SISTEMA DE MONITORAMENTO E CONTROLE VIA CELULAR DE CONVERSORES DE POTÊNCIA PARA MÓDULO DE GERENCIAMENTO ENERGÉTICO

Gabrielle Gomes Almeida[1] (IC), Robson Bauwelz Gonzatti[1] (PQ)
[1]*Universidade Federal de Itajubá.*

Palavras-chave: Aplicativo didático. Comunicação Bluetooth. Eletrônica de potência.

Introdução

A eletrônica de potência é uma área da engenharia que se dedica ao estudo e controle, da conversão e gerenciamento de energia elétrica por meio de circuitos eletrônicos. Essa conversão é realizada utilizando dispositivos semicondutores, diodos e transistores, como dispositivos de chaveamento (liga/desliga), os quais controlam ou modificam o valor da tensão ou da corrente de um circuito.[1] Os conversores de potência, conhecidos como inversores e choppers, desempenham funções importantes na conversão de sinais elétricos. Os inversores são responsáveis pela transformação de corrente contínua em corrente alternada (CC-CA), enquanto os choppers realizam a conversão de corrente contínua para corrente contínua (CC-CC). Esses dispositivos são amplamente utilizados em diversos setores, como indústrias e sistemas de energia renovável[2], permitindo o controle de motores, além da geração e distribuição de energia.

Devido à sua característica multidisciplinar, a eletrônica de potência exige o domínio de várias áreas da engenharia elétrica, como eletrônica, sistemas de controle automático e sistemas de potência.[3] Isso impõe o desafio de integrar o conhecimento adquirido em disciplinas anteriores. A capacidade de concatenar esses saberes é fundamental para o entendimento pleno dos sistemas de potência, o que torna o ensino prático indispensável.[4] Uma abordagem laboratorial ampla e bem estruturada é essencial para que os estudantes experimentem e visualizem o comportamento de circuitos e conversores de potência, fortalecendo a compreensão teórica e desenvolvendo habilidades técnicas importantes para sua formação e atuação profissional.

Com o objetivo de proporcionar uma abordagem laboratorial ampla e interativa e facilitar o aprendizado dos circuitos de potência, foi desenvolvido um aplicativo didático que permite o controle do chaveamento de diferentes tipos de conversores de potência, como inversores monofásicos, trifásicos e choppers. A comunicação entre o aplicativo e os conversores de potência é feita por meio de um módulo *Bluetooth* (HC-05) conectado ao Arduino MEGA 2560, o qual recebe os dados e os processa para gerar sinais de modulação por largura de pulso, em inglês Pulse Width Modulation (*PWM*) que controlam o chaveamento dos transistores bipolares de porta isolada, em inglês Insulated Gate Bipolar Transistors *IGBT*.

O aplicativo foi desenvolvido utilizando o editor de código *Visual Studio Code* e a linguagem de programação *Dart*. A interface do aplicativo foi implementada com o framework *Flutter*, o que possibilita a criação de um layout responsivo para diferentes dispositivos. A comunicação *Bluetooth* entre o aplicativo e o módulo *Bluetooth* do Arduino foi estabelecida por meio da biblioteca *flutter_bluetooth_serial*, que assegura uma conexão segura para o controle remoto dos conversores. Assim, o aplicativo se torna uma ferramenta importante no processo educativo, permitindo que os alunos apliquem os conhecimentos teóricos adquiridos em sala de aula em um ambiente prático, onde podem observar e interagir diretamente com os sistemas de potência, promovendo uma aprendizagem mais profunda e significativa.

Metodologia

O primeiro passo da pesquisa consistiu no estudo e análise dos conversores de potência do tipo inversor e chopper, visando compreender seus princípios de funcionamento e aplicações práticas. Na sequência, foi realizado o estudo dos protocolos de comunicação *Bluetooth* e serial, onde foram analisadas as especificações de transmissão e recepção de dados. Posteriormente, estudou-se o código previamente implementado no Arduino, responsável por enviar os comandos de chaveamento ao módulo didático Power Electronics Teaching System da empresa Semikron, que contém o driver SKHI 22, que por usa vez aciona os *IGBTs* por meio de sinais *PWM*. O estudo acerca dos conversores de potência e da comunicação *Bluetooth* e serial é essencial para o desenvolvimento das etapas práticas subsequentes.

Posteriormente, foi realizada uma análise

crítica do protótipo do aplicativo desenvolvido anteriormente utilizando o MIT App Inventor[5]. Essa etapa envolveu a avaliação da interface, da usabilidade e das limitações do protótipo, com foco na identificação de melhorias necessárias para a nova versão do aplicativo. Para realizar essa análise, foram utilizadas as Heurísticas de Nielsen[6], que são princípios de usabilidade que ajudam a identificar problemas na interface do usuário, como a visibilidade do status do sistema e a prevenção de erros. Com base nessa análise, foram feitas anotações sobre as mudanças necessárias para melhorar tanto a interface do usuário quanto a comunicação *Bluetooth*.

Após essa análise, foi conduzido um estudo para determinar a linguagem de programação e o framework mais adequados para o desenvolvimento do novo aplicativo. Considerando fatores como a eficiência da comunicação *Bluetooth*, a compatibilidade com dispositivos móveis e a eficiência das ferramentas disponíveis, optou-se pelo uso do framework *Flutter* e da linguagem *Dart*. A partir dessa escolha, foram realizados estudos adicionais para compreender as funcionalidades e a aplicabilidade dessas tecnologias no contexto do projeto.

Com a linguagem e o framework definidos, deu-se início ao desenvolvimento do aplicativo, utilizando a biblioteca *flutter_bluetooth_serial* para implementar a comunicação *Bluetooth* entre o aplicativo e o Arduino. Essa etapa envolveu a programação do aplicativo e a configuração da comunicação para garantir o envio e o recebimento corretos de dados necessários ao controle dos conversores de potência.

Posteriormente, foi montado um circuito de teste utilizando o módulo didático Power Electronics Teaching System da Semikron, representada pela Figura 1. Nesse circuito, o aplicativo controlaria os *IGBTs* através dos sinais *PWM* gerados pelo Arduino. A tensão de entrada do módulo foi definida por uma fonte de tensão variável, enquanto a tensão de saída foi aplicada a uma lâmpada que serviu como carga. O comportamento do circuito foi monitorado por meio de um osciloscópio, permitindo a observação dos sinais chaveados. O diagrama de blocos que representa o circuito de testes está ilustrado pela Figura 2.

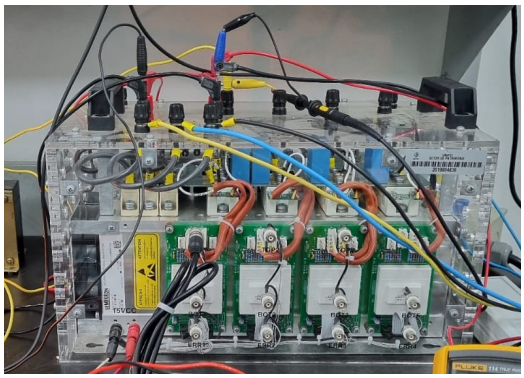

Figura 1 - Módulo didático Semikron

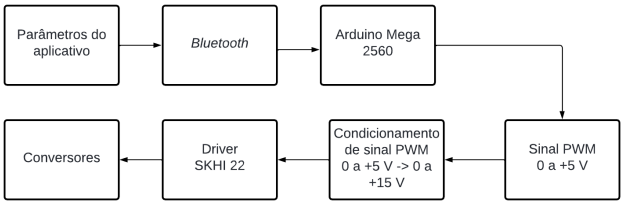

Figura 2 - Diagrama de blocos do circuito de testes
Fonte: autoria própria

Desta forma, foram realizados testes para validar a comunicação *Bluetooth* entre o aplicativo e o módulo didático Semikron. Esses testes focaram na verificação da transmissão correta de comandos de chaveamento e no ajuste da estabilidade da conexão. Com os ajustes feitos, o aplicativo foi validado por meio de testes funcionais onde a usabilidade, a precisão no controle dos conversores de potência e a eficácia da comunicação *Bluetooth* foram avaliadas.

Resultados e discussão

Os resultados obtidos durante a pesquisa demonstraram que o aplicativo desenvolvido foi capaz de estabelecer comunicação *Bluetooth* com o módulo *Bluetooth* conectado ao Arduino. Além disso, a análise da interface identificou melhorias na usabilidade, facilitando a navegação do usuário. A aplicação das Heurísticas de Nielsen possibilitou a identificação de aspectos que requeriam ajustes, como a visibilidade do estado do sistema e a consistência na interface, o que levou a melhorias significativas na experiência do usuário.

A primeira tela do aplicativo, ilustrada pela Figura 3, desempenha um papel importante no processo de conexão *Bluetooth*. Nessa interface, o usuário pode selecionar o dispositivo *Bluetooth* desejado para se conectar. Além disso, um guia passo a passo auxilia o usuário a seguir o procedimento correto de conexão com o módulo *Bluetooth*. Um botão localizado abaixo do guia permite que o aplicativo escaneie e exiba dispositivos *Bluetooth* disponíveis nas proximidades, facilitando a escolha e a conexão.

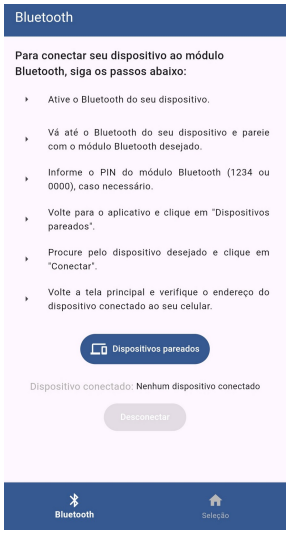

Figura 3 - Tela “Bluetooth” do aplicativo
Fonte: autoria própria

Na segunda tela, conforme mostrado na Figura 4, o usuário tem a opção de escolher entre três tipos de conversores: chopper, monofásico e trifásico. Ao optar pelo conversor chopper, o usuário é redirecionado para a terceira tela, ilustrada na Figura 5, onde pode definir a frequência de operação e o ciclo de trabalho, em inglês, duty cycle, que serão enviados ao Arduino. Para auxiliar o usuário, cada parâmetro é acompanhado de uma breve explicação. O duty cycle pode variar de 0 a 100%, e valores fora dessa faixa não serão transmitidos ao módulo *Bluetooth*. Para a frequência, o aplicativo oferece seis opções predefinidas, otimizando a escolha.

Figura 4 - Tela “Seleção” do aplicativo
Fonte: autoria própria

Figura 5 - Tela “Chopper” do aplicativo
Fonte: autoria própria

Ao definir no aplicativo uma frequência de operação de 4 kHz e um duty cycle de 90%, com uma tensão de entrada de 120 V fornecida pela fonte variável, o osciloscópio exibiu um sinal *PWM* que se alinhou com os parâmetros configurados. Como pode ser observado na Figura 6, o sinal de saída apresenta uma forma de onda quadrada característica do chaveamento do conversor chopper, com uma frequência de 4 kHz e um ciclo de trabalho de 90%, conforme esperado. Já a lâmpada conectada como carga no circuito apresentou uma luminosidade correspondente ao ciclo de trabalho aplicado, exibindo cerca de 90% da intensidade máxima, o que reflete o controle eficaz sobre o nível de potência entregue à carga. O circuito do montado para o conversor chopper está representado pela Figura 7.

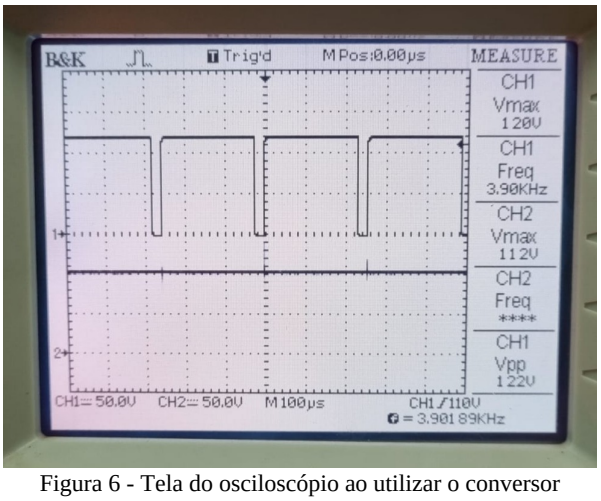

Figura 6 - Tela do osciloscópio ao utilizar o conversor Chopper na frequência de 4 kHz e duty cycle de 90%
Fonte: autoria própria

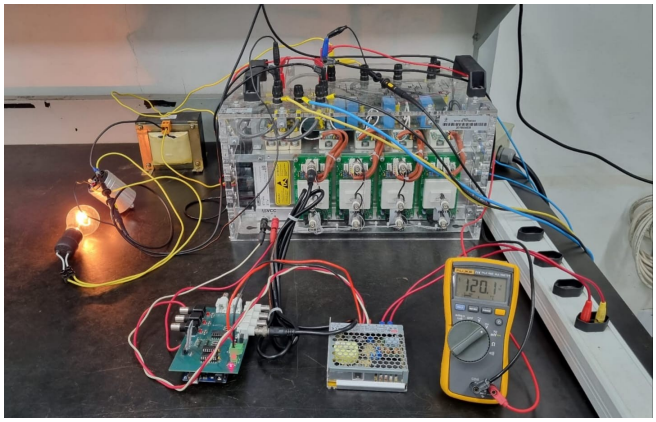

Figura 7 - Circuito montado para o conversor chopper
Fonte: autoria própria

Os resultados confirmaram que o aplicativo desenvolvido foi capaz de controlar os conversores de potência de forma precisa, utilizando a comunicação *Bluetooth* para transmitir os parâmetros configurados. A estabilidade dos sinais e a consistência com os valores esperados validam a eficácia do sistema para aplicações práticas de ensino e controle de eletrônica de potência.

Conclusões

O desenvolvimento do aplicativo para controle de conversores de potência via comunicação *Bluetooth* mostrou-se funcional, atingindo os objetivos estabelecidos nesta pesquisa. O aplicativo, implementado utilizando o framework Flutter e a linguagem Dart, demonstrou ser uma ferramenta eficiente para o controle remoto dos conversores de potência em um ambiente educacional, facilitando a interação dos alunos com os sistemas de potência. A interface redesenhada, baseada nas Heurísticas de Nielsen, resultou em melhorias significativas na usabilidade e na experiência do usuário.

Os testes realizados com os conversores validaram os parâmetros configurados, com o osciloscópio exibindo sinais *PWM* consistentes com a frequência e o ciclo de trabalho definidos no aplicativo. A resposta da carga, representada pela luminosidade da lâmpada, confirmou o controle efetivo sobre a potência fornecida, refletindo diretamente o duty cycle aplicado. Esses resultados demonstram que o sistema desenvolvido é estável e confiável, proporcionando uma plataforma prática para o ensino de eletrônica de potência.

Em resumo, a pesquisa atingiu seu objetivo principal de criar uma solução interativa e acessível para o controle de conversores de potência, oferecendo um recurso valioso para o aprendizado de conceitos teóricos e práticos.

Agradecimentos

Agradeço profundamente à Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) pelo suporte essencial oferecido para a realização desta pesquisa. Expresso também minha gratidão ao meu orientador, Robson Bauwelz Gonzatti, pela orientação ao longo do período de desenvolvimento do trabalho.

Referências

[1] WART, D. H. **Eletrônica de Potência**: análise e projetos de circuitos. São Paulo: AMGH Editora Ltda, 2012. 1 p.

[2] MUHAMMAD, R. H. **Eletrônica de potência**: Dispositivos, circuitos e aplicações. 4. ed. São Paulo: Person, 2014. 4 p.

[3] AGUIAR, M. L.; CICHY, E. C. C.; MONTEIRO, J. R. B. A.; NASCIMENTO, C. F.; OLIVEIRA, A. A. **Introducing the Learning of Active Power Filters Using the Software Matlab – Simulink**. IEEE *Xplore*, 2006. Disponível em: https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1567601.

[4] CARMO, M. J.; FARIA, A. L.; MACHADO, P. C. F.; OLIVEIRA, A. R. **Educação em eletrônica de potência:** a problemática entre teoria e prática e a carência de recursos laboratoriais. Abenge, 2011. Disponível em: https://www.abenge.org.br/cobenge/legado/arquivos/8/sessoestec/art1964.pdf.

[5] SILVA, L. P. D. et al. **Low-cost didactic module for single-phase inverter teaching.** In: Anais da 2017 Brazilian Power Electronics Conference (COBEP). Juiz de Fora, Brazil, 2017. Disponível em: https://ieeexplore.ieee.org/document/8257232. Acesso em: 03 out. 2024.

[6] PINHATA, Gabrielle. **10 heurísticas de Nielsen: Melhorando a usabilidade de suas interfaces**. Programmers, 2021. Disponível em: https://www.programmers.com.br/blog/10-heuristicas-de-nielsen-melhorando-a-usabilidade/. Acesso em: 29 de Setembro de 2024.