

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

VINICIUS PEREIRA DA SILVA

**DESENVOLVIMENTO DE UM CIRCUITO DE INSTRUMENTAÇÃO PARA
EQUALIZAÇÃO HÍBRIDA**

PONTA GROSSA

2026

VINICIUS PEREIRA DA SILVA

**DESENVOLVIMENTO DE UM CIRCUITO DE INSTRUMENTAÇÃO PARA
EQUALIZAÇÃO HÍBRIDA**

**Development of an instrumentation circuit for
hybrid equalization**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia elétrica, da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR).

Orientadora: Profª Dra. Fernanda Cristina Correa

**PONTA GROSSA
2026**

VINICIUS PEREIRA DA SILVA

**DESENVOLVIMENTO DE UM CIRCUITO DE INSTRUMENTAÇÃO PARA
EQUALIZAÇÃO HÍBRIDA**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia elétrica, da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR).

Data de aprovação: 08/julho/2026

Fernanda Cristina Correa
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Eloi Agostini Junior
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

José Rodolfo Galvão
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

PONTA GROSSA

2026

RESUMO

DA SILVA, Vinicius Pereira. **Desenvolvimento de um circuito de instrumentação para equalização híbrida**: 2026. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2026.

Com o crescimento do setor de mobilidade elétrica e o aumento da demanda por Sistemas de Gerenciamento de Baterias (Battery Management Systems – BMS), a equalização de tensão das células tornou-se uma das funções mais importantes para garantir o desempenho, a segurança e a vida útil dos sistemas de armazenamento de energia. Nesse contexto, este trabalho apresenta o desenvolvimento de um circuito de instrumentação para equalização híbrida de baterias de íons de lítio, que combina técnicas passivas e ativas. O sistema desenvolvido é composto por um módulo de medição de corrente tensão e temperatura e por circuitos de equalização. No sistema de medição, a tensão das células foi monitorada por meio de divisores de tensão conectados ao conversor analógico-digital ADS1115. A corrente foi medida com o sensor LAH50-P, enquanto a temperatura foi monitorada com o sensor DS18B20. O circuito de equalização passiva foi implementado com resistores de 5 W para equalização entre células, resistores de 20 W para equalização entre módulos e transistores TIP31C para acionamento. O circuito de equalização ativa foi baseado em um conversor meia-ponte do tipo buck-boost, utilizando drivers IR2112 para acionar os MOSFETs P60N06. Essa configuração permite a transferência de energia do módulo de maior estado de carga para o de menor estado de carga, o que aumenta a eficiência do processo de balanceamento. O protótipo foi validado por meio de ensaios de descarga realizados a uma corrente de 0,5 C usando uma carga eletrônica. Os resultados demonstraram o desempenho do sistema proposto e evidenciaram as diferenças entre os métodos de equalização passiva e híbrida. Os testes indicaram que a estratégia híbrida apresentou menor tempo de equalização e menor desvio padrão das tensões entre as células, demonstrando um balanceamento mais uniforme e mostrando-se uma alternativa viável para aplicações em sistemas de baterias de íons de lítio.

Palavras-chave: Equalização híbrida; Instrumentação; Sistema de gerenciamento de baterias (BMS).

(x) Não autorizo a disponibilização de endereço de correio eletrônico para contato.

() Autorizo a disponibilização do seguinte correio eletrônico para contato:

ABSTRACT

DA SILVA, Vinicius Pereira. **Development of an instrumentation circuit for hybrid equalization**: 2026. Undergraduate Thesis (Bachelor of Electrical Engineering) – Federal University of Technology – Paraná (UTFPR), Ponta Grossa, Brazil, 2026. Desenvolvimento de um circuito de instrumentação para equalização híbrida

With the growth of the electric mobility sector and the increasing demand for Battery Management Systems (BMS), cell voltage balancing has become one of the most important functions for ensuring the performance, safety, and service life of energy storage systems. In this context, this work presents the development of an instrumentation circuit for hybrid balancing of lithium-ion batteries, combining passive and active balancing techniques. The developed system consists of a current, voltage, and temperature measurement module, as well as balancing circuits. In the measurement system, cell voltages were monitored through voltage divider circuits connected to the ADS1115 analog-to-digital converter. The current was measured using the LAH50-P current sensor, while the temperature was monitored using the DS18B20 temperature sensor. The passive balancing circuit was implemented using 5 W resistors for cell balancing, 20 W resistors for module balancing, and TIP31C transistors as switching devices. The active balancing circuit was based on a half-bridge buck-boost converter employing IR2112 gate drivers to drive the P60N06 MOSFETs. This configuration enables energy transfer from the module with the higher state of charge to the one with the lower state of charge, improving the balancing process. The prototype was validated through discharge tests conducted at a 0.5 C current using an electronic load. The results demonstrated the performance of the proposed system and highlighted the differences between passive and hybrid balancing methods. The tests showed that the hybrid strategy achieved a shorter balancing time and a lower standard deviation of cell voltages, resulting in more uniform cell balancing and demonstrating its suitability for lithium-ion battery energy storage applications.

Keywords: Hybrid Equalization; Instrumentation; Battery Management System (BMS).