

Controle de Carga de Bateria com Placa Voltaica

Relatório de Revisão Rápida

Lucas Eduardo Schlenert de Oliveira¹, Manoella Rockembach¹, Rodrigo Ferraz Souza¹

¹Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

engcomp.lucasedu@gmail.com

manu.rockemba@gmail.com

dev.rodrigofs@gmail.com

Abstract. *This report delves into the development of a battery charge control system using a voltaic plate, specifically for a Lead-Acid battery (12V 5Ah). The core of this project revolves around the use of PWM control to manage the voltage and current from the plate to the battery, ensuring efficient energy management. The system aims to control the battery's charging in various States of Charging, ensuring efficient and safe charging. Furthermore, the project seeks to integrate communication with external systems, transmitting voltage and current data to a rain gauge project server via an MQTT Broker. A mobile application will also allow local access to charging data via Bluetooth. Advanced features, such as alert systems, are proposed, but due to time constraints, they might not be incorporated.*

Resumo. *Este relatório aprofunda-se no desenvolvimento de um sistema de controle de carga de bateria usando uma placa voltaica, especificamente para uma bateria de Chumbo-Ácido (12V 5Ah). O cerne deste projeto gira em torno do uso do controle PWM para gerenciar a tensão e a corrente da placa para a bateria, garantindo uma gestão eficiente de energia. O sistema visa controlar o carregamento da bateria em vários Estados de Carga, assegurando um carregamento eficiente e seguro. Além disso, o projeto busca integrar a comunicação com sistemas externos, transmitindo dados de tensão e corrente para um servidor de projeto de pluviômetro via um Broker MQTT. Um aplicativo móvel também permitirá o acesso local aos dados de carregamento via Bluetooth. Funcionalidades avançadas, como sistemas de alerta, são propostas, mas devido a limitações de tempo, elas podem não ser incorporadas.*

1. Introdução

Em um mundo crescentemente voltado para soluções sustentáveis, a gestão eficiente de energia torna-se uma prioridade. Neste contexto, o presente documento aborda o desenvolvimento de um sistema de controle de carga de bateria de **Chumbo-Ácido (12V 5Ah)** utilizando uma placa voltaica. O cerne deste projeto é a utilização de um controle PWM para gerenciar a tensão e corrente da placa em direção à bateria, garantindo uma gestão eficaz da energia.

O sistema controlará o carregamento da bateria em diversos *States of Charging*, assegurando um carregamento eficiente e seguro, o que contribui para maximizar o tempo

de vida da bateria. Além da eficiência no controle de energia, o projeto visa uma comunicação integrada com sistemas externos. Os dados de tensão e corrente serão transmitidos para um servidor do projeto do pluviômetro por meio de um *Broker MQTT*. Adicionalmente, um aplicativo móvel permitirá o acesso local aos dados de carregamento via bluetooth. Como um diferencial, há a proposta de implementar um sistema de alertas. No entanto, devido a limitações de tempo, essa funcionalidade pode não ser incorporada. Caso seja, os alertas serão gerados pelo servidor já existente, com base nas entradas de dados dos sensores. Uma inovação desejada é que, ao identificar uma situação crítica, uma notificação de alerta seja enviada ao aplicativo móvel do usuário por meio do *Google Firebase*.

Quanto à organização deste documento, após esta introdução, abordaremos a metodologia adotada para o desenvolvimento do projeto, detalhando os critérios de inclusão e exclusão, bem como o processo de seleção de estudos relevantes. Posteriormente, será realizada uma análise aprofundada dos resultados obtidos, culminando nas conclusões, onde serão sintetizadas as principais descobertas e considerações finais sobre o projeto.

2. Metodologia

Com o intuito de realizar uma revisão rápida, as seguintes strings de pesquisa foram construídas e aplicadas nas bases de referência IEEE, Web of Science e Scopus:

- ("photovoltaic"OR "solar panel"OR "PV") AND ("PWM"OR "Pulse Width Modulation") AND ("charge controller"OR "charge regulator"OR "charging technique") AND ("lead-acid"OR "VRLA")
- ("battery charging"OR "charge regulation"OR "charge control") AND ("SoC"OR "State of Charging"OR "charging state"OR "battery status") AND ("lead-acid"OR "Pb-acid"OR "VRLA") AND ("efficiency"OR "safety"OR "parameters"OR "measures"OR "best practices")

As strings encontraram ao todo 62 artigos nas bases usadas, excluindo os 30 artigos duplicados detectados pelo *Rayyan*, a ferramenta usada para a seleção primária da literatura encontrada.

2.1. Critérios de Inclusão e Exclusão

Para orientar a seleção dos artigos e a extração das informações, foram utilizadas as perguntas de pesquisa mostradas abaixo:

1. Quais são os métodos mais eficientes e amplamente utilizados para controlar a tensão e corrente de placas fotovoltaicas usando PWM?
2. Quais são os métodos mais precisos e confiáveis para estimar o estado de carregamento (SoC) de baterias, especialmente de chumbo-ácido, em sistemas fotovoltaicos autônomos?
3. Quais parâmetros e medidas são essenciais para carregar uma bateria com eficiência e segurança utilizando controle PWM?
4. Existem diferenças significativas no carregamento de baterias de lítio e chumbo-ácido quando utilizadas em sistemas fotovoltaicos com controle PWM?
5. Qual é a eficácia do controle PWM em comparação com outros métodos de controle em sistemas fotovoltaicos?

6. Considerando a flexibilidade da arquitetura proposta, quais são os desafios associados à sua implementação e manutenção em um ambiente real?

Com base nestas perguntas, regras para seleção foram criadas e organizadas em uma tabela de critérios de inclusão e exclusão de artigos, mostrado a seguir.

Critério	Cumpre o Critério	Não Cumpre o Critério
Utiliza métodos para controlar a tensão e corrente de placas fotovoltaicas usando PWM?	Próximo critério.	Exclusão.
Utiliza métodos para estimar o estado de carregamento (SoC) de baterias em sistemas fotovoltaicos autônomos?	Próximo critério.	Exclusão.
Utiliza de baterias de chumbo-ácido?	Inclusão.	Próximo critério.
Discute quais parâmetros e medidas são essenciais para carregar uma bateria com eficiência e segurança utilizando controle PWM?	Inclusão.	Exclusão.

2.2. Seleção de Estudos

A partir da leitura dos resumos dos artigos, e considerando as perguntas de pesquisa, foram analisados todos os 62 artigos. Destes, 17 artigos foram incluídos na revisão e 43 artigos foram descartados. Os motivos para exclusão são os seguintes: 13 artigos estão fora do escopo de pesquisa, 12 usam componentes errados, 10 aplicam métodos diferentes, 8 não são relevantes para esta revisão e 2 não foi possível obter o PDF.

A análise quantitativa de cada etapa no processo de seleção de artigos pode ser melhor visualizada no diagrama a seguir:

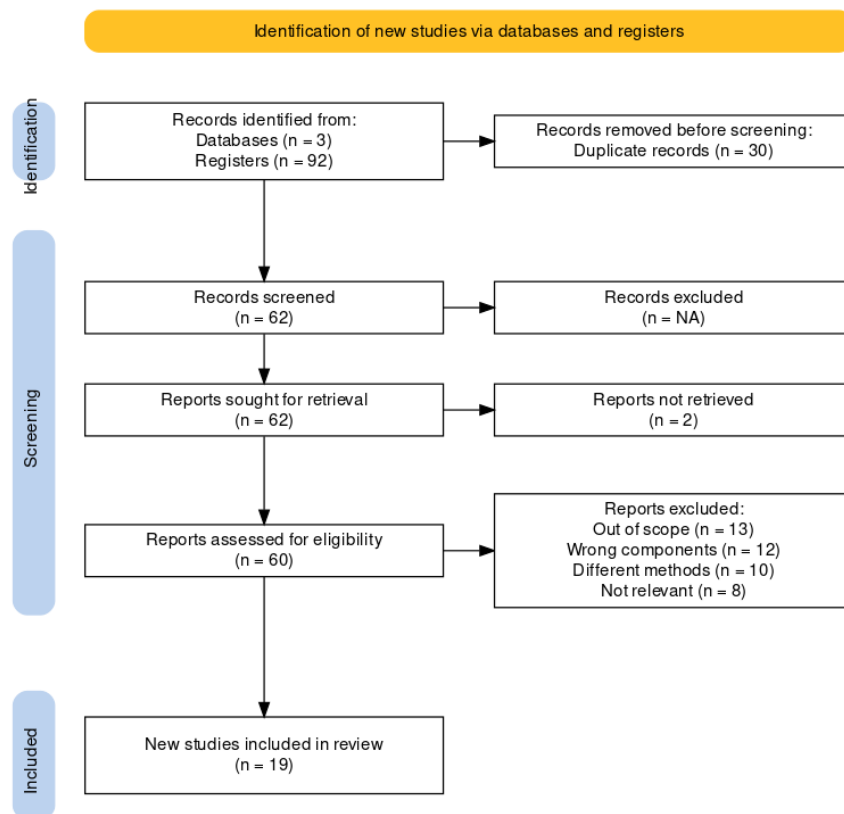


Figura 1. Diagrama gerado no PRISMA

3. Resultados e Discussão

3.1. Tipos de Baterias Estudadas

A predominância das baterias de chumbo-ácido nos estudos reflete sua ampla utilização na indústria e pesquisa. [Wang et al. 2021] exploraram a determinação online do estado das baterias de chumbo-ácido para a gestão energética de veículos. No entanto, baterias de lítio e VRLA também foram mencionadas, indicando uma diversidade de aplicações e contextos de pesquisa [Alvarez Anton et al. 2013, Faiz et al. 2021, Chmielewski et al. 2018, Lavety et al. 2019, Lin et al. 2016].

3.2. Métodos de Controle

Os métodos de controle variam desde técnicas tradicionais, como PWM, até abordagens mais inovadoras. [Faiz et al. 2021] utilizaram a Modulação por Largura de Pulso (PWM) em um controlador de carga solar, enquanto [Singh and Mishra 2013] propuseram um carregador bidirecional de bateria otimizado com feedback-clamped. Outros estudos, como [Dufo-Lopez et al. 2015, Victor et al. 2019, Antonov et al. 2019, Yoomak et al. 2018, Teo et al. 2013, Belarbi et al. 2019], também destacaram a importância e eficácia de diferentes técnicas de controle para otimizar a carga da bateria.

3.3. Estimação do SoC

A estimativa do SoC é crucial para a gestão eficaz da bateria. [Wang et al. 2021] empregaram um algoritmo de estimativa colaborativa para determinar o estado das baterias de chumbo-ácido. Por outro lado, [Alvarez Anton et al. 2013] utilizaram Máquinas

de Vetores de Suporte para estimar o SoC de uma bateria de lítio. Além disso, [Dufo-Lopez et al. 2015] e [Maithili et al. 2021] também abordaram a importância da estimativa precisa do SoC para garantir a eficiência e longevidade da bateria.

3.4. Eficiência Energética

A eficiência energética é um pilar central nos estudos revisados. [Singh and Mishra 2013] relataram eficiências máximas de 90,24% e 92,7% em diferentes modos de operação de seu protótipo. [Faiz et al. 2021] destacaram uma eficiência de 94% para carga de bateria e 93% para carga total em seu controlador de carga solar. Outros estudos, como [Huang et al. 2010, Lin et al. 2016, Yoomak et al. 2018], também enfatizaram a importância da eficiência energética na gestão de baterias.

3.5. Desafios de Implementação

A implementação de sistemas de bateria eficientes não está isenta de desafios. [Gies 2009] explorou a necessidade de ventilação de gás hidrogênio em equipamentos elétricos contendo baterias de chumbo-ácido. Por outro lado, [Victor et al. 2019] discutiram a importância de escolher o controlador de carga correto para otimizar a eficiência. Além disso, [Akbar et al. 2016] e [Teo et al. 2013] abordaram os desafios associados à modelagem dinâmica e otimização de sistemas de geração de energia autônomos.

3.6. Técnicas e Estratégias de Carregamento

Diversas estratégias de carregamento foram exploradas nos estudos. [Lavety et al. 2019] propôs uma estratégia de carregamento de corrente constante multi-etapa para baterias VRLA. [Lin et al. 2016] apresentou um sistema de carregamento de bateria eficiente baseado em uma estratégia ideal de múltiplos estados. Enquanto isso, [Belarbi et al. 2019] discutiu os limites operacionais dos controladores de carga da bateria, e [Yoomak et al. 2018] projetou um carregador solar que desafia vários níveis de irradiância solar e temperatura para armazenamento de energia.

3.7. Aplicações e Contextos de Pesquisa

A diversidade de aplicações e contextos de pesquisa em gestão de baterias é evidente nos estudos revisados. [Chmielewski et al. 2018] investigaram a aplicação de baterias em sistemas de armazenamento de energia renovável, enquanto [Alvarez Anton et al. 2013] focaram em sistemas de backup de energia para infraestruturas críticas. Além disso, [Huang et al. 2010] e [Akbar et al. 2016] exploraram a integração de baterias em micro-redes e sistemas de geração de energia distribuída, respectivamente.

3.8. Estratégias Avançadas de Carregamento

Além das estratégias tradicionais de carregamento, novas abordagens estão sendo exploradas para melhorar a eficiência e a vida útil das baterias. [Lavety et al. 2019] introduziu uma estratégia de carregamento adaptativo baseada em feedback para baterias de íon-lítio. [Lin et al. 2016] propôs um método de carregamento rápido que minimiza o estresse térmico na bateria. [Belarbi et al. 2019] e [Yoomak et al. 2018] discutiram estratégias de carregamento otimizadas para baterias em sistemas solares fotovoltaicos.

4. Conclusão

A gestão eficiente de baterias é fundamental para otimizar a integração de fontes de energia renovável, como painéis solares, em sistemas de armazenamento de energia. Este estudo revisou extensivamente a literatura sobre gestão de baterias, modelagem, simulação e estratégias avançadas de carregamento. Com base nessa revisão, podemos extrair insights cruciais para o projeto em questão, que visa desenvolver um controlador PWM usando MOSFET para uma bateria de chumbo ácido estacionária de 15V com um painel solar de 20W.

Estratégias de Carregamento: Como destacado por [Lavety et al. 2019], a implementação de estratégias de carregamento adaptativo pode ser crucial para maximizar a eficiência do carregamento da bateria de chumbo ácido, especialmente quando alimentada por um painel solar de 20W. Considerando as variações na geração de energia solar, um carregamento adaptativo pode ajustar dinamicamente a taxa de carregamento para garantir a saúde da bateria.

Monitoramento e Feedback: A integração de sistemas de monitoramento, como proposto por [Lin et al. 2016], pode ser benéfica para o projeto. Monitorar a temperatura e outros parâmetros vitais da bateria pode ajudar a prevenir situações de estresse térmico e prolongar a vida útil da bateria. onfigurações do controlador PWM para otimizar o desempenho da bateria.

Integração com Painel Solar: O trabalho de [Belarbi et al. 2019] e [Yoomak et al. 2018] sobre estratégias de carregamento para baterias em sistemas solares fotovoltaicos é particularmente relevante. A implementação de algoritmos que considerem a variação na geração de energia solar pode ajudar a otimizar o carregamento da bateria e garantir uma operação eficiente.

Considerações Finais: O projeto proposto é uma combinação de hardware e software que visa otimizar o armazenamento e a utilização de energia solar. Com base na literatura revisada, é evidente que a combinação de estratégias avançadas de carregamento, monitoramento em tempo real e comunicação eficiente via MQTT pode levar a um sistema robusto e eficiente. Recomenda-se também a realização de testes extensivos em condições variadas para validar e refinar o sistema proposto.

Referências

- [Akbar et al. 2016] Akbar, N., Islam, M., Ahmed, S., and Hye, A. (2016). Dynamic model of battery charging. *IEEE Region 10 Annual International Conference, Proceedings/TENCON*, 2016. Export Date: 03 September 2023; Cited By: 4.
- [Alvarez Anton et al. 2013] Alvarez Anton, J., Garcia Nieto, P., Blanco Viejo, C., and Vilan Vilan, J. (2013). Support vector machines used to estimate the battery state of charge. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 28(12):5919–5926. Export Date: 03 September 2023; Cited By: 316 — RAYYAN-LABELS: to find out the difference between state of CHARGE and state of CHARGING.
- [Antonov et al. 2019] Antonov, I., Kanchev, H., and Hinov, N. (2019). Study of pwm solar charge controller operation modes in autonomous dc system. *2019 International Conference on High Technology for Sustainable Development, HiTech 2019*. Export Date: 03 September 2023; Cited By: 4.

- [Belarbi et al. 2019] Belarbi, M., Kacher, A. D. E., and Hallouz, Z. (2019). Operating limits of battery charge controllers - 2019 8th international conference on renewable energy research and applications (icrera 2019). pages 749–754. International Conference on Renewable Energy Research and Applications, Brasov, ROMANIA, NOV 03-06, 2019.
- [Chmielewski et al. 2018] Chmielewski, A., Mozaryn, J., Piórkowski, P., and Bogdziński, K. (2018). Comparison of narx and dual polarization models for estimation of the vrla battery charging/discharging dynamics in pulse cycle. *Energies*, 11(11). Export Date: 03 September 2023; Cited By: 3.
- [Dufo-Lopez et al. 2015] Dufo-Lopez, R., Artal-Sevil, J., Bernal-Agustin, J., and Dominguez-Navarro, J. (2015). Effect of the mppt and soc control of the charge controller in pv systems. *2015 17th European Conference on Power Electronics and Applications, EPE-ECCE Europe 2015*. Export Date: 03 September 2023; Cited By: 2.
- [Faiz et al. 2021] Faiz, M., Kusumaningdyah, J., and Razak, F. (2021). Charging characteristics of solar panels with charging system using pulse width modulation control. *7th International Conference on Electrical, Electronics and Information Engineering: Technological Breakthrough for Greater New Life, ICEEIE 2021*. Export Date: 03 September 2023; Cited By: 0.
- [Gies 2009] Gies, D. (2009). Safety of electrical equipment containing lead acid batteries. *2009 IEEE Symposium on Product Compliance Engineering*, pages 1–7.
- [Huang et al. 2010] Huang, B., Hsu, P., Wu, M., and Ho, P. (2010). System dynamic model and charging control of lead-acid battery for stand-alone solar pv system. *Solar Energy*, 84(5):822–830. Export Date: 03 September 2023; Cited By: 43.
- [Lavety et al. 2019] Lavety, S.,hya, Keshri, R. K., and Given, M. A. C. (2019). Multi-step constant current charging strategy for a valve regulated lead-acid battery - 2019 iee transportation electrification conference (itec-india). IEEE Transportation Electrification Conference (ITEC-India), Bengaluru, INDIA, DEC 17-19, 2019.
- [Lin et al. 2016] Lin, H. C., He, Y. J., and Liu, C. W. (2016). Design of an efficient battery charging system based on ideal multi-state strategy - 2016 international symposium on computer, consumer and control (is3c). pages 956–959. 3rd International Symposium on Computer, Consumer and Control (IS3C), Natl Chin Yi Univ Technol, Xian, PEOPLES R CHINA, JUL 04-06, 2016.
- [Maithili et al. 2021] Maithili, P., Kavitha, R., Nithishkumar, R., Ganeshbharathi, T., Kannan, S. V., and Kumar, R. M. (2021). Intelligent battery management system. *2021 International Conference on Advancements in Electrical, Electronics, Communication, Computing and Automation (ICAECA)*, pages 1–5.
- [Singh and Mishra 2013] Singh, R. and Mishra, S. (2013). A magnetically coupled feedback-clamped optimal bidirectional battery charger. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 60(2):422–432. Export Date: 03 September 2023; Cited By: 69.
- [Teo et al. 2013] Teo, K. T. K., Goh, H. H., Chua, B. L., Tang, S. K., and Tan, M. K. (2013). Modelling and optimisation of stand alone power generation at rural area. *2013 IEEE International Conference on Consumer Electronics - China*, pages 51–56. RAYYAN-LABELS: it's possible to learn about the SoC with fuzy logic.
- [Victor et al. 2019] Victor, A., Mahato, D., Pundir, A., and Saxena, G. (2019). Design, simulation and comparative analysis of different types of solar charge controllers for optimized efficiency. *Proceedings - 2019 Women Institute of Technology Conference*

on *Electrical and Computer Engineering, WITCON ECE 2019*, pages 17–21. Export Date: 03 September 2023; Cited By: 1.

[Wang et al. 2021] Wang, Y., Huang, F., Pan, B., Li, Y., and Liu, B. (2021). Augmented system model-based online collaborative determination of lead–acid battery states for energy management of vehicles. *Measurement and Control (United Kingdom)*, 54(1):88–101. Export Date: 03 September 2023; Cited By: 4.

[Yoomak et al. 2018] Yoomak, S., Jettanasen, C., and Ngaopitakkul, A. (2018). Design of solar charger challenging various solar irradiance and temperature levels for energy storage. *INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATIVE COMPUTING INFORMATION AND CONTROL*, 14(6):2071–2090.