Wiedza i doświadczenie projektowe wizytówką absolwenta kierunku automatyka i robotyka na Wydziale Automatyki, Elektroniki i Informatyki Politechniki Śląskiej

POKL.04.01.02-00-020/10

Program Operacyjny Kapitał Ludzki współfinansowany przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego

---

Gliwice, 14.10.2013 r.

Międzywydziałowe Koło Naukowe High Flyers
Wydział Automatyki Elektroniki i Informatyki
Kierunek Automatyka i Robotyka

dr hab. inż. Marek Pawełczyk, prof. nzw. w Politechnice Śląskiej
Koordynator Projektu POKL.04.01.02-00-020/10

Raport z realizacji projektu:

Autopilot III

Zespół projektowy:

Agnieszka Ziebura (lider projektu)
Paulina Wilk
Paweł Soja
Marek Nocoń
Bartłomiej Wiak
Przemysław Recha
Tomasz Targiel
Piotr Tracichleb
Jakub Piasecki
Tomasz Maryńczuk
Piotr Hącel

Osoby wspierające projekt:

Marcin Janik (konsultant projektu)
Witold Cichoński
Kornel Matusiak
Michał Płatek

Podpis lidera projektu:

Agnieszka Ziebura

Podpis opiekuna projektu:

mgr inż. Grzegorz Szafrański

1. Opis projektu

1.1. Cel projektu: Opracowanie nowatorskiego układu elektronicznego Autopilota, zoptymalizowanie istniejących algorytmów w warstwie sterowania bezpośredniego i nadrzędnego oraz funkcjonalna integracja systemów pokładowych bezzałogowego motoszybowca.

1.2. Założenia projektu: Projekt zakłada kontynuację prac nad autonomicznym modułem Autopilota opartego o wydajną jednostkę mikrokontrolera oraz przetestowanie i wdrożenie najnowszych sensorów wykonanych w technologii MEMS. Równolegle prowadzone będą prace nad miniaturyzacją układu OSD oraz dopracowaniem systemu Rescue Shield. Zostaną podjęte próby opracowania inteligentnego miernika energii pobieranej przez system napędowy platformy latającej.

1.3. Oczekiwane wyniki: Moduł autopilota umożliwiający wykonywanie autonomicznych lotów różnymi platformami bezzałogowymi, zdolny do wykonywania misji rozpoznawczych oraz obserwacyjnych, wzbogacony o układy On-Screen-Display oraz Rescue Shield. Jednolita integracja systemów elektronicznych z konstrukcją mechaniczną.

1.4. Ocena ryzyka projektu: Mając na uwadze interdyscyplinarny kierunek kształcenia studentów na Wydziale Automatyki, Elektroniki i Informatyki, ich zainteresowania tematyką lotniczą, możliwość przeprowadzenia konsultacji z opiekunami oraz nawiązaną współpracę z firmą z branży lotniczej, istnieje duże prawdopodobieństwo pozytywnej realizacji wnioskowanego projektu.

2. Podział projektu na zadania

W trakcie realizacji projektu Autopilot III podjęto decyzję o korekcie celów projektowych. Ze względu na fakt, że w roku 2013 platforma motoszybowca HF-Orzeł nie brała udziału w ogólnopolskich zawodach, zrezygnowano z wykonania udoskonalonego modułu elektronicznego – na jego rzecz skupiono się na poprawie programowego układu regulacji platformy.

Moduł OSD, który docelowo miał stanowić samodzielny moduł elektroniczny, scalono do kontrolera lotu quadrocoptera. Ze względu na specyficzną aplikację modułu opracowano układ przełącznika źródła wideo oraz zapewniono dodatkowe tryby pracy urządzenia.

Bazując na doświadczeniu z poprzedniej edycji POKL (projekt *Autopilot II*) wykonano zestaw anten nadawczo-odbiorczych przystosowanych na pasmo 5.8 GHz. Po wykonaniu testów użytecznego zasięgu, anteny, wraz z linkiem radiowym, posłużyły do transmisji sygnału wideo z platformy latającej na naziemną stację kontroli lotu.

Wyznaczona podsekcja projektowa specjalizująca się w analogowych układach zasilania opracowała uniwersalną płytkę dostosowaną do zasilania platform latających z pakietów litowo-

polimerowych. Poza dostarczeniem podstawowych napięć, przewidziano dodatkowe możliwości konfiguracyjne.

2.1. Dopracowanie algorytmu stabilizacji platformy

Zadanie to zastąpiło we wniosku o realizację projektu następujący punkt: *Wykonanie udoskonalonej wersji obwodu drukowanego PCB Autopilota dla platformy latającej.*

Dotychczas korzystano z bardzo uproszonych pętli regulacji, strukturą zbliżonych do regulatora P (tj. Proporcjonalny). Niestety podczas złych warunków pogodowych lub krytycznych manewrów platforma nie reagowała dostatecznie precyzyjnie bądź oscylowała wokół wartości zadanej. Pierwszym etapem rozwoju struktury algorytmu było określenie wymagań funkcjonalnych. Poczynając od struktury logicznej najwyższego poziomu, układ regulacji platformy odpowiedzialny jest za nawigację obiektu UAV według misji zaplanowanej przez pilota. Uwzględnia to trójwymiarowe (tj. koordynaty GPS oraz wysokość) punkty pośrednie, według których następuje przemieszczenie zgodnie z zaplanowaną kolejnością. Niższym poziomem strukturalnym jest stabilizacja według pożądanych kątów Eulera (tj. wzdłuż osi pochylenia przechylenia i odchylenia). Ten poziom stabilizacji ściśle współpracuje z kolejnym, który odpowiada za kontrolę prędkości kątowych według wymienionych wyżej osi swobody.

Mając na uwadze fakt, że projektowany algorytm przeznaczony jest dla obiektów latających o wysokim stopniu autonomii oraz wysoce pożądana jest niezawodność jego działania, zdecydowano się wykorzystać tradycyjny regulator PID (ang. Proportional, Integral, Derivetive). Algebraiczna forma regulatora PID przedstawiona jest na rysunku 1. Postać dyskretna regulatora dla różnych współczynników przy członach P, I oraz D opisana jest na rysunku 2, natomiast opracowany na jej podstawie kod maszynowy widoczny jest na rysunku 3.

$$U(t) = K_p\left[e(t) + \frac{1}{T_i}\int e(t)dt + T_d\frac{de(t)}{dt}\right]$$

Rysunek 1. Algebraiczna forma regulatora PID

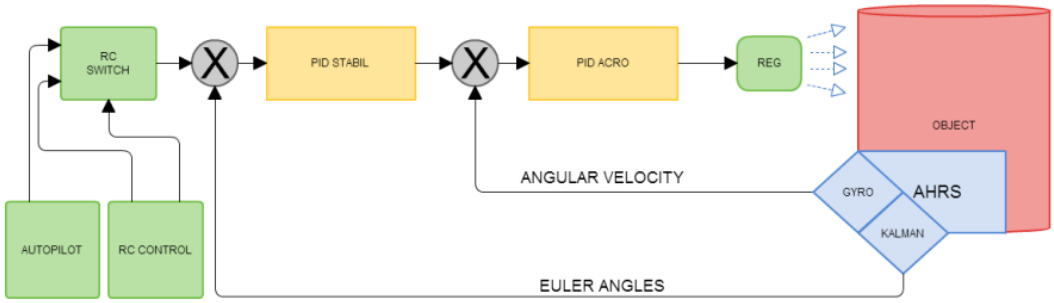
$$u(i) = K_p e(i) + \sum_{n=0}^{i} K_i e(n) + K_d\left[e(i) - e(i-1)\right]$$

Rysunek 2. Postać dyskretna regulatora PID

```
int pid(float wejscie, float wartoscZadana, float *poprzednieWejscie, float
*ITerm, float kp, float ki, float kd)
{
	float uchyb = wartoscZadana - wejscie;
	if (integral == 1)
		*ITerm += (ki * uchyb);
	else
		*ITerm = 0;
	float dInput = (wejscie - *poprzednieWejscie);
	float pidOut = kp * uchyb + *ITerm + kd * dInput;
	*poprzednieWejscie = wejscie;
	return (int) pidOut;
}
```

Rysunek 3. Kod maszynowy regulatora PID

Jako że zdecydowano się na kaskadowe ustawienie regulatorów PID, kolejnym etapem prac było zdefiniowanie oraz kondycjonowanie sygnałów sterujących pojawiających się na wejściach każdego członu układu regulacji. W tym celu nadano robocze nazwy każdemu członowi. „PID Acro” to struktura najniższego rzędu, sprawująca kontrolę nad prędkościami kątowymi platformy w płaszczyznach przechylenia, pochylenia oraz odchylenia. Dane na wejściu tego regulatora to żądana prędkość kątowa, a zmienna stanu to pomiary z trójosiowego żyroskopu. Optymalna czułość tego sensora to 200 stopni/sekundę, a częstotliwość odświeżania powyżej 300 Hz. Kolejny człon regulatora to „PID Stabil”, którego głównym zadaniem jest stabilizacja kątów Eulera w każdej z osi obrotu. W tym przypadku sygnał wejściowy to żądany kąt Eulera, a zmienną stanu jest wektor trzech kątów opisujących aktualne położenie platformy w przestrzeni. Niestety żaden z sensorów nie dostarcza bezpośrednio oczekiwanych wartości dla tego regulatora. W tym celu wykorzystano moduł AHRS firmy CH-Robotics - UM6. Moduł ten, dzięki zastosowaniu dostrojonego filtru Kalmana, oblicza potrzebne kąty Eulera i dostarcza je do jednostki głównej autopilota. Zewnętrzną, a zarazem ostatnią powłoką układu regulacji platformy latającej, jest człon „PID Navi”, który na podstawie danych otrzymanych od odbiornika GPS, barometru, sensora prędkości względnej oraz magnetometru estymuje aktualny kurs, który powinien obrać obiekt latający. Schemat ideowy struktur „Acro” oraz „Stabil” przedstawiony jest na rysunku 4.



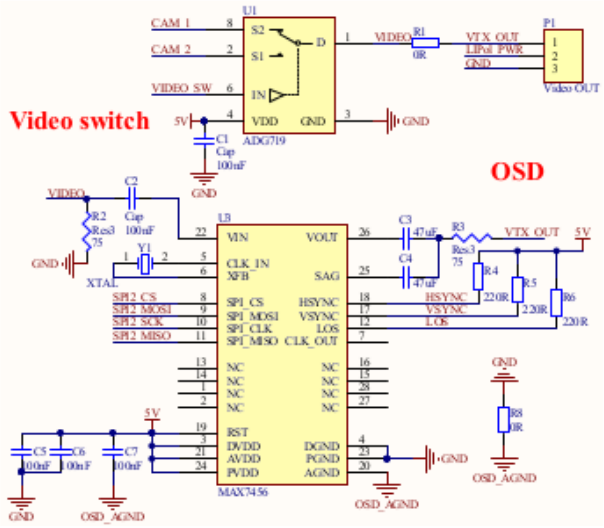
Rysunek 4. Schemat ideowy struktur "Acro" oraz "Stabil" regulatora PID

2.2. Aplikacja modułu OSD w kontrolerze lotu platformy HF-4X

Zadanie to zastąpiło we wniosku o realizację projektu następujący punkt: *Udoskonalenie układu OSD*.

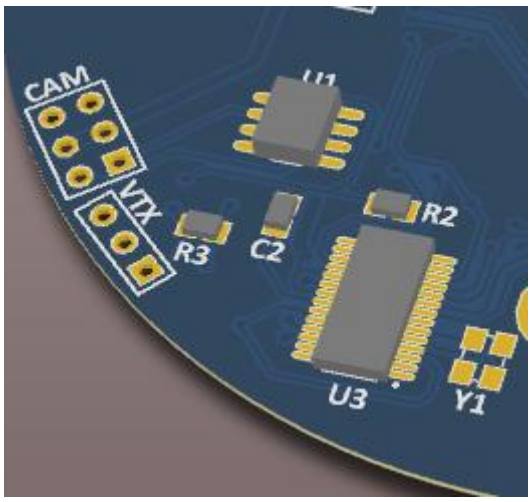
Bazując na prototypie układu OSD wykonanym w poprzedniej edycji POKL zaprojektowano kolejną edycję dostosowaną do aplikacji na platformie HF-4X. Poza podstawowym wyposażeniem składającym się na układ scalony MAX7456, rezonator kwarcowy 27 MHz oraz kondensatory odsprzęgające, dodano wyprowadzenia na piny HSYNC, VSYNC oraz LOS, które docelowo podłączone są do odpowiednich pinów jednostki centralnej mikrokontrolera i zapewniają dodatkowe informacje na temat przetwarzanego obrazu. Jako że wyjścia te są typu „open drain", dodano również rezystory podciągające. Kolejną dodaną funkcjonalnością jest możliwość przełączania źródła wideo pomiędzy dwoma kamerami. Układ nadzorujący i realizujący tę funkcję to ADG719 firmy Analog Devices. Urządzenie to posiada dwa kanały wejściowe oraz jeden wyjściowy. Sygnał sterujący pracą ADG wysyłany jest z głównego kontrolera.

Mając na uwadze mnogość scenariuszy, w których wykorzystany może być kontroler lotu, przewidziano również możliwość wyłączenia z obiegu układu OSD. W tym celu dodano zworkę rezystorową, która powoduje, że sygnał z kamery źródłowej trafia bezpośrednio do nadajnika wideo, z pominięciem układu MAX7456. Schemat połączeń opisywanego modułu przedstawiony jest na rysunku 5.

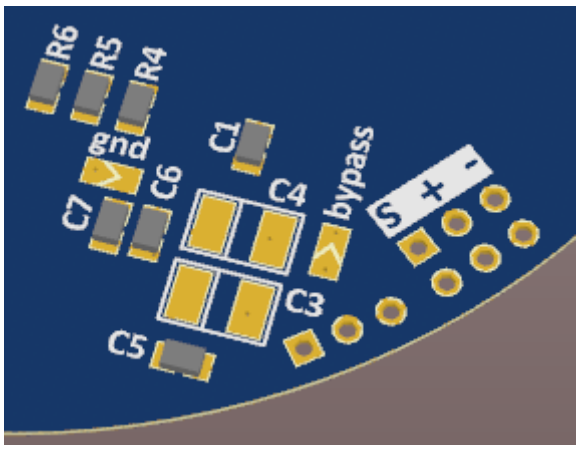


Rysunek 5. Schemat połączeń modułu wyłączającego układ OSD

Wraz ze schematem połączeń przewidziano rozmieszenie komponentów na płytce PCB oraz ułożenie mozaiki ścieżek. Rezultaty przedstawione są na rysunkach 6 i 7.



Rysunek 6. Górna warstwa obwodu drukowanego.



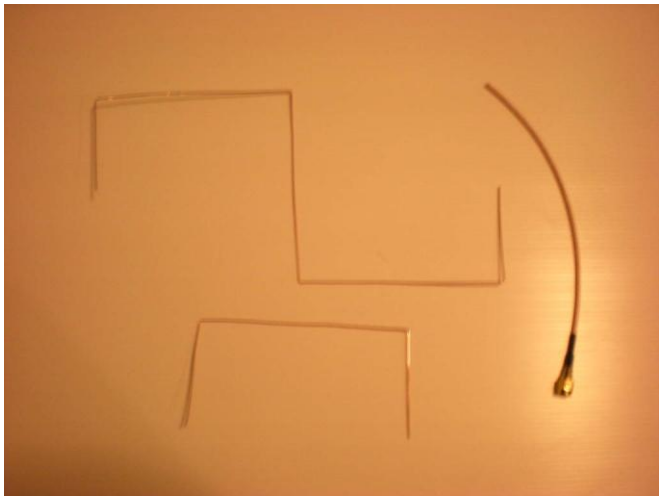
Rysunek 7. Dolna warstwa obwodu drukowanego.

2.3. Wykonanie anten dedykowanych do linku wideo na pasmo 5.8GHz

Zadanie to zastąpiło we wniosku o realizację projektu następujący punkt: *Dopracowanie modułu Rescue Shield*.

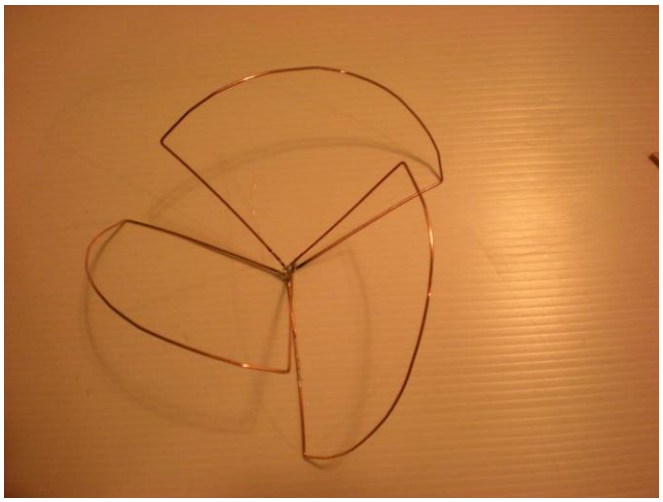
Posiadając pozytywne doświadczenia z wykorzystania anten dookólnych spolaryzowanych kołowo na częstotliwość 1.2 Ghz wykonanych w poprzednim semestrze, postanowiono wykonać bliźniacze jednostki lecz przeznaczone do pracy na około pięciokrotnie większe częstotliwości. Główną zaletą takiego rozwiązania jest pięciokrotne zmniejszenie rozmiaru głowicy anteny, co jest kluczowe w platformach latających, w których każdy nieaerodynamiczny obiekt ma wpływ na stabilność lotu. Cena, jaką płacimy za tak kompaktowy rozmiar, to znacznie mniejsze zdolności sygnału do penetracji przeszkód. W terenach otwartych, w których platforma latająca porusza się w zasięgu wzroku obserwatora, nie jest to problem, lecz w sytuacji gdy przeszkodą jest np. człowiek, budynek lub drzewo, spodziewać się można znaczącego zaniku w sile sygnału.

Pierwszym etapem budowy anteny jest przycięcie miedzianego przewodu powlekanego na odpowiednią długość. Wykorzystywane są dwa wymiary: 105 mm oraz 53 mm. Na te długości należy przyciąć przewód, a następnie zagiąć pod kątem prostym (rysunek 8).



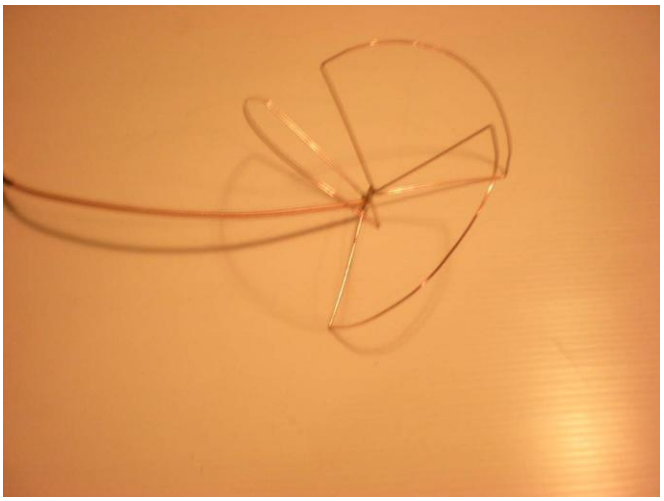
Rysunek 8. Pierwszy etap budowy anten

Kolejnym krokiem jest zagięcie przyciętych odcinków w charakterystyczne „koniczynki”, a następnie połączenie odpowiednich końcówek za pomocą cyny (rysunek 9).



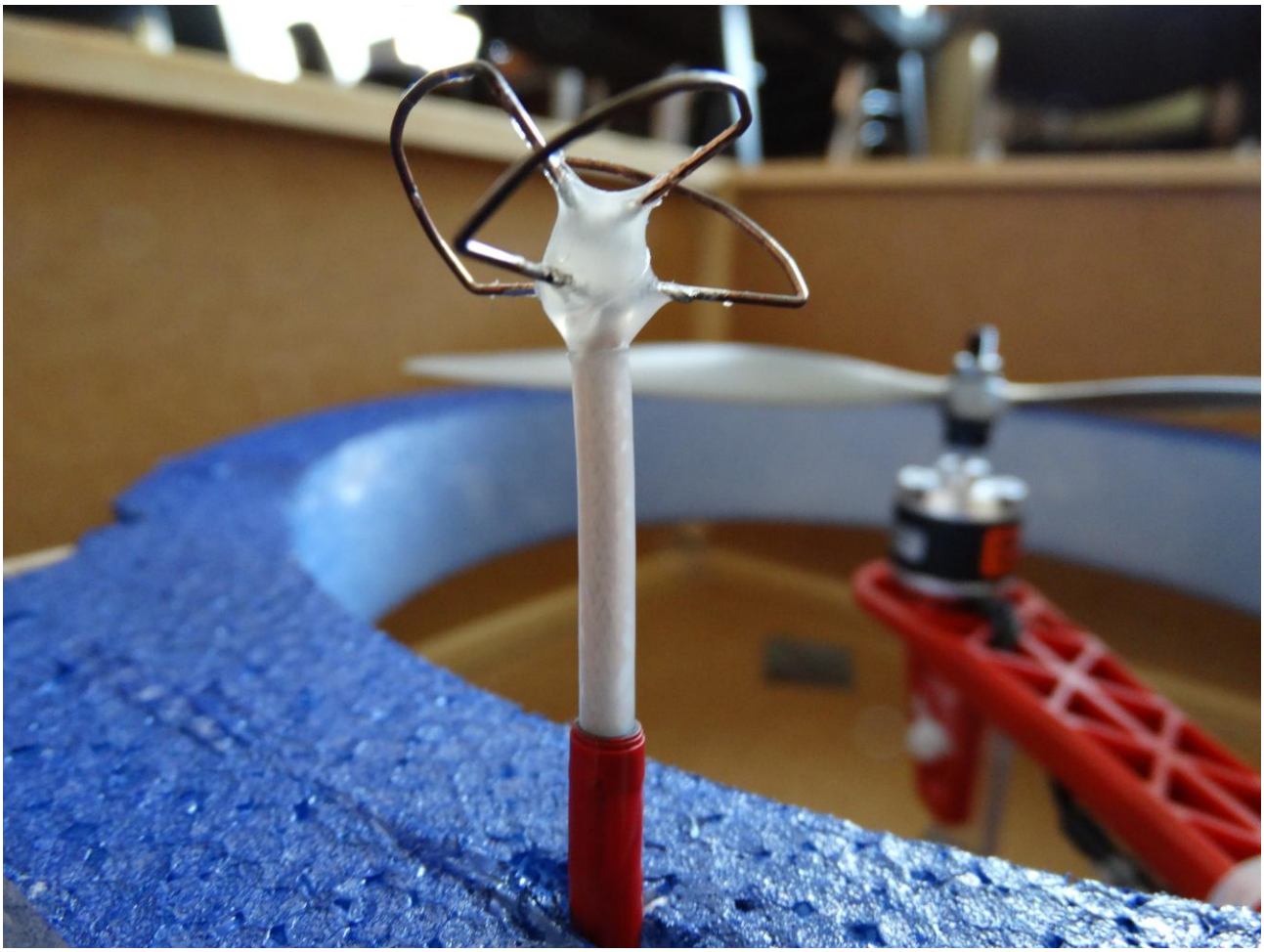
Rysunek 9. Drugi etap budowy anten

Końcowym krokiem jest połączenie wykonanej głowicy z przewodem koncentrycznym. W naszym przypadku był to przewód typu RG174 z powodu jego sztywności i łatwości w obróbce (rysunek 10).



Rysunek 10. Trzeci etap budowy anten

Ostatni krok to zarobienie złącz typu SMA. Końcowy wynik naszych prac przedstawiono na rysunku 11.



Rysunek 11. Antena

W celu zweryfikowania poprawności wykonania powyższych anten wykonano test w otwartym terenie. Zestaw pomiarowy składał się z kamery GoPro oraz nadajnika wideo wyposażonego w jedną z anten oraz odbiornik wideo połączony z wideo goglami Cinemizer. Rezultaty pomiarów są zaskakująco dobre, ponieważ wykorzystując stosunkowo niską moc nadawczą równą 200 mW udało się uzyskać stabilny i użyteczny sygnał wideo na dystansie 500 m. Zgodnie z oczekiwaniami zaobserwowano drastyczny spadek jakości obrazu, gdy na drodze sygnału znajdowała się przeszkoda.

2.4. Projekt i wykonanie uniwersalnej płytki zasilania „Power Board”

Zadanie to zastąpiło we wniosku o realizację projektu następujący punkt: *Opracowanie inteligentnego sensora prądu*.

Uniwersalny układ zasilania to jeden z najważniejszych komponentów składających się na funkcjonalną oraz niezawodną platformę latającą. Pierwszym kryterium było napięcie źródła zasilania. W naszym przypadku była to trzy-celowa bateria ogniw litowo polimerowych połączonych szeregowo. W rezultacie układ ten powinien spodziewać się na zaciskach

wejściowych napięć z zakresu 9.5 V – 12.4 V. Drugim wyznacznikiem doboru przetwornic był amperaż zasilanej elektroniki. Aby zapewnić uniwersalność modułu, należało założyć stosunkowo wysoki prąd znamionowy przy jednoczesnych niskich napięciach tętnień na liniach 5 V oraz 3.3 V. Wszystkie kryteria spełniały układy scalone firmy Texas Instruments z serii LMZ1200x. Kolejnym etapem projektowym było określenie dodatkowych wymogów funkcjonalnych.

Pierwszym z nich było ustandaryzowane złącze umożliwiające wpięcie dowolnego modułu jednostki centralnej mikrokontrolera. Ze względu na mnogość wyprowadzeń oraz możliwości rozbudowy układu w przyszłości, zdecydowano się na dwie listwy kołkowe typu „gold pin” 2x20.

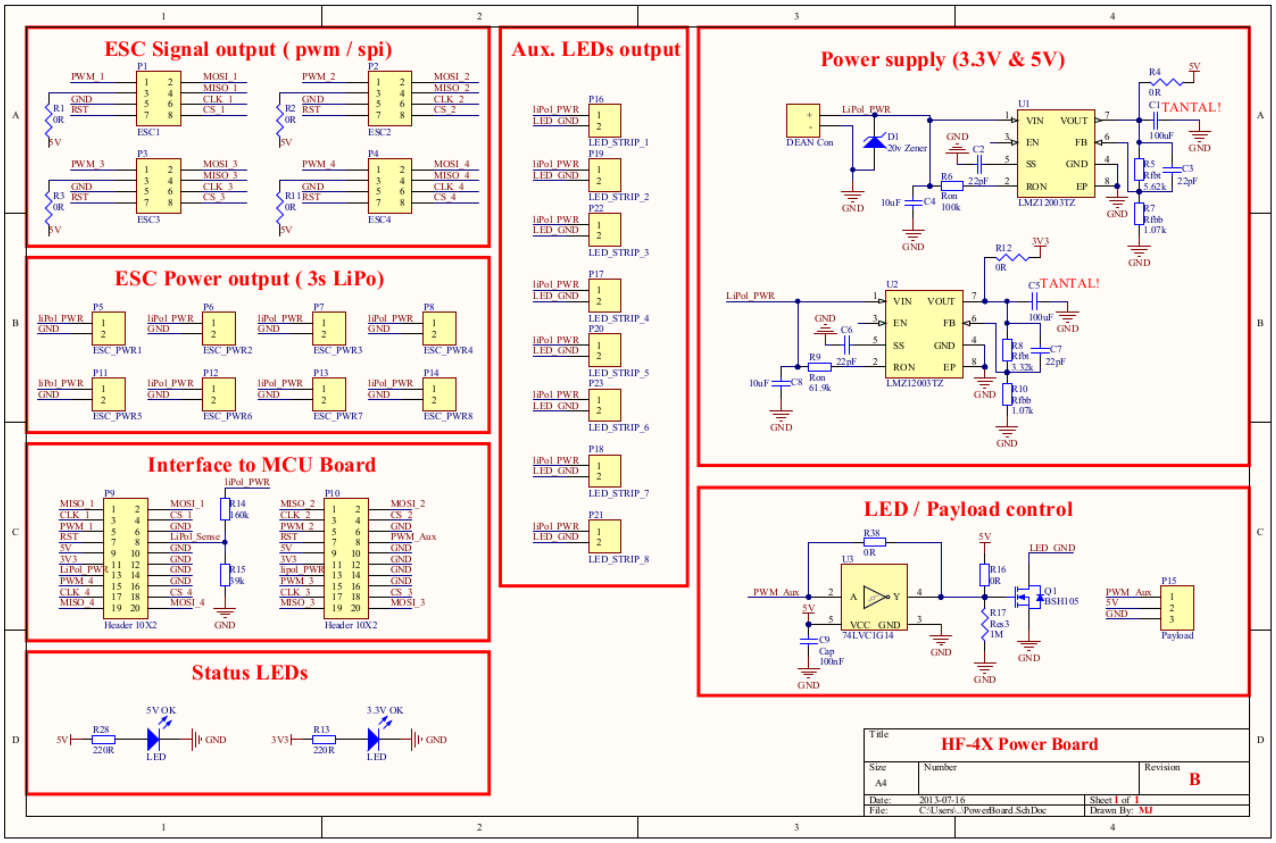
Kolejnym istotnym wymogiem była kompatybilność z dedykowanymi regulatorami silników bezszczotkowych. W tym celu przewidziano 4 kanały interfejsu SPI, który wyprowadzony został na obrzeże PCB do standardowych złącz typu Kanda.

Bardzo często docelowa platforma latająca musi przenosić oraz kontrolować dodatkowy ładunek. Zaproponowano nietypowe rozwiązanie układu sterującego, który w zależności od ustawienia zworek konfiguracyjnych może służyć jako kontroler diod LED, inwerter dla sterownika LED lub sterownik serwa modelarskiego.

Aby w szybki sposób ocenić poprawność pracy przetwornic napięcia stałego, zaprojektowano również dwie kontrolne diody LED.

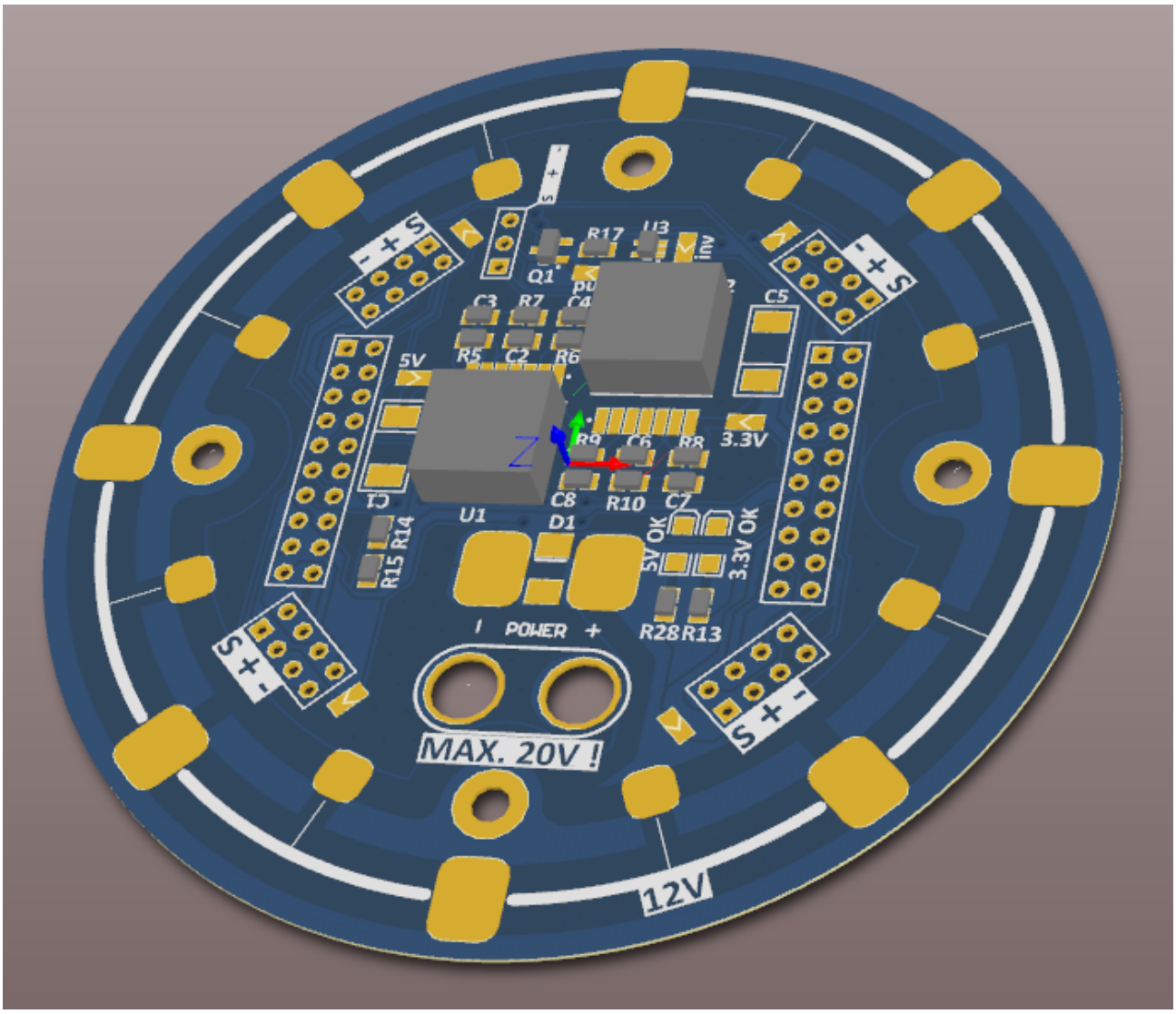
Ostatnią funkcjonalnością było rozprowadzenie napięcia zasilania na każdy regulator ESC oraz zapewnienie możliwości podłączenia dodatkowego oświetlenia platformy w postaci pasów LED.

Po sprecyzowaniu wymogów funkcjonalnych wykonano schemat połączeń, który znajduje się na rysunku 12.

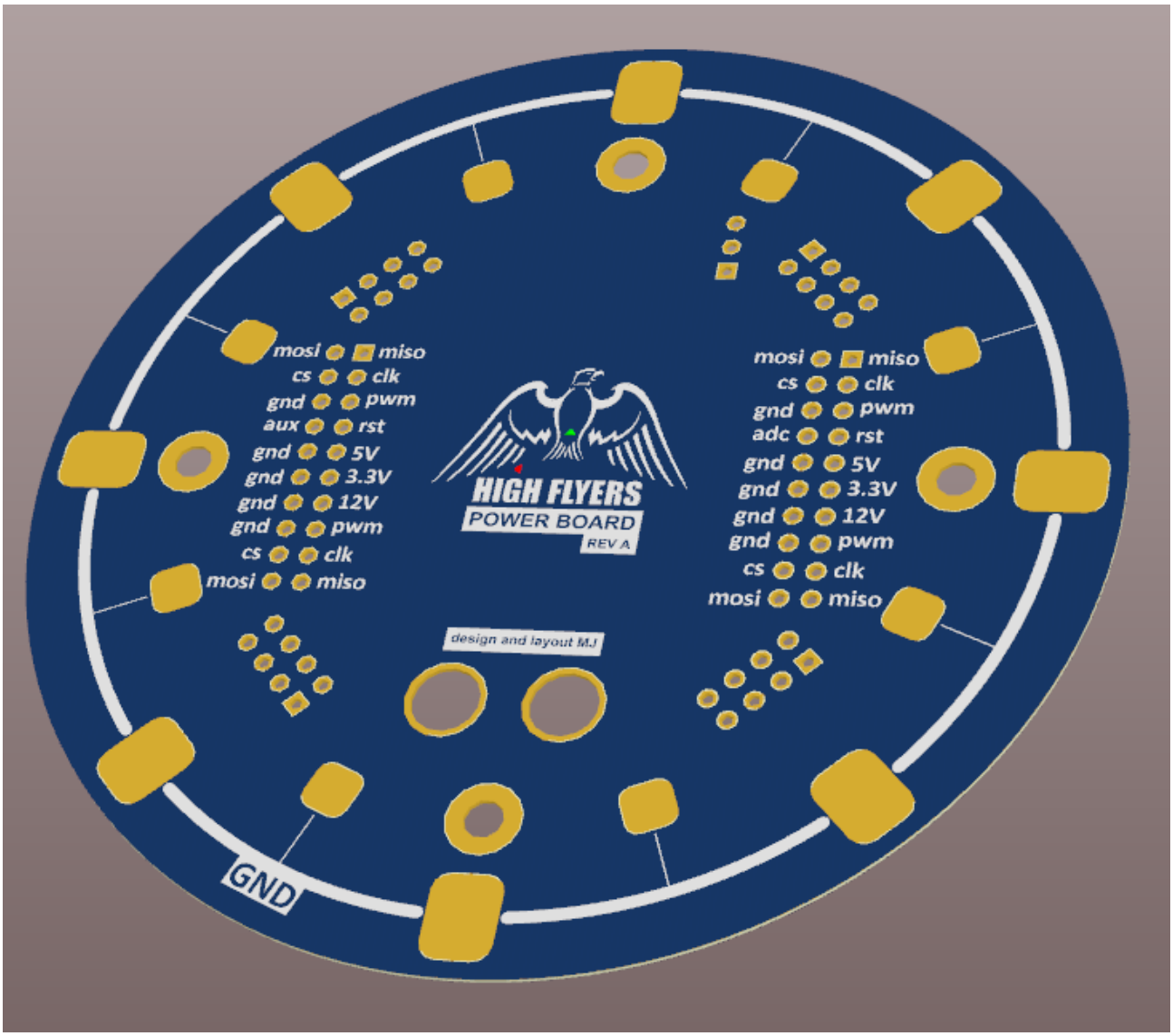


Rysunek 12. Schemat połączeń płytki zasilania „Power Board”

Następnie za pomocą zintegrowanego środowiska Altium Designer wykonano projekt rozmieszczenia komponentów oraz mozaikę ścieżek. Rezultaty przedstawione są na rysunkach 13 i 14.



Rysunek 13. Projekt rozmieszczenia komponentów oraz mozaika ścieżek płytki „Power Board”



Rysunek 14. Projekt rozmieszczenia komponentów oraz mozaika ścieżek płytki „Power Board”

3. Podsumowanie

Możliwość udziału i pracy na rzecz projektu Autopilot III była dla zespołu konstrukcyjnego źródłem cennych wniosków i doświadczeń. Pomyślnie dostosowano założenia projektowe do zaistniałych potrzeb oraz wykonano wyznaczone cele. Skonstruowane układy z sukcesem zostały zaaplikowane do docelowych platform latających, a dzięki gruntownym testom w warunkach laboratoryjnych, bez zarzutu sprawdziły się również w warunkach rzeczywistych.

4. Zakupiony podczas realizacji projektu sprzęt

4.1. Wideo Gogle - CINEMIZER OLED multifunkcyjne okulary wideo 3D

Rysunek 15. Wideo Gogle

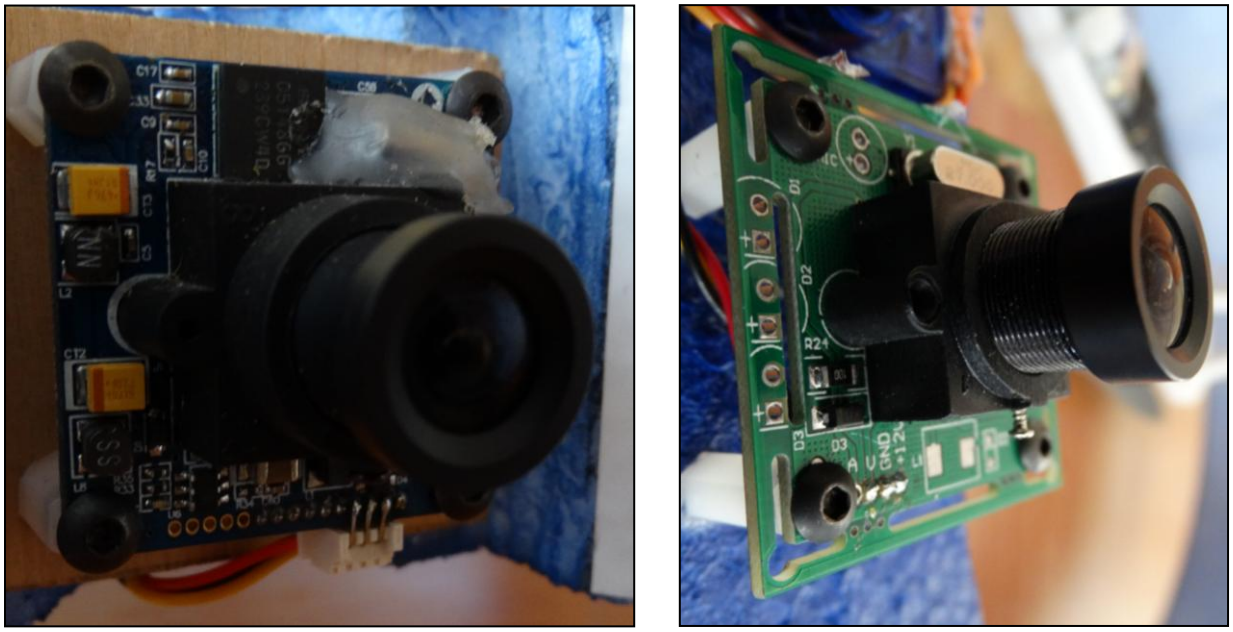
4.2. Autopilot NAZA - DJI NAZA V2+ GPS (Combo) - Kontroler lotu z GPS - Autopilot multi-coptera firmy DJI - DJI0121

Rysunek 16. Autopilot NAZA

4.3. Kompaktowy aparat fotograficzny - Aparat PANASONIC DMC-FT5EP-S

Rysunek 17. Kompaktowy aparat fotograficzny

4.4. Zestaw kamer płytkowych CCD



Rysunek 18. Zestaw kamer płytkowych CCD

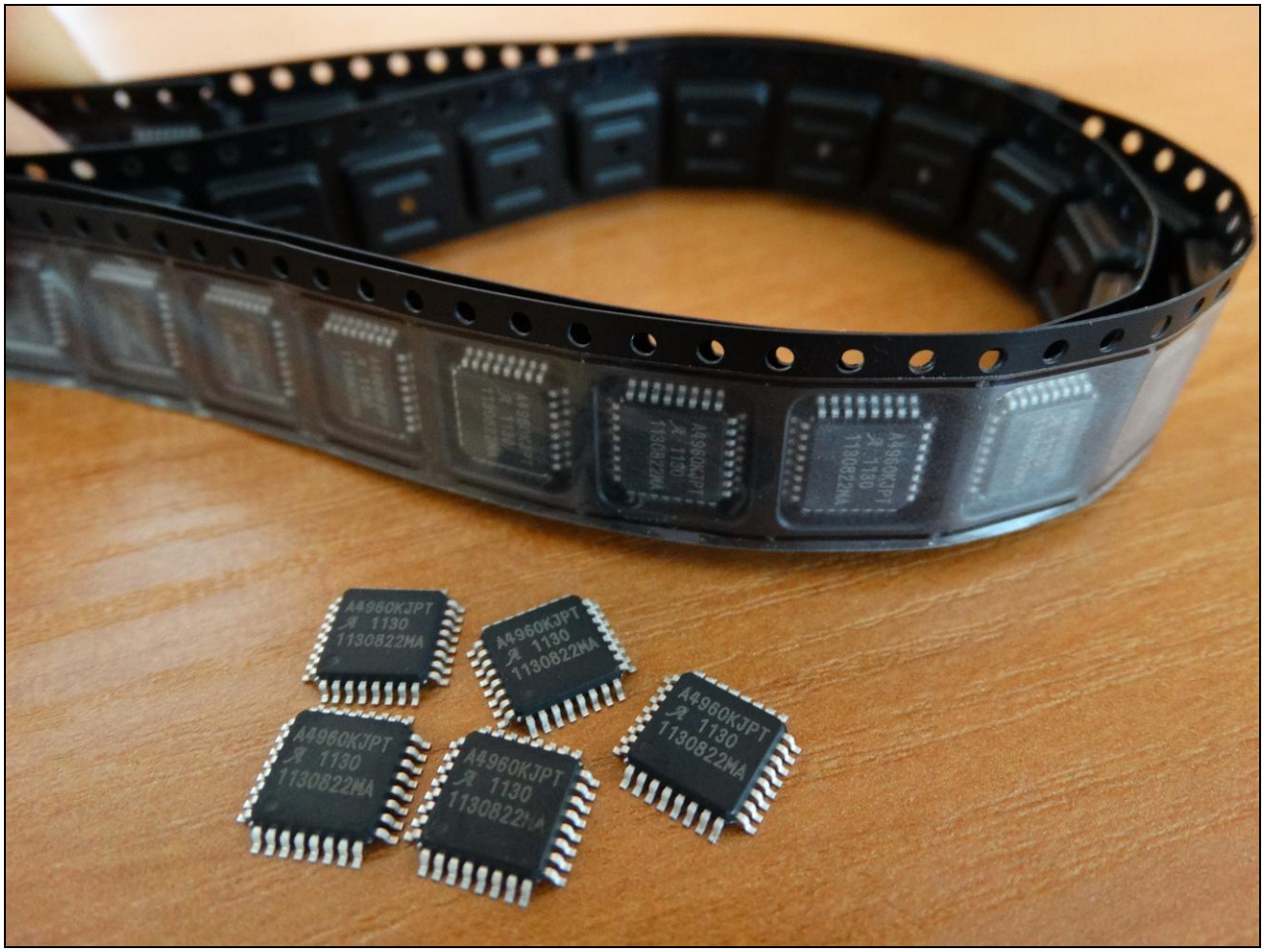
4.5. Zestaw odbiorczy GPS

Rysunek 19. Zestaw odbiorczy GPS

4.6. Analizator stanów logicznych - Saleae Logic16 Analyzer

Rysunek 20. Analizator stanów logicznych

4.7. Zestaw sterowników silnika BLDC - Zestaw 50 szt. sterowników bezszczotkowego silnika DC



Rysunek 21. Zestaw sterowników silnika BLDC

5. Publikacja wyników projektu

Adres miejsca publikacji wyników projektu w Internecie:

www.uav.polsl.pl