Politechnika Świętokrzyska w Kielcach

Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn

Teoria sterowania – zadanie projektowe

Projekt układu optymalizacji produkcji energii elektrycznej poprzez sterowanie położeniem panelu fotowoltaicznego.

Autorzy:

*inż. Emil Bugajski*

*inż. Grzegorz Soch*

Prowadzący:

*mgr inż. Marta Grzyb*

Spis treści

[1. Wprowadzenie 3](#_Toc495611322)

[1.1. Obiekt badań 3](#_Toc495611323)

[2. Wstęp teoretyczny 3](#_Toc495611324)

[2.1. Zagadnienie 1 3](#_Toc495611325)

[2.2. Zagadnienie 2 3](#_Toc495611326)

[2.3. Zagadnienie 3 4](#_Toc495611327)

[3. Badany model/układ regulacji 4](#_Toc495611328)

[3.1. Kod programu 4](#_Toc495611329)

[3.2. Wyniki 4](#_Toc495611330)

[4. Wnioski 4](#_Toc495611331)

[5. Literatura 5](#_Toc495611332)

# Wprowadzenie

Efekt fotowoltaiczny po raz pierwszy zaobserwowany został w 1839 roku przez Aleksandra Edmunda Becquerel’a. Zjawisko polega na powstaniu siły elektromotorycznej w jednorodnym półprzewodniku pod wpływem oświetlenia i jest wynikiem zachodzących procesów fizycznych. Aby zobrazować wielkość energii pochodzącej ze Słońca należy podkreślić że wynosi ona około 178\* 1015W. Jest więc około 30000 razy większa niż całkowita moc wszystkich urządzeń zainstalowanych na całej kuli Ziemskiej. Panele fotowoltaiczne stają się coraz bardziej powszechne i stanowią istotny punkt we współczesnej technologii. Niniejsza praca zawiera proces projektowania, wykonania i zaimplementowania algorytmu nadążnej regulacji panelu słonecznego o małej mocy.



*Rys. 1. Rysunek poglądowy panelu fotowoltaiczny.*

## Obiekt badań

Obiektem badań jest próba optymalizacji wielkości wyprodukowanej energii poprzez algorytm ustawiający panel prostopadle do słońca.   
Według niektórych badań []możliwy wzrost energii elektrycznej przy zastosowaniu tego typu układu może wynosić nawet 40% uwzględniając energię potrzebną do poruszania panelem słonecznym. Układy nadążne wraz ze wzrostem popularności paneli stają się coraz bardziej powszechne.   
\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Trzasko W.: Analiza wydajności dwuosiowego solarnego układu nadążnego. Pomiary Automatyka Robotyka Nr 1/2018

# Wstęp teoretyczny

Celem pracy jest zaprojektowanie platformy dla panelu fotowoltaicznego o dwóch stopniach swobody, samoczynnie podążającej za słońcem. Zadanie obejmuje zarówno projekt mechaniczny jak i algorytm sterowania. Elementem sensorycznym układu będzie czujnik składający się z czterech fotorezystorów oraz prostopadłych ścian przesłonowych

szczegółowo opisanych w podrozdziale ####. Całość napędzana będzie z wykorzystaniem dwóch serwonapędów. Układem sterował będzie 32-bitowy mikrokontroler z rodziny ARM z serii Cortex M0+ RP2040. W celu minimalizacji kosztów serwonapędu przyjęto uproszczenie, że maksymalny zakres ruchu azymutalnego słońca to 180\* z powody wysokiej ceny serw o większym kącie ruchu.

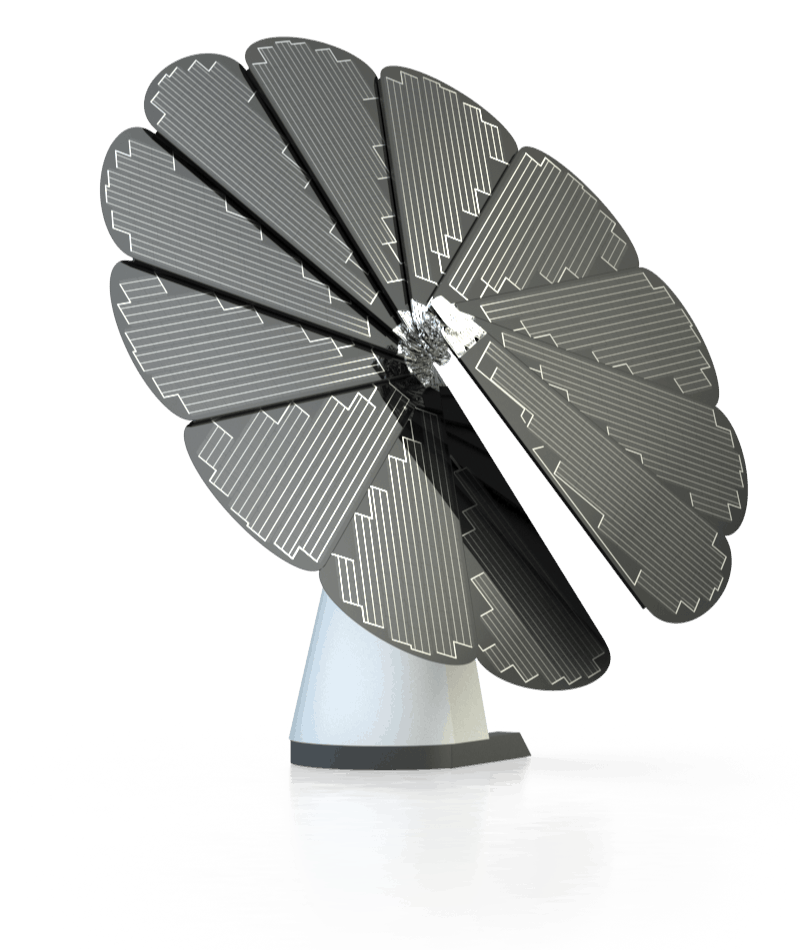
## Przegląd dostępnych rozwiązań

Na rynku dostępnych jest wiele komercyjnych jak i hobbystycznych systemów nadążnych do paneli fotowoltaicznych. Każdy z nich opiera się o jedną z dwóch metod sterowania takim układem. Pierwsza z nich polega na wyliczeniu aktualnej pozycji słońca na niebie, które możliwe jest gdy znane są następujące parametry:

* szerokość geograficzna,
* deklinacja słońca,
* wysokość,
* azymut,
* dzień roku,
* czas.

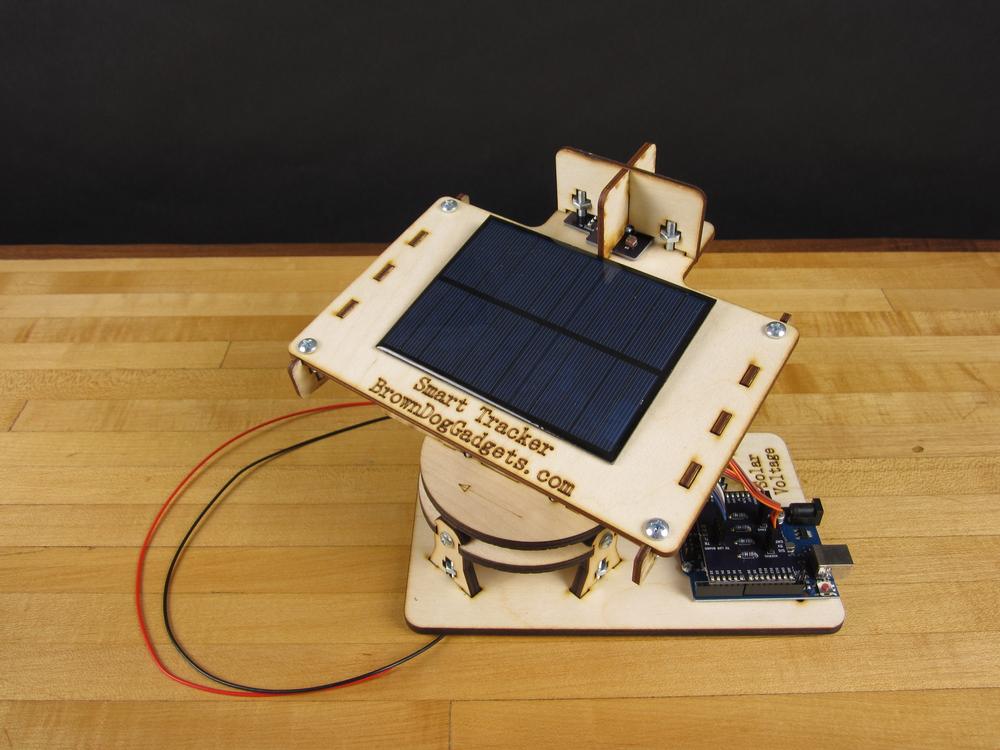
Drugim podejściem jest zastosowanie układu pomiarowego składającego się z czterech fotorezystorów. Są to elementy półprzewodnikowe, których rezystancja ulega zmianie pod wpływem padającego na jego powierzchnię promieniowania elektromagnetycznego na przykład promieniowania widzialnego lub podczerwieni. Rezystancja elementu zależy od natężenia oświetlenia fotorezystora, jego rezystancja w ciemności jest bardzo duża i może osiągnąć wartość rzędu megaomów, przy silnym oświetleniu może zmaleć do kilku omów. Fotorezystory przy zastosowaniu odpowiednich przesłon umożliwiają wyliczenie kąta padającego światła.

Przykładem komercyjnego zastosowania układu sterowania położeniem panelu jest *Smart Flower*firmy *Smartflower Solar*. Rozwiązanie to oparte jest na wyliczaniu położenia słońca z zależności matematycznej.



*Rys. 2. Smart Flower wyprodukowany przez firmę Smartflower Solar*

Temat ten jest popularny wśród hobbystów i możemy znaleźć wiele rozwiązań opartych głownie na mikrokontrolerach i zastosowaniu układu pomiarowego na bazie fotorezystorów.

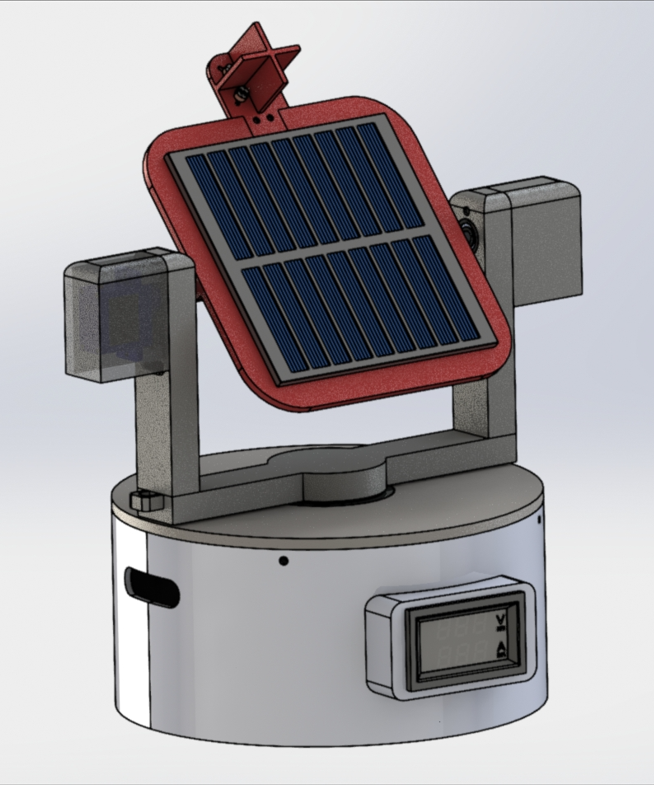


*Rys. 2. Smart Flower wyprodukowany przez firmę Smartflower Solar*

Pokazany na rysunku 2 projekt wykorzystuje 4 fotorezystory do wykrywania kąta padania światła. Platforma na której umiejscowiony jest panel fotowoltaiczny sterowana jest w dwóch osiach za pomocą dwóch serwonapędów. Cały układ sterowany jest za pomocą mikrokontrolera Arduino.

# Prototyp konstrukcji

Wszystkie elementy konstrukcyjne z wyłączeniem łożysk zostały zaprojektowane w programie SOLIDWORKS, a następnie wykonane w technologii druku 3D. Celem konstrukcji było zapewnienie dwóch stopni swobody platformy panelu, umożliwienie przekazania napędu oraz poprawienie walorów wizualnych projektu przez prowadzenie przewodów i schowanie elektroniki. Złożenie zaprezentowano na Rys X

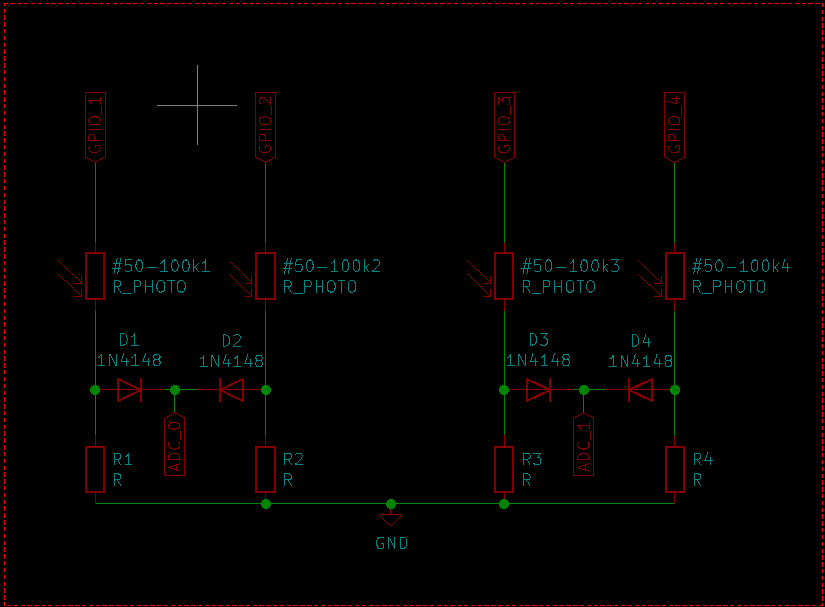


# Projektowany model – Hardware

## Raspberry Pi Pico

### Problem multipleksowania ADC

Zaprojektowany czujnik kąta padania promienie świetlnych zbudowany jest z 4 fotorezystorów. Konieczna jest możliwość odczytu każdego z osobna. Niestety dobrany mikrokontroler posiada jedynie 3 piny mogące obsłużyć przetwornik analogowo – cyfrowy. W związku z powyższym niezbędne było zaprojektowanie multipleksera ADC. To rozwiązanie pozwala na obsłużenie kilku fotorezystorów jednym kanałem. Schemat układu wykorzystującego prosty dzielnik napięcia oraz układ multipleksowania przedstawiono na rysunku x

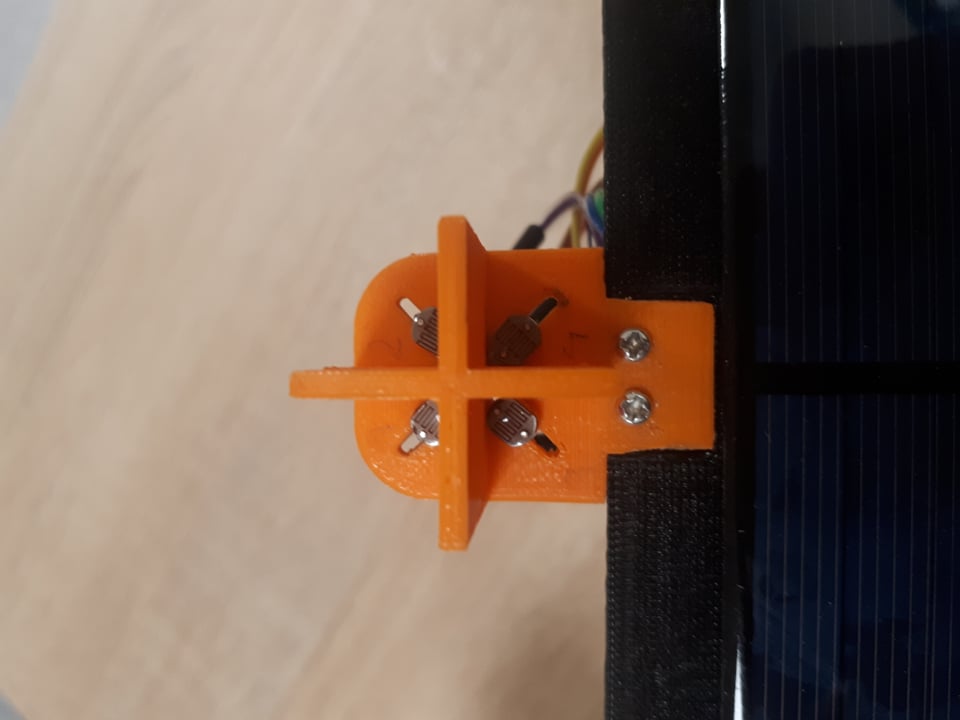


Każdy fotorezystor (xR\_PHOTO) zasilany jest bezpośrednio z pinu mikrokontrolera(GPIO\_x). Pozwala to na softwareowe wybranie czujnika z którego chcemy dokonać pomiaru. Układ wyposażono w cztery diody (D1-D4) w kierunku zaporowym tak aby w trakcie pomiaru prąd płynął wyłącznie przez zasilany sensor. Trzeba mieć jednak świadomość wady takiego rozwiązania. Na diodzie występuje spadek napięcia, dodatkowo każda dioda jak i rezystor posiada pewną tolerancję wykonania. Wprowadza to więc szum pomiarowy.

## Panel fotowoltaiczny

## Sensor

W celu wyznaczenie kierunku padania promieni świetlnych zaprojektowano czujnik składający się z 4 jednakowych fotorezystorów przedzielonych przegrodami. Przegrody mają na celu rzucenie cienia na fotorezystory co z kolei wytworzy różnicę ich wskazań. Będzie to nasz sygnał sterujący do zaimplementowanego regulatora.



Bardzo ważnym aspektem jest aby czujnik zamontowany był równolegle do panelu. Każda odchyłka równoległości płaszczyzn spowoduje niedokładność regulacji.

Wadą takiego sensora jest fakt, że uszkodzenie jednego fotorezystora spowoduje zakłócenie pracy układu. Dodatkowo fotorezystory posiadają swoją dokładność. Korzystna byłaby ich kalibracja jednak wymaga to stworzenia idealnych warunków oświetleniowych, co nie jest łatwe.

# Badany model/układ regulacji



*Rys. 1. Render SOLIDWORKS*

## Algorytm

# Algorytm sterowania

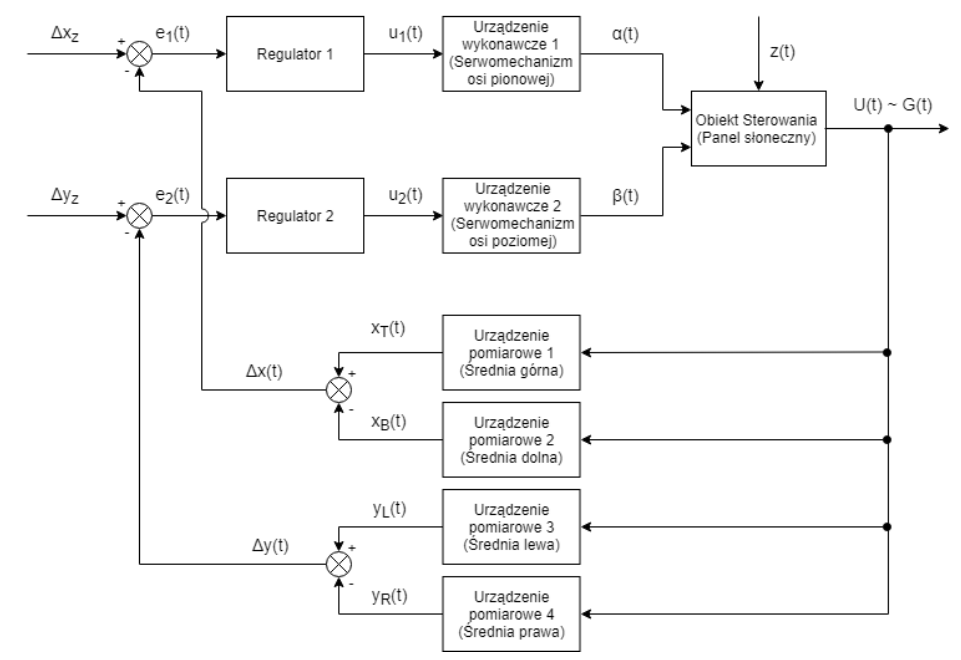
Najczęściej stosowanymi algorytmami sterowania położenia panelu fotowoltaicznego są algorytmy różnicowe i zegarowe. W realizowanym projekcie zdecydowano się na implementację algorytmu różnicowego.

## Algorytm różnicowy

Algorytm różnicowy jest podstawowym automatycznym algorytmem działającym w pętli sprzężenia zwrotnego. Ideą jego działania jest utrzymywanie pozycji panelu słonecznego w taki sposób, aby uzyskać i utrzymać jak największą ilość padającego na niego światła. Dzięki temu możliwa jest stała optymalizacja pracy panelu, co z kolei przekłada się na większą ilość uzyskiwanej energii. Zasadą działania algorytmu różnicowego jest praca w oparciu o dane zbierane przez urządzenia pomiarowe – fotorezystory. Przyjęto po jednej parze czujników na każdą z osi: pionową i poziomą. Układ ten możemy więc podzielić na dwa mniejsze układy regulacji dla każdej osi.

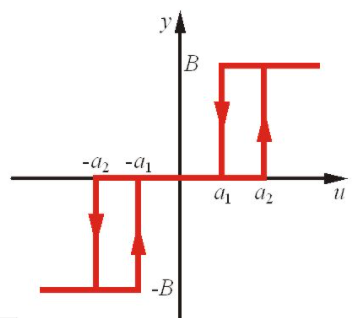
Największa produkcja energii elektrycznej jest wtedy gdy promienie świetlne padają prostopadle do płaszczyzny PV. W idealnym przypadku wskazania wszystkich fotorezystorów byłby więc jednakowe. W praktyce zerowa różnica wskazań powodowałoby ciągłą pracę układów napędowych, co generowałoby niepotrzebne straty energii. Ma to związek z określoną czułością fotodetektorów. Aby temu zapobiec wprowadzono histerezę.

Algorytm regulacji różnicowej przedstawiono na Rys. X



## Dobrany regulator

Do sterowania położeniem serw zaimplementowano w mikrokontrolerze dwa proste regulatory trójstanowe, mogący przyjmować stany: zmiany położenia w lewo, braku ruchu, zmiany położenia w prawo po jednym dla każdej osi(x,y). Taki regulator powoduje pracę krokową układu, ale w założeniu prędkość obrotu słońca jest niewielka. Nastawę histerezy przyjęto doświadczalnie.



## Wyniki

# Wnioski

# Literatura