

14º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2023

Desenvolvimento de um dispositivo para o monitoramento de parâmetros de painéis fotovoltaicos

NICOLAS H. ASAI¹, PABLO R. SOUZA²

¹ Graduando em Engenharia Elétrica, Bolsista PIBIFSP, IFSP, Câmpus Piracicaba, nicolas.asai@ifsp.edu.br.

² Professor de Eletrônica Analógica, Eletrônica de Potência e Microcontroladores, Orientador, IFSP, Câmpus Piracicaba, pablo@ifsp.edu.br.

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.04.03.03-0

RESUMO: A geração de energia elétrica a partir da energia solar tem crescido significativamente nos últimos anos, se tornando uma fonte importante na matriz elétrica brasileira. As condições de operação dos painéis fotovoltaicos no local de instalação, podem ser diferentes dos valores padronizados de irradiância 1000W/m², e temperatura 25°C, afetando os valores nominais disponibilizados na especificação técnica do painel. Essa divergência entre os valores nominais de tensão, corrente e potência do painel pode comprometer a quantidade de energia gerada. O propósito deste projeto é o desenvolvimento de um dispositivo eletrônico capaz de monitorar o desempenho de painéis fotovoltaicos utilizando sensores de tensão e corrente. Foram desenvolvidos circuitos eletrônicos para condicionar a tensão e corrente de um painel fotovoltaico, produzindo sinais de tensão adequados para serem aplicados nas entradas analógicas de um microcontrolador. As informações extraídas dos sinais dos sensores poderão ser utilizadas em sistemas de manutenção preditiva, indicando a necessidade de manutenção no painel.

PALAVRAS-CHAVE: sensor de corrente; sensor de tensão; condicionamento de sinais; painel fotovoltaico.

Development of a device to monitoring parameters of photovoltaic panels

ABSTRACT: The generation of electrical energy from solar energy has grown significantly in recent years, becoming an important source in the Brazilian electrical matrix. The operating conditions of the photovoltaic panels at the installation site may be different from the standardized values of irradiance 1000W/m², and temperature 25°C, affecting the nominal values available in the technical specification of the panel. This divergence between the nominal values of voltage, current and power of the panel can compromise the amount of energy generated. The purpose of this project is the development of an electronic device capable of monitoring the performance of photovoltaic modules using voltage and current sensors. The voltage and current of a photovoltaic panel conditioned by electronic circuits, produced suitable voltage signals to apply to the analog inputs of a microcontroller. Predictive maintenance systems can use the information extracted from the sensor signals to indicate the need for maintenance on the panel.

KEYWORDS: currency sensor; voltage sensor; signal conditioning; photovoltaic panel.

INTRODUÇÃO

O crescente interesse em energia elétrica fotovoltaica leva muitas pessoas a buscarem essa tecnologia por questões ecológicas e financeiras, provendo uma fonte de energia elétrica denominada limpa e autônoma. O Brasil atingiu 2 milhões de sistemas fotovoltaicos instalados pelo país (CNN, 2023). Contudo dois fatores preocupantes sobre essa fonte de energia, sua eficiência e seu funcionamento apropriados, riscos decorrente do transporte, posicionamento ou instalação dos módulos fotovoltaicos, além das condições climáticas e de temperatura impostas sobre as placas, resultam em danos e consequentes perdas energéticas a longo prazo imperceptíveis, como quebra de células, bolhas de gases, “trilhas de caracol” (Diniz, 2020), ponto quente e degradações induzidas por potencial e luz (Mesquita 2020).

O avanço tecnológico e a expansão da internet podem corroborar com o desenvolvimento de soluções para o monitoramento contínuo dos painéis fotovoltaicos para gerar dados vitais em sistemas de manutenção preditiva, o desenvolvimento de um dispositivo microcontrolado capaz de efetuar as leituras da tensão e corrente nos painéis fotovoltaicos localmente e transmitir esses dados via internet utilizando a Internet das Coisas (IoT), como já é utilizado IoT com o consumo e geração de energia (Barreiros et al., 2018). Neste artigo será apresentado o desenvolvimento dos circuitos de condicionamento da tensão e corrente do painel fotovoltaico, que geram os sinais de tensão que poderão ser processados e transmitidos por um microcontrolador.

MATERIAL E MÉTODOS

O módulo fotovoltaico utilizado no trabalho apresenta valores nominais de potência de 90W, tensão nominal de saída de 20 V, tensão de circuito aberto de 35V e corrente de 4,5 A.

O sensor de tensão é um circuito capaz de converter o valor da tensão gerada pelo módulo fotovoltaico e ajustá-la para o nível adequado para ser aplicada na entrada do conversor analógico digital do microcontrolador. Neste projeto, foi considerada a tensão de aproximadamente 3,18 V correspondente a tensão máxima na saída do painel. Essa tensão é compatível com as placas de desenvolvimento ESP32, comumente utilizadas em projetos de IoT. A Figura 1 mostra o circuito do sensor de tensão. O sensor utiliza um divisor de tensão resistivo para reduzir a tensão da saída do painel e um amplificador seguidor de tensão baseado no amplificador operacional LM358. A tensão na saída do sensor é dada por:

$$V_{st} = V_p \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (1)$$

Em que:

V_{st} – tensão proporcional a tensão do painel;

V_p – tensão do painel;

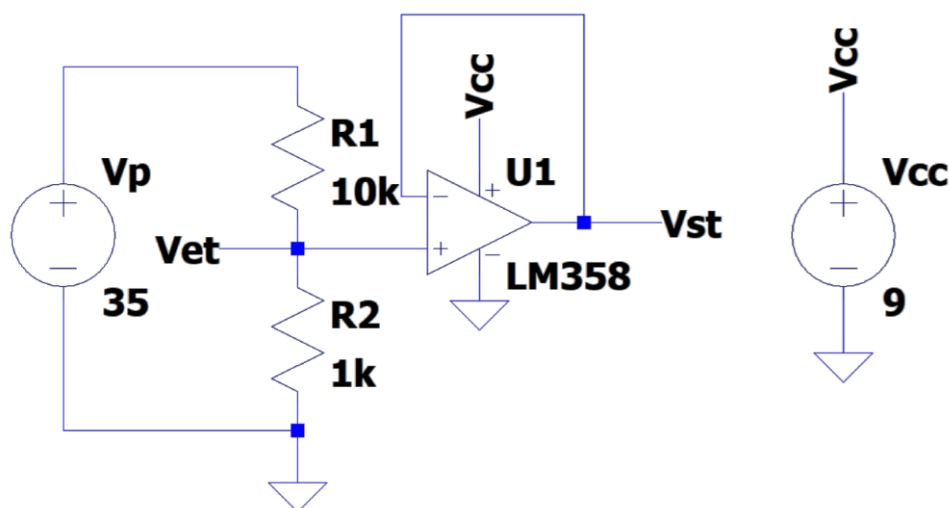


FIGURA 1. Sensor de tensão

O sensor de corrente produz um sinal de tensão proporcional a corrente medida no painel fotovoltaico. O ACS712-20A é um sensor capaz de medir correntes alternadas entre -20 A e 20 A. O módulo deste sensor possui dois bornes na entrada que recebem a corrente e três pinos, sendo dois para alimentação VCC e GND e a saída analógica, com tensão de 2,5 V para uma corrente de 0A. A sua sensibilidade é de 100mV/A (Demetras, 2020). Dessa forma, a tensão na saída do sensor varia entre 0,5V (-20A) e 4,5V (20A). Como a corrente do painel fotovoltaico é contínua, foi desenvolvido um circuito condicionador com dois amplificadores operacionais LM358 em cascata para este sensor, com o objetivo de remover a tensão de 2,5V para $I=0$ e aumentar a sensibilidade do sinal correspondente a corrente do painel. A Figura 2 mostra o circuito composto por um divisor de tensão resistivo e conjunto com um amplificador seguidor de tensão que gera uma tensão de 2,5V a partir da tensão de alimentação do módulo sensor e um amplificador diferenciador que subtrai essa tensão de 2,5V do sinal da saída do sensor de corrente e aplica um ganho de tensão. Desse modo, a saída do circuito é dada por:

$$V_{si} = (0,1 * I) \frac{R5}{R3} \quad (2)$$

Em que:

V_{si} - tensão proporcional a corrente do painel;

I - Corrente de entrada;

$R3$ e $R5$: resistores que determinam o ganho do amplificador subtrator.

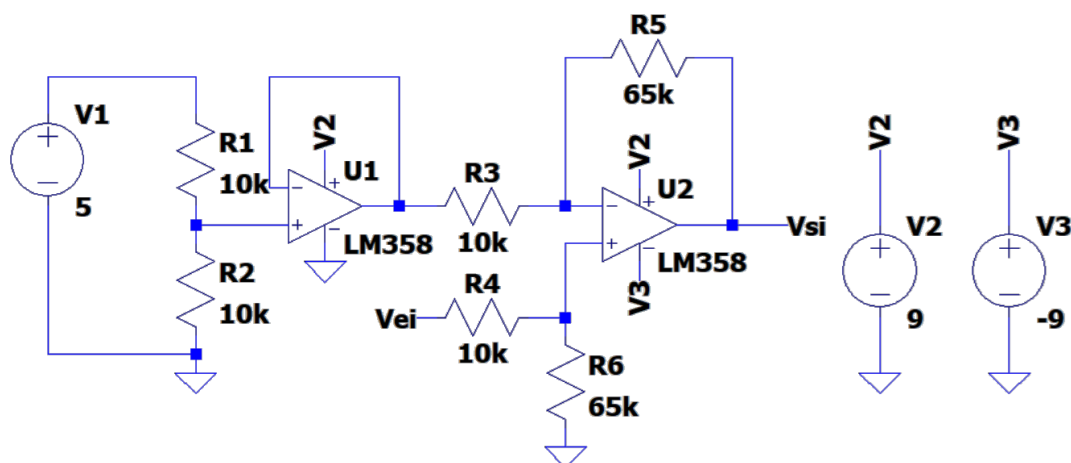


FIGURA 2. Circuito condicionador do sensor de corrente

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para testar o funcionamento do circuito sensor de tensão, foi feito um experimento utilizando uma fonte de tensão de bancada. A Tabela 1 mostra os valores de tensão aplicados na entrada do sensor e medidos em sua saída e a Figura 3 o gráfico que relaciona esses dados.

TABELA 1. Medições de tensão na entrada e saída do sensor de tensão

Tensão de entrada V_p (V)	Tensão de saída V_{st} (V)
0	0
5	0,45
10	0,9
15	1,36
20	1,82
25	2,28
30	2,75

A partir do gráfico da Figura 3 foi obtido a seguinte equação de regressão linear:

$$V_{st} = 0,0916 \cdot V_p - 0,0089 \quad (3)$$

Em que:

V_p - tensão de entrada;

V_{st} - tensão de saída.

A Tabela 2 mostra os valores de corrente aplicados com uma fonte de bancada na entrada do sensor e a tensão medida na saída do circuito condicionador de corrente e a Figura 4 a curva que relaciona esses dados.

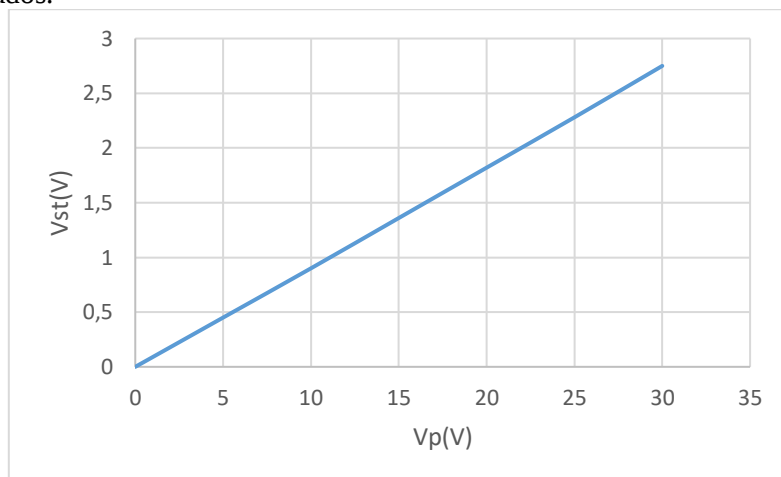


FIGURA 3. Curva relacionando as tensões na entrada (V_p) versus na saída (V_{st}) do sensor de tensão

TABELA 2. Resultados obtidos do laboratório da corrente de entrada e tensão de saída do sensor de corrente

Corrente na entrada $I(A)$	Tensão na saída $V_{si}(V)$
0	0,32
0,5	0,66
1	1,00
1,5	1,35
2	1,69
2,5	2,04
3	2,38
3,5	2,72
4	3,06
4,5	3,40
5	3,74

A partir do gráfico da Figura 4, foi obtido a equação linear do gráfico:

$$V_{si} = 0,6849 \cdot I + 0,3205$$

(4)

Sendo que:

V_{si} - Tensão de saída do sensor de corrente;

I - Corrente de entrada do sensor.

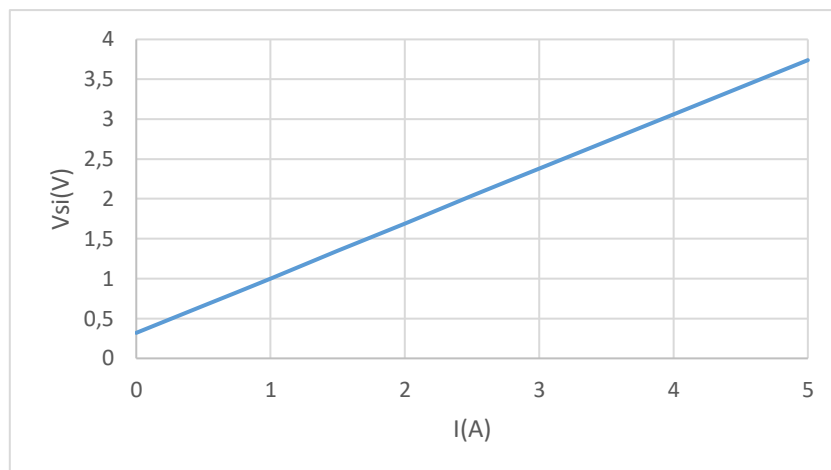


FIGURA 4. Curva relacionando a corrente na entrada (I) versus a tensão na saída (Vsi) do sensor de corrente

Os circuitos dos sensores de tensão e corrente foram testados no painel fotovoltaico. A corrente e a tensão do painel foram medidas utilizando cargas formadas por 2 lâmpadas halógenas dicróicas de 12V/50W conectadas em série. A Tabela 3 mostra os dados obtidos do experimento.

TABELA 3. Medições de tensão e corrente do painel fotovoltaico e das tensões nas saídas dos sensores

Carga na saída	Tensão de entrada (V)	Corrente de entrada (A)	Tensão sensor de tensão (V)	Tensão do sensor de corrente (V)
Circuito aberto	18,23	-	1,72	-
1 Carga	16,45	3,25	1,55	2,28
2 Cargas	13,38	4,72	1,28	3,83

Os valores das tensões nas saídas dos sensores estão de acordo com as equações (3) e (4), sendo que o maior erro entre os valores medidos e calculados foram aproximadamente 4,9% e 10,6% para os sensores de tensão e corrente, respectivamente. O erro do sensor de corrente foi maior para o teste realizado com uma carga, devido a corrente ser relativamente pequena em relação a faixa de valores que o sensor é capaz de medir.

CONCLUSÕES

Neste trabalho foi desenvolvido um sistema para condicionamento da tensão e corrente de um painel fotovoltaico. As curvas de calibração e as equações das retas de regressão linear dos sensores foram obtidas por meio de experimentos em laboratório. Os resultados experimentais com o painel fotovoltaico e diferentes tipos de carga mostraram que os sinais nas saídas dos sensores apresentaram erro máximo de aproximadamente 10% em relação ao valor predito. O circuito desenvolvido pode ser agregado em um sistema microcontrolado para que os dados de tensão e corrente do painel possam ser processados e transmitidos para a internet por um microcontrolador.

REFERÊNCIAS

Barreiros, R. M. et al. The Computational Tools Internet of Things, Big Data, Data Mining and Energy Efficiency, **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**. 2018. Disponível em: <https://seer.tupa.unesp.br/index.php/BIOENG/article/view/758/400>. Acesso em 29 out. 2023.

CNN Brasil. Energia Solar Ultrapassa Marca de Dois Milhões de Sistemas Fotovoltaicos Instalados no País. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/economia/energia-solar-ultrapassa-marca-de-dois-milhoes-de-sistemas-fotovoltaicos-instalados-no-pais/>. Acesso em 27 jun. 2023.

Demetras, E. Módulo ACS712 - Medindo Corrente Elétrica Alternada e Contínua com Arduino, 2018. Disponível em: <https://portal.vidadesilicio.com.br/acs712-medindo-corrente-eletrica-alternada-continua/>. Acesso em: 27 de abril de 2020.

Diniz, A. S. A. C.; Duarte, T. P.; Filho, N. M. Estudo das causas de snail trails em módulos fotovoltaicos de silício cristalino: Revisão, **Congresso Brasileiro de Energia Solar – CBENS**, 2020. Acesso em 2 abr. 2023. Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/856/856>

Mesquita, D. Principais problemas encontrados em módulos fotovoltaicos. **Canal Solar**, 2020. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/principais-problemas-encontrados-em-modulos-fotovoltaicos/>. Acesso em 2 de abr. de 2023.