

Projeto de um protótipo de Conversor Dual Active Bridge para aplicação de carga/descarga de bateria em uma microrrede CC

Marcus Vinícius Soares Sena¹, Adriano Fazolo Nardoto²

Engenharia

Introdução e Objetivo

A eletrônica de potência pode ser definida como a aplicação da eletrônica de estado sólido para controle e conversão de energia elétrica. Ela também pode ser definida como a arte de converter energia elétrica de uma maneira eficiente, limpa, compacta e arrojada para que a utilização dela satisfaça as eventuais necessidades (RASHID, 2014).

A diversificação de fontes geradoras de energia e a maior integração da eletrônica de potência nos sistemas elétricos têm impulsionado a pesquisa e o desenvolvimento de conversores avançados. Nesse contexto, estruturas que oferecem bidirecionalidade, alta densidade de potência e controle simplificado são cada vez mais necessárias (SANTOS; MARTINS, 2014).

Para a conexão do sistema de geração ao banco de baterias torna-se necessário o uso de um conversor CC-CC com elevado ganho de tensão, bidirecionalidade no fluxo de potência e isolamento galvânica. (COSTA et al., 2018)

Com a crescente demanda por energias renováveis, conversores avançados como o Dual Active Bridge (DAB) tornaram-se essenciais para aplicações como microrredes CC, devido à sua bidirecionalidade, isolamento galvânica e operação em alta frequência.

O desempenho de um conversor DAB depende diretamente da qualidade de seu circuito de acionamento (*gate driver*), que deve garantir a isolamento entre o controle e a potência e a inserção precisa de um tempo morto (*dead time*) para evitar curtos-circuitos e falhas nos componentes.

Este trabalho aborda o projeto, a montagem e a validação de um sistema de disparo para uma Ponte H, utilizando um microcontrolador para gerar sinais PWM de alta frequência com tempo morto e optoacopladores de alta velocidade para a isolamento, com o objetivo de criar uma plataforma robusta para futuras pesquisas com o conversor DAB.

¹Graduando em Engenharia Elétrica, Universidade Federal IFES - ES, soares.sena.vinicius@gmail.com;

² Mestre em Engenharia Elétrica, Instituto Federal do Espírito Santo - IFES, adriano.nardoto@ifes.edu.br.

Método e Metodologia

A implementação do hardware, montagem do protótipo e validação experimental. O esquemático e o layout da placa foram desenvolvidos no software EASY-EDA. A implementação do hardware utilizou uma placa Arduino Uno, que foi programada para gerar sinais PWM em alta frequência (20-30 kHz) através da manipulação direta de seus registradores internos. Para a isolamento galvânica entre o circuito de controle e o de potência, foi empregado o optoacoplador de alta velocidade 6N137, e um transistor BC577 foi utilizado para amplificar a tensão do sinal de acionamento. Uma fonte de alimentação dedicada foi construída com transformadores e reguladores de tensão (série LM78xx) para fornecer 5V, 12V e 24V de forma autônoma ao sistema. A placa de circuito impresso (PCI) foi confeccionada de forma artesanal, utilizando o método de corrosão por Perclorato de Ferro. Por fim, a validação do protótipo foi realizada com um osciloscópio para verificar a frequência, a integridade da forma de onda e a eficácia do tempo morto inserido nos sinais de saída.

Discussão e Resultados

A validação do protótipo foi executada em etapas, com testes realizados em cada bloco de forma individual e, posteriormente, no sistema de forma conjunta. Para as medições, foram utilizados um osciloscópio digital e um multímetro.

A fonte de alimentação dedicada, um bloco fundamental para a operação autônoma do sistema, foi validada com sucesso. Os testes confirmaram a estabilidade das três saídas de tensão projetadas: 5V para a alimentação dos optoacopladores 6N137, 12V como um estágio intermediário para não sobrecarregar o regulador de 5V, e 24V para alimentar o estágio de elevação de tensão do acionamento dos MOSFETs.

O desempenho do circuito de isolamento e acionamento foi o foco principal do trabalho, pois sua performance é crucial para a operação em alta frequência. A escolha do optoacoplador 6N137 foi motivada pela incapacidade de modelos convencionais em chavear em frequências superiores a 2 kHz. Os resultados experimentais demonstraram que o sinal PWM gerado pelo microcontrolador foi transmitido com sucesso através do 6N137 e do estágio de elevação com o transistor BC577, que amplificou o sinal para 24V. A integridade da forma de onda foi mantida na faixa de frequência de 20 kHz a 30 kHz, com apenas pequenas distorções que não afetaram a qualidade do acionamento.

Na geração dos sinais PWM e análise do tempo morto, o objetivo era produzir quatro saídas para o acionamento de uma ponte H com a inserção de um tempo morto para evitar curto-circuito. A análise dos sinais no osciloscópio mostrou um aparente desfasamento entre os tempos de subida e descida dos sinais complementares. Contudo, durante a aplicação em uma bancada de testes, foi constatado um curto-circuito entre as chaves, o que demonstrou uma falha crítica no algoritmo de implementação do tempo morto.

Por fim, a validação do transformador 1:1 de 600W foi realizada utilizando um gerador de funções para simular uma onda quadrada a 20 kHz, e a medição com o osciloscópio confirmou seu pleno funcionamento para aplicações futuras no conversor

Resultados e Discussão

A validação do protótipo foi executada em etapas, com testes realizados em cada bloco de forma individual e, posteriormente, no sistema de forma conjunta. Para as medições, foram utilizados um osciloscópio digital e um multímetro.

A fonte de alimentação dedicada, um bloco fundamental para a operação autônoma do sistema, foi validada com sucesso. Os testes confirmaram a estabilidade das três saídas de tensão projetadas: 5V para a alimentação dos optoacopladores 6N137, 12V como um estágio intermediário para não sobrecarregar o regulador de 5V, e 24V para alimentar o estágio de elevação de tensão do acionamento dos MOSFETs.

O desempenho do circuito de isolamento e acionamento foi o foco principal do trabalho, pois sua performance é crucial para a operação em alta frequência. A escolha do optoacoplador 6N137 foi motivada pela incapacidade de modelos convencionais em chavear em frequências superiores a 2 kHz. Os resultados experimentais demonstraram que o sinal PWM gerado pelo microcontrolador foi transmitido com sucesso através do 6N137 e do estágio de elevação com o transistor BC577, que amplifica o sinal para 24V. A integridade da forma de onda foi mantida na faixa de frequência de 20 kHz a 30 kHz, com apenas pequenas distorções que não afetaram a qualidade do acionamento.

Na geração dos sinais PWM e análise do tempo morto, o objetivo era produzir quatro saídas para o acionamento de uma ponte H com a inserção de um tempo morto para evitar curto-circuito. A análise dos sinais no osciloscópio, conforme ilustrado na Figura 2, mostrou um aparente desfasamento entre os tempos de subida e descida dos sinais complementares. Contudo, durante a

aplicação em uma bancada de testes, foi constatado um curto-circuito entre as chaves, o que demonstrou uma falha crítica no algoritmo de implementação do tempo morto.

Por fim, a validação do transformador 1:1 de 600W foi realizada utilizando um gerador de funções para simular uma onda quadrada a 20 kHz, e a medição com o osciloscópio confirmou seu pleno funcionamento para aplicações futuras no conversor.

Em suma, a obtenção de formas de onda limpas em alta frequência validou toda a construção do hardware, desde a fonte de alimentação até o estágio de saída. No entanto, a falha do tempo morto durante os testes práticos revelou que o hardware e o software não estavam em perfeita harmonia, indicando a necessidade de uma correção no algoritmo para o funcionamento seguro do circuito.

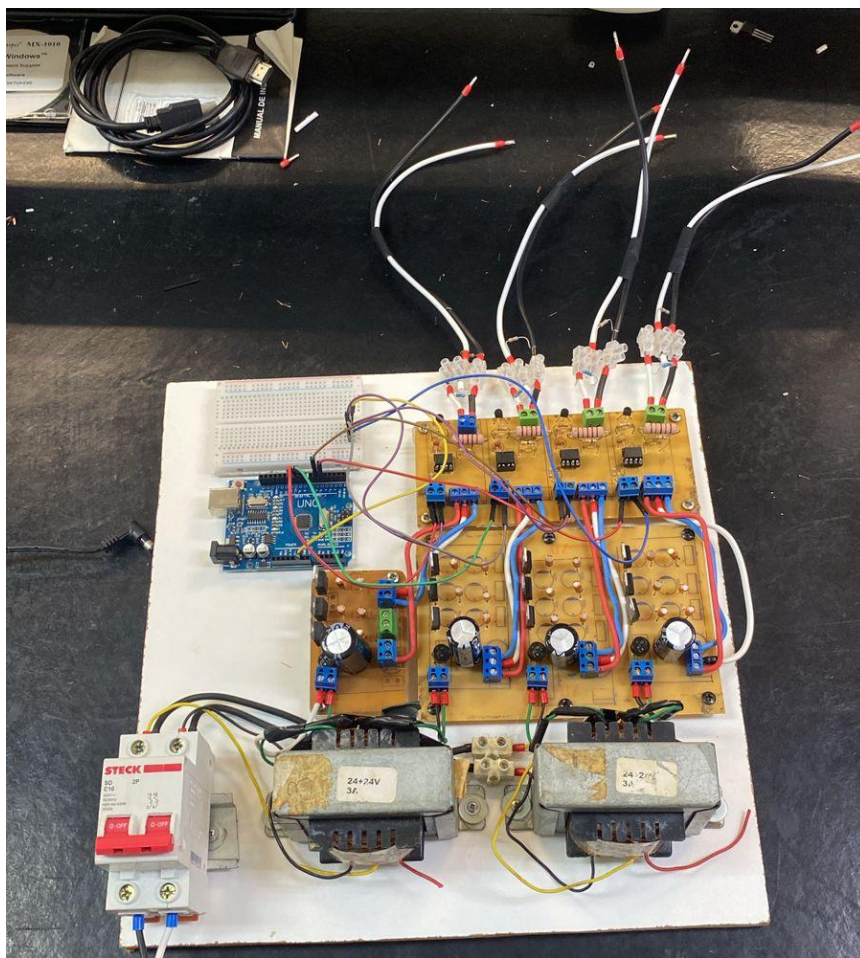


Figura 1 - Montagem do protótipo de disparo

Fonte: Marcus Sena (2025)

Agradecimentos/Apoio Técnico (opcional)

Venho agradecer ao IFES pelo apoio financeiro à pesquisa e laboratórios de ponta que foram necessários para pesquisa

Referências

SANTOS, Walbermark M. dos; MARTINS, Denizar C. Introdução ao conversor DAB monofásico. **Eletrônica de Potência**, Campo Grande, v. 19, n. 1, p. 36-046, dez./fev. 2013-2014.

RASHID, Muhammad H. **Eletrônica de Potência**: Circuitos, Dispositivos e Aplicações. Tradução de Claus Scheneider. 4. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2014.

COSTA, Pablo F. S.; LÖBLER, Pedro H. B.; TOEBE, Ademir; ROGGIA, Leandro; SCHUCH, Luciano. Modelagem e Controle do Conversor DAB Aplicado à Carga de Baterias. **Eletrônica de Potência**, [S. l.], v. 23, n. 3, p. 292–301, 2018. DOI: 10.18618/REP.2018.3.2780. Disponível em: <https://journal.sobraep.org.br/index.php/rep/article/view/129>. Acesso em: 12 aug. 2025.

VISHAY SEMICONDUCTORS. **6N137 High Speed Optocoupler**. Alldatasheet, 2019. Disponível em: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/652834/VISHAY/6N137.html>. Acesso em: 20 ago. 2025.

TEXAS INSTRUMENTS. **LM78xx Series Positive-Voltage Regulators**. Alldatasheet, 2022. Disponível em: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/551699/TI/LM78.html>. Acesso em: 20 ago. 2025.

PHILIPS SEMICONDUCTORS. **BC556; BC557 PNP general-purpose transistors**. Alldatasheet, 1997. Disponível em: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/16103/PHILIPS/BC557.html>. Acesso em: 20 ago. 2025.