



ANEXO 4 - EDITAL 02/2024
FORMULÁRIO DE PROJETO DE PESQUISA

1 TÍTULO DO PROJETO

Desenvolvimento de Bancos de Parâmetros para Circuitos Analógicos Utilizando Potenciômetros Digitais

2 CAMPUS

Paracatu- MG

3 EDITAL

02/2024

4 INTRODUÇÃO

No campo da eletrônica, a necessidade de ajuste preciso de parâmetros em circuitos analógicos é fundamental para diversas aplicações, desde filtros de sinal até amplificadores de ganho programável [2]. Tradicionalmente, esses ajustes são realizados através de potenciômetros mecânicos, que, embora eficazes, apresentam limitações significativas em termos de precisão, durabilidade e facilidade de automação [4]. Com o avanço da tecnologia digital, surge a oportunidade de substituir esses componentes mecânicos por potenciômetros digitais, que oferecem maior precisão, confiabilidade e a capacidade de serem controlados programaticamente [1].

O presente projeto de pesquisa, intitulado "Desenvolvimento de Bancos de Parâmetros para Circuitos Analógicos Utilizando Potenciômetros Digitais", tem como objetivo explorar e implementar o uso de potenciômetros digitais em circuitos analógicos. A proposta central é utilizar um microcontrolador para controlar os potenciômetros digitais, permitindo a configuração e o armazenamento de múltiplas predefinições de controle. Isso mantém as características analógicas do sinal senoidal que atravessa o circuito, oferecendo flexibilidade e eficiência no ajuste dos parâmetros.

A substituição dos potenciômetros mecânicos por digitais não só melhora a precisão dos ajustes, mas também possibilita a automação dos processos de calibração e configuração dos circuitos [6]. Com isso, é possível desenvolver sistemas mais robustos e adaptáveis, que respondam rapidamente às necessidades de diferentes aplicações sem a intervenção manual contínua. Além disso, a capacidade de salvar predefinições permite uma rápida reconfiguração do



sistema, facilitando a adaptação a diferentes condições operacionais ou requisitos específicos de cada aplicação.

Com o desenvolvimento deste projeto, espera-se contribuir significativamente para o campo da eletrônica analógica, oferecendo uma solução inovadora que une a precisão e flexibilidade dos componentes digitais com as características desejáveis dos sinais analógicos. Este avanço tecnológico promete beneficiar uma ampla gama de aplicações, desde equipamentos de áudio de alta fidelidade até sistemas de controle industrial, marcando um importante passo na evolução dos circuitos eletrônicos.

5 OBJETIVOS DA ODS A SEREM TRABALHADOS e ou áreas do MCTI

5.1 Geral

O objetivo geral deste projeto é desenvolver e implementar bancos de parâmetros para circuitos analógicos utilizando potenciômetros digitais controlados por microcontroladores e mantendo a integridade dos sinais analógicos.

5.2 Específicos

Substituição de Controles Mecânicos por Digitais: Desenvolver métodos para substituir controles mecânicos por digitais em circuitos analógicos, garantindo maior variedade, versatilidade e durabilidade nos ajustes de parâmetros.

Criação de Bancos de Parâmetros para Maior Versatilidade do Equipamento: Desenvolver e implementar bancos de parâmetros que possam ser facilmente acessados e modificados, permitindo a rápida reconfiguração de circuitos analógicos para diferentes condições operacionais.

Aumento de Recursos Utilizando os Mesmos Controles: Explorar e implementar técnicas para aumentar a funcionalidade dos equipamentos existentes, utilizando os mesmos controles, mas com maior capacidade de ajuste e configuração programável.

Atuação e Configuração Remota: Desenvolver soluções para permitir a atuação e a configuração remota dos circuitos analógicos, facilitando a manutenção e a adaptação dos sistemas sem a necessidade de intervenção manual direta.

Análise e Testes de Desempenho: Realizar análises e testes de desempenho dos circuitos modificados para validar a eficácia, precisão e confiabilidade dos ajustes realizados pelos potenciômetros digitais.

6 EIXO DA PROPOSTA DE INOVAÇÃO

A proposta de inovação deste projeto está centrada na integração de tecnologias digitais em sistemas analógicos para aprimorar a precisão, flexibilidade e automação dos processos de ajuste de



parâmetros. A substituição de controles mecânicos por digitais controlados por microcontroladores representa um avanço significativo em relação aos métodos tradicionais, permitindo a criação de sistemas eletrônicos mais robustos e adaptáveis. A inovação reside na capacidade de desenvolver bancos de parâmetros programáveis, que aumentam a versatilidade dos equipamentos e permitem a configuração remota. Este projeto se alinha com as diretrizes do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) e contribui para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), promovendo a inovação tecnológica e a sustentabilidade nos processos eletrônicos.

7 DESCRIÇÃO DE PARCERIA OU CONVÊNIO (se houver)

8 ESTADO DA TÉCNICA

Adotar tecnologias baseadas em potenciômetros digitais tem se mostrado crucial para diversas aplicações que requerem ajuste preciso e controle de circuitos analógicos [10]. Por exemplo, potenciômetros digitais de alta resolução têm sido desenvolvidos para proporcionar ajustes finos em filtros RC analógicos, levando em conta tolerâncias de componentes passivos [30]. Esses dispositivos não apenas oferecem maior precisão na configuração de circuitos, mas também mitigam variações típicas encontradas em componentes analógicos tradicionais, resultando em desempenho mais consistente e previsível [32].

Além disso, a evolução dos potenciômetros digitais abrange aplicações em filtros ativos programáveis, onde sua capacidade de armazenar configurações permite ajustes dinâmicos e reconfiguração de parâmetros de filtragem em tempo real [15]. Isso é especialmente relevante em sistemas de áudio, onde potenciômetros digitais, como os da família MCP453X/455X da Microchip, são empregados para controlar atenuação e equalização com precisão [21].

No contexto de fontes de alimentação reguladas, os potenciômetros digitais são essenciais para o projeto de reguladores de tensão programáveis, facilitando ajustes de saída com base em feedbacks precisos e automação de circuitos de compensação linear [16]. Essa capacidade é exemplificada pelo uso de potenciômetros digitais na regulação de tensão em fontes de alimentação de alta tensão, onde a estabilidade e a precisão são críticas para operações seguras e eficientes [35].

Portanto, o avanço contínuo nas tecnologias de potenciômetros digitais não apenas amplia as possibilidades de controle e ajuste em circuitos analógicos complexos, mas também promove inovações significativas em áreas como áudio, filtragem ativa e reguladores de tensão [31]. As patentes e pesquisas citadas refletem um campo dinâmico de desenvolvimento, onde a integração de novos materiais e técnicas de fabricação continua a impulsionar o desempenho e a versatilidade desses dispositivos essenciais na engenharia eletrônica moderna.



9 MATERIAIS E MÉTODOS

Este projeto de pesquisa utilizará uma combinação estratégica de materiais e componentes para desenvolver bancos de parâmetros avançados para circuitos analógicos. Os potenciômetros digitais da série X9C [27] serão o núcleo central, proporcionando controle digital preciso dos parâmetros analógicos. Esses potenciômetros serão integrados e controlados pelo microcontrolador ESP32, que não apenas gerenciará as configurações digitais, mas também permitirá o armazenamento e a recuperação eficiente de múltiplos presets de ajuste.

O ESP32 é uma plataforma microcontrolada de 32 bits, com portas digitais, vários conversores digitais-analógicos e dois conversores analógicos-digitais.

Além dos potenciômetros digitais e do ESP32, o projeto incluirá chaves SPST momentâneas para operações de controle como acionamento e seleção de presets, bem como encoders digitais para ajustes finos dos parâmetros. Um display será utilizado para exibir informações relevantes aos usuários, oferecendo uma interface clara e intuitiva. A alimentação será garantida por uma fonte adequada, enquanto componentes eletrônicos gerais como resistores, capacitores, diodos, circuitos integrados e transistores serão empregados para suportar a funcionalidade dos circuitos analógicos desenvolvidos. A fabricação das PCBs será viabilizada por insumos específicos, assegurando a integração precisa e eficiente de todos os componentes eletrônicos.

10 DESENVOLVIMENTO DE INOVAÇÃO E POTENCIAL DE TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA

O desenvolvimento deste projeto oferece um potencial significativo de inovação e transferência de tecnologia no campo dos circuitos analógicos. A integração de potenciômetros digitais da série X9C, controlados pelo microcontrolador ESP32, representa uma inovação ao substituir métodos tradicionais de ajuste mecânico por soluções digitais, resultando em maior precisão, flexibilidade e durabilidade.

A principal inovação reside na criação de bancos de parâmetros programáveis, permitindo o armazenamento de múltiplos presets de configuração. Isso não apenas simplifica e acelera o processo de ajuste dos circuitos analógicos, mas também possibilita a adaptação rápida a diferentes condições operacionais sem necessidade de intervenção manual constante.

O potencial de transferência de tecnologia é substancial, abrangendo diversas áreas industriais e comerciais onde circuitos analógicos são utilizados, como controle de processos, equipamentos de áudio, sistemas de comunicação e automação industrial. A tecnologia desenvolvida pode ser integrada em produtos existentes para melhorar sua funcionalidade e competitividade no mercado, oferecendo aos usuários finais benefícios tangíveis em termos de desempenho, confiabilidade e facilidade de operação.



Em resumo, o projeto não apenas visa avançar o estado da arte em eletrônica analógica, mas também promover a adoção de soluções tecnológicas inovadoras que podem impactar positivamente diversas indústrias, contribuindo para o crescimento econômico e sustentável através da automação e otimização de processos.

11 RESULTADOS ESPERADOS

Os resultados esperados deste projeto incluem a substituição efetiva de controles mecânicos por soluções digitais, utilizando potenciômetros digitais controlados pelo ESP32 para proporcionar ajustes precisos e confiáveis nos circuitos analógicos. Além disso, espera-se desenvolver bancos de parâmetros que permitam o armazenamento e recuperação de múltiplos presets de configuração, ampliando significativamente a versatilidade operacional dos equipamentos. A integração dessas tecnologias não apenas aumentará os recursos disponíveis nos sistemas eletrônicos, mas também possibilitará a configuração remota dos circuitos, facilitando a adaptação rápida e eficiente às demandas variáveis de diferentes ambientes e aplicações industriais.

12 CRONOGRAMA FÍSICO DE EXECUÇÃO

(elencar principais atividades a serem realizadas durante o período de execução do projeto)

Atividades	Execução											
	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul
Revisão bibliográfica	x	x	x									
Módulo Potenciômetro Digital X9c104			x	x	x	x						
Desenvolvimento do protótipo							x	x	x	x		
Relatório final											x	x

13 PLANO DE TRABALHO DO BOLSISTA

(Detalha a participação do bolsista em cada atividade elencada)

Atividades	Ações
Revisão bibliográfica	Revisão da literatura e sobre o estado da arte



Módulo Potenciômetro Digital X9c104	Aquisição, estudo e testes do módulo
Desenvolvimento do protótipo	Construção da placa, testes do protótipo
Relatório final	Escrever o relatório final para entrega

14 PLANO DE TRABALHO DOS COLABORADORES

(Detalha a participação dos colaboradores em cada atividade elencada, se houver)

Atividades	Ações

15 MATURIDADE TECNOLÓGICA (marque com um X o nível de maturidade tecnológica da proposta descrita no projeto)

Marcação	TRL - <i>Technology Readiness Level</i>	Explicação
	TRL1 - Princípios básicos observados e relatados	Atividade de pesquisa científica. Possíveis aplicações da tecnologia ainda em estágio inicial.



	TRL2 - Conceito de tecnologia e/ou aplicação formulada	início da atividade inventiva. Neste nível a aplicação é ainda especulativa, não existe uma prova ou uma análise detalhada que suporte a conjectura. Aplicações conceituais são mencionadas de forma consistente, porém não necessariamente comprovada.
x	TRL3 - Prova experimental de conceito	Início da atividade de investigação e desenvolvimento. Estudos analíticos para ajustar a tecnologia a um certo contexto e estudos laboratoriais para validar fisicamente se as previsões baseadas nos resultados analíticos estão corretas. Estes estudos e experiências devem constituir uma validação do tipo “prova do conceito” das aplicações/conceitos formulados no nível anterior (TRL2).
	TRL4 - Tecnologia validada em laboratório	Quando a prova de conceito está finalizada. Nesta etapa vários componentes são testados uns com os outros. A tecnologia é validada, assim, por meio de investigação laboratorial, de modo a perceber se os requisitos da performance de aplicação podem ser atingidos. Análise da funcionalidade de todos os componentes envolvidos, porém não representa o desempenho final do sistema.



	TRL5 - Tecnologia validada em ambiente relevante	A tecnologia deve passar por testes mais rigorosos, executados em ambientes que se assemelham ao máximo possível da realidade. Neste nível, a confiabilidade da tecnologia aumenta significativamente.
	TRL6 - Tecnologia demonstrada em ambiente relevante	Neste estágio, a tecnologia está pronta para a realização de testes finais em um ambiente que contém características do ambiente final, visando futura aplicação final e comercialização (protótipo ou um modelo representacional totalmente funcional).
	TRL7 - Demonstração de protótipo do sistema em ambiente operacional	Neste estágio são realizados ensaios com o protótipo, porém em ambiente operacional, utilizando parâmetros reais, para análise da integração da tecnologia no sistema operacional.
	TRL8 - Sistema completo e qualificado	Toda a tecnologia que tenha sido testada, qualificada e está pronta para ser implementada.
	TRL9 - Sistema real comprovado em ambiente operacional	A tecnologia foi implementada e se provou eficaz. O sistema foi operado em todas as condições, extensão e alcance.



16 REFERÊNCIAS

Livros:

- [1] BALL, Stuart R. **Analog Interfacing to Embedded Microprocessor Systems**. Burlington: Newnes, 2004. ISBN 0-7506-7723-6.
- [2] KESTER, Walt (ed.). **Data Conversion Handbook**. United States of America: Newnes, 2005. ISBN 0-7506-7841-0.
- [3] FOWLER, Kim R et al. **Developing and Managing Embedded Systems and Products: Methods, Techniques, Tools, Processes, and Teamwork**. United States of America: Newnes, 2015. ISBN 978-0-12-405879-8.
- [4] ZUMBAHLEN, Hank. **Linear Circuit Design Handbook**. United States of America: Newsnes, 2008. ISBN 978-0-7506-8703-4.
- [5] NAWROCKI, Waldemar. **Measurement Systems and Sensors**. 2. ed. United States of America: Artech House, 2016. ISBN 978-1-60807-932-2.
- [6] SHA, Zhanyou et al. **OPTIMAL DESIGN OF SWITCHING POWER SUPPLY**. China: Wiley, 2015. ISBN 9781118790908.
- [7] SMITH, Jack R. **Programming the PIC Microcontroller with MBasic**. United States of America: Newnes, 2005. ISBN 0-7506-7946-8.
- [8] CULLEN, Charlie. **Learn Audio Electronics with Arduino: Practical Audio Circuits with Arduino Control**. [S. l.]: Routledge, 2020. ISBN 9780429588884.
- [9] HYDE, Randall. **The Book of I²C: A Guide for Adventurers**. United States of America: No Starch Press, Inc, 2023. ISBN 978-1-7185-0247-5.

Patentes:

- [10] SHICHANG, YIN. **High resolution digital potentiometer**. Depositante: PORIN INTELLIGENT TECHNOLOGY (BEIJING) CO., LTD. 207490884. Depósito: 25 jul. 2017. Concessão: 12 jun. 2018.



[11] HANYU, GU et al. **High-precision digital potentiometer**. Depositante: GUANGDONG APT ELECTRONICS CO., LTD. 212586733. Depósito: 13 ago. 2020. Concessão: 23 fev. 2021.

[12] YONGHUI, DENG et al. **Crystal oscillator output frequency calibration device and method based on digital potentiometer**. Depositante: SHAANXI FENGHUO ELECTRONICS CO., LTD. 107947769. Depósito: 29 dez. 2017. Concessão: 20 abr. 2018.

[13] DIFENG, CHEN et al. **Ammeter based on digital potentiometer**. Depositante: TAIZHOU VOCATIONAL & TECHNICAL COLLEGE. 211979027. Depósito: 23 abr. 2020. Concessão: 20 nov. 2020.

[14] JIAN, WANG et al. **Digital potentiometer**. Depositante: SICHUAN AGRICULTURAL UNIVERSITY. 204758675. Depósito: 28 jul. 2015. Concessão: 11 nov. 2015.

[15] QIANGWEI, LI et al. **Signal processing circuit with digital potentiometer**. Depositante: ZHEJIANG POLICE COLLEGE. 204465483. Depósito: 10 abr. 2015. Concessão: 8 jul. 2015.

[16] YUNXUAN, JIANG et al. **Voltage automatic regulating apparatus based on digital potentiometer**. Depositante: ZHENGZHOU YUNHAI INFORMATION TECHNOLOGY CO., LTD. 207867380. Depósito: 5 jan. 2018. Concessão: 14 set. 2018.

[17] LI, DING et al. **Digital potentiometer power supply circuit**. Depositante: SICHUAN TRINIDAD ELECTRONIC EQUIPMENT CO., LTD. 215642446. Depósito: 29 set. 2021. Concessão: 25 jan. 2022.

[18] JINHUI, Deng et al. **Nonvolatile digital potentiometer system**. Depositante: Fremont Micro Devices, Inc. 101840759. Depósito: 19 mar. 2009. Concessão: 22 set. 2010.

[19] ZHI, Wang et al. **DIGITAL POTENTIOMETER-BASED LED DIMMING CIRCUIT**. Depositante: JIANGSU BOQUAN MEDICAL TECHNOLOGY CO., LTD. 107770903. Depósito: 28 dez. 2016. Concessão: 6 mar. 2018.

Datasheet:

[20] Microchip Technology Inc. Datasheet: MCP4011/2/3/4 Low-Cost 64-Step Volatile Digital POT. Publicação Eletrônica, 2017.



[21] Microchip Technology Inc. Datasheet: MCP453X/455X/463X/465X 7/8-Bit Single/Dual I2C Digital POT with Volatile Memory. Publicação Eletrônica, 2013.

[22] Microchip Technology Inc. Datasheet: MCP454X/456X/464X/466X 7/8-Bit Single/Dual I2C Digital POT with Nonvolatile Memory. Publicação Eletrônica, 2013.

[23] Maxim Integrated. Datasheet: MAX5456/MAX5457 Stereo Audio Taper Potentiometers with Pushbutton Interface. Publicação Eletrônica, 2012.

[24] Maxim Integrated. Datasheet: DS1804 Nonvolatile Trimmer Potentiometer. Publicação Eletrônica, 2011.

[25] Texas Instruments. Datasheet: TPL0102-EP 256-Taps Dual-Channel Digital Potentiometer With Non-Volatile Memory. Publicação Eletrônica, 2014.

[26] Analog Devices. AD8400/AD8402/AD8403 1-/2-/4-Channel Digital Potentiometers. Publicação Eletrônica, 2010.

[27] Intersil. X9C102, X9C103, X9C104, X9C503 Digitally Controlled Potentiometer (XDCP™). Publicação Eletrônica, 2009.

[28] Renesas. X9C102, X9C103, X9C104, X9C503 Digitally Controlled Potentiometer (XDCP™). Publicação Eletrônica, 2019.

[29] Digital potentiometers in the tasks of settings precision analog RC-filters taking into account the tolerances for passive components

Publicações Acadêmicas:

[30] Lunca, E., Damian, C., Petrisor, D., & Postolache, O. (2012). **Programmable active filters based on digital potentiometers**. International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering. 2012 doi:10.1109/icepe.2012.6463583

[31] Denisenko, D., Prokopenko, N., Butyrlagin, N., & Vikulina, E. **Multi-Functional Programmable Active RC-Filters with Digital Elements for Parameter Resetting**. 2020 IEEE International



Conference on Electrical Engineering and Photonics (EExPolytech). 2020.

doi:10.1109/eexpolytech50912.2020.9243963

[32] Rathee, N., Gupta, A., Singh, S., Devasia, R., & Bansal, A. **Digital resistance box: An approach to generate desired value of resistance by automatically varying the potentiometer.** 2016 IEEE 1st International Conference on Power Electronics, Intelligent Control and Energy Systems (ICPEICES). 2016. doi:10.1109/icpeices.2016.7853694

[33] Guochen, A., & Zhanyou, S. **Programmable Voltage Regulator Design based on Digitally Controlled Potentiometer.** 2007 8th International Conference on Electronic Measurement and Instruments. 2007. doi:10.1109/icemi.2007.4350484

[34] Wanzhen, Z., Zhanyou, S., Zhiyong, M., & Yunfeng, X. **Design of Serial/Parallel Communication Interface of Digital Potentiometer with PC.** 2007 8th International Conference on Electronic Measurement and Instruments. 2007. doi:10.1109/icemi.2007.4350876

[35] Xin, C., Yan, M., Li Cheng-xiang, Chen-guo, Y., Du Lin, & Shi-shou, W. **Programmable voltage regulating method for high voltage DC power supply based on digital potentiometer and linear photoelectric coupling.** 2008 International Conference on High Voltage Engineering and Application. 2008. doi:10.1109/ichve.2008.4774042

[36] Guangquan, Z., Jiwei, Z., Sirui, X., & Wei, X. **Research on Thermistor Simulation Based on Digital Potentiometer for Microsatellites.** 2014 Fourth International Conference on Instrumentation and Measurement, Computer, Communication and Control. 2014. doi:10.1109/imccc.2014.15