

## Técnicas Para Balanceamento De Células Li-Ion

### Li-Ion Cell Balancing Techniques

#### RESUMO

Este trabalho tem por finalidade um levantamento bibliográfico sobre métodos de equalização passivos e ativos para baterias de Li-Ion. O funcionamento de 4 métodos de equalização será devidamente explicado a fim de se realizar um comparativo entre os métodos destacando suas vantagens e desvantagens.

**PALAVRAS-CHAVE:** Equalização de baterias de Li-Ion. Equalização passiva. Equalização ativa.

**Ezequiel Gonschorowski**  
[ezequielgons@gmail.com](mailto:ezequielgons@gmail.com)  
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA  
FEDERAL DO PARANÁ, Pato  
Branco, Paraná, Brasil.

**Rafael Cardoso**  
[cardoso.sm@gmail.com](mailto:cardoso.sm@gmail.com)  
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA  
FEDERAL DO PARANÁ, Pato  
Branco, Paraná, Brasil.

**Recebido:** 19 ago. 2019.

**Aprovado:** 01 out. 2019.

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



#### ABSTRACT

This article presents a review about active and passive balancing methods for Li-Ion batteries. The main principle of 4 methods for balancing is explained aiming to elaborate a comparative analysis of the methods detailing their advantages and disadvantages.

**KEYWORDS:** Li-Ion battery equalization methods. Passive Equalization. Active Equalization.

#### INTRODUÇÃO

Baterias de lítio são de extrema importância em algumas aplicações. Este fato se dá devido as suas inúmeras vantagens: alta densidade de energia, longo ciclo de vida, não existência de efeito memória, não tóxica e tempo de carga rápido (Maurice Caspar, Torsten Eiler, Soren Hohmann, 2018). Devido algumas aplicações de baterias de lítio exigirem elevados níveis de tensões, uma célula de lítio é incapaz de satisfazer a demanda solicitada. Para resolver este problema, uma associação das células de lítio deve ser feita em série (Mohamed Daowd, Noshin Omar, Peter Van Den Bossche, Joeri Van Mierlo, 2011). O foco deste trabalho de pesquisa surge a partir dessa associação. Repetidos processos de carga e descarga da bateria podem levar ao desequilíbrio de carga nas células devido as diferenças nas características químicas e elétricas, distribuição de temperatura e envelhecimento das mesmas. Para solucionar este problema, uma equalização das

células da bateria deve ser feita. Isto pode ser realizado de duas formas, equalização passiva e equalização ativa. A Figura 1 ilustra os métodos abordados neste trabalho.

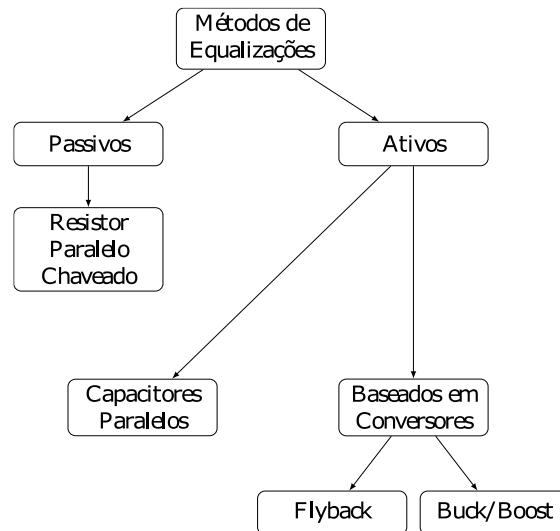


Figura 1 - Métodos de equalização abordados no trabalho.

Fonte: Adaptado de Mohamed Daowd, Noshin Omar, Peter Van Den Bossche , Joeri Van Mierlo (2011).

## EQUALIZAÇÃO ATIVA

Métodos de equalização ativos são usados devido sua eficiência energética, onde a energia excessiva de uma célula de bateria pode ser transferida para as demais células menos carregadas. Isto faz com que estes métodos sejam mais eficientes perante equalizações passivas. A seguir serão discutidos três métodos de equalização ativa. O primeiro método utiliza capacitores como elementos transferidores de energia. O segundo método usa transformadores como elementos transferidores de energia e, por último, tem-se um método que se baseia em indutores como elementos transferidores de energia

### CAPACITORES COM CHAVES

Trata-se de um circuito simples, necessitando de  $n-1$  capacitores para  $n$  células a serem balanceadas. MOSFETs podem ser usados para realizar o chaveamento entre os capacitores e as baterias (Rengui Lu , Likun Tian, Qi Wang, 2007). Os valores dos capacitores não influenciam no valor final da equalização e podem ser de aproximadamente de  $20\mu\text{F}$  a  $1000\mu\text{F}$  para baterias de até 15V. Sua principal vantagem é de não necessitar de uma malha de controle para realizar o balanceamento da célula de bateria.

Para a modelagem do sistema deve-se tomar o devido cuidado com a escolha da frequência de chaveamento, pois poderá mudar o comportamento do capacitor em altas frequências, então recomenda-se o uso de frequências baixas (G.A. Kobzev, 2000).

As variáveis do estudo desta equalização são a frequência de chaveamento, o valor do capacitor e a diferença de tensão da bateria.

Seu processo de equalização é bem simples. Um capacitor é conectado em paralelo com a célula de lítio mais carregada. Após um período de chaveamento determinado pelo usuário, este capacitor estará carregado com um determinado nível de tensão. Após período de chaveamento, este capacitor é conectado em paralelo com outra célula. Caso esta célula esteja com um nível de tensão menor que o capacitor, a mesma será carregada pelo capacitor. Passados alguns períodos de chaveamento, onde o capacitor se carrega e descarrega transferindo energia, as duas células de lítio estarão com o mesmo nível de tensão.

### FLYBACK

O principal elemento deste circuito é um transformador que é responsável pela transferência da energia da célula mais carregada para a célula menos carregada. A transferência de energia é feita pelo conversor Flyback utilizando o campo magnético de um transformador. Cuidados devem de ser tomados para não haver saturação no núcleo, um espaço de ar deve garantir uma relutância no núcleo, fazendo com que o transformador não venha a saturar. Deve-se usar um transformador de vários enrolamentos no secundário. Cada enrolamento do secundário está em paralelo com uma célula a serem balanceada. Já o primário está em paralelo com o arranjo em série de todas as células (Carl Bonfiglio, Werner Roessler, 2009).

A principal variável na elaboração deste conversor será a temporização do chaveamento, pois poderá alterar o comportamento do conversor devido as indutâncias presentes no circuito. Após a escolha do período de chaveamento, a malha de controle poderá ser implementada por um microcontrolador.

Seu processo de funcionamento é realizado mediante um conversor ADC, onde o mesmo irá fazer a leitura periodicamente do nível de tensão das células de lítio, após detectada a célula mais carregada e menos carregada o microcontrolador irá realizar o trabalho de abrir e fechar chaves que conectam a célula com o transformador presente no conversor. Suponha que uma célula esteja mais carregada, uma chave fará a conexão do secundário do transformador com a célula, seu excesso de energia será transferido para o transformador, após isto a célula é desconectada do transformador abrindo-se a chave que a conectava, feito isto outra chave fará com que o primário do transformador seja conectado em paralelo com todo o banco de células que compõem a bateria, e uma corrente irá fluir por todas as baterias, carregando igualmente todas elas.

### BUCK/BOOST

É necessário um conversor *buck/boost* a cada duas células de bateria, ou seja,  $N=2*K$ , onde  $N$  é o número de células de bateria e  $K$  o número de circuitos do conversor *buck/boost* presente (Shubiao Wang, Longyun Kang, Xiangwei Guo, Zefeng Wang, Ming Liu, 2017). O circuito de equalização necessita de um microcontrolador para fazer a leitura das tensões e realizar a diferença entre as mesmas e, após detectadas as células com maiores e menores valores de tensão acionar os MOSFETs para que ocorra a transferência de energia através do conversor *buck/boost*.

O processo de equalização é realizado utilizando-se indutores. Faz-se a leitura do nível de tensão das células e detecta-se qual deve ser balanceada. Uma chave irá conectar o indutor a célula mais carregada do sistema e, após um determinado período, este indutor irá ser conectado a célula menos carregada do sistema, transferindo sua energia para a referida célula.

Todas as baterias serão balanceadas pelo conversor *buck/boost* simultaneamente, fazendo com que o mesmo possa ser usado durante o processo de carga e descarga (Wei Hong, Kong-Soon Ng, Jin-Hsin Hu, Chin-Sien Moo, 2010). Esta vantagem o torna viável em diversas aplicações.

### EQUALIZAÇÃO PASSIVA

Este tipo de equalização se diferencia da equalização ativa devido ao fato de que ela irá dissipar a energia excessiva de uma célula ao invés de transferi-la para uma célula menos carregada. A equalização passiva é comumente usada devido a sua simplicidade. Esse método é de implementação simples e evita o projeto complexo dos sistemas ativos de equalização bem como reduz o custo visto que não utiliza elementos armazenadores de energia.

### RESISTOR PARALELO CHAVEADO

A topologia para este circuito está descrita na figura 2. O sistema usa uma unidade de balanceamento por célula de lítio e um gerenciamento central para fazer o controle. Para limitar a carga da célula, após a tensão da mesma atingir o valor máximo, um resistor é conectado em paralelo a fim de descarregá-la (Kristaps Vitols, 2014). A característica deste circuito obriga o mesmo a ser usado durante o processo de carga da bateria. Os equalizadores são construídos de tal forma que são conectados diretamente a cada terminal das células. Um MOSFET é usado para conectar o resistor a célula de lítio. Este transistor é controlado por um microcontrolador que monitora os valores de tensão de cada célula do pacote da bateria. Devido a corrente de carga ter valor elevado, um resistor de potência é utilizado de, usualmente 10W.

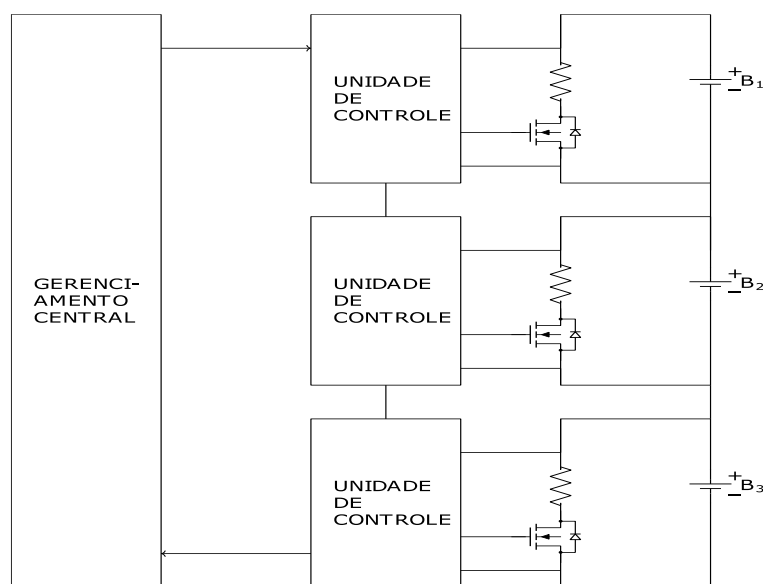


Figura 2– Estrutura para equalização utilizando resistor paralelo chaveado.  
 Fonte: Adaptado de Kristaps Vitols (2015).

## CONCLUSÕES

Este trabalho teve o propósito de levantar uma pesquisa aprofundada sobre métodos de equalizações ativas e passivas. Suas características e funcionalidades foram explanadas ao longo do texto. Devido as particularidades de cada método de equalização, suas aplicações podem variar se adequando as necessidades. O método de equalização passivo apresentou-se aplicável onde se quer rapidez e barateamento no processo de implementação, mas seu rendimento em comparação aos demais é baixo visto que o mesmo dissipa energia e não as transferem. Já em métodos ativos, detalhou-se 3 tipos, onde os mesmos apresentam um alto rendimento, devido ao fato de transferirem energia e não as dissiparem, mas estas topologias de circuitos apresentam um custo financeiro alto e complexidade frente aos métodos passivos, visto que malhas de controle irão ser necessárias para fazer o processo de leitura e ajuste dos parâmetros presentes no circuito.

## AGRADECIMENTOS

Faço meus agradecimentos primeiramente ao meu professor e orientador Rafael Cardoso, sem a sua ajuda e colaboração este trabalho não se realizaria. Gostaria de agradecer a universidade na qual estudo, UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ.

## REFERÊNCIAS

- CASPAR, M.; EILER, T.; HOHMANN, S. Systematic Comparison of Active Balancing: A Model-Based Quantitative Analysis. IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY, VOL. 67, 2018. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7762931>. Acesso em: 31 out. 2018.
- DAOWD, M.; OMAR, N.; VAN DEN BOSSCHE, P.; VAN MIERLO, J. Passive and Active Battery Balancing comparison based on MATLAB Simulation. IEEE Veh. Power Propulsion Conf., Sep. 2011, pp. 1–7. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6043010>. Acesso em: 16 abr. 2019.
- LU, R.; ZHU, C.; TIAN, L.; WANG, Q. Super-Capacitor Stacks Management System With Dynamic Equalization Techniques. IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, VOL. 43, NO. 1, JANUARY 2007. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4033076>. Acesso em: 25 jun, 2019.
- WEST, S.; KREIN, P. T. Switched-Capacitor Systems For Battery Equalization. IEEE Modern Techniques and Technology(MTT 2000). Proceedings of the VI International Scientific and Practical Conference of Students, Post-graduates and Young Scientists, pp. 57–59, 2000. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/896044>. Acesso em: 27 mai, 2019.

BONFIGLIO, C.; ROESSLER, W. A Cost Optimized Battery Management System with Active Cell Balancing for Lithium Ion Battery Stacks. IEEE Veh. Power Propulsion Conf., 2009, pp. 304–309. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5289837>. Acesso em: 08 jun, 2019.

WANG, S.; KANG, L.; GUO, X.; WANG, Z.; LIU, M. A Novel Layered Bidirectional Equalizer Based on a Buck-Boost Converter for Series-Connected Battery Strings. Energies 2017. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/10/7/1011/pdf>. Acesso em: 01 ago, 2019.

HONG, W.; NG, K-S.; HU, J-H.; MOO, C-S. Charge Equalization of Battery Power Modules in Series. The 2010 International Power Electronics Conference. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5544565>. Acesso em: 19 jul, 2019.

VITOLS, K. Design Of An Embedded Battery Management System With Passive Balancing. 6th European Embedded Design in Education and Research Conference (EDERC). 2014. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6924376>. Acesso em: 02 ago, 2019.

VITOLS, K. Efficiency of LiFePO<sub>4</sub> Battery and Charger with Passive Balancing. IEEE 3rd Workshop on Advances in Information, Electronic and Electrical Engineering. 2015. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7367295>. Acesso em: 08 ago, 2019.