a chave está na posição 2 ela está aberta (em modo de não condução), conforme a Figura 2 (b), não há a passagem de corrente elétrica entre a carga e a fonte, o indutor terá uma tensão induzida reversa e o capacitor começa a descarregar, assim ambos alimentam a carga R nesse estágio da chave. Além disso, é possível controlar o nível de tensão de saída alternando o tempo em que a chave permanece aberta ou fechada, pois haverá uma alteração no tempo de carga do indutor [6].

B. Princípio de funcionamento do controlador PID

O controle PID fornece uma variação contínua da saída dentro de um mecanismo de realimentação de loop (ciclo) de controle para controlar com precisão o processo, removendo a oscilação e aumentando a eficiência. Ele faz isso usando a ação proporcional, integral e derivativa, a função transferência responsável por executar esse controle está exemplificada abaixo nas equações (1) e (2) [7].

$$m(t) = K_p \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(\tau) d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt} \right) \quad (1)$$

$$M(s) = K_p \cdot \left(1 + \frac{1}{T_i \cdot s} + T_d \cdot s \right) \cdot E(s) \quad (2)$$

Onde:

- K_p = Ganho Proporcional;
- T_i = Tempo Integrativo (Reset Time);
- T_d = Tempo Derivativo (Rate time).

As principais características positivas do Controle Proporcional são a sua simplicidade, por não aumentar a ordem do sistema e sua rapidez, uma vez que o erro é medido na saída do conversor, o controle proporcional atua imediatamente. A ação integrativa aumenta a ordem do sistema, e, consequentemente, melhora o desempenho do sistema em relação aos erros de regime permanente. A lei de controle derivativa “olha” para a derivada do erro e prevê seu crescimento, atuando, antes que o erro se torne muito grande [7].

C. Aplicação do controle

Para a implementação do controle precisa-se identificar alguns fatores:

- ◆ Sobre qual parte do sistema o controle será aplicado;
- ◆ Quais os componentes necessários para o desenvolvimento do circuito;
- ◆ Sintonizar o controlador PID.

O conversor buck, como visto anteriormente, tem seu princípio de funcionamento ao redor da frequência de chaveamento, assim é fácil perceber qual o alvo do controle, pois, controlando essa variável, consegue-se obter a saída desejada.

Para aplicar o controle no chaveamento é preciso obter a função transferência, porém como vamos trabalhar com a razão cíclica (d) é necessário uma função transferência que faça uso dessa razão, em função da mesma, para o conversor buck, assim analisando a malha temos a equação (3) que atende todos esses requisitos.

$$G_{Buck}(v_o, d) = \frac{v_o(s)}{d(s)} = \frac{v_i}{s^2 \cdot L_o \cdot C_o + \frac{s \cdot L_o}{R_o} + 1} \quad (3)$$

Os parâmetros utilizados na equação (3) foram:

- Tensão de entrada $v_i = 23$ V;
- Capacitância $C_o = 250\mu$ F;
- Indutância $L_o = 33\mu$ H;
- Resistência $R_o = 10 \Omega$;

Após a obter a função transferência, o próximo passo é verificar o lugar das raízes dela e assim sintonizar o controle PID. Para isso, foi utilizada a função do MATLAB de análise das raízes como demonstrado na Figura 3.

Com o lugar das raízes definido a partir da função de análise demonstrada na Figura 3, temos os valores das constantes K_p , K_i e K_d da função de transferência do conversor PID. Assim, o último passo é a elaboração do circuito em malha fechada.

O sistema em malha fechada contém o circuito já conhecido do conversor buck com um bloco de referência que possui o valor de saída que desejamos, um bloco comparador responsável por comparar a saída com a referência, o bloco do controlador PID que recebe o sinal do comparador e executa o controle, o bloco *Pulse Width Modulation* (PWM) esse que irá receber o sinal do controlador e modular para o transistor do conversor buck, sendo o transistor responsável pelo chaveamento, assim esse sistema em malha fechada está exemplificado na Figura 4.

```
>> G = tf([23],[8.25e-9,0.0000033,1])

G =

      23
-----
8.25e-09 s^2 + 3.3e-06 s + 1

Continuous-time transfer function.

>> rltool(G)
>> C

C =

7.3631e-07 (s+4678)^2
-----
s

Name: C
Continuous-time zero/pole/gain model.

>> pid(C)

ans =

      1
Kp + Ki * ---- + Kd * s
      s

with Kp = 0.00689, Ki = 16.1, Kd = 7.36e-07

Name: C
Continuous-time PID controller in parallel form.
```

Fig. 3. Comandos no MATLAB

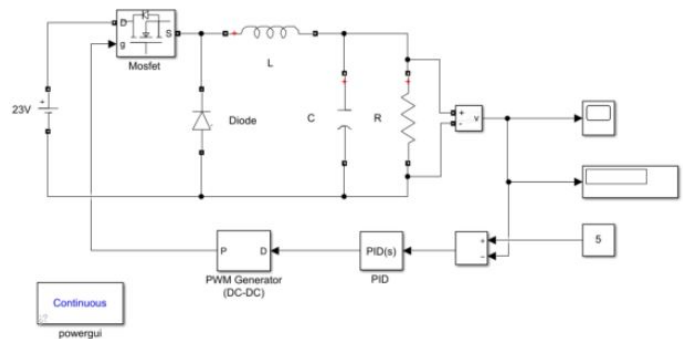


Fig. 4. Controle Aplicado no Conversor Buck

Os parâmetros utilizados na simulação da Figura 4 além dos apresentados na equação (3) foram:

- Tensão de saída - 5 V;
- Frequência de chaveamento - 380 kHz;

III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Abaixo na Figura 5 temos o gráfico da saída do conversor buck utilizado em malha aberta, nele podemos notar que há um overshoot muito alto antes de chegar no regime estacionário.

Já no próximo gráfico, Figura 6, temos a saída do conversor buck com controlador PID em malha fechada. Pode se notar que o overshoot é baixo, juntamente com o tempo de assentamento (tempo de estabilização).



Fig. 5. Saída do Conversor Buck



Fig. 6. Saída do Conversor Buck com o Controlador PID

CONCLUSÃO

Com o estudo visando a melhoria do conversor, conseguimos implementar o controle PID no conversor buck de forma satisfatória, aplicando os conhecimentos adquiridos durante o curso. Com o uso de software de simulação foi possível analisar graficamente qual a diferença ao se utilizar um controle.

O conhecimento de áreas correlatas a aplicação foram de extrema importância para o desenvolvimento do projeto e a presença de um controle PID foi de extrema importância para alcançar o conforto desejado na construção do protótipo, pois tornou o sistema mais estável.

PERSPECTIVAS FUTURAS

O trabalho ainda está na fase inicial, estamos verificando parâmetros, métodos de sintonização do conversor PID. O foco do trabalho se estende além da área das simulações, espera-se construir um protótipo real do sistema controlado.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer o Instituto Federal do Paraná - Campus Paranavai que auxiliou com sua ótima infraestrutura para o desenvolvimento desse projeto e proporcionando a ampliação do conhecimento dos alunos. Além disso, estendemos nossos agradecimentos ao corpo docente e, em especial, ao orientador do presente projeto.

REFERENCES

- [1] TEIXEIRA, Eng Herbert Campos Gonçalves et al. Controles típicos de equipamentos e processos industriais. Editora Blucher, 2010.

- [2] LIMA, Beatriz Rêgo et al. Elevador equipado com sistema de controle PID. Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-ALAGOAS, v. 4, n. 1, p. 99-99, 2017.
- [3] NASCIMENTO, Monique R. et al. Controladores PIDs otimizados com uma aplicação ao controle de tensão de conversores buck. Seminário de eletrônica de Potência e Controle-SEPOC , p. 1-6, 2019.
- [4] OLIVEIRA, Robson Moreira de. Aplicação de controle PID não linear com ganhos baseados em perfil gaussiano aplicado a um conversor Buck. 2014. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- [5] MATTOS, Everson et al. Um Procedimento de projeto de controladores PID para conversores CC-CC com validação em hardware-in-the-loop. SEPOC 2021, 2021.
- [6] ERICKSON, R. W.; MAKSIMOVIC, D. Fundamentals of power electronics second edition [m]. New York: Kluwer Academic Publishers, v. 154, p. 158, 2004.
- [7] LOURENÇO, João. Sintonia de controladores PID. Escola superior de tecnologia, 1997.