

Utilização de conversor CC/CC bidirecional meia ponte não isolando em uma topologia HESS

Use of a non-isolating half-bridge bidirectional DC/DC converter in a HESS topology

Matheus Paulino Soares Laia*, Fernanda Cristina Corrêa†

RESUMO

Este artigo aborda brevemente sobre a topologia Bateria/Supercapacitor de um sistema HESS (Hybrid Energy Storage System) no qual consiste em ter um conversor CC/CC bidirecional Meia Ponte não isolado fazendo a interface entre a bateria e o supercapacitor além de comentar sobre o seu funcionamento característico, explicaremos brevemente sobre as características e funcionalidades do conversor CC/CC bidirecional Meia Ponte não isolado mostrando o comportamento das chaves em seu modo de operação Buck, no momento em que a energia é transferida do barramento CC para a bateria e no modo de operação Boost, quando a energia é transferida da bateria para o barramento CC, por fim abordaremos todos os modos de operação que um veículo elétrico possui, que são eles, modo de operação em baixa velocidade constante, alta velocidade constante, aceleração e desaceleração (frenagem regenerativa), com isso discutiremos sobre a simulação utilizando o software Psim com um controle realizado em malha aberta.

PALAVRAS-CHAVE: barramento; boost; buck; conversor; operação.

ABSTRACT

This article briefly discusses the Battery/Supercapacitor topology of a HESS (Hybrid Energy Storage System) system, which consists of having a non-isolated half-bridge bidirectional DC/DC converter making the interface between the battery and the supercapacitor, in addition to commenting on the its characteristic operation, we will briefly explain the characteristics and functionalities of the non-isolated Half-Bridge bidirectional DC/DC converter showing the behavior of switches S1 and S2 in their Buck mode of operation, at the moment in which energy is transferred from the DC bus to the battery and in Boost operating mode, when energy is transferred from the battery to the DC bus to meet the power demand, finally we will address all the operating modes that an electric vehicle has, which are low speed operating mode constant, constant high speed, acceleration and deceleration (regenerative braking), with this we will discuss the simulation using the Psim software with control carried out in an open loop.

KEYWORDS: DC bus; boost; buck; converter; operation.

INTRODUÇÃO

O armazenamento de energia pode ser aplicado para melhorar o desempenho do veículo elétrico e diminuir seu custo através da redução de baterias. Dimensionar o sistema de armazenamento de energia e controlar o fluxo de energia são as chaves para alcançar uma melhor eficiência (LAI; NELSON, 2007). O armazenamento de energia utilizando bateria e SC (supercapacitor) pode ser empregado para reduzir o custo e melhorar o desempenho do sistema, onde o SC possui uma alta densidade de potência mas uma baixa densidade de energia e a bateria o oposto, tendo uma alta densidade de energia e uma baixa densidade de potência, fazendo assim uma ótima combinação para o sistema. Dessa forma, a necessidade de um conversor de potência CC/CC se faz necessário para que ele seja o responsável pelo

* Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica.  Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil. ✉ laia@alunos.utfpr.edu.br.

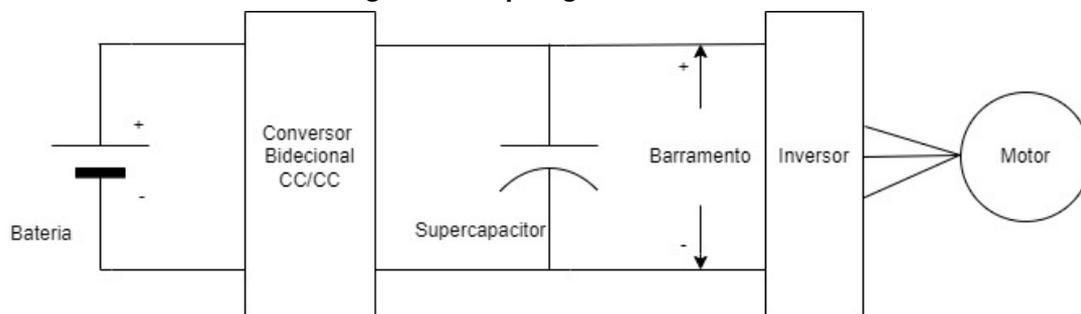
† Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica.  Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil. ✉ fernandacorrea@utfpr.edu.br. 📞 0000000000000003. 🌐 0000-0000-0000-0003.

gerenciamento de energia do sistema, sendo assim o dimensionamento do mesmo passa a ser crucial para o adequado funcionamento do sistema.

TOPOLOGIA

A topologia escolhida para o HESS (Hybrid Energy Storage System) foi a de Bateria/SC (SRINIVAS; KUMAR; DEEPTHI, 2020) e (ORTUZAR; MORENO; DIXON, 2007), como mostrado na Fig. 1, onde o conversor de potência CC/CC está fazendo a interface entre os elementos (CAO; EMADI, 2012), nesta configuração a tensão da bateria pode atuar com um valor mais elevado ou mais baixo de tensão do que do supercapacitor e a estratégia de controle aplicada nessa configuração permite que o barramento atue como um filtro passa-baixo e com isso a energia do supercapacitor possa ser utilizada de forma mais eficiente.

Figura 1 – Topologia Bateria/SC



Fonte: autoria própria (2023)

CONVERSOR CC/CC MEIA PONTE

O conversor CC/CC bidirecional Meia Ponte não isolado, pode ser categorizado em três formas, Buck, Boost e Buck-Boost, neste trabalho foi utilizado o conversor CC/CC bidirecional do tipo boost como mostrado na figura anterior, devido ao fato da tensão da bateria estar colocada do lado da baixa tensão, fazendo assim com que se tenha a necessidade de elevar a tensão de entrada para a tensão do barramento. Na operação do modo de carregamento da bateria, os interruptores S1 e S2 atuam como um conversor Buck unidirecional que utiliza a energia proveniente do barramento para carregar a bateria, já no modo de fornecimento de energia para o barramento, os interruptores S1 e S2 atuam como um conversor Boost, transferindo energia da bateria para o barramento.

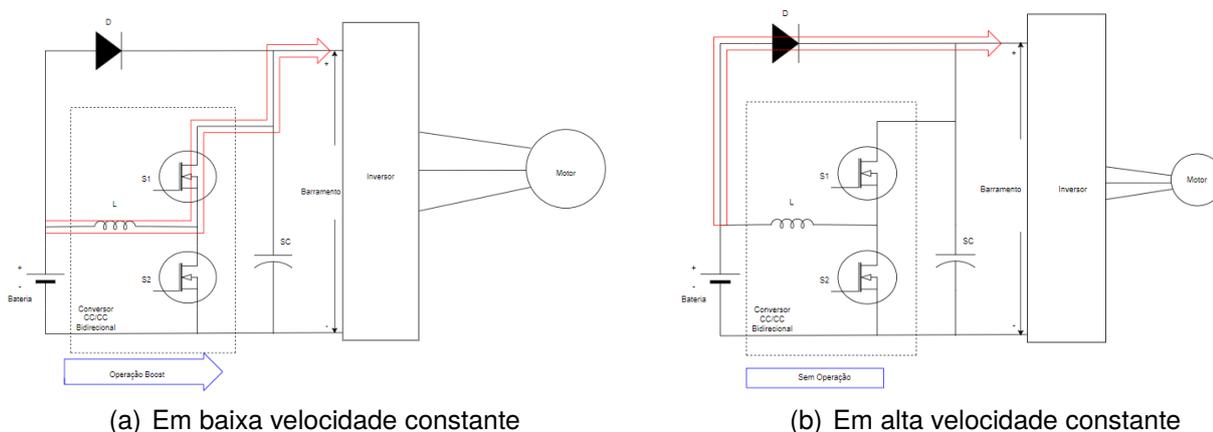
MODOS DE OPERAÇÃO

A operação em velocidade constante foi dividida em duas etapas, dependendo se a potência do conversor CC/CC P_{conv} pode suprir a potência demandada P_{dmd} . Se a P_{dmd} for menor ou igual a P_{conv} , pode-se denominar esta condição de baixa velocidade constante. Se o veículo estiver a uma velocidade mais alta na qual o P_{dmd} for maior que P_{conv} , será modo de alta velocidade constante. Esses dois modos de operação são considerados ideais, devido ao fato que na prática a demanda de potência está sempre se alterando. A Fig. 2(a) mostra o fluxo de energia da operação em baixa velocidade constante do HESS. No modo de operação de baixa velocidade, desde $P_{conv} > P_{dmd}$, a tensão do SC (V_{sc}) pode ser

mantida superior a tensão da bateria (V_{bat}), a tensão do barramento CC (V_{bar}), também pode ser mantida em qualquer valor superior a tensão da bateria. Neste modo de operação o SC não fornece e não absorve energia. Como a tensão do SC é maior que a da bateria e por fim não há energia passando pelo diodo por estar polarizado inversamente.

No modo de operação de alta velocidade constante, $P_{dmd} > P_{conv}$, a V_{sc} não pode mais ser mantida acima da V_{bat} , portanto, o diodo de potência passa a ser polarizado diretamente, com isso a bateria passa a fornecer energia diretamente. Neste modo o conversor CC/CC será desligado. A Fig. 2(b), mostra o fluxo de energia deste modo de operação.

Figura 2 – Fluxo de energia



(a) Em baixa velocidade constante

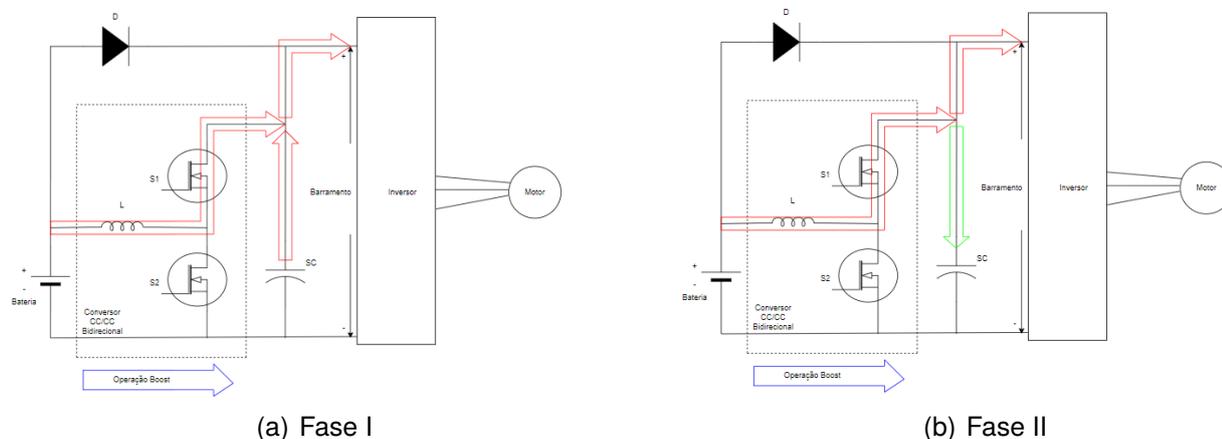
(b) Em alta velocidade constante

Fonte: autoria própria (2023)

No início do modo de aceleração, assume $V_{sc} > V_{bat}$ e como $P_{dmd} > P_{conv}$, a V_{sc} continuará diminuindo ajudando a fornecer energia para suprir a P_{dmd} . A Fig. 3(a), mostra a fase 1 de operação do modo de aceleração.

Já a fase II ocorre com a diminuição da V_{sc} , ela cairá para o mesmo nível da V_{bat} , quando $V_{bat} = V_{sc}$, o sistema entra no modo de operação de alta velocidade constante, se a $P_{dmd} < P_{conv}$, a diferença da energia do conversor é direcionada para carregar o SC, como mostrado na Fig. 3(b)

Figura 3 – Fluxo de energia na fase de aceleração



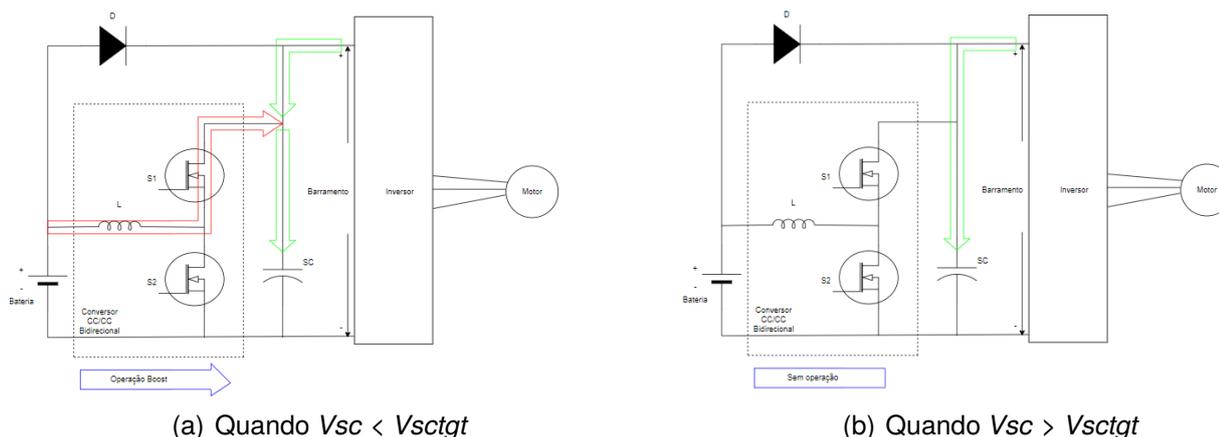
(a) Fase I

(b) Fase II

Fonte: autoria própria (2023)

No modo de desaceleração existe duas fases, na fase I a energia regenerativa será injetada apenas no SC, nessa fase o conversor CC/CC poderá estar funcionando apenas no modo boost ou desligado, isso dependerá se V_{sc} será maior ou menor que a V_{sctgt} , com $V_{sc} < V_{sctgt}$, o conversor irá operar no boost para o carregamento mais rápido do SC, como mostra a Fig. 4(a) com $V_{sc} > V_{sctgt}$, o conversor estará desligado, como mostra a Fig. 4(b).

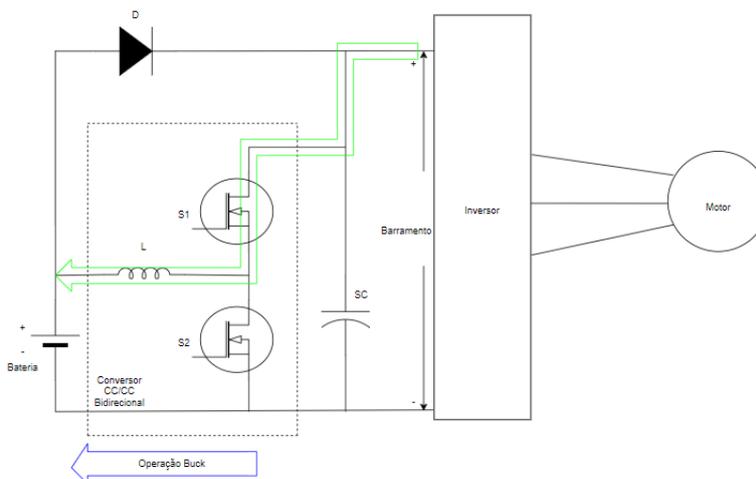
Figura 4 – Fluxo de energia da fase I do modo de frenagem regenerativa



Fonte: autoria própria (2023)

Já a fase II descreve as condições de trabalho da frenagem regenerativa contínua, se ela for necessária, para garantir que a V_{sc} esteja dentro da faixa operacional segura, assim o conversor CC/CC atuará como Buck para transmitir a energia do SC para a bateria como mostra Fig. 5. Ao projetar o HESS proposto, os componentes do ESS (Energy System Storage) podem ser dimensionados adequadamente, de modo que a fase II da frenagem regenerativa possa ser usada o menos possível, isso resultará em um prolongamento da vida útil da bateria e também aumentará a precisão da estimativa do SoC (State of Charge).

Figura 5 – Fluxo de energia da fase II do modo de frenagem regenerativa quando $V_{sc} > V_{sctgt}$



Fonte: autoria própria (2023)

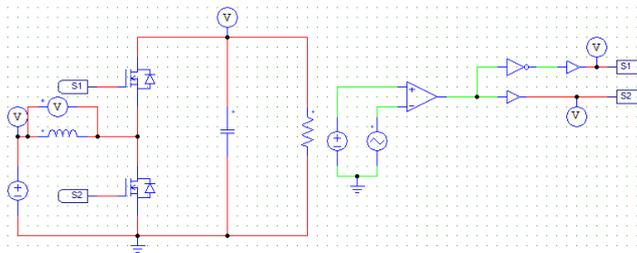
DESENVOLVIMENTO DA SIMULAÇÃO

A Tabela 1 abaixo apresenta os parâmetros para a simulação no qual foi utilizada para construir um modelo do conversor CC/CC bidirecional Meia Ponte não isolado e simulado no software Psim. Para uma carga puramente resistiva, visando testar a sua funcionalidade, o controle dos interruptores S1 e S2 foi feita através de malha aberta como na Fig. 6. Pelo fato de ser feito o controle por malha aberta, foi necessário fazer o ajuste fino da razão cíclica de forma empírica, obtendo-se assim as melhores formas de onda do i_L e do V_{out} . Fig. 7(a) e a Fig. 7(b) mostram a forma de onda da tensão sobre o indutor e as formas de onda da corrente no indutor e a tensão de saída sobre a carga resistiva. Podendo-se afirmar que o conversor está operando no modo de condução contínua, assim como era esperado, a Fig. 8(a) mostra que foi satisfeita a condição dos interruptores estarem operando de forma alternada, garantindo assim que eles não operem em um mesmo estado simultaneamente, impedindo que o conversor entre em curto, por fim como pode se observar na Fig. 8(b), a potência processada e próximo dos 12 kW proposto para esse conversor.

Tabela 1 – Parâmetros

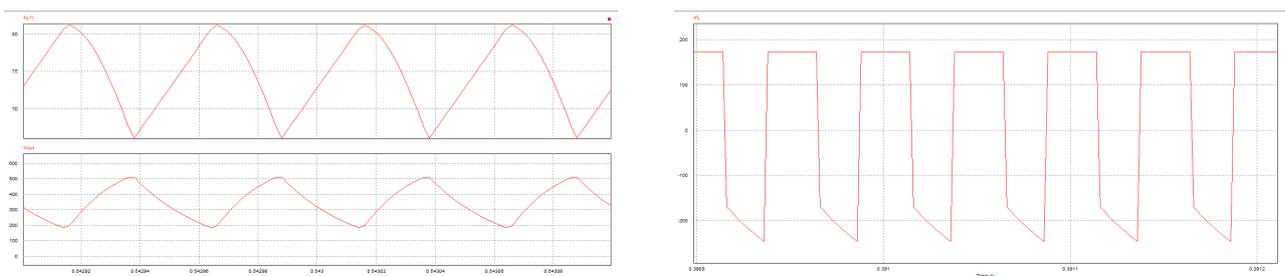
V_{in}	173 V
V_{out}	350 V
Potência	12kW
Duty cycle	0,55
Indutor	0,31 mH
Capacitor	12uF
Frequência	20kHz

Figura 6 – Modelo do conversor CC/CC Meia Ponte utilizando o Psim e controle em malha aberta



Fonte: autoria própria (2023)

Figura 7 – Comportamento da corrente i_L , Tensão V_{out} e Tensão sobre o indutor

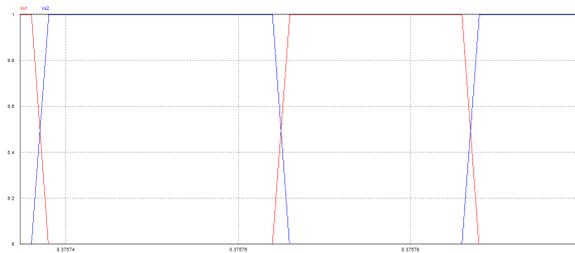


(a) Corrente i_L e a Tensão V_{out}

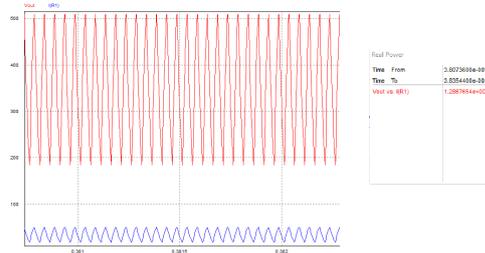
(b) Tensão sobre o indutor

Fonte: autoria própria (2023)

Figura 8 – Comportamento dos interruptores e da potência na carga



(a) Forma de onda da operação dos interruptores S1 e S2



(b) Comportamento da potência na carga

Fonte: autoria própria (2023)

CONCLUSÃO

Nesta pesquisa concluiu-se que o conversor CC/CC Meia Ponte não isolado proposto para a topologia Bateria/SC no HESS, obteve um desempenho adequado de acordo com as simulações desenvolvidos pelo software Psim.

O conversor atendeu o pré requisito das duas chaves S1 e S2 não atuarem simultaneamente, trabalhando em modo de condução contínua e sendo capaz de processar a potência de 12 kW como foi proposto, mesmo utilizando um controle de malha aberta que não é o ideal.

Agradecimentos

Agradeço a Universidade Tecnológica Federal do Paraná pela oportunidade de estar desenvolvendo esta pesquisa, juntamente com a Fundação Araucária por estar financiando a pesquisa.

Conflito de interesse

Não há conflito de interesse

REFERÊNCIAS

CAO, Jian; EMADI, Ali. A New Battery/UltraCapacitor Hybrid Energy Storage System for Electric, Hybrid, and Plug-In Hybrid Electric Vehicles. **IEEE Transactions on Power Electronics**, v. 27, n. 1, p. 122–132, 2012. DOI: 10.1109/TPEL.2011.2151206.

LAI, Jih-Sheng; NELSON, Douglas J. Energy Management Power Converters in Hybrid Electric and Fuel Cell Vehicles. **Proceedings of the IEEE**, v. 95, n. 4, p. 766–777, 2007. DOI: 10.1109/JPROC.2006.890122.

ORTUZAR, Micah; MORENO, Jorge; DIXON, Juan. Ultracapacitor-Based Auxiliary Energy System for an Electric Vehicle: Implementation and Evaluation. **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, v. 54, n. 4, p. 2147–2156, 2007. DOI: 10.1109/TIE.2007.894713.

SRINIVAS, CH.; KUMAR, V. Hemanth; DEEPTHI, T. Anagha. Simulation of Hybrid Electric Energy Storage System (HEES) for Hybrid Electric Vehicle for Power Applications. **International Journal of Research**, v. IX, 2020. ISSN 2236-6124.