

SISTEMA DE RASTREAMENTO BASEADO EM CALENDÁRIO PARA MÓDULOS SOLARES FOTOVOLTAICOS

Félix do Rêgo Barros M.Sc, felixregobarros@gmail.com¹

Cátia Lacerda Sodré D.Sc, catia.sodre@gmail.com²

William Vairo dos Santos M.Sc, wvairo@oi.com.br¹

Manoel Antônio da Fonseca Costa Filho D.Sc, manoelantonio.costa@gmail.com³

¹ Centro Federal de Educação Tecnológico Celso Suckow da Fonseca - Campus Maria da Graça, Departamento de Automação Industrial, Rio de Janeiro, Brasil

² Universidade Federal Fluminense, Departamento de Biologia Celular e Molecular, Niterói, Brasil

³ Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Mecânica, Rio de Janeiro, Brasil

Resumo: *Esse trabalho tem como objetivo apresentar uma aplicação desempenhada por um circuito eletrônico baseado em microcontrolador e um circuito de Relógio de Tempo Real (RTC), além de outros circuitos periféricos e de potência. Sua finalidade é posicionar um módulo solar fotovoltaico de modo que seja apontado na direção do sol, mesmo em dias nublados ou encobertos.*

O sistema se baseia nas equações matemáticas Duffie e Beckman, que definem o Ângulo de Declinação Solar e o Ângulo de Tempo Solar. Estas equações têm como variáveis independentes: o número do dia do ano - NDA; A latitude do local de instalação do módulo solar; E a data-hora contendo o dia, mês, hora e minuto. A data e hora atuais são obtidas por meio de um circuito do tipo Relógio de Tempo Real (RTC) que gera essa informação e é alimentado por uma bateria de lítio com uma duração mínima de dez anos e que pode ser facilmente substituída.

O protótipo é equipado com uma interface que insere os dados, tais como a data e hora atuais e a latitude do local de instalação do módulo e um mostrador alfanumérico para auxiliar na inserção de dados e verificação do status do sistema e sua alimentação de energia é obtida diretamente do módulo solar.

O movimento do módulo, para obter a sua orientação correta, é obtido a partir de uma montagem mecânica com dois graus de liberdade de rotação, um microcontrolador, dois motores de passo e é gerenciado por um software de supervisão para fins de registro de dados.

Palavras-chave: *energia solar, fotovoltaica, rastreamento.*

1. INTRODUÇÃO

Os módulos solares fotovoltaicos são uma fonte de energia limpa e sustentável que está se expandindo em todo o mundo.

A radiação solar é a fonte primária de todos os processos do planeta, correspondendo a 99,7% do total e apresenta variações sazonais e espaciais que caracterizam o nível de energia de cada região geográfica.

A energia solar é uma fonte inesgotável e abundante em países tropicais como o Brasil e em algumas regiões remotas é a única viável.

O uso eficiente de módulos fotovoltaicos requer sistemas mecânicos de apontamento para rastrear a posição do Sol no céu, uma vez que a máxima geração de energia do módulo fotovoltaico é obtida quando os raios solares incidem perpendicularmente a esses.

Outro requisito importante desses sistemas de apontamento é o baixo consumo, de modo que o ganho obtido com o sistema de apontamento não seja perdido na alimentação do mecanismo de apontamento.

A maioria dos sistemas de apontamento usa a radiação solar direta para corrigir o apontamento, de modo que o módulo plano fique perpendicular aos raios do sol. Para esse fim, são utilizados fotosensores. Esse método não apresenta bons resultados em dias nublados ou encobertos devido à difusão dos raios solares.

O método de apontamento aqui apresentado, que se baseia nas coordenadas geográficas da localização e na data e horas atuais, não se baseiam em fotosensores e funciona perfeitamente em dias nublados.

2. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

As estações do ano resultam da inclinação da linha do equador da Terra e da sua órbita elíptica em torno do Sol e não da distância Terra-Sol.

A radiação solar em uma determinada localização geográfica depende de três fatores principais: sua latitude, a data e a hora atual.

A energia solar (relacionada à radiação solar) em uma superfície plana e horizontal, localizada acima da atmosfera (isto é, fora de sua influência) depende da latitude (θ), da declinação solar (δ) e do ângulo zenital (Z).

A relação entre radiação solar local e a constante solar é dada por (Duffie & Beckman, 2013; Varejão-Silva, 2006; Sentelhas & Angelocci, 2009):

$$I_z = I_n \cos Z, [3],$$

onde:

$I_n = J_o =$ constante solar ($J_o \approx 1,367 \text{ W / m}^2$);

$Z =$ ângulo zenital;

$\cos Z = \sin \theta \sin \delta + \cos \theta \cos \delta \cos h$;

$\theta =$ latitude (0 a $+90^\circ$);

$\delta =$ declinação solar (0 a $\pm 23,45^\circ$) $= 23,45 \sin [(360/365) (\text{DOY}-80)]$;

DOY = dia do ano; e

$H =$ ângulo horário $= [(hora \text{ local} - 12) 15]$.

A maneira mais eficiente de se capturar a energia da radiação solar, a partir de um módulo solar fotovoltaico plano, é posicioná-lo perpendicularmente aos raios solares ($Z=0$ e $I_z=I_n$). Para isso, é necessário o ajuste constante do apontamento do módulo ao longo do dia e ao longo do ano, devido à constante mudança do ângulo de incidência solar.

Para cada local em particular na superfície da Terra, sabendo sua latitude, data e hora (hora real, não considerando horário de verão), é possível determinar o ângulo de incidência solar para esse local. Dessa forma, desenvolveu-se um sistema mecânico com dois graus de liberdade de rotação que permite apontar o módulo solar perpendicularmente aos raios solares. A combinação de movimentos nesses dois graus de liberdade permite compensar a variação do ângulo de incidência solar devido à variação do ângulo horário (rotação da Terra) e a variação do ângulo de declinação solar ao longo das estações do ano.

Uma vez que o posicionamento do sol é perfeitamente previsível, é possível se fazer o apontamento com base na latitude local e data-hora com um controlador de malha aberta.

O sistema desenvolvido é controlado por um microcontrolador que tem como periféricos: um relógio de tempo real (RTC), uma interface de potência para controlar os motores de passo (dois), um teclado numérico e um mostrador alfanumérico do tipo LCD.

Através do teclado e do mostrador LCD, é possível se configurar o sistema pela inserção de data e hora para o ajuste do RTC e a inserção da latitude local. Com essas informações, é possível se rastrear a posição solar ao longo do dia e das estações do ano.

O programa de controle embarcado (firmware) foi escrito em linguagem C e gravado em um microcontrolador de consumo extra baixo.

O sistema opera em intervalos regulares de quinze minutos para fazer a correção do apontamento do módulo solar, permanecendo desligado entre correções. O objetivo é minimizar o consumo de energia, o qual é obtido a partir do próprio módulo solar fotovoltaico.

No pôr-do-sol, o sistema retorna à posição inicial (amanhecer) e desliga-se, ligando-se novamente somente na próxima madrugada. A Fig. 1 mostra o protótipo do Sistema de Rastreamento, que foi utilizado para se validar o circuito, o firmware e o modelo cinemático do sistema.

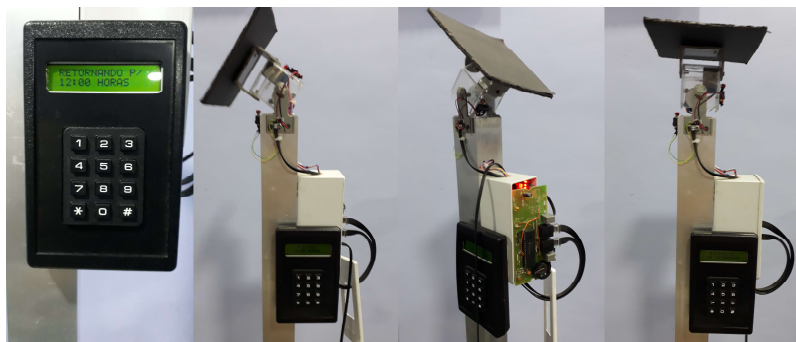


Fig. 1 Protótipo do Sistema de Rastreamento.

Foram utilizados dois módulos fotovoltaicos idênticos, da marca Yingli Solar, modelo YL95P-17b 2/3, para os testes de eficiência na geração fotovoltaica. Um dos módulos foi fixado com inclinação em relação à horizontal aproximadamente igual à latitude local (-23°) e ângulo zenital nulo. O outro foi controlado pelo sistema de rastreamento com dois graus de liberdade. Os resultados são mostrados na Fig. 2.

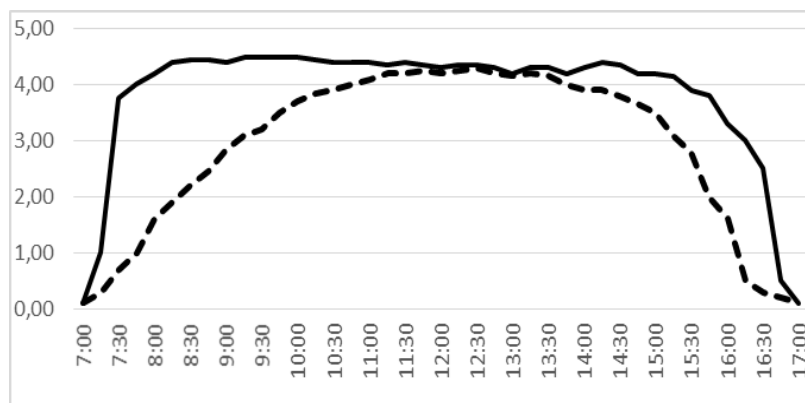


Fig. 2 Comparação entre um painel fixo e outro com sistema de rastreamento com dois graus de liberdade. (A linha tracejada representa a corrente fornecida pelo módulo fixo e a sólida, o módulo com sistema de rastreamento com dois graus de liberdade). A horizontal representa a hora e a vertical a corrente fornecida em ampères. A tensão fornecida pelo módulo é de 16,75V.

2.1. Resultados e discussão

O sistema de apontamento em questão proporcionou um aumento médio entre 25 e 30% na geração de energia do módulo fotovoltaico, já descontando o consumo do sistema de acionamento e o controle do apontador em comparação com um sistema fixo.

O rastreamento de posição do Sol em relação às estações do ano apresentou ganhos de aproximadamente 5% na geração de energia. Dessa forma, um sistema de apenas de um grau de liberdade poderia ser utilizado para rastrear o movimento do Sol em função da hora do dia, o que simplificaria o projeto mecânico.

A eficiência do sistema não sofre redução significativa se a correção do apontamento for feita de hora em hora entre as 7 e as 17 h, em comparação com as correções mais frequentes e entre as 6 e 18 h, o que simplificaria ainda mais o projeto mecânico do rastreador.

O sistema de controle, por ser feito em malha aberta, apresenta estabilidade e minimiza o consumo de energia na movimentação mecânica do módulo.

O consumo devido ao microcontrolador e seus periféricos é inferior a 10mAh ao longo de um dia. A maior parte do consumo do sistema é devido aos motores de passo utilizados no sistema de rastreamento, cujo consumo é inferior a 2% do produzido pelo módulo durante um dia de sol normal.

O circuito de controle tem capacidade de comunicação através de uma interface serial e pode enviar informações de tensão e corrente geradas pelo módulo ao longo do dia, bem como outras informações relevantes, para um software de supervisão executado em um PC, para fins de registro de dados

2.2. Conclusões

O sistema de apontamento mostrado foi capaz de rastrear o movimento do Sol ao longo do dia e das estações com estabilidade e eficiência energética.

O uso de um grau de liberdade obtém de 19 a 25% de aumento na geração de energia de painéis solares fotovoltaicos e o uso de dois graus de liberdade obtém de 25 a 30%.

O rastreamento do Sol ao longo do dia, limitado a um período entre 7 e 17 h, não diminui consideravelmente a eficiência e reduz a complexidade do sistema de controle e do projeto mecânico. Além disso, reduz o custo global e o consumo de energia devido à movimentação dos motores.

3. REFERÊNCIAS

- Duffie, J. A.; Beckman, W. A. Solar Engineering of Thermal Processes. John Wiley & Sons, 2013.
- Varejão-Silva, M. A.. Meteorologia e Climatologia, Versão Digital 2, Recife, Pernambuco, Brasil, 2006. Disponível em "http://www.icat.ufal.br/laboratorio/clima/data/uploads/pdf/METEOROLOGIA_E_CLIMATOLOGIA_VD2_Mar_2006.pdf", acesso em 01/03/2017.
- Sentelhas, P. C., Angelocci, L. A., LCE-306 - notas de aula, ESALQ/USP, Piracicaba, SP – Brasil, 2009, Disponível em: "<http://www.lce.esalq.usp.br/aulas/lce306/Aula5.pdf>", acessado em 01/03/2017.

Yingli_Módulo_de_95W.pdf, folha de especificações técnicas do fabricante Yingli Solar, disponível em "[http://www.solarbrasil.com.br/images/solarbrasil/downloads/Yingli Módulo de 95W.pdf](http://www.solarbrasil.com.br/images/solarbrasil/downloads/Yingli_Módulo_de_95W.pdf)", acessado em 27/03/2018.

4. RESPONSABILIDADE AUTORMAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo desse trabalho.

TRACKING SYSTEM FOR PHOTOVOLTAIC SOLAR MODULES BASED ON CALENDAR

Félix do Rêgo Barros M.Sc, felixregobarros@gmail.com ¹

Cátia Lacerda Sodré D.Sc, catia.sodre@gmail.com ²

William Vairo dos Santos M.Sc, wvairo@oi.com.br ¹

Manoel Antônio da Fonseca Costa Filho D.Sc, manoelantonio.costa@gmail.com ³

¹ Centro Federal de Educação Tecnológico Celso Suckow da Fonseca - Campus Maria da Graça, Departamento de Automação Industrial, Rio de Janeiro, Brasil

² Universidade Federal Fluminense, Departamento de Biologia Celular e Molecular, Niterói, Brasil

³ Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Mecânica, Rio de Janeiro, Brasil

Abstract. *This paper aims at presenting an application developed by an electronic circuit based on microcontroller and a circuit of Real Time Clock (RTC), in addition to other peripheral and power circuits. Its purpose is to position a photovoltaic solar module so that it is pointed to the position of the Sun even on overcast days.*

The system is based on the mathematical equations of Duffie & Beckman, that defines the Solar Declination Angle and the Solar Time Angle. These equations have as independent variables: the number of the day of the year - NDA; The latitude of the solar panel installation site; and the date-time containing day, month, hour, and minute. The date-time is obtained by means of a RTC- type circuit that generates this information, is powered by a lithium battery with a minimum duration of ten years and can be easily replaced.

The prototype is equipped with an interface that inserts the data, such as the date-time and latitude of the installation site of the module and an alphanumeric display to aid in the insertion of data and verification of the status of the system and its energy consumption is obtained directly from the solar module.

The movement of the module, to obtain the correct orientation of the module, is obtained from a mechanical assembly with two degrees of freedom of rotation, two step motors and managed by supervisory software to optimize the process.

Keyword: Solar, Photovoltaic Energy, module.

Keywords: Solar Energy, Photovoltaic, tracking)