

Desenvolvimento de plataforma de geração com máquina e circuito conversor CC/CC

Development of generation platform with machine and DC/DC converter circuit

RESUMO

Lucas Mezzomo Franco
Lucasfranco.1998@alunos.utfpr.edu.br
Universidade tecnológica federal do
Paraná, Apucarana, Paraná, Brasil

Thales Eugenio Portes de
Almeida
thalesalmeida@utfpr.edu.br
Universidade tecnológica federal do
Paraná, Apucarana, Paraná, Brasil

Para abastecer um sistema ilhado através de recursos renováveis, torna-se necessário o uso de um gerador, de um conversor e de um banco de baterias. Este projeto visa o dimensionamento, construção e controle de um conversor do tipo Buck-Boost com a finalidade de fornecer energia a um banco de baterias através de uma pequena turbina eólica, com um sistema de fácil aquisição com a finalidade de manter um pequeno sistema isolado em operação.

PALAVRAS-CHAVE: Conversores de corrente elétrica. Controle automático. Fontes de energia sustentáveis.

ABSTRACT

To supply an off-grid system through renewable resources, it is necessary to use a generator, an energy converter and a battery bank. This project aims to design a Buck-Boost converter and control with purpose of providing power to a battery bank through a small wind turbine, with an easy-to-acquire system for the purpose of keeping a small isolated system in operation.

KEYWORDS: Electric current converters. Automatic control. Sustainable energy sources

Recebido: 19 ago. 2020.

Aprovado: 01 out. 2020.

Direito autoral: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



INTRODUÇÃO

Um sistema ilhado consiste no não acesso a rede convencional de energia, mantendo-se de maneira sustentável ao produzir e armazenar a própria energia, não possuindo custos adicionais e possibilitando a operação de equipamentos elétricos. A fim de possibilitar a operação e fornecimento de energia a sistemas isolados, sem grandes dependências de reabastecimentos e manutenções constantes, é exigida a capacidade de aproveitar os recursos energéticos disponíveis proporcionais as demandas necessárias para os sistemas aos quais se deseja alimentar.

Com o intuito de abastecer um pequeno banco de baterias responsáveis por controlar o acionamento elétrico de uma fechadura, a contagem de pessoas que entraram ou saíram, entre outras funções básicas, torna-se necessário criar um sistema que consiga gerar esta energia para que tais sistemas possam operar.

O princípio básico da energia eólica consiste na conversão da energia cinética das partículas atmosféricas para a energia cinética rotacional de um eixo de um gerador, o qual é responsável pela transformação desta energia mecânica em energia elétrica. Para tal é necessário optar por um tipo de gerador, responsável por realizar a conversão eletromecânica, tendo como opções máquinas síncronas, de indução ou de corrente contínua (OLIVERA FILHO, 2010).

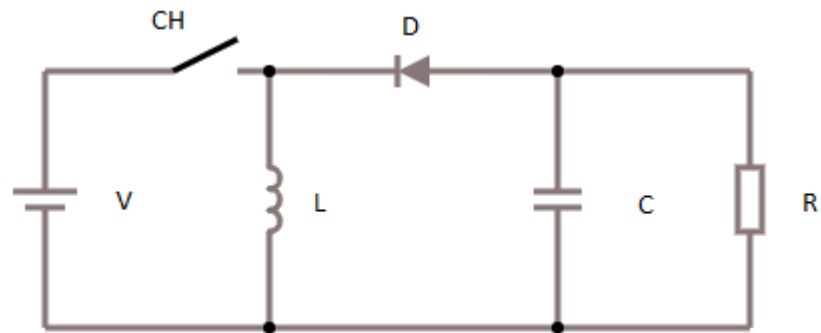
Visto que o objetivo do trabalho consiste em ter o melhor aproveitamento da potência gerada com um sistema com componentes de fácil aquisição, e que a potência demandada é baixa, o gerador de corrente contínua acaba por oferecer os maiores benefícios, como: a dispensa do uso de retificadores, possibilitando menores perdas de potência, o aproveitamento de potência em uma maior gama de velocidades em relação aos demais geradores e não exigir a alimentação das bobinas de campo por uma fonte externa no caso de um gerador CC de ímãs permanentes.

Este projeto visa a construção de um conversor do tipo Buck-Boost para fornecer energia a um banco de baterias através de uma pequena turbina eólica, possibilitando uma maneira sustentável, de fácil aquisição para manter um pequeno sistema isolado em operação.

MATERIAIS E MÉTODOS

O sistema desenvolvido será composto por uma máquina CC como gerador acoplada a um conversor CC/CC do tipo Buck-Boost para alimentar o banco de baterias do sistema ilhado. Um conversor Buck-Boost é uma associação dos conversores Buck e Boost, podendo tanto ampliar quanto reduzir a tensão da entrada em relação a saída (LEÃO, 2016). A topologia básica do circuito é mostrada na figura 1.

Figura 1 - Ilustração do circuito de um conversor Buck-Boost.



Fonte própria. Baseado em (RASHID, 1999).

A fim de dimensionar este conversor, de acordo com (FUSER, 2014), são necessários os dados de projeto: tensão de entrada, variação de tensão de saída, frequência de chaveamento, potência de saída e tensão de saída, aplicando as seguintes equações derivadas do circuito:

$$D = \frac{V_0}{V_0 + V_{in}} \quad (1)$$

$$I_0 = \frac{P_0}{V_0} \quad (2)$$

$$I_0 = \frac{P_0}{V_{in}} \quad (3)$$

$$R_0 = \frac{V_0}{I_0} \quad (4)$$

$$L = \frac{V_{in} D}{f_s \Delta i} \quad (5)$$

$$L_c = \frac{(1-D)^2 D}{f^2} R \quad (6)$$

$$C = \frac{I_0 D}{f \Delta V_c} \quad (7)$$

$$\Delta V_c = \Delta V \cdot V_0 \quad (8)$$

Nas quais V_0 é a tensão de saída, V_{in} é a tensão de entrada, D é a razão cíclica, I_0 é a corrente de saída, P_0 é a potência de saída, R_0 é o resistor de saída, f a frequência de chaveamento, Δi é a variação da corrente normalmente adotada como 20%, L_c é a indução crítica e C o valor da capacitância.

A fim de possibilitar o uso do conversor Buck-Boost para obter tensão de saída constante, (MOHAN, UNDELAND e ROBBINS, 2003) expõem que é necessário o uso de técnicas de controle, permitindo dessa forma uma resposta rápida e a anulação do erro de regime permanente. O controle depende da planta do sistema para poder ser aplicado. Assim, é necessário obter a função de transferência desta. Para tal é possível utilizar a teoria dos espaços de estados a qual através da técnica de modelo de variáveis médias, permite obter um modelo linear para o estágio de potência incluindo os filtros de saída de um conversor.

Ao operar em modo contínuo, existem apenas duas configurações topológicas para o circuito, a primeira quando a chave está conduzindo e o diodo não e a segunda quando a chave não está conduzindo e o diodo está (FERNANDES, 2014). Durante cada uma destas configurações topológicas, o circuito linear tem seu comportamento descrito por meio de seu vetor de estado X , este é descrito pelas correntes dos indutores e tensões dos capacitores, tornando possível

considerar a resistência destes componentes no modelo e algumas não idealidades dos semicondutores.

$$\dot{x} = A_1 \cdot x + B_1 \cdot V_{in} \quad (9)$$

$$\dot{x} = A_2 \cdot x + B_2 \cdot V_{in} \quad (10)$$

$$V_{in} = C_1 \cdot x \quad (11)$$

$$V_{in} = C_2 \cdot x \quad (12)$$

$$\dot{x} = [A_1 \cdot \delta + A_2 \cdot (1 - \delta)] \cdot x + [B_1 \cdot \delta + B_2 \cdot (1 - \delta)] \cdot V_{in} \quad (13)$$

$$V_{in} = [C_1 \cdot \delta + C_2 \cdot (1 - \delta)] \cdot x \quad (14)$$

Considerando V_0 como a tensão de entrada do conversor, A_1 e A_2 como matrizes de estado quadradas com dimensão e número de variáveis de estado iguais, B_1 e B_2 como vetores, C_1 e C_2 são vetores transpostos com relação a B_1 e B_2 , a equação 13 para descrever a média das variáveis em um período de chaveamento e por meio da equação 14 se torna possível obter as variáveis de interesse, permitindo descrição da planta.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para o cálculo dos componentes necessários para o projeto, torna-se necessário especificar os parâmetros do projeto, que são mostrados na tabela 1. Apesar da carga na aplicação real ser um sistema eletrônico, para efeito de projeto será considerada como uma carga resistiva com potência constante.

Tabela 1 – Especificações do projeto.

Grandezas	Valores
V_{in}	5~35V
V_0	-14V
P_0	5,6w
f	60khz

Fonte: Autoria própria (2020)

Com a tensão de saída e a de entrada é possível calcular a razão cíclica através da equação (16), obtendo:

$$D = 73,6 \sim 28,6\%$$

para a corrente de saída através da equação (2):

$$I_0 = \frac{5,6}{-14} = -0,4A$$

para a corrente de entrada através da equação (1):

$$I_0 = \frac{5,6}{5 \sim 35} = 1,12 \sim 0,16A$$

Dimensionamento do resistor de saída através da equação (3):

$$R_0 = 35\Omega$$

Através das equações torna-se possível obter o valor referente ao indutor através da equação (4):

$$L = \frac{50,736}{60000 \cdot 0,2} = 306,6 \mu H$$

É possível verificar que o conversor está conduzindo em modo de condução contínua devido ao fluxo de corrente que é sempre maior do que zero no período em que a chave está aberta, como descreve a equação da indução crítica L_c através da equação (5):

$$L_c = \frac{(1 - 0,736)^2 \cdot 0,736}{120000} \cdot 35 = 149,6 \mu H$$

Dimensionamento do capacitor através da equação (6):

$$C = \frac{0,4 \cdot 0,736}{60000 \cdot 0,123} = 40 \mu C$$

Por meio dos valores obtidos através do dimensionamento do conversor é possível desenvolver a planta em espaço de estado referente ao comportamento deste.

A fim de considerar algumas não idealidades, são adotados os valores $r_l = r_s = r_d = 0,05 \Omega$ e $r_c = 0,01 \Omega$, respectivamente resistência do indutor, resistência da chave, resistência do diodo e resistência do capacitor.

A matriz de estado (com a chave conduzindo e o diodo não) é descrita por:

$$A1 = \begin{bmatrix} \frac{-(r_l + r_s)}{L} & 0 \\ 0 & \frac{-1}{C(R + r_c)} \end{bmatrix}$$

E o vetor de estado como:

$$B1 = \begin{bmatrix} \frac{V_{in}}{L} \\ 0 \end{bmatrix}$$

O vetor transposto da variável de saída:

$$C1 = \begin{bmatrix} 0 & \frac{R}{R + r_c} \end{bmatrix}$$

Para o caso contrário (chave não está conduzindo e o diodo está) obtemos a matriz de estado:

$$A2 = \begin{bmatrix} \frac{-R(rc + r_l + r_d) + rc(rd + r_l)}{L(R + rc)} & \frac{-R}{L(R + rc)} \\ \frac{R}{C(R + rc)} & \frac{-1}{C(R + rc)} \end{bmatrix}$$

E o vetor de estado como:

$$B2 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

O vetor transposto da variável de saída:

$$C2 = \begin{bmatrix} \frac{R \cdot rc}{R + rc} & \frac{R}{R + rc} \end{bmatrix}$$

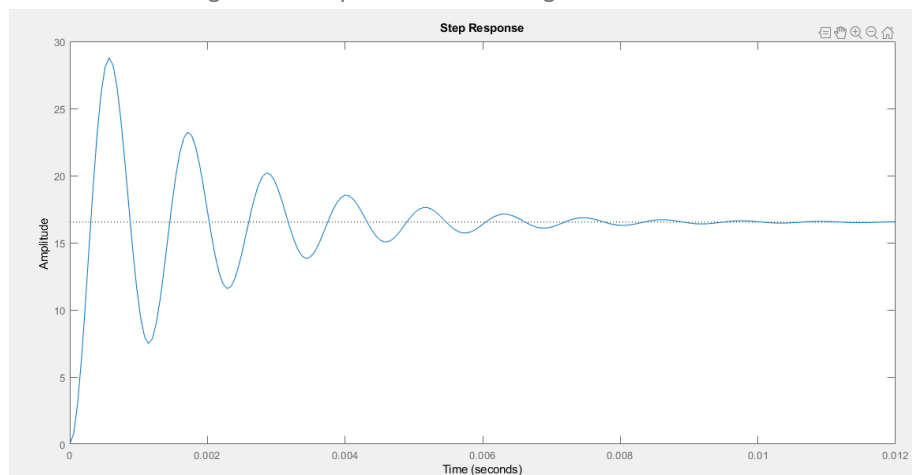
Através das equações (13) e (14), obtemos a média das variáveis de estado no período de chaveamento, que ao substituir os valores obtemos:

$$\dot{x} = \begin{bmatrix} -335 & -2000 \\ 15000 & -714 \end{bmatrix} \cdot x + \begin{bmatrix} 3333 \\ 0 \end{bmatrix} \cdot V_{in}$$

$$V_{in} = [0.0006 \quad 1] \cdot x$$

Por meio do software MATLAB é possível utilizar a planta projetada para obter a resposta do sistema a um degrau unitário, a fim de analisar o comportamento da mesma, o resultado é mostrado na figura 2

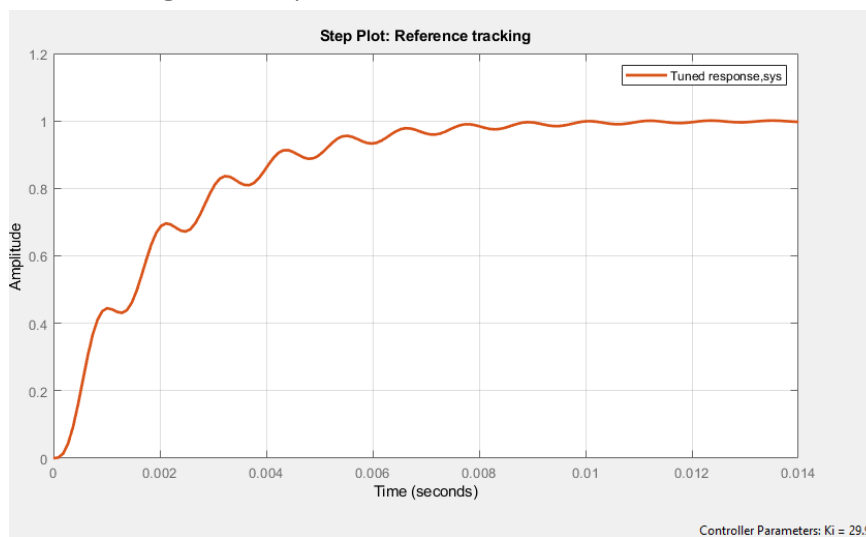
Figura 2 – Resposta a entrada degrau unitário.



Fonte: Autoria própria (2020)

A fim de desenvolver um controle que evite o erro de regime permanente e permita a mesma saída de tensão para diferentes entradas, é possível utilizar a toolbox PID Tuner, cujo resultado é mostrado na figura 3.

Figura 3 – Resposta da malha com controle Ki.

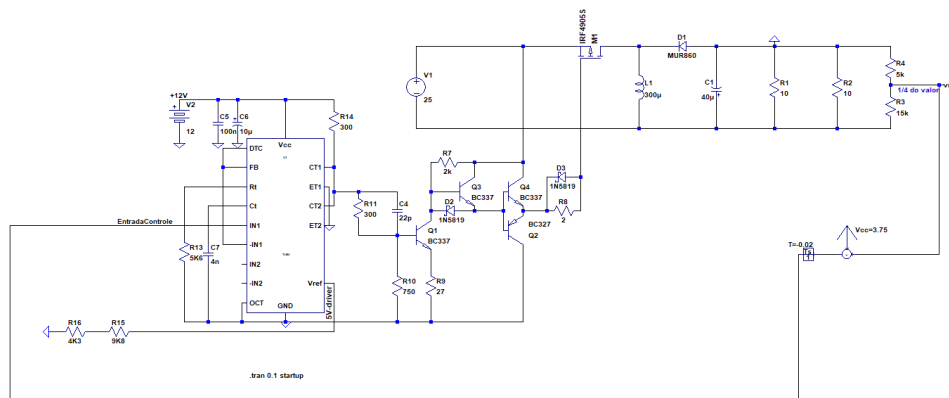


Fonte: Autoria própria (2020)

Ao acrescentar a malha um controle do tipo integral, torna-se possível obter uma resposta, que embora apresente um tempo maior de estabelecimento, não apresenta erro de regime permanente e pode se adequar a diferentes entradas de tensão.

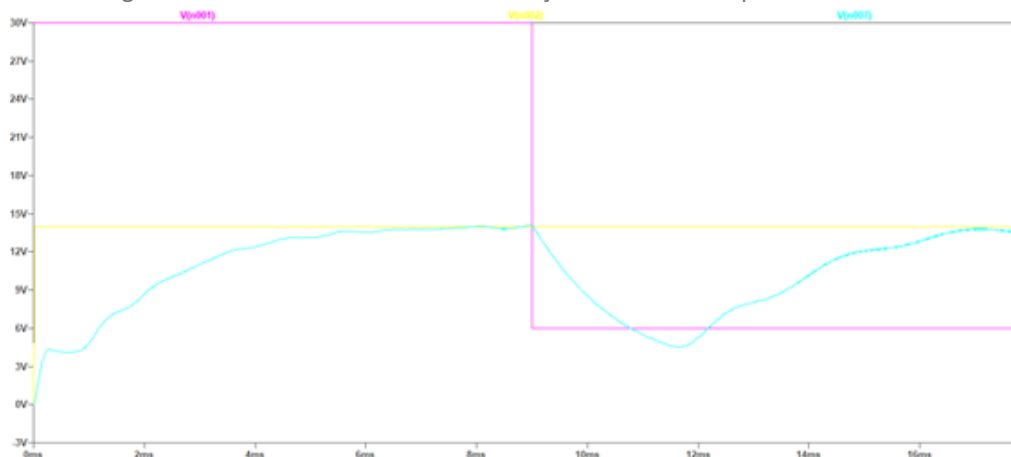
Para a simulação através do software, os valores calculados foram utilizados assim como componentes reais condizentes com os disponíveis para o desenvolvimento do protótipo (mosfet IRF 4905 e diodo MUR860). O circuito elaborado é mostrado na figura 4 e O resultado da simulação na figura 5.

Figura 4 – Malha simulada através do LTSpice.



Fonte: Autoria própria (2020)

Figura 5 – Tensões resultantes da simulação através do LTSpice



Fonte: Autoria própria (2020)

Na figura 5 observa-se respectivamente em verde, rosa e amarelo, a tensão de saída, a tensão de entrada e a tensão desejada de saída, atingindo os parâmetros inicialmente propostos.

CONCLUSÃO

Foi possível verificar através da simulação do circuito, o funcionamento de um sistema de fácil aquisição em termos de componentes, que pode ser aplicado para a geração de energia eólica, funcionando de maneira adequada com relação aos valores de dimensionamento proposto para o projeto.

REFERÊNCIAS

OLIVEIRA FILHO, H. M. **Conversor Estático de Três Estágios para Carregamento de Baterias a partir de Sistemas Eólicos**. 2010. Dissertação (Mestrado em engenharia elétrica) Universidade federal do Ceará–UFC. Disponível em: <http://www.gpec.ufc.br/trabalhos/Oliveira%20Filho%20-%202010.pdf>. Acesso em: 13 agosto. 2020.

LEÃO, A. R. **Desenvolvimento de kit's didáticos para aulas práticas de eletrônica de potência: conversores buck, boost e buck/boost**. 2016. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/5065>. Acesso em: 13 agosto. 2020.

RASHID, M. H. Eletrônica de potência. **Circuitos, Dispositivos e aplicações**. Makron Books, 1999.

FUSER, R. **Projeto de controladores robustos sujeito a falhas no atuador: uma aplicação ao conversor buck-boost**. 2014. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/3706>. Acesso em: 13 agosto. 2020.

MOHA, M., UNDELAND, T. M., ROBBINS, W. P. (2003). **Power Electronics: converters, applications, and design**. 3 ed. New York: John Wiley. Disponível em : <http://repository.fue.edu.eg/xmlui/bitstream/handle/123456789/4029/9740.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 13 agosto. 2020.

FERNANDES, M. O. J. **Análise comparativa entre os boost e buck-boost**. 2014. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina. Disponível em: <http://joinville.ifsc.edu.br/~biblioteca/joi/arquivos/tcc/mecind/158308.pdf>. Acesso em: 13 agosto. 2020.