



Projeto de um sistema de armazenamento com baterias para um sistema eólico de pequeno porte

Design of a battery energy storage system for a small-scale wind system

Guilherme Ferreira de Lima*, Carlos Henrique Illa Font†

RESUMO

O presente projeto propõe o estudo de um sistema de geração eólica de pequeno porte com armazenamento de energia através de baterias. Para tanto é apresentado a metodologia de projeto do banco de baterias, considerando a utilização de baterias de chumbo-ácido, e do conversor CC-CC bidirecional em corrente utilizado para a conexão do banco de baterias com o sistema de geração e para a carga/descarga do banco de baterias. O projeto é realizado considerando a potência média consumida por uma residência no Estado do Paraná. Por consequência, a alimentação do conversor é dada pelo barramento CC-CC do aerogerador de pequeno porte, sendo 1200 W a potência processada do circuito. São apresentados os resultados de simulação numérica de forma a validar os estudos teóricos. As especificações de projeto do conversor são as seguintes: tensão no barramento 250 V, tensão no banco de baterias 120 V (para a associação em série de 10 baterias de 12 V) e uma frequência de comutação de 50 kHz.

Palavras-chave: Aerogeradores de pequeno porte, Banco de bateria, Conversor CC-CC, Conversor bidirecional.

ABSTRACT

This project proposes the study of a small-scale wind power generation system with battery energy storage. For this purpose, the battery bank design methodology is presented, considering the use of lead-acid batteries, and the bidirectional dc-dc converter used to connect the battery bank with the generation system and for the charge/discharge the battery pack. The project is carried out considering the average power consumed by a residence in the State of Paraná. The dc-dc bidirectional converter is fed by the dc-dc bus of the small wind turbine, with 1200 W being the rated power processed by the circuit. Numerical simulation results are presented in order to validate the theoretical studies. The design specifications of the converter are as follows: input voltage of 250 V, battery bank voltage of 120 V (for the series association of 10 12 V-batteries) and a switching frequency of 50kHz.

Keywords: Battery pack, Bidirectional converter, DC-DC converter, Small-scale win turbine.

* Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil; lima.1999@alunos.utfpr.edu.br

† Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Ponta Grossa; illafont@utfpr.edu.br



1 INTRODUÇÃO

A recente e crescente demanda por energia elétrica traz ao cenário atual diferentes métodos para obtê-la. Esta demanda está associada a todas as mudanças climáticas que estão ocorrendo em diferentes ecossistemas, as quais o ser humano participa ativamente. De forma a contornar os problemas energéticos, do Brasil e do mundo, emergiram as energias renováveis, as quais no princípio levavam também o subtítulo de alternativas, mas que hoje já são vistas como primordiais ao desenvolvimento humano. Entre elas as de maior destaque são a solar e a eólica.

É com esta premissa que o presente projeto propõe o estudo de um sistema autônomo de geração e armazenamento de energia elétrica proveniente de um aerogerador de pequeno porte. A pesquisa tem o intuito de projetar este sistema para que assim possa suprir o consumo médio de uma residência em um período específico de dias.

A autonomia deste sistema é determinada pelo conjunto armazenador de energia elétrica, ou seja, as baterias. Sendo parte integrante do projeto, o dimensionamento das baterias leva em consideração a temperatura do ambiente ao qual está exposto o banco de baterias, a capacidade de corrente do conjunto, o estado de descarga (DOD) e por fim o tempo de autonomia, expresso em dias. Contudo, como garantir que o fluxo de energia que entra e sai do banco seja controlável? E a essa etapa, de conversão e adaptação de energia, que é o foco da eletrônica de potência.

Com o correto dimensionamento das baterias, como já mencionado, há a necessidade de garantir a estabilidade do fluxo de energia que chega e sai do banco, para isso é proposto e estudado um conversor CC/CC bidirecional em corrente (MARTINS, BARBI, 2011). A topologia do conversor, apesar de ser simples e objetiva, estabelece a quantidade desejada de corrente, garantindo assim a segurança do banco de baterias, assim como a estabilidade da energia para a carga. A Fig.1 ilustra o sistema como um todo, enquanto a Fig.2 expõe a topologia do conversor CC-CC bidirecional a ser estudado.

2 METODOLOGIA

2.1 Consumo médio de uma residência

Estabelecer um valor de consumo médio de energia para uma residência é um projeto que deve levar em conta diversos fatores e várias pesquisas externas, o que não adentra o tema e foco da presente pesquisa, e por isso para este projeto é estabelecido como referência uma pesquisa realizada por alunos e professores da Universidade Federal de Santa Catarina, com dados da COPEL (Companhia Paranaense de Energia (MARQUES & ROGGIA, 2010).

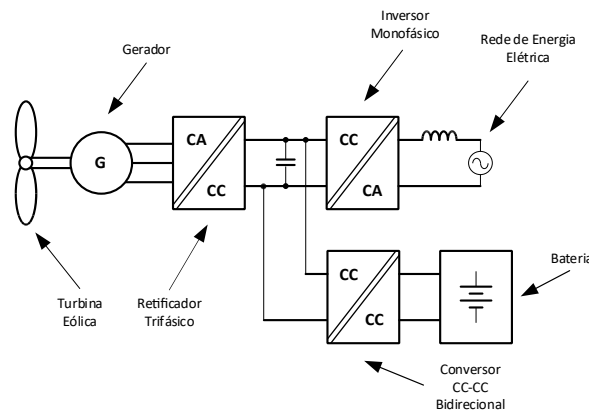
2.2 Dimensionamento do banco de baterias

Os cálculos relacionados ao projeto do banco de baterias que suportem a carga estabelecida, são feitos em uma planilha de cálculo e tem como base as normas IEEE Std. 485/2020 e NBR 14298 (ABNT, 2012; IEEE, 2020). As baterias escolhidas para o projeto são as de Chumbo-Ácido Estacionária, devido a fatores químicos este tipo de bateria pode estar exposta a uma taxa de descarga (DOD) maior e também há disponibilidade para testes práticos.

Entre outros fatores que são considerados para o dimensionamento das baterias, vale mencionar, a temperatura, o tempo de autonomia, a capacidade isolada de corrente de uma bateria e a capacidade do

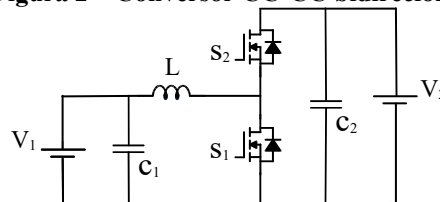
conjunto. Todos estes fatores têm influência no número total de baterias que devem suprir a carga, o objetivo deste tópico.

Figura 1 – Diagrama de blocos do sistema de energia eólica com armazenamento de energia por baterias



Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 2 – Conversor CC-CC bidirecional



Fonte: Autoria própria (2021)

2.3 Projeto do conversor CC-CC bidirecional

A bidirecionalidade do conversor garante o correto funcionamento e uso das baterias. Para tanto o projeto do conversor também é realizado em uma planilha de cálculo. O conversor atua no modo de condução contínua (MCC), em que a corrente no indutor não se anula em um período de comutação. Sendo assim, o posicionamento das baterias é definido próximo ao indutor, de forma a garantir a continuidade da corrente e a vida útil do banco armazenador de energia. A análise do circuito, assim como para todos os conversores CC-CC operando em MCC, leva em consideração duas etapas de operação, a primeira em que o indutor se magnetiza e a segunda, por consequência, a desmagnetização do mesmo. O conversor é definido pelas especificações de projeto apresentadas na Tab. 1.

3 RESULTADOS

3.1 Banco de baterias

“Com consumo mensal de 165 kWh (média em 2009) e 16 horas de utilização, chega-se a uma demanda de aproximadamente 347 watts/hora no período entre 8 h até 24 h” (MARQUES & ROGGIA, 2010), portanto com este valor de consumo mensal se estipulou o consumo diário, como exposto na Eq. (1).

$$E_{diaria} = 5,5 \frac{kWh}{dia} \quad (1)$$



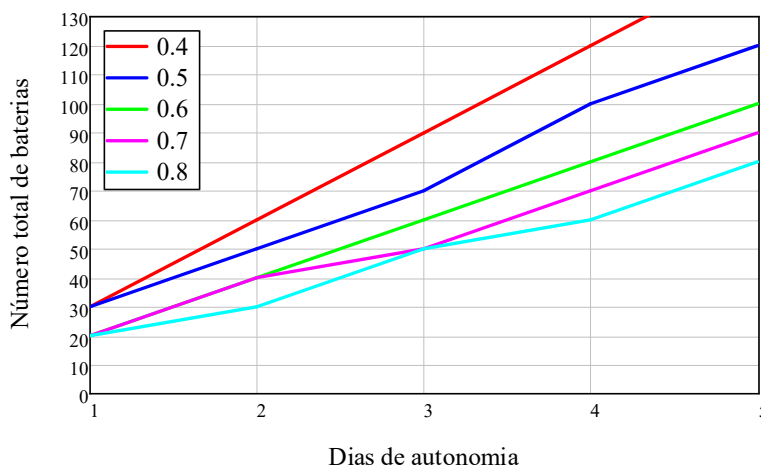
Tabela 1 – Especificações de projeto do conversor CC-C bidirecional

Especificações de projeto	Valor
Potência (P_c)	1200 W
Tensão no barramento CC ($V_{cc} = V_2$)	250 V
Tensão do banco de baterias ($V_{pack} = V_1$)	120 V
Razão cíclica nominal (D)	0,52
Frequência de comutação (f_s)	50 kHz
Ondulação de corrente no indutor (ΔI)	20 %
Ondulação de tensão nos capacitores (ΔV)	1 %

Fonte: Autoria Própria (2021)

Para suprir o consumo diário é estabelecido como o número de baterias pode variar de acordo com os fatores já citados. A visualização gráfica da variação devido ao número de dias de autonomia é exposta na Fig. 3, a qual estabelece as diferenças no número de baterias para diferentes taxas de descarga.

Figura 3 – Número de baterias para diferentes DOD e dias de autonomia



Fonte: Autoria própria (2021)

Os resultados, número total de baterias do sistema, demonstraram muitas variações, a qual gerou uma planilha de dimensionamento completa. No entanto, para estabelecer um padrão, visto que, é necessário e intuitivo estabelecê-lo, é escolhido as baterias 12MN45 de Chumbo-Ácido, com uma tensão de 12 V e capacidade de corrente de 45 Ah. A Tab. 2 exhibe os valores estabelecidos para o dimensionamento do banco.

Tabela 2 – Parâmetros e resultados de projeto das baterias

Parâmetros de projeto	Valores obtidos
Número de dias de autonomia (N_d)	1 dia
Profundidade de descarga (DOD)	0,5
Temperatura ambiente (T_a)	35° C
Capacidade de corrente do banco (C_{real})	106,883 Ah
Número total de baterias (N_{bat})	30 baterias

Fonte: Autoria própria (2021)



3.2 Conversor CC-CC bidirecional

3.2.1 Dimensionamento do indutor

“O sucesso na construção e no perfeito funcionamento de um conversor CC-CC está intimamente ligado com um projeto adequado dos elementos magnéticos” (BARBI & ILLA FONT & ALVES, 2002). Portanto os resultados obtidos numericamente só são validados com o correto dimensionamento do indutor. O núcleo do indutor obtido tem como base o formato toroidal (LANGE, 2012) (PEREIRA, 2016), com dados apresentados na Tab. 3.

Tabela 3 – Especificações do indutor

Grandezas	Valores
Permeabilidade relativa do núcleo (μ_r)	60
Densidade de fluxo de saturação do núcleo (B_{sat})	1,5 T
Dimensões do núcleo ($OD \times ID \times HT$)	(47,66 x 23,3 x 19,0) mm
Área da seção transversal do condutor (S)	0,00032 cm ²
Número de espiras (N)	67

Fonte: Autoria própria (2021)

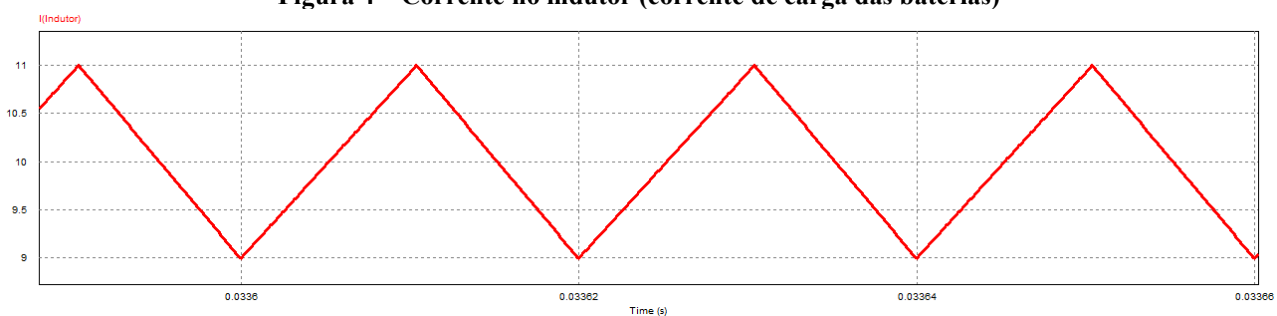
3.2.2 Resultados de simulação numérica

A simulação numérica foi realizada considerando-se a operação com fluxo de potência do barramento CC (fonte V_2) para a bateria (fonte V_1), ou seja, realizando a carga da bateria. Os resultados obtidos na simulação numérica são apresentados nas Fig. 4 e Fig. 5.

A Fig. 4 apresenta a forma de onda da corrente no indutor, ou seja, a corrente de carga da bateria antes da filtragem pelo capacitor de filtro C_1 . Observa-se que esta corrente é contínua com baixa ondulação em alta frequência, o que permite menor esforço de filtragem.

Na Fig. 5 tem-se a forma de onda da tensão no banco de baterias onde observa-se que esta tensão tem um valor médio de aproximadamente 120 V.

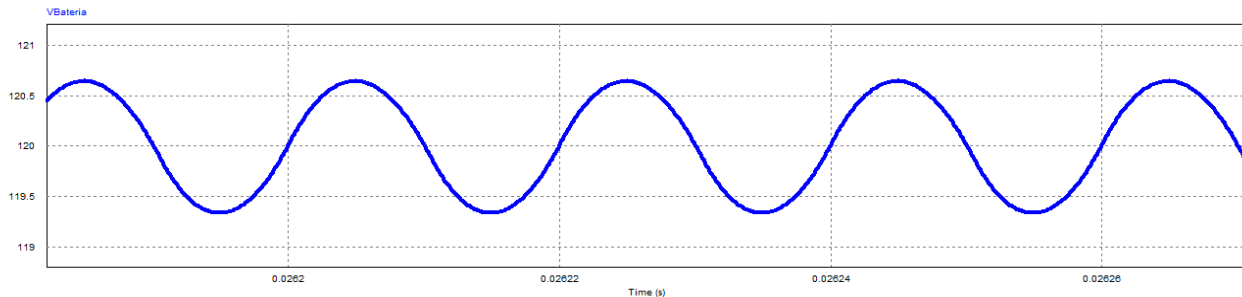
Figura 4 – Corrente no indutor (corrente de carga das baterias)



Fonte: Autoria própria (2021)



Figura 5 – Tensão no banco de baterias



Fonte: Autoria própria (2021)

4 CONCLUSÃO

Os resultados demonstraram a viabilidade do projeto e por isso será continuado e levado a estudos futuros. O autor lamenta a não materialização da ideia no que diz respeito à parte física, devido a fatores externos, como a pandemia. Contudo, a continuidade do projeto já está estabelecida e o próximo passo está no projeto do sistema de controle de corrente.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Tecnológica Federal do Paraná pela infraestrutura e pelos recursos disponibilizados para realizar esta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14298**: Sistemas fotovoltaicos - Banco de baterias – Dimensionamento. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.
- BARBI, Ivo; ILLA FONT, Carlos Henrique; ALVES, Ricardo Luiz. **Projeto físico de indutores e transformadores**. Apostila. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.
- CHAVES, Henrique Marques da Silva; SCHUCH, Luciano; ROGGIA, Leandro. Levantamento da potência média instalada em uma residência típica para aplicação em geração distribuída. In: 25ª JAI da Universidade Federal de Santa Maria. **Anais**, 2010.
- IEEE - INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERS. **IEEE 48-2020**: IEEE recommended practice for sizing lead-acid batteries for stationary applications. New York: IEEE, 2020.
- LANGE, André de Bastiani. **Retificador PFC monofásico PWM bridgeless três-níveis de alto desempenho**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.
- MARTINS, Denizar Cruz; BARBI, Ivo. **Conversores CC-CC Básicos Não Isolados**. 4ª ed., Florianópolis: Edição do autor, 2011.
- PEREIRA, Vanderson Damião. **Análise comparativa entre os retificadores monofásicos Boost e SEPIC operando no modo de condução descontínuo**. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2016.