

## CONVERSOR CC-CC PARA APLICAÇÃO NO CARREGAMENTO DE BATERIAS DE VEÍCULOS ELÉTRICOS

Victor Eduardo Cauvilla de Oliveira (IC)<sup>1</sup>, Robson Bauwelz Gonzatti (PQ)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Itajubá.

**Palavras-chave:** Baterias tipo EVB. Comunicação em veículos elétricos. Modelagem de conversores elétricos.

### Introdução

Os primeiros veículos elétricos foram desenvolvidos em 1830, antes mesmo dos veículos a combustão e apresentavam pouco conforto e eram lentos. Já no século XIX aconteceu o boom de veículos elétricos, sendo estes capazes de ultrapassar os 100km/h e tendo vendas superiores aos modelos de combustão.

Apenas no início do século XX que os veículos de combustão se popularizaram com o modelo T desenvolvido por Henry Ford, tendo este um custo inferior a terça parte de um veículo elétrico. A popularização dos veículos a combustão juntamente de outros projetos, como a melhora do sistema de rodovias nas grandes potências em 1920 e o barateamento do petróleo, fizeram com que os veículos elétricos aos poucos fossem perdendo popularidade e possuindo um pequeno volume de venda.

Nos últimos anos, houve uma popularização dos veículos elétricos graças às premissas de redução de emissão de poluentes e o fato dos veículos a combustão serem uma das principais fontes poluidoras da atmosfera. Houve um aumento de 60% ao ano desde 2014 na produção de veículos elétricos, resultando no mercado global buscar novas tecnologias para otimizar a performance dos veículos elétricos, tendo como um dos fatores incentivantes o fato dele possuir uma poluição inferior aos dos veículos a combustão.

A eletrônica de potência é uma disciplina em destaque no campo da ciência e tecnologia, por possuir aplicações nas mais diversas áreas e desempenhar um papel predominante no campo de energias renováveis e na solução de problemas globais de poluição e de aquecimento global. Um dos grandes campos de estudo dessa disciplina é o controle de motores elétricos e também a conversão de energia, tendo grande relevância no desenvolvimento do carregador estudado onde sua principal função é a conversão e controle de energia.

De tal forma, este trabalho foi feito ao perceber a importância da eletrônica de potência no cenário global e a relevância de pesquisas acerca do aprimoramento de veículos elétricos. Portanto, buscou desenvolver um conversor DC-DC, através de seu projeto, modelagem,

controle e simulações de funcionamento para o carregamento de veículos elétricos enquanto estuda-se as atuais tecnologias aplicadas no setor.

### Metodologia

Para o desenvolvimento desta pesquisa, buscou-se aspectos técnicos referentes aos tipos de veículos elétricos existentes, além dos tipos e topologias de baterias e conversores DC-DC e seus protocolos de comunicação. Com estas informações, foi realizada uma modelagem de um conversor DC-DC do tipo BUCK para a aplicação em um carregador de baterias e o desenvolvimento de uma malha de controle.

Para a modelagem do conversor DC-DC adotado nesta pesquisa, selecionou-se um do tipo BUCK Interleaved capaz de transformar uma tensão máxima de entrada na tensão requerida através dos dados recebidos do BMS. Para o controle deste conversor, necessitou o desenvolvimento de um modulador PWM responsável por realizar o chaveamento dos IGBT's presentes no conversor de acordo com o sinal de um controlador do tipo PI. O controlador PI foi escolhido por ser capaz de controlar a saída do conversor enquanto reduz consideravelmente o erro produzido no sinal. Em seu regime transitório selecionou-se um overshoot de 500 [V] e 100 [A], possuindo uma saída de 50 [kW] para evitar possíveis danos nos equipamentos utilizados para o carregamento e nos componentes dos veículos elétricos.

### Revisão Bibliográfica

Observou-se na literatura que um veículo elétrico possui um ou mais motores elétricos que movimentam seus eixos ao transformar a energia elétrica em energia mecânica transferida para as rodas. Os veículos elétricos podem ser caracterizados em três tipos, sendo estes: o Hybrid Electric Vehicle (HEV), o Plug-in Hybrid Electric Vehicle (PHEV) e o Battery Electric Vehicle (BEV). A principal diferença entre eles é a fonte de energia, o consumo e a emissão de poluentes, onde o HEV possui como fonte energética o combustível,

consome combustível e energia elétrica e possui a maior emissão entre eles, o PHEV possui como fonte energética o combustível junto de uma fonte elétrica externa, possui consumo predominantemente elétrico mas também consome combustível e possui uma baixa emissão de poluentes, e o BEV que possui como fonte energética exclusivamente elétrica, consome apenas energia elétrica e não possui emissão de poluentes.

Ao realizar um comparativo entre os tipos de veículos elétricos através da figura 1, notou-se que apenas o BEV é puramente elétrico. A bateria deste tipo de carro pode ser recarregada por carregadores do nível 3, pois estes carregadores geralmente são instalados em estacionamentos públicos e privados onde este tipo de veículo geralmente possui seu pack de baterias carregado.

Figura 1 – Principais tipos de veículos elétricos

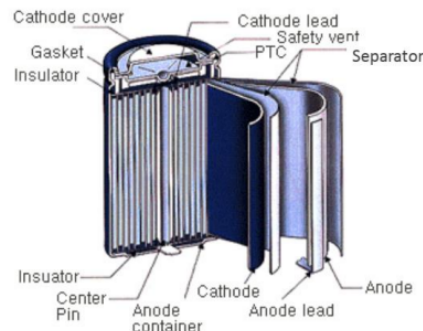
	Hybrid Electric Vehicle (HEV)	Plug-in Hybrid Electric Vehicle (PHEV)	Battery Electric Vehicle (BEV)
Sources of energy			
Consumption*			
Tailpipe emissions*			

Foram estudadas as baterias de tração, ou Electric Battery Vehicle (EVB), que possuem como grande desafio a necessidade de uma alta capacidade na relação entre peso e volume graças ao fato de ser acoplada ao veículo. Este tipo de bateria possui várias composições químicas sendo algumas principais e algumas pouco comuns de se usar, e cada composição possui vantagens e desvantagens que incluem o custo, o tempo de vida, a massa, o volume e a sensibilidade à temperatura.

As baterias de tração utilizadas em veículos elétricos podem ser de vários tipos, mas os modelos Li-ion e NiMh destacam-se devido às suas características. As baterias de Li-ion são comumente utilizadas em veículos elétricos devido a sua grande vantagem referente ao peso e a energia específica que ela possui enquanto que as baterias de NiMh são utilizadas em veículos híbridos por conta de seu baixo custo. A principal desvantagem das baterias NiMh é que ela já alcançou seu limite de desenvolvimento enquanto que as de Li-ion possuem muitas tecnologias promissoras em desenvolvimento. As principais vantagens da bateria Li-ion é sua longa vida útil, alta eficiência, não possui efeito memória mas necessita um controle de tensão muito preciso para não ser danificada, possui um alto custo de produção e apresenta risco de incêndio. A figura 2 apresenta um

modelo de bateria de Li-ion utilizada no veículo elétrico GM Volt.

Figura 2 - Estrutura cilíndrica de uma bateria de Li-ion

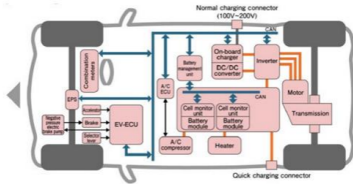


As baterias usadas em veículos elétricos costumam ser complexas e frágeis, com seus packs sendo compostos por inúmeras células de bateria que podem danificar o veículo se forem carregadas de forma incorreta, onde se faz necessário um bom monitoramento e controle das mesmas. Assim faz-se necessário um sistema que monitora, protege e minimiza as chances de vários problemas como o de uma sobrecarga nas células. Para tal, é usado um sistema de gerenciamento das baterias, ou Battery Management System (BMS). Para o funcionamento adequado do sistema é necessário a existência de protocolos de comunicação entre o BMS e os dispositivos de aquisição de dados, e nesta aplicação em específico em veículos elétricos, os principais protocolos de comunicação utilizados são o Controller Area Network (CAN) e o FlexRay.

Os protocolos de comunicação utilizados nos módulos é um fator muito importante para o BMS, afetando diretamente a sua eficácia no sistema. Dentre os protocolos, destaca-se o CAN que tornou-se robusto no ramo de veículos em 1993, por ser capaz de fazer a comunicação com ECU's, sensores e microcontroladores. Sua transmissão é feito por cabos próprios e possui um enlace de dados por CSMA/CD, ou seja, qualquer dispositivo pode-se comunicar a todo momento quando conectado com o CAN e em caso de dispositivos comunicando simultaneamente por ele, é realizado a detecção da colisão dos pacotes e o manuseamento adequado para que ambos os pacotes cheguem em seu destino final. A grande vantagem do CAN é a facilidade de adicionar novos dispositivos ao apenas acrescentar novos nós na conexão sem que haja a necessidade de realizar a reprogramação de todos os módulos já conectados anteriormente. O protocolo FlexRay foi desenvolvido pela união entre a BMW, Daimler-Chrysler, Philips e Motorola e possui o consenso de que ele pode vir a se tornar o protocolo padrão no desenvolvimento de novos veículos. A principal diferença entre o CAN e o FlexRay além do custo e robustez, é a presença de dois canais de

comunicação no FlexRay enquanto o CAN possui apenas um. A figura 3 apresenta um exemplo de protocolo de comunicação aplicado.

Figura 3 - Protocolo de comunicação em veículos elétricos



Para o carregamento dos packs de baterias usados nos veículos elétricos do tipo PHEV e BEV faz-se necessário um conversor do tipo DC-DC que pode possuir a função de elevar ou abaixar uma dada tensão de entrada para a tensão requerida no veículo elétrico. Esses conversores podem ser unidirecionais ou bidirecionais, além que podem ser também do tipo isolado, onde possui um transformador isolador entre a entrada e saída e são usados em casos onde possui uma diferença significativa entre a tensão de entrada e saída, ou do tipo não isolado.

Os conversores elétricos são largamente utilizados para controlar motores elétricos aplicados em veículos elétricos, guinchos marítimos e empilhadeiras. Para o carregamento do nível 3 estudado neste trabalho, necessita-se de potência em apenas um sentido, e portanto, abordou-se apenas conversores unidirecionais para tensão DC-DC. Na topologia de conversores isolados, que possui um diagrama de blocos geral apresentado na figura 4, pode destacar-se o Flyback, o Forward, o Full-bridge, o Half-bridge, o Push-Pull, o Multiport e o Zero Voltage Switching Bidirectional DC-DC Converter. Na topologia de conversores não-isolados, que possui um diagrama de blocos geral apresentado na figura 5, pode-se destacar o Buck, o Boost, o Buck-Boost, o Cuk e o Interleaved Bidirectional Converter. Pela simplicidade de seu arranjo e a facilidade de aplicação no sistema de carregamento em desenvolvimento trabalhou-se com o conversor do tipo BUCK Interleaved, onde este recebe uma tensão de entrada que será reduzida para a tensão requerida pelo BMS através de um chaveamento de IGBT's.

Figura 4 - Diagrama de blocos de conversores isolados.

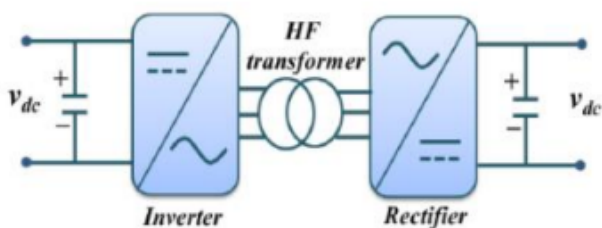
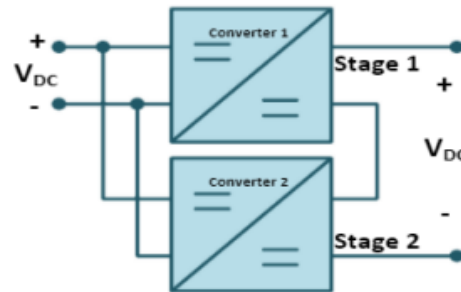


Figura 5 - Diagrama de blocos de conversores não-isolados



As propostas de carregamento de veículos apresentadas por empresas possuem diferentes aplicações e podem ser divididas entre três tipos, sendo eles: Nível 1 (carregamento lento), Nível 2 (carregamento moderado) e Nível 3 (Carregamento rápido DC). O nível 3 é desenvolvido para ser instalado em estacionamentos públicos e privados, e também é o foco para o desenvolvimento do controlador do conversor desenvolvido nesta pesquisa. Ainda não existe um padrão para o conector de carregamento de veículos elétricos e estes costumam ser selecionados de acordo com os interesses comerciais das empresas, mas destacam-se três tipos de padrões de conectores, sendo eles: Padrão CHAdeMO, Padrão Combined Charging System (CCS) e o Padrão Tesla.

## Resultados e discussão

Na modelagem do modelo dinâmico do conversor BUCK, buscou-se chegar no mesmo sistema utilizado na literatura padrão dado a facilidade de trabalhar com ela. O circuito do conversor BUCK utilizado para a modelagem é apresentado na figura 6 enquanto que os modelos dinâmicos obtidos para seu controle são apresentados na figura 7. Vale ressaltar que tanto a montagem dos circuitos quanto a simulação foram realizadas utilizando a ferramenta PLECS da Plexim.

Figura 6 - Circuito equivalente do conversor BUCK

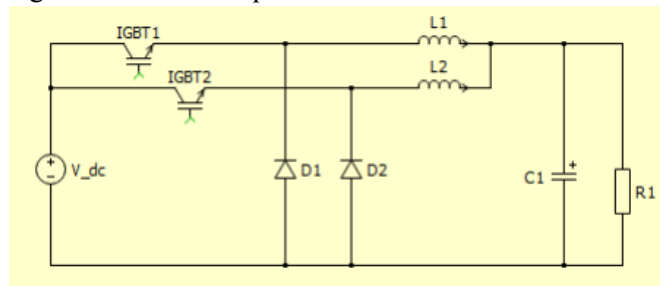


Figura 7 - Funções de transferência do sistema dinâmico que descreve o conversor BUCK

$$G1(s) = \frac{800}{7.825 \cdot 10^{-9} \cdot s^2 + 5 \cdot 10^{-4} \cdot s + 1}$$

$$G2(s) = \frac{2.504 \cdot 10^{-3} \cdot s + 160}{7.825 \cdot 10^{-9} \cdot s^2 + 5 \cdot 10^{-4} \cdot s + 1}$$

$$G3(s) = \frac{5}{1.565 \cdot 10^{-5} \cdot s + 1}$$

Para o controlador, foi utilizado um sistema em cascata de dois PIs que controlam a corrente no circuito e a tensão no mesmo, e possui sua montagem apresentada na figura 8. Já a figura 9 apresenta a saída obtida do conversor com sinais de entrada de 500 [V] e 100 [A].

Figura 8 - Controladores PI em cascata

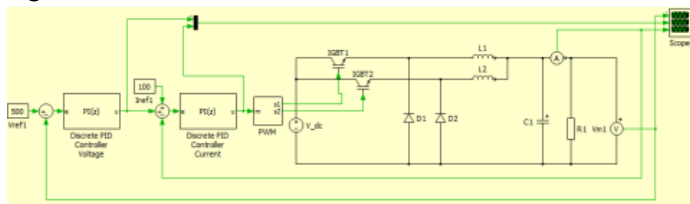


Figura 9 - Saída de tensão do conversor BUCK (Tensão [V] x Tempo [s])

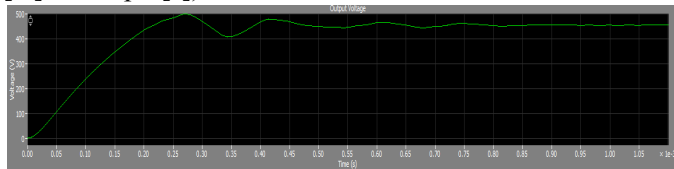
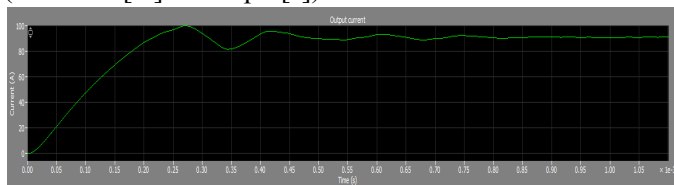


Figura 10 - Saída de corrente do conversor BUCK (Corrente [A] x Tempo [s])



## Conclusões

Nos últimos anos, quase um século depois de atingir seu primeiro auge no início de 1900, os veículos elétricos (EVs) vêm se destacando novamente. Diversos países reconheceram os veículos elétricos como uma alternativa tecnológica promissora aos carros movidos a combustíveis fósseis no combate ao aquecimento global. No entanto, para uma penetração mais ampla no mercado, barreiras consideráveis devem ser rompidas. Os desafios mais importantes são as baixas autonomias, tempo de carregamento e os altos custos de investimento, ambos causados pela principal fraqueza dos EVs - sua bateria. Por fim, até o momento pôde-se concluir que as perspectivas futuras dos VEs só são

possíveis se os custos das baterias puderem ser reduzidos, o armazenamento aprimorado para levar a maiores autonomias e, principalmente, se o tempo de recarga das baterias for reduzido.

## Agradecimento

Agradecemos ao CNPq, a Universidade Federal de Itajubá, ao Grupo de Pesquisa de Eletrônica de Potência e Controle Industrial e a todos as outras organizações ou pessoas que auxiliaram no desenvolvimento desta pesquisa.

## Referências

- ALASSI A. et al., Assessment of Isolated and Non-Isolated DC-DC Converters for Medium Voltage PV Applications. 9th IEEE-GCC Conference and Exhibition (GCCCE), mai 2017.
- ANDWARI, A. M. A review of Battery Electric Vehicle technology and readiness levels. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2017.
- BRADLEY, T. H. et al. Design, demonstrations and sustainability impact assessments for plug-in hybrid electric vehicles. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2009.
- CASALS L. C. et al., Communications concerns for reused electric vehicle batteries in smart grids. IEEE Communications Magazine, set 2016.
- CHADEMO ASSOCIATION. CHAdEMO 2018 & 2019.
- CHAKRABORTY, A. Advancements in power electronics and drives in interface with growing renewable energy resources. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 4 maio 2011.
- DUARTE, R et al. The role of consumption patterns, demand and technological factors on the recent evolution of CO2 emissions in a group of advanced economies. Ecological Economics, 13 jan. 2013.
- GELMANOVA, Z S et al. Electric cars. Advantages and Disadvantages. International Conference Information Technologies in Business and Industry. 2018.
- HERTZKE, P et al. Expanding electric-vehicle adoption despite early growing pains. McKinsey Center for Future Mobility, ago. 2019.
- KHAN W. et al.. Fast EV charging station integration with grid ensuring optimal and quality power exchange. Engineering Science and Technology, an International Journal, 2019.
- LARMINIE, J.; LOWRY, J. Electric Vehicle Technology Explained. 2. ed., 2012.
- LAZIM, M. T. POWER ELECTRONICS AND DRIVES. 1ª. ed., 2019.
- MATULKA, R. THE HISTORY of the Electric Car. 2014.
- SABOLCIK R., Signal and Power Isolation Interfaces and Onboard Design for Electric Vehicle Systems. Silicon Labs, c2021.