

Rastreamento da angulação de máxima incidência solar via efeito girassol utilizando um sensor inovador que simplifica o controle

Tracking the angle of incidence of solar coverage via the sunflower effect using an innovative sensor that simplifies control

RESUMO

Para maximizar a produção de energia nos painéis fotovoltaicos é possível utilizar um seguidor solar, esse trabalho propõe a utilização de sensor inovador que simplifica o seu controle. É equacionado e levantado experimentalmente a função de transferência do sistema, que é do tipo 1, assim com apenas um controle proporcional o erro de regime é nulo para degrau de entrada. Obteve-se os resultados esperados e o controlador se mostrou eficaz.

PALAVRAS-CHAVE: Rastreamento. Fotovoltaico. Eficiência. Solar. Controle.

ABSTRACT

To maximize energy production in photovoltaic panels it is possible to use a solar tracker, this work proposes the use of an innovative sensor that simplifies its control. The transfer function of the system, which is of type 1, is equated and raised experimentally, so with only a proportional control the regime error is null for the entry step. The expected results were obtained and the controller proved to be effective.

KEYWORDS: Tracking. Photovoltaic. Efficiency. Solar. Control.

Gabriel Rossato Francisco
gabrielrossatofrancisco@gmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil

Alessandro do Nascimento Vargas
vargas.alessandro@gmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil

Recebido: 19 ago. 2020.

Aprovado: 01 out. 2020.

Direito autoral: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



INTRODUÇÃO

A energia fotovoltaica junto a eólica, representa somente 6.9% da matriz elétrica brasileira, EPE (2018). Na última década tem havido um interesse crescente na exploração das fontes de energia renováveis, que produziu um enorme crescimento das mesmas, resultando no desenvolvimento de novas tecnologias, Pastel (2005). A capacidade instalada de produção de energia fotovoltaica historicamente vem se acentuando, à medida que os custos reduzem, a expectativa é que ela venha apresentando ainda mais ganhos no decorrer dos próximos anos, conforme estudo realizado por Moro (2013).

Uma das maneiras de torna-la mais viável economicamente é por meio de um seguidor solar, que já se mostrou eficiente quando aplicados em usina fotovoltaicas, Khalid (2013). Um seguidor solar é um dispositivo eletromecânico que movimenta continuamente os painéis de modo a aumenta a quantidade radiação solar recebida por eles, resultando em uma maior potência de produzida, Al-Mohammad (2004), de maneira similar ao efeito girassol. Trabalhos mais recentes, nos quais tomou-se como base para realização desse, optam por utilizar 2 eixos de rotação, Barker (2013), Yao Y. (2014).

MATERIAIS E MÉTODOS

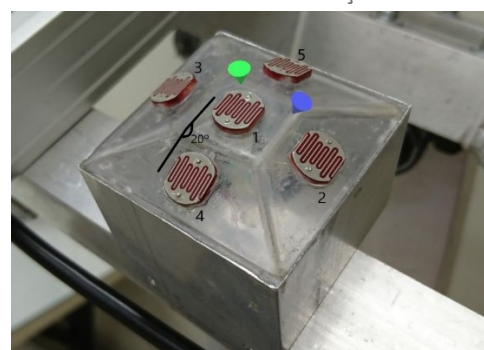
Utilizando o software de design tridimensional se desenvolveu uma estrutura biaxial capaz de rotacionar os painéis em até 45º para ambos os lados e ambos os eixos com relação ao solo, na Figura 1 é mostrado o protótipo construído com tubos de alumínio. Projetou-se um sensor com formato de um tronco de pirâmide de base quadra, sendo o ângulo entre o topo e face lateral igual a 20º, ele foi fixado paralelamente aos painéis solares, de modo a se movimentar junto com eles. Fixou-se cinco resistências dependentes de luz (LDR), uma em cada face, e foram numeradas conforme a Figura 2. A diferença de intensidade luminosa entre os sensores 3 e 2 dividida pela média de todos sensores, representam o erro angular no eixo X com relação a posição atual dos painéis solares e a diferença entre os sensores 4 e 5 também normalizada, representam o erro no eixo Y.

Figura 1 –Estrutura fixada em base móvel com as placas fotovoltaicas montadas.



Fonte: Autoria própria (2020)

Figura 2 –Sensor para rastrear o ângulo de máxima incidência de radiação solar.



Fonte: Autoria própria (2020)

Esse sistema proposto juntamente com esse sensor inovador projetado tem como característica ter um polo na origem e outro polo real distinto no semiplano esquerdo, descrito pela equação 1, ou seja, como nosso sistema é do tipo 1, com um simples controle proporcional obtemos erro nulo no regime permanente para uma entrada do tipo degrau, Ogata (2009, cap. 5.8).

$$G(s) = \frac{B}{s \cdot (s + A)} = \frac{W_n^2 / K_{malha}}{s \cdot (s + 2 \cdot \xi \cdot W_n)} \quad (1)$$

É possível obter a função de transferência para cada um dos dois eixos experimentalmente, fechando a malha do sistema $G(s)$ com um ganho K_{malha} de modo a forçar uma reposta Subamortecida e aplicando um degrau com amplitude *Deg*, conforme equação 2. O percentual de overshoot *%Over* pode ser obtido por meio do pico máximo *MaxPico*, de acordo com equação 3, assim obtemos o fator de amortecimento ξ pela equação 4. A frequência natural do sistema W_n é obtida pelo tempo de acomodação T_s pela equação 5, Ogata (2009, cap. 5.3).

$$G(s)_{MalhaFechada} = \frac{B}{s^2 + s \cdot A + B \cdot K_{malha}} \quad (2)$$

$$\%Over = \left(\frac{MaxPico \cdot K_{malha}}{Deg} - 1 \right) \quad (3)$$

$$\xi = \frac{-\log(\%Over/100)}{\sqrt{\pi^2 + \log(\%Over/100)^2}} \quad (4)$$

$$W_n = \frac{4}{\xi \cdot T_s} \quad (5)$$

A função de transferência de malha fechada pode ser montada na sua forma genérica, como é mostrada na equação 6, ao se subtrair seu denominador por W_n^2 e dividir o numerador por K_{malha} a função de transferência $G(s)$ mostrada na equação 1 é obtida.

$$G(s)_{MalhaFechada} = \frac{W_n^2}{s^2 + 2 \cdot \xi \cdot W_n \cdot s + W_n^2} \quad (6)$$

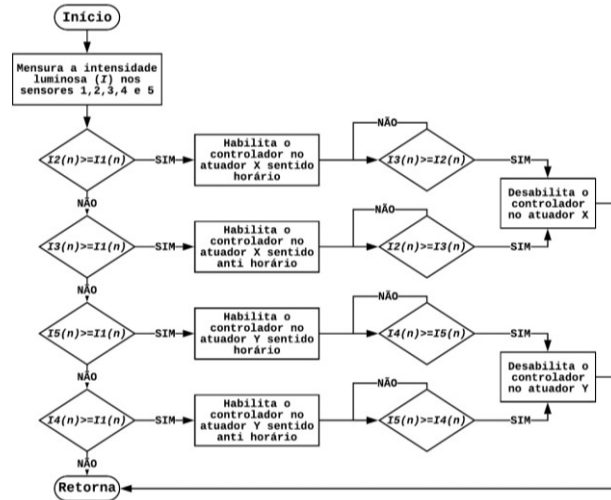
Tem-se como objetivo uma reposta superamortecida em malha fechada, com somente um controlador proporcional, esse tipo de resposta do sistema tem como característica apresentar dois polos reais distintos. Sendo o tempo de acomodação T_s do sistema ditado pela posição $-\alpha$ do polo mais próximo da origem, conforme equação 7. O controlador proporcional pode ser ajustado pela RootLocus da função de transferência, Ogata (2009, cap. 6.5), de modo a obter o α desejado.

$$T_s = \frac{4}{\alpha} \quad (7)$$

Não linearidades presentes no sistema, oriundas de folgas nos atuadores e devido o acionamento dos mesmos por modulação por largura de pulso PWM, podem resultar em acionamentos remanescentes de amplitudes pequenas, próximo da posição de acomodação do sistema, que não geram movimento efetivo. Assim pode-se mesclar ao controlador clássico uma lógica de histerese, que desativa o controlador quando próximo a posição de erro nulo (seta verde na Figura 2) e somente permite o controle atuar na correção do erro novamente,

quando o ângulo for divergente em mais de 10° (seta azul na Figura 2), a lógica é ilustrada no digrama presente na Figura 3.

Figura 3– Fluxograma da lógica por histerese para habilitar o controlador.



Fonte: Autoria própria (2020)

RESULTADOS E DISCUSSÕES

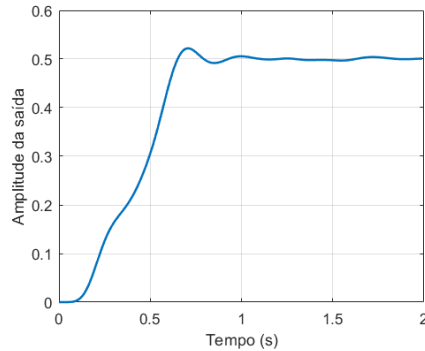
Ensaíamos experimentalmente as funções de transferência para uma posição intermediária, para cada um dos dois eixos. Aplicou-se um degrau de amplitude igual a 30 e fechou-se a malha do sistema com um ganho de malha igual a 60 para o eixo X e igual a 40 para o eixo Y. A saída dos sistemas pode ser vista respectivamente nas Figuras 4 e 5. Para o eixo X obtivemos um $MaxPico=0.522$ e $T_s=1.2$, ao aplicar nossas equações de 1 a 6 obtemos a função de transferência $G_X(s)$, mostrada na equação 8. Já para o eixo Y obtivemos um $MaxPico= 0.767$ e $T_s= 1.5$, aplicando as mesmas equações obtemos a $G_Y(s)$, mostrada na equação 9.

$$G_X(s) = \frac{0.3725}{s.(s+6.667)} \quad (8)$$

$$G_Y(s) = \frac{0.3001}{s.(s+5.333)} \quad (9)$$

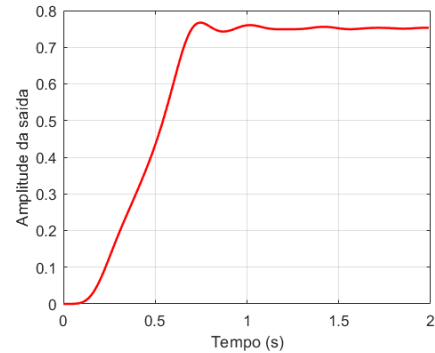
Para obtermos uma resposta superamortecida nosso sistema, com um $T_s = 8s$, aplicando a equação 7, necessitamos de um polo dominante posicionado no eixo real em $\alpha = -0.5$. Por meio do *Root Locus* das funções de transferência $G_X(s)$ e $G_Y(s)$ obtemos ganho proporcional para o eixo X $K_X = 8.28$ e para o eixo Y $K_Y = 8.03$, respectivamente ilustrados nas Figuras 6 e 7. É importante ressaltar que a referência de entrada para o controle é sempre nula visto que o sensor é fixo na própria estrutura.

Figura 4— Saída do eixo X do sistema realimentado com ganho 60 para o degrau de amplitude 30.



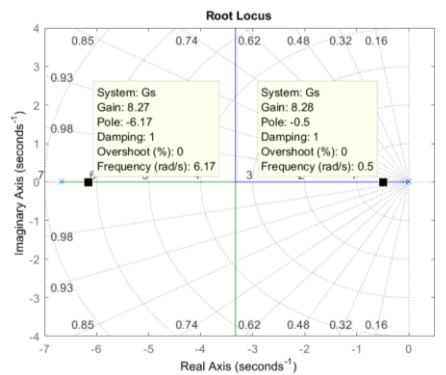
Fonte: Autoria própria (2020)

Figura 5— Saída do eixo Y do sistema realimentado com ganho 40 para o degrau de amplitude 30.



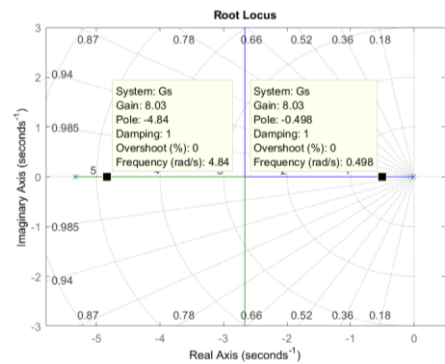
Fonte: Autoria própria (2020)

Figura 6— Root Locus da função de transferência do eixo X.



Fonte: Autoria própria (2020)

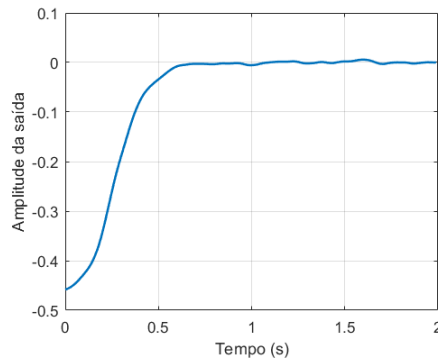
Figura 7 - Root Locus da função de transferência do eixo Y.



Fonte: Autoria própria (2020)

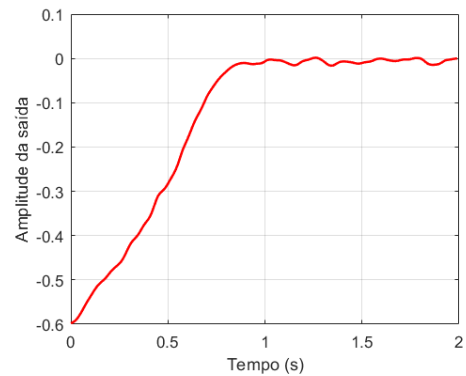
Para validação dos controladores obtidos perturbou-se o sistema aleatoriamente e para cada um dos eixos plotou-se a resposta da saída, mostrado na Figura 8 e 9. Podemos observar que nosso controle obteve exido em buscar nossa referência nula em ambos os eixos e nossa resposta é do tipo superamortecida conforme o desejado.

Figura 8—Resposta da saída no eixo X para perturbação



Fonte: Autoria própria (2020)

Figura 9—Resposta da saída no eixo Y para perturbação



Fonte: Autoria própria (2020)

CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que o sensor inovador proposto se mostrou eficaz para a aplicação descrita, haja vista que simplificou substancialmente o controlador. Foi possível também mesclar ao controle clássico uma lógica de histerese com o intuito de se evitar acionamentos de amplitudes pequena. Sendo assim pode se dizer que foi alcançado com exido nosso objetivo de rastrear a angulação de máxima incidência solar.

REFERÊNCIAS

AL-MOHAMMAD, A. **Efficiency improvement of photovoltaic panels using a sun tracking system.** Appl. Energy 79 (3), 345–354. 2004.

BARKER, Laughlin. NEBER, Matthew. LEE, Hohyun. **Design of a low-profile two-axis solar tracker,** Solar Energy, Volume 97, 2013.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2018.** Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 28 set. 2019.

KHALID, Anjum. JUNAIIDI Haroon. **Study of economic viability of photovoltaic electric power for Quetta.** Pakistan, Renewable Energy, Volume 50, 2013.

MORO, J. Hernández. Duart, J.M. Martínez. **Analytical model for solar PV and CSP electricity costs.** Present LCOE values and their future evolution. 2013.

OGATA, Katsuhiko. **Modern Control Engineering.** 5th ed, New Jersey EUA, Prentice Hall, 2009.

PATEL, Mukund R. **Wind and solar systems: design, analysis, and operation.** 2nd ed, Ohio EUA, CRC Press, 2005.

YAO, Y., HU, Y., GAO, S., YANG, G., DU, J. **A multipurpose dual-axis solar tracker with two tracking strategies.** Renewable Energy 72, 88–98. 2014