

DESIGN LABORATORY

Układ pozycjonujący ogniwo PV względem źródła światła

Jakub Kołodziej, Daniel Mikołajczyk

1. Wstęp i funkcjonalność

Tematem naszego projektu jest stworzenie konstrukcji zwiększającej efektywność paneli fotowoltaicznych, poprzez ustawianie paneli prostopadle do strumienia świetlnego.

2. Analiza problemu

Największe zmiany kąta bezpośredniego padania światła słonecznego w przeciągu całorocznej pracy ogniw występują każdego dnia na płaszczyźnie wschód-zachód (płaszczyzna). Przykładowo dla równonocy słońce zatacza łuk o rozpiętości 180° , a maksymalny kąt elewacji w przeciągu roku wynosi ponad 60° dla Warszawy¹.

Oznacza to, że aby poprawić efektywność paneli należy się skupić na regulacji ich w płaszczyźnie X (azymut), w drugiej kolejności należy rozważyć problem padania promieni w płaszczyźnie Y (elewacja).

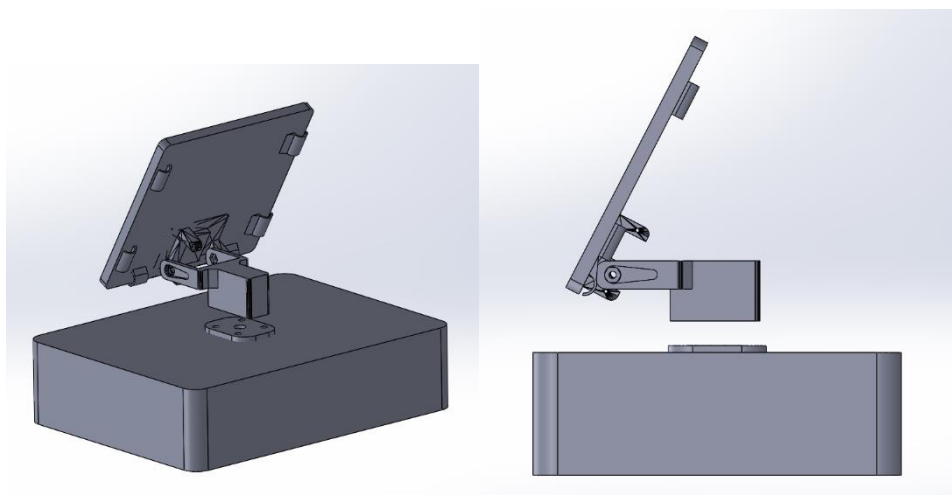
3. Opis realizacji.

W naszym projekcie zdecydowaliśmy dążyć do naprowadzania paneli w obu płaszczyznach, co umożliwia ustawienie paneli pod kątem prostym względem światła słonecznego w założonych przedziałach.

KONSTRUKCJA

Konstrukcja będzie wykonana z 3 głównych części:

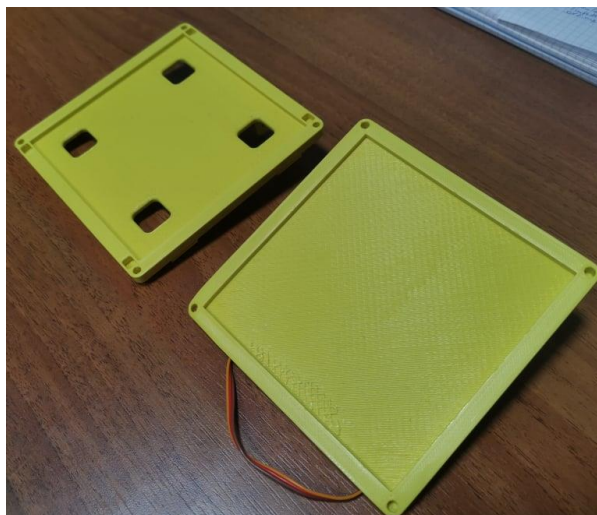
- stałej podstawy, w której będą niezbędne części elektroniczne, wraz ze źródłem zasilania
- głowy, do której będzie zamontowany panel
- stawu dwuosiowego- stanowiącego połączenie między głową a podstawą, umożliwiającego ruch w obu płaszczyznach.



Zdjęcie nr 1 – Wizualizacja konstrukcji

¹ <https://gazetalubuska.pl/dlugosc-dnia-i-nocy-w-polsce-jak-sie-zmieniaja-w-ciagu-roku-sprawdz-jaka-jest-dlugosc-dnia-na-rowniku-kalendarz-19022021/ar/c1-13274863> [16.11.2021]

Do zaprojektowania konstrukcji zostały użyte fragmenty gotowego modelu pozwalającego wykonywać ruch w dwóch płaszczyznach.



Zdjęcie nr 2 – Prototypy nośnika panela PV

Po wydrukowaniu pierwszej wersji (widocznej powyżej na zdjęciu powyżej po prawej stronie) złożenie głowy i stawu charakteryzowało się dużą dysproporcją rozkładu masy (staw był mocowany na środku płaszczyzny głowy). Z tego powodu model został poprawiony:

- mocowanie przesunięto na sam dół płaszczyzny, dzięki czemu balans się poprawił,
- wykonano otwory pozwalające na wyprowadzenie przewodów energetycznych z panelu PV,
- poprawiono konstrukcję rynienek na przewody,
- dodano otwory na fotorezystory
- poprawiono proces druku 3D, ponieważ pierwszy wydruk się odkształcił.

Część wykonawczą ruchu (obracanie) można zrealizować wykorzystując min: serwomechanizm, silnik krokowy lub siłownik. Ze względu na skalę wykonywanego modelu ostatnia pozycja została odrzucona. Porównanie dwóch proponowanych części:

1) Silnik krokowy: 42HS34-0406

Cechy silnika krokowego:

- duża masa (220 g)
- napięcie zasilania (10 V)
- duży pobór prądu (400 mA/cewkę)
- duży moment trzymający (0,15 Nm)
- sterowany kilkoma uzwojeniami cewek (2 cewki z odczepem)
- rozdzielczość kilkaset kroków na obrót (200 kroków/obrot (1,8°))
- wymaga kilkufazowego sterowania i konstruowania sterownika (punkt wyżej)
- duża cena (50 zł)

2) serwomechanizm: SG90

Cechy serwomechanizmu:

- niewielka masa (9 g)
- napięcie zasilania (5 V)
- duży moment trzymający (0,15 Nm)
- sterowany sygnałem prostokątnym o regulowanym wypełnieniu
- rozdzielczość kroku zależna od dokładności generatora
- wymaga jednego przewodu sygnałowego
- zakres ruchu zależny od modelu (0-180°)
- łatwy w uszkodzeniu
- niska cena (15 zł)

Zdecydowaliśmy się użyć dwóch serw do ustawiania azymutu i kąta elewacji.

Istnieje kilka sposobów nakierowywania paneli na słońce:

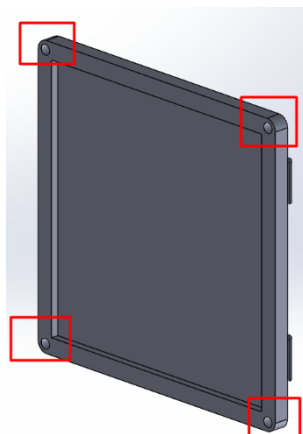
- Pasywne nastawianie – ruch paneli jest ściśle określony, zgodny z przemieszczeniem słońca. Wadami takiego rozwiązania jest zależność od położenia geograficznego i azymutu urządzenia.
- aktywne nastawianie -ruch paneli jest zależny od kąta padającego światła. Układ sam osiąga stan ustalony poprzez:
 - monitorowanie napięcia i prądu PV i dążenie do położenia maksymalnej mocy. Jednym z problemów jest brak informacji czy moc w aktualnym położeniu jest maksymalna. Układ musiałby zmieniać swoje położenie by znaleźć potencjalnie lepsze położenie. Drugim problemem byłoby dynamiczne obciążenie ogniwa. Powodowało by ono wachania prądu i napięcia.
 - kilka osobnych czujników monitorujących natężenie światła – pozwala na naprowadzanie niezależne od samych paneli PV, dzięki czemu pozbywamy się wszystkich problemów dotyczących samych paneli PV. Zastosowanie kilku czujników pozwala na jednoczesny pomiar natężenia w wielu punktach, dzięki czemu wiemy od razu w jakim kierunku panel powinien zostać ustawiony.

Sterowanie niezależne od paneli PV, wspomagane zewnętrznymi czujnikami brzmi bardzo obiecująco. Dołożenie kilku elementów znacznie uprości algorytm sterownika, oszczędzi czas (implementacja namierzania słońca) i zwiększy niezawodność urządzenia.

Kolejnym krokiem jest wybór detektora.

- fotodioda: jest elementem optoelektronicznym generujący prąd wsteczny pod wpływem oświetlenia. Wadą jest mała wartość prądu (co się przekłada na niskie napięcie), silna zależność prądu od temperatury i niska dostępność dyskretnych elementów.
- fototranzystor: zazwyczaj tranzystor npn bez wyprowadzonej elektrycznie bazy. Po oświetleniu bazy złącze baza-emiter polaryzuje się w kierunku przewodzenia, dzięki czemu tranzystor może pracować w stanie aktywnym/nasycenia. Cechuje je duża szybkość i duże wzmocnienie, przez co często są wykorzystywane do separacji galwanicznej sygnałów elektrycznych.
- fotorezystor: jego rezystancja zmienia się pod wpływem oświetlenia. Jedną z cech jest jego duży czas reakcji. Fotorezystory są popularne jako detektory w urządzeniach niewymagających dużej szybkości.

W naszym projekcie wykorzystamy 4 fotorezystory, które będą umieszczone w narożnikach głowy



Zdjęcie nr 3 – Wizualizacja rozlokowania fotorezystorów

Różnica wielkości mierzonej między lewymi a prawymi fotorezystorami będzie definiowała kierunek obrotu, a różnica między dolnymi a górnymi kątem nachylenia głowy.

Główną jednostką sterującą będzie Arduino Nano (ATMega328p)

ZASILANIE

Istnieje wiele opcji, aby dostarczyć naszemu układowi niezbędnego źródła energii: Pod uwagę zostały dwie możliwości:

- zasilanie energią z panelu PV – rozwiązanie ma kilka wad w naszym przypadku. Pierwsza z nich to niskie napięcie na wyjściu (poniżej 0.6 V). Wymagałoby ono zastosowania specjalistycznej niskonapięciowej przetwornicy podwyższającej napięcie. Nawet po zamontowaniu takowej moglibyśmy mieć duży problem ze stabilnością takiego źródła napięcia
- zewnętrzne źródło zasilania – najlepszym wyborem byłoby zasilanie z baterii/akumulatora, aby zapewnić mobilność, dlatego wybrana zostaje ta opcja.

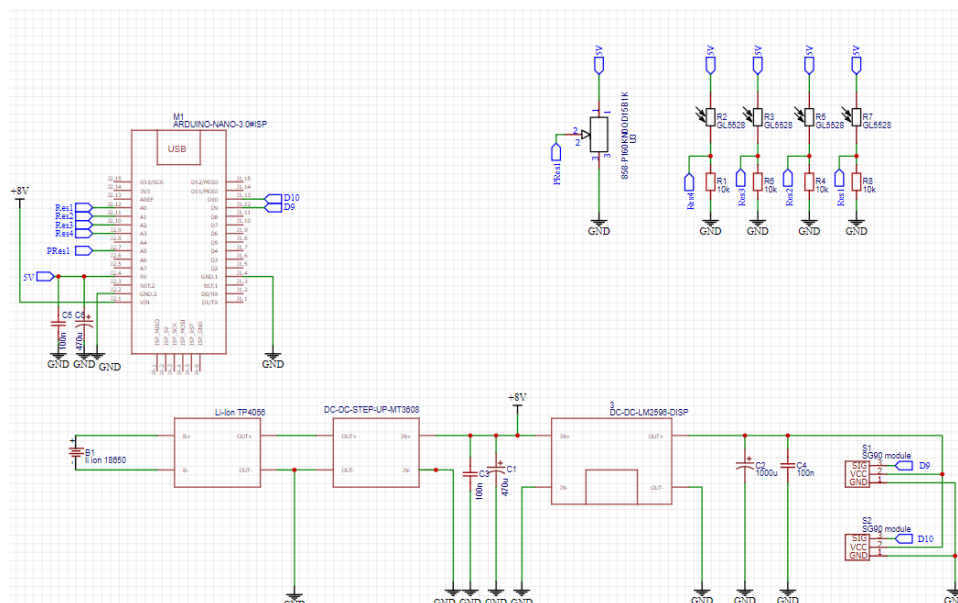
Użyty zostanie akumulator Li-Ion Sony US18650VTC4 o pojemności 2100mAh.

Razem z baterią zostanie zamontowany również moduł ładowarki microUSB z układem TP4056 i zabezpieczeniem przed rozładowaniem.

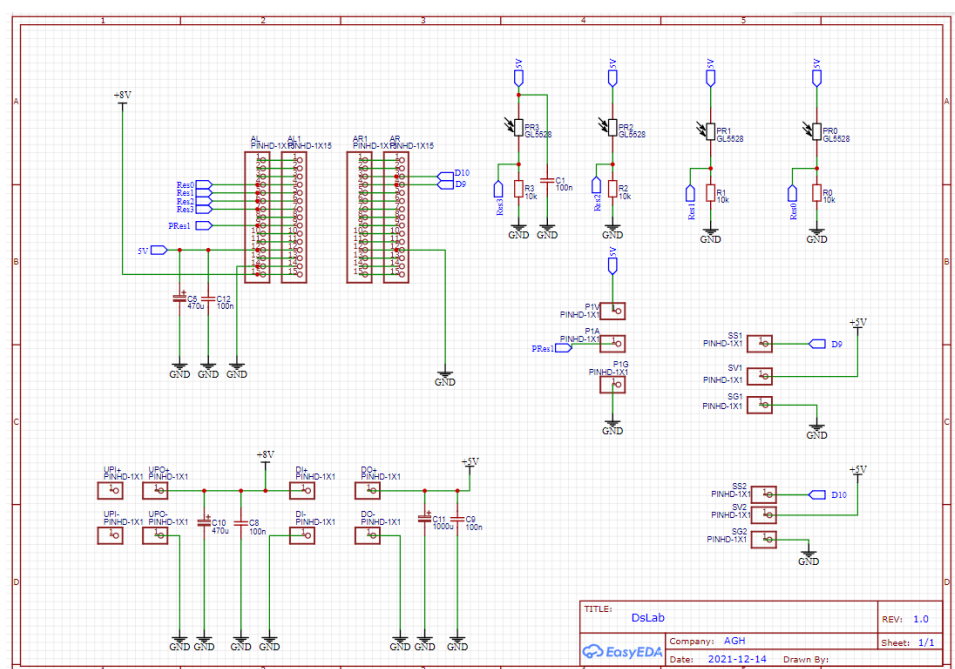
Mikroprocesor oraz serwomechanizmy wymagają napięcia stabilizowanego 5V, więc wykorzystany zostanie moduł przetwornicy step up SX1308, o zakresach napięcia wejściowego 2-24V i napięcia wyjściowego 2-28V. Napięcie jest podnoszone do 8V, i to napięcie jest podawane na stabilizator 5V umieszczony na płytce Arduino, zasilający całą logikę, a napięcie 8V jest również obniżane do 5V przy pomocy przetwornicy step down (LM2596), aby zasilić serwomechanizmy.

PŁYTKA PCB

Pracę nad stworzeniem płytki PCB rozpoczęliśmy od stworzenia poniższego schematu.



Schemat nr 1- Połączenie logiczne układu

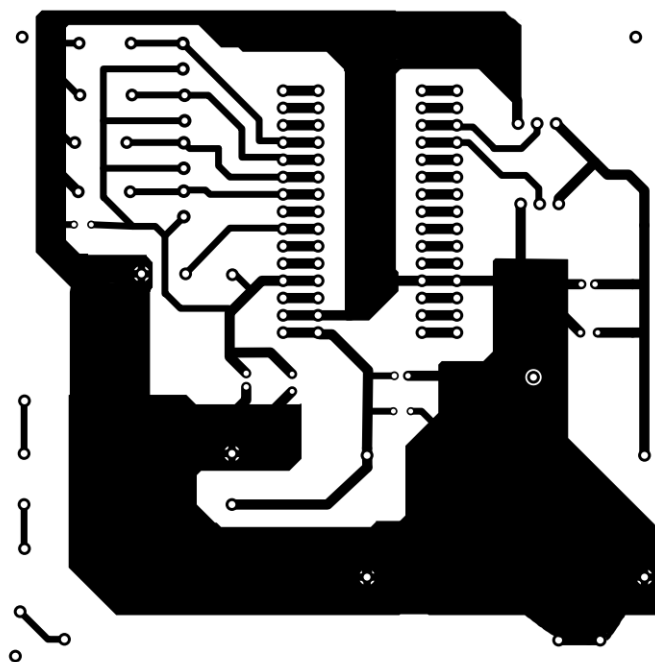


Schemat nr 2- Połączenie pinowe układu

Schemat możemy podzielić na 4 części. W dolnym lewym rogu znajduje się zasilanie układu składające się z pinów na akumulator litowo-jonowy, oraz przetwornicy step up, oraz step down. W górnym prawym rogu znajdziemy zasilanie oraz wyprowadzenia z arduino. U góry po prawej znajdują się dzielniki napięciowe złożone z rezystorów oraz fotorezystorów, a także podłączenie potencjometru do mikrokontrolera. Po prawej stronie widać schemat podłączenia logicznego serw.

Każda szyna zasilania jest odfiltrowana z niechcianych zakłóceń oraz zabezpieczona przed przeciążeniami kondensatorami elektrolitycznymi, oraz ceramicznymi.

Metoda na jaką zdecydowaliśmy się, aby wykonać płytkę to termotransfer. Korzystając z odpowiednio wyczyszczonego kawałka laminatu, nanieśliśmy na niego, wydrukowany na papierze kredowym schemat płytki.



Rysunek nr 1 – Druk schematu połączeń płytki

Następnie za pomocą odpowiedniej temperatury i wytrawiacza, udało się wytworzyć płytkę. Po wywierceniu otworów montażowych, ostatnią czynnością pozostało sprawdzenie poprawności przewodzenia ścieżek. Zlutowany układ reagował poprawnie, więc należało wgrać oprogramowanie na mikrokontroler.

KOD PROGRAMU

Układ po podłączeniu zasilania stabilizuje się w pozycji początkowej, na 90° wychyleniu serw w osi poziomej oraz pionowej. Następnie pobierane są próbki napięcia z dzielników rezystancyjnych. Mikrokontroler pobiera kilkadziesiąt próbek kolejno z każdego dzielnika rezystancyjnego, co pozwala na uśrednienie wyników i zredukowanie szumów.

Następnie obliczana jest logika odpowiadająca za ruch układu w konkretnym kierunku. Jeżeli obliczona relatywna wartość natężenia światła jest odpowiednio większa w jednym ze zwrotów osi to następuje wychylenie się odpowiadającego serwa. Próbki pobrane wcześniej są resetowane i cały proces przebiega od nowa.

Układ posiada wbudowane ograniczenie software'owe przed nadmiernym wychyleniem się serw, które mogłoby doprowadzić do zerwania połączeń kablowych, bądź przed uszkodzeniem samego serwomechanizmu. Posiada także korektę wartości dla każdego z dzielników rezystancyjnych. Sam kod został napisany w sposób umożliwiający szybką i przejrzystą konfigurację zmiennych i zaimplementowanych ograniczeń wpływających na pracę programu.

4. Problemy.

W oryginalnym układzie napięcie z akumulatora było zwiększane na 5V i zasilало jednocześnie mikrokontroler oraz serwomechanizmy. Impulsowa praca serwomechanizmów pod obciążeniem powodowała skoki napięcia nawet pomimo użycia kondensatorów filtrujących o dużej pojemności powodując resetowanie się mikroprocesora. Problem został rozwiązany separując zasilanie logiki i serwomechanizmów.

Uchyby w odczycie występowały w każdym z fotorezystorów z powodu niedokładności montażowej tych elementów (różna wysokość montażu, przekrzywiony element, itp.). Wartości odczytanych napięć zostały skorygowane offsetem w programie dla promieni świetlnych prostopadłych do płaszczyzny głowy.

Zbyt wysoka temperatura lutowania powodowała uszkodzenie wyprowadzeń fotorezystorów – między wyprowadzeniami widoczna była przerwa mierząc rezystancję. Fotorezystory wymieniono na nowe i zmieniono metodę lutowania wyprowadzeń z przewodami.

Zbyt duża ilość przewodów między głową a podstawą znacznie ograniczała ruch głowy. Zmieniono przewody na cieńsze i bardziej elastyczne, oraz zmostkowano wszystkie wspólne sygnały fotorezystorów (+5V), zmniejszając ilość przewodów o 3.

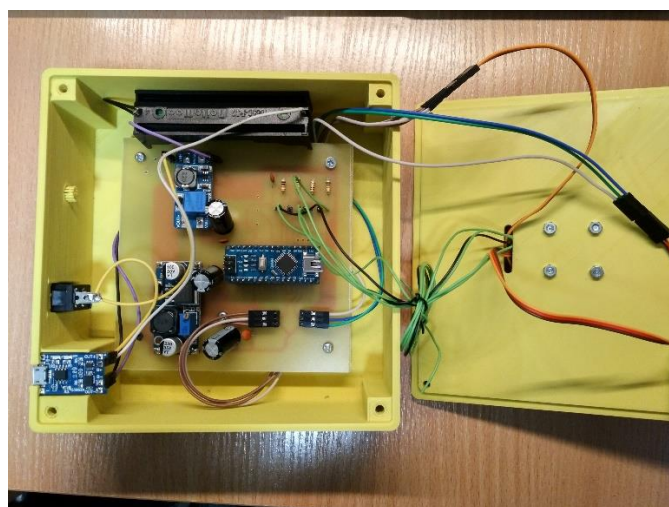
Pozyskany wyłącznik był niesprawny, został wymieniony na nowy model.

Nieprawidłowe rozmieszczenie wyprowadzeń serwomechanizmów na PCB uniemożliwia bezpośrednie podłączenie serwomechanizmów do PCB.

Nieprawidłowe rozmieszczenie elementów na płytce uniemożliwia przylutowanie koszyczka na akumulator bezpośrednio do PCB.



Zdjęcie nr 4 – Fotografia gotowej konstrukcji



Zdjęcie nr 5 – Wnętrze obudowy wraz z elektroniką

Źródła:

<https://www.thingiverse.com/thing:708819> [17.11.2021]

<https://botland.com.pl/silniki-krokowe/11621-silnik-krokowy-42hs34-0406-200-krokow-obr-10v-04a-015nm-5904422340216.html> [16.11.2021]

<https://abc-rc.pl/product-pol-788-Serwo-SG-90-9g-1-8kg-cm-Micro-servo-SG90.html> [16.11.2021]

<http://www.datasheet-pdf.com/PDF/US18650VTC4-Datasheet-DSBG-1160671> [24.11.2021]

<https://abc-rc.pl/product-pol-8532-Zasilacz-buforowy-Ladowarka-Micro-USB-1A-do-Li-pol-18650-na-TP4056.html> [24.11.2021]

<https://abc-rc.pl/product-pol-7529-Przetwornica-SX1308-STEP-UP-2A-2-28V-odpowiednik-LM2577-XL6009.html> [24.11.2021]

<https://abc-rc.pl/product-pol-5375-Przetwornica-3A-3-35V-na-1-5-30V-DC-DC-step-down-LM2596-do-FPV.html> [24.01.2022]