

Análise para Otimização da Eficiência Energética em Carregadores Solares: Estudo do Módulo STEVAL-ISV012V1

Mickaelly Freitas Nobre¹, Luis Rodolfo Rebouças Coutinho¹, Antonio Rafael Braga¹,
Francisco Ítalo de A. Moraes¹, Monalisa Silva Bezerra¹

¹Campus Quixadá – Universidade Federal do Ceará (UFC)
Av. José de Freitas Queiroz, 5002 – Cedro Novo – CEP: 63.902-580 – Quixadá-Ceará

{mickaelly01nobre, monasilva, francisco.italo}@alu.ufc.br

{rodolfoforbcoutinho, rafaelbraga}@ufc.br

Abstract. *This article presents a preliminary analysis of the STEVAL-ISV012V1 module, a photovoltaic solar charging system designed to optimize energy efficiency. The module consists of the SPV1040 component, responsible for maximum power point tracking (MPPT), and the L6924D, which regulates the battery charge. The MPPT technology of the SPV1040 aims to maximize the conversion and storage of solar energy. Although the module's performance has not yet been experimentally validated, comparative studies indicate that the proposed implementation is simpler while achieving the same efficiency as other solutions found in the literature. This efficiency will be confirmed in subsequent stages through simulations and testing. The goal of this article is to provide a solid foundation for future investigations into the implementation of efficient solutions in photovoltaic systems, highlighting the potential of the STEVAL-ISV012V1 module.*

Resumo. *Este artigo apresenta uma análise preliminar do módulo STEVAL-ISV012V1, um sistema de carregamento solar fotovoltaico desenvolvido para otimizar a eficiência energética. O módulo é composto pelos componentes SPV1040, responsável pelo rastreamento do ponto de máxima potência (MPPT), e L6924D, que regula a carga da bateria. A tecnologia MPPT do SPV1040 tem como objetivo maximizar a conversão e o armazenamento de energia solar. Embora o desempenho do módulo ainda não tenha sido validado experimentalmente, estudos comparativos indicam que a implementação proposta é mais simples e apresenta a mesma eficiência que outras soluções encontradas na literatura. Essa eficiência será confirmada em etapas subsequentes por meio de simulações e testes. O objetivo deste artigo é fornecer uma base sólida para investigações futuras sobre a implementação de soluções eficientes em sistemas fotovoltaicos, destacando as potencialidades do módulo STEVAL-ISV012V1.*

Palavras-chave: Módulo STEVAL-ISV012V1. SPV1040. MPPT. Eficiência energética.

1. Introdução

A crescente demanda por soluções energeticamente eficientes tem impulsionado o desenvolvimento de tecnologias inovadoras, especialmente nas áreas de Internet das Coisas (IoT) e sistemas de energia renovável. O uso de fontes sustentáveis, como a energia solar, tornou-se crucial para garantir a autonomia e a viabilidade de dispositivos

eletrônicos, especialmente em cenários de baixa energia. Isso requer o aprimoramento contínuo das tecnologias de carregamento solar, uma tendência destacada na literatura recente [Sioshansi 2014], com ênfase no desenvolvimento de sistemas que maximizem a eficiência na conversão e armazenamento de energia [Maka and Alabid 2024].

O módulo STEVAL-ISV012V1 é uma solução avançada para sistemas fotovoltaicos, projetado para otimizar a conversão e gestão da energia solar. Com o SPV1040, um conversor DC-DC de alta eficiência, e o L6924D, um regulador de tensão preciso, o módulo assegura a extração máxima de potência dos painéis solares, fornecendo energia estável e eficiente, como descrito no [STMicroelectronics 2021].

2. Fundamentos de Eficiência Energética

O MPPT (*Maximum Power Point Tracking*)⁸, Rastreamento do Ponto de Máxima Potência, é uma técnica aplicada no módulo SPV1040 que otimiza o ponto de operação dos painéis solares, maximizando a extração de energia ao adaptar-se dinamicamente às variações de irradiância e temperatura, conforme mencionado em [Lapsongphon and Nualyai 2021]. Essa técnica ajusta o ponto de operação DC do sistema para garantir que a impedância de entrada (Z_{in}) seja igual à impedância da fonte de alimentação (Z_m), otimizando assim a extração de potência. Quando essa condição é atendida ($Z_{in} = Z_m$), a potência extraída do painel ($P_{in} = V_{in} \times I_{in}$) alcança seu valor máximo ($P_m = V_m \times I_m$) [STMicroelectronics 2021].

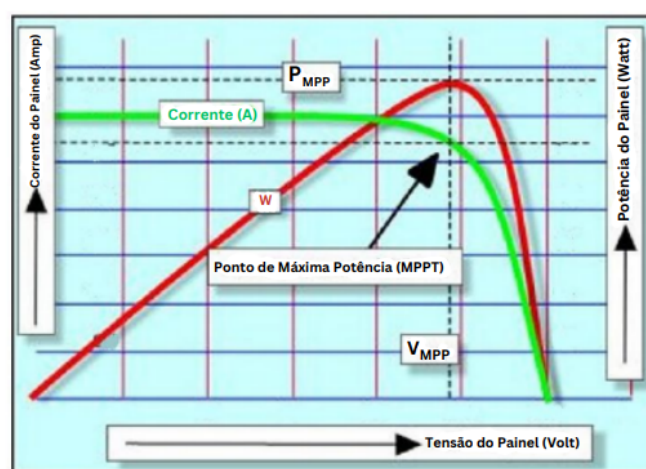


Figura 1. Princípio de Funcionamento do MPPT ¹

Na Figura 1, as curvas de tensão-corrente (V-I) e tensão-potência (V-P) de um painel fotovoltaico são fundamentais para o funcionamento do MPPT. A curva V-I indica os pontos de operação possíveis para uma determinada irradiância, enquanto a curva V-P mostra o ponto de máxima potência, ao qual o sistema busca ajustar-se para otimizar a captação de energia.

O uso do MPPT em sistemas fotovoltaicos não só aumenta a eficiência na captação de energia, como também garante um carregamento otimizado das baterias, melhorando a longevidade do sistema e o retorno do investimento [Bukhori et al. 2021].

¹Fonte: https://www.st.com/resource/en/product_presentation/spv1040solarbatterycharger.pdf; Acesso : 08/10/2024

3. Descrição do Módulo STEVAL-ISV012V1

Esta seção apresenta a descrição do diagrama do módulo STEVAL-ISV012V1, segmentado em blocos, acompanhada de uma explicação detalhada de cada bloco.

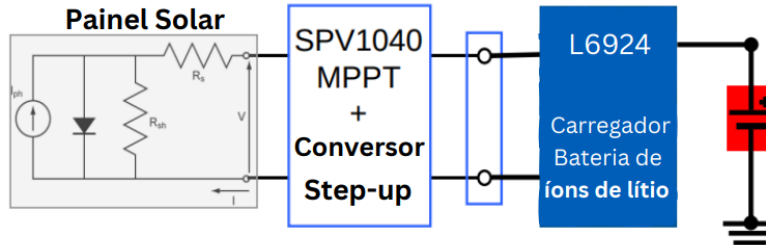


Figura 2. Diagrama do Módulo STEVAL-ISV012V1 ²

A Figura 2 ilustra o diagrama do módulo STEVAL-ISV012V1, composto por quatro elementos principais, cada um com uma função específica e complementar. O primeiro elemento, denominado 'Painel Solar', é responsável pela captação da energia solar, que serve de base para os processos subsequentes. O segundo elemento, o SPV1040, otimiza a conversão de energia, ajustando dinamicamente o ponto de operação com uma eficiência de 95% [STMicroelectronics nd]. O terceiro bloco, o carregador de bateria L6924, regula a corrente de carga, assegurando um armazenamento seguro e eficiente da energia. Finalmente, o quarto elemento é a bateria Li-ion MH12210, com tensão nominal de 3,7V e capacidade de 1200mAh, que integra o sistema de monitoramento e controle de carga, permitindo uma gestão precisa do armazenamento de energia. Os capacitores no diagrama funcionam como filtros, atenuando os ruídos indesejados ao longo de todo o processo.

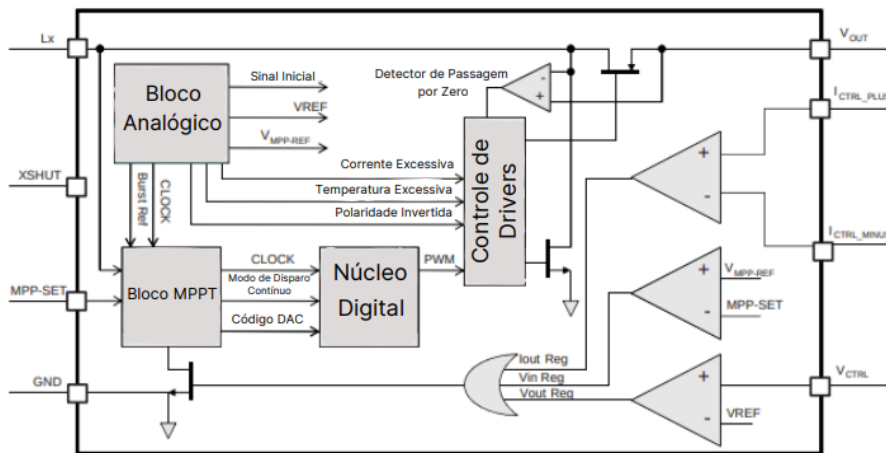


Figura 3. Diagrama Interno do SPV1040 ³

O SPV1040, como mostrado na Figura 3, é um conversor DC-DC de alta eficiência projetado para otimizar a captação de energia de fontes de baixa tensão, como painéis solares, regulando a saída de forma segura e eficiente. A energia entra pelo pino LX e passa

²Fonte: https://www.st.com/resource/en/product_presentation/spv1040solarbatterycharger.pdf; Acesso : 08/10/2024

³Fonte: https://www.st.com/resource/en/application_note/an4050-stevalisv012v1-lithiumion-solar-battery-charger-stmicroelectronics.pdf; Acesso : 08/10/2024

por um Detector de Passagem por Zero e pelo bloco de Controle de Driver, que gerenciam os MOSFETs internos para uma comutação eficiente. O Bloco Analógico fornece referências de tensão internas e gera o sinal de partida para o sistema. Em conjunto com o Núcleo Digital, o bloco MPPT executa o algoritmo de rastreamento de máxima potência MPPT, ajustando o ciclo de trabalho do PWM conforme necessário para maximizar a captação de energia. A regulação da tensão de saída é gerida por loops de controle: um divisor de resistores externo define o ponto de regulação de tensão, enquanto um resistor de detecção (R_s) controla o ponto de regulação de corrente, ambos monitorados por amplificadores operacionais (op-amps). O SPV1040 inclui proteção contra corrente excessiva, desligando o switch de potência N-channel se a corrente ultrapassar 1,8 A, e proteção contra temperatura excessiva, desligando o switch ao atingir 155 °C e religando-o quando a temperatura cai abaixo de 130 °C. Outras proteções incluem bloqueio por subtensão e proteção contra polaridade reversa, evitando danos em caso de conexão incorreta. Em condições de baixa potência ou quando a carga está completa, o dispositivo entra em modos de operação burst ou sleep-in para economizar energia; além disso, o pino XSHUT pode desativar todo o circuito para reduzir ainda mais o consumo, como descrito no [STMicroelectronics nd].

4. Resultado com Base na Análise Comparativa de Estudos Análogos

O artigo [Veras et al. 2020] apresenta o desenvolvimento de um sistema fotovoltaico de 5,2 kWp conectado à rede, cujo objetivo é maximizar a potência extraída e manter alta qualidade na injeção de corrente, com baixa distorção harmônica. Para atingir o ponto de máxima potência MPPT, utilizou-se a técnica *Perturbe & Observe*, e a injeção de corrente na rede foi realizada com controle por corrente média, monitorando tensão e corrente por meio de um conversor CC/CA e estabilizando a forma de onda com um filtro LC. O sistema foi simulado no *software* PSIM e obteve resultados promissores, mantendo um fator de potência elevado (0,98) e uma baixa taxa de distorção harmônica (10%), mesmo com radiação solar variando entre 700 e 1000 W/m², demonstrando a eficiência do controle para aplicações conectadas à rede e contribuindo para a diversificação sustentável da matriz energética.

Além disso, o artigo [Zerouali et al. 2023] propõe um sistema fotovoltaico que usa lógica *fuzzy* para otimizar o rastreamento do ponto de máxima potência MPPT e um controlador PI ótimo para regular a tensão e corrente de um conversor DC-DC *Buck*, visando carregar a bateria de forma eficiente. O estudo foi realizado por meio de simulações, nas quais a lógica *fuzzy* foi aplicada para lidar com variações na irradiação solar e temperatura, características típicas das condições climáticas reais. O controlador PI ótimo foi comparado ao controlador PID clássico, e os resultados mostraram que o PI ótimo teve uma resposta mais precisa e melhor desempenho no controle do carregamento da bateria. As simulações confirmaram que a combinação de lógica *fuzzy* e controlador PI ótimo aumentou a eficiência do sistema na extração de potência máxima e no carregamento da bateria.

Por outro lado, o módulo STEVAL-ISV012V1, projetado para gerenciamento de carga solar, não utiliza a técnica *Perturbe & Observe* ou controlador PID para controlar a eficiência e o gerenciamento da carga da bateria. Em vez disso, conta com um regulador de tensão como um recurso adicional, que desempenha essas funções de maneira eficiente. Essa abordagem torna a solução mais simples, mas igualmente eficaz em comparação com

os outros estudos apresentados.

5. Conclusão

Este artigo analisou o módulo STEVAL-ISV012V1, destacando seu potencial de eficiência energética com tecnologia MPPT. As observações iniciais indicam boa capacidade de otimização da conversão e armazenamento de energia solar. O módulo é promissor para sistemas fotovoltaicos, mas estudos futuros são necessários para confirmar os resultados.

Dessa forma, atualmente, concluímos o desenvolvimento do esquemático do módulo STEVAL-ISV012V1, com todas as suas conexões. O próximo passo consiste na elaboração de uma PCB dedicada a este módulo.

Referências

- [Bukhori et al. 2021] Bukhori, S., Patrama, A. P., and LGMRQDUNR (2021). An improving efficiency mppt in pv systems with a modified voltage regulator. In *2021 International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA)*, pages 1–6. IEEE.
- [Lapsongphon and Nualyai 2021] Lapsongphon, C. and Nualyai, S. (2021). A comparison of mppt solar charge controller techniques: A case for charging rate of battery. In *2021 Research, Invention, and Innovation Congress: Innovation Electricals and Electronics (RI2C)*, pages 278–281.
- [Maka and Alabid 2024] Maka, A. O. and Alabid, J. M. (2024). Solar energy technology and its roles in sustainable development. *The Libyan Centre for Research and Development of Saharan Communities*. The Libyan Centre for Research and Development of Saharan Communities, Mourzuq, Libya; Robert Gordon University, School of Architecture and Built Environment, Garthdee House, Garthdee Road, Aberdeen, AB10 7QB, UK; Faculty of Engineering, Civil & Structural Engineering, University of Bradford, Bradford, UK.
- [Sioshansi 2014] Sioshansi, F. P. (2014). *Energy Efficiency: Towards the End of Demand Growth*. Academic Press.
- [STMicroelectronics 2021] STMicroelectronics (2021). An4050 - application note - steval-isv012v1 lithium-ion solar battery charger. Accessed: 2024-11-07.
- [STMicroelectronics nd] STMicroelectronics (n.d.). Spv1040 solar energy harvesting ic. <https://www.st.com/resource/en/datasheet/spv1040.pdf>. Accessed: 2024-11-06.
- [Veras et al. 2020] Veras, C. K. O., Alves, B., Silva, R. T. G. d., Antunes, F. L. M., Moura, T. P., and Silva, M. P. F. (2020). Sistema fotovoltaico conectado à rede com rastreamento do ponto de máxima potência e controle por corrente média. In *VIII Congresso Brasileiro de Energia Solar*, Fortaleza. UFC, UNILAB. 01 a 05 de junho de 2020.
- [Zerouali et al. 2023] Zerouali, M., El Ougli, A., Tidhaf, B., and Zrouri, H. (2023). Fuzzy logic mppt and battery charging control for photovoltaic system under real weather conditions. *Electronics and Systems Laboratory (LES), Faculty of Sciences, Oujda, Team of Embedded Systems, Renewable Energy and Artificial Intelligence, National School of Applied Sciences, Mohammed First University*.