

Konfiguracija FPV bespilotne letjelice

Milošević, Damjan

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Istrian University of applied sciences / Istarsko veleučilište - Università Istriana di scienze applicate**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:212:232783>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-23**



image not found or type unknown

Repository / Repozitorij:

[Digital repository of Istrian University of applied sciences](#)



image not found or type unknown

ISTARSKO VELEUČILIŠTE -
UNIVERSITÀ ISTRIANA DI SCIENZE APPLICATE

Damjan Milošević

KONFIGURACIJA FPV BESPILOTNE LETJELICE

Završni rad

Pula, 2021.

ISTARSKO VELEUČILIŠTE –
UNIVERSITÀ ISTRIANA DI SCIENZE APPLICATE

Damjan Milošević

KONFIGURACIJA FPV BESPILOTNE LETJELICE

Završni rad

JMBAG: 0233008724, redoviti student

Studijski smjer: Mehatronika

Predmet: Elektromotorni pogoni

Mentor: Matej Kolarik, pred.

Pula, 2021.



IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, dolje potpisani Damjan Milošević, kandidat za prvostupnika Mehatronike ovime izjavljujem da je ovaj Završni rad rezultat isključivo mogega vlastitog rada, da se temelji na mojim istraživanjima te da se oslanja na objavljenu literaturu kao što to pokazuju korištene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da niti jedan dio Završnog rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz kojega necitiranog rada, te da ikoji dio rada krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za koji drugi rad pri bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili radnoj ustanovi.

U Puli, 2021. godine

Student

Milošević



IZJAVA

o korištenju autorskog djela

Ja, Damjan Milošević dajem odobrenje Istarskom veleučilištu – Università Istriana di scienze applicate, kao nositelju prava iskorištavanja, da moj završni rad pod nazivom

Konfiguracija FPV bespilotne letjelice

koristi na način da gore navedeno autorsko djelo, kao cjeloviti tekst trajno objavi u javnoj internetskoj bazi Sveučilišne knjižnice u Puli te kopira u javnu internetsku bazu završnih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice (stavljanje na raspolaganje javnosti), sve u skladu s Zakonom o autorskom pravu i drugim srodnim pravima i dobrom akademskom praksom, a radi promicanja otvorenoga, slobodnoga pristupa znanstvenim informacijama.

Za korištenje autorskog djela na gore navedeni način ne potražujem naknadu.

U Puli, 2021. godine

Potpis

Milošević

SAŽETAK	
SUMMARY	
1. UVOD	1
1.1. VOJNE BESPILOTNE LETJELICE.....	1
1.2. CIVILNE BESPILOTNE LETJELICE.....	2
1.3. PROBLEMATIKA RADA.....	2
2. KOMPONENTE BESPILOTNE LETJELICE	3
2.1. TIJELO BESPILOTNE LETJELICE (AIRFRAME).....	3
2.2. MOTORI	4
2.2.1. INRUNNER ISTOSMJERNI BRUSHLESS MOTOR	5
2.2.2. OUTRUNNER ISTOSMJERNI BRUSHLESS MOTORI	6
2.3. ESC (ELEKTRONIČKI KOMUTATOR).....	7
2.4. PROPELERI	8
2.5. KONTROLOR LETA (FC).....	9
2.5.1. AKCELOMETAR I ŽIROSKOP.....	10
2.6. VTX (VIDEO ODAŠILJAČ)	11
2.7. RADIO ODIŠILJAČ (RC) I RADIO PRIJAMNIK (TX).....	12
2.8. FPV KAMERA.....	13
2.9. BATERIJA	14
2.9.1. VRIJEME TRAJANJE BATERIJE PRORAČUN	16
2.9.2. PLOČICA ZA NAPAJANJE (PDB)	16
3. IZRADA I SPAJANJE KOMPONENTI FPV BESPILOTNE LETJELICE	18
3.1. IZRADA TIJELA LETJELICE	18
3.2. MONTIRANJE PLOČICE ZA NAPAJANJE (PDB).....	19
3.3. MONTIRANJE KONTROLERA LETA I SPAJANJE.....	19
3.4. MONTIRANJE I SPAJANJE ESC-OVA I MOTORA.....	21
3.5. SPAJANJE VIDEO ODAŠILJAČA VTX I KAMERE	22
3.6. MONTIRANJE RADIO PRIJEMNIKA I SPAJANJE.....	23
3.7. DODATNE KOMPONENTE ZA MONTIRANJE	24
3.7.1. GPS	24
3.7.2. INDIKATOR NAPONA	25
3.7.3. PUNJAČ BATERIJE.....	26
3.7.4. STRUJA PUNJENA	27
3.7.5. LED TRAKE	28
3.8. ZAVRŠETAK IZRADA LETJELICE.....	29

4. PROGRAMIRANJE I KONFIGURACIJA	30
5. ZAKLJUČAK.....	35
LITERATURA	36
POPIS KRATICA	37
POPIS SLIKA.....	38

SAŽETAK

Tema je ovog rada Konfiguracija FPV bespilotne letjelice. Stoga je uvodnom dijelu rada prikazano više o bespilotnim letjelicama. Pored definicije bespilotne letjelice prikazani su i zakoni koji vrijede za letjelice u Hrvatskoj. Kako je ovaj rad povezan s izradom predstavljene su u prvom dijelu komponente koje će se koristiti za izradu te koji je pravilni odabir komponenata za željenu performansu. Drugi dio rada obuhvaća problematiku koja se javlja prilikom izrade letjelice te njenu samu izradu. U završnom dijelu obrađeno je programiranje i konfiguracija koje se vrši preko aplikacije te se tako letjelica osposobljava za let.

SUMMARY

The topic of this paper is the Configuration of an FPV drone. Therefore, in the introduction, we can find out more about unmanned aerial vehicles. In addition to the definition of an unmanned aerial vehicle, the laws that apply to aircraft in Croatia are also presented. As this work is related to production, the first part presents the components that will be used for the production and what is the correct selection of components for the desired performance. The second part of the paper covers the issues that arise during the construction of the aircraft and its construction. The final part deals with the programming and configuration that is done through the application, and thus the aircraft is trained for flight.

1. UVOD

Postoji nekoliko definicija bespilotne letjelice, po definicijama iz knjige (Kilby, 2015) letjelica (drone) je bespilotna letjelica kojom se upravlja pomoću GPS-a. RPA (daljinski kontrolirana letjelica) je daljinski kontrolirana bespilotna letjelica bez GPS-a (*Globalni sustav pozicioniranja*), dokle UAV (*bespilotna letjelica*) spada pod bespilotne letjelice kojim pilot može upravljati daljinskim ili kontrolirati autonomno pomoću računalnog softvera i GPS-a.

U Republici Hrvatskoj da bi dron (bespilotna letjelica) mogao letjeti mora biti tehnički ispravan te se moraju provjeriti omogućavaju li meteorološki i drugi uvjeti siguran let, da li je sva oprema odgovarajuće pričvršćena i može li dron neometano poletjeti i sletjeti. Zbog sigurnosti može se letjeti samo danju. Prije svakog leta treba se dobiti dozvola za uporabu radio frekvencijskog spektra, prije letenja u kontroliranom zračnom prometu potrebno je najaviti se i dobiti odobrenje te svi dronovi veće mase od 5 kg moraju biti označeni identifikacijskom negorivom pločicom.

Izvođenje letova za potrebe rekreacije i sporta moguće je samo u nenaseljenim područjima. (Upravljanje i korištenje sustava bespilotnih zrakoplova (tzv. dronova), 2020)

1.1. VOJNE BESPILLOTNE LETJELICE

U 20. stoljeću počinje razvoj bespilotnih letjelica, među prvim letjelicama su *Fairey Queen III* te *De Havilland Queen Bee*. Obje su korištene kao meta za protuzračnu obranu.

Prva letjelica na mlazni pogon nastala je 1951. godine te zvala se *Ryan Firebee*. Iz nje su proizašle uspješne linije koje su i danas u upotrebi. Koristi se kao meta za gađanje, ali također su i neki modeli korišteni za izviđačke misije te za ometanje neprijateljskih radara.

Prva izviđačka letjelica nastala je u Izraelu 1973. godine, razvila ju je kompanija *Tadiran Electronic Industries* te sama letjelica zvala se *Tadiran Mastif*. Smatramo je prvom izviđačkom letjelicom jer je mogla emitirati video snimke uživo.

Danas se u vojsci koriste bespilotne letjelice koje su toliko napredene da mogu biti nevidljive na radaru te mogu prenositi preko 1000 kg tereta.

1.2. CIVILNE BESPILOTNE LETJELICE

Civilne bespilotne letjelice su sve letjelice koje može koristiti šira populacija. Primjena civilnih bespilotnih letjelica svakim danom je sve opširnija. Neke od primjena su: daljinska istraživanja, nadzor zračnog prostora, policijske potrebe, transport tereta, traganje i spašavanje, u protupožarstvu, kod katastrofa i velikih nesreća, u poljoprivredi, zabava, snimanje filmova itd.

Civilne bespilotne letjelice mogu se podijeliti na: transportne letjelice, letjelice za snimanje te FPV (First person view) letjelice. Najrasprostranjenije danas su letjelice za snimanje koje se mogu kupiti u većini većih dućana.

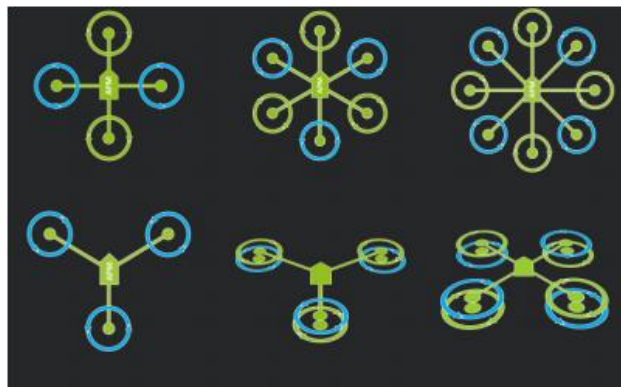
1.3. PROBLEMATIKA RADA

Adekvatnim načinom izrade, korištenjem odgovarajućih i ispravnih komponenti te pravilnim programiranjem izraditi efikasnu, kvalitetnu FPV (First person view) letjelicu sigurnu i ispravnu za rukovanje. Također omogućiti korisniku letjelice bolji i neometan prijenos slike s drona na naočale samog korisnika.

2. KOMPONENTE BESPILOTNE LETJELICE

2.1. TIJELO BESPILOTNE LETJELICE (AIRFRAME)

Tijelo bespilotne letjelice je glavni dio samog drona, na njega se spajaju sve nužne komponente koje su potrebne za izradu drona kao što su propeleri, baterije, esc-ovi, motori itd. Dizajn tijela letjelice može se razlikovati, neki od dizajna su: tricopter (letjelica s 3 propelera) , quadcopter (letjelica s 4 propelera) , hexacopter (letjelica s 6 propelera), octocopter (letjelica s 8 propelera). Kod izrade FPV bespilotne letjelice najčešće se koristi dizajn u obliku quadcopter-a (letjelice s 4 propelera). Danas tijela bespilotnih letjelica se konstruiraju preko računalnih programa kao što su CAD, CATIA i drugi, a potom se izrađuju pomoću CNC mašina ili 3D printera. Materijali koji se koriste za izradu su karbonska vlakna, staklo plastika te razne vrste plastika i metala. (Kilby, 2015)



Slika 1. Prikaz mogućih tijela FPV letjelice

Izvor: (Kilby, 2015)

2.2. MOTORI

Kod FPV bespilotnih letjelica koriste se najčešće Brushless motori, to su motori bez četkica.

Motori su kategorizirani četveroznamenkastim brojem. Danas se na tržištu najčešće koriste 2206, što bi značilo da je širina statora 22 milimetra, a visina 06 milimetra. Što je motor širi i viši imat će i više okretnog momenta. Najbrži motor danas na tržištu koji se može kupiti za izradu FPV bespilotne letjelice ima brzinu preko 325 KMH (FPV racing drones: Recommended parts, kits, and components. , 2020). Maksimalna snaga motora bez četkica je ograničena jedino toplinom koju takav motor može izdržati, to jest toplina koju mogu izdržati namotaji, a toplina razvijena u motoru proporcionalna je kvadratu struje motora (I.Mandić, 2012) :

$$W \text{ topline} = I^2 * R.$$

Negativna strana ovih motora je relativno visoka cijena u usporedbi s DC (istosmjernim) motorima i nužnost uporabe električnih kontrolera brzine (ESC) te nedostatak startnog momenta, ako je opterećen određenom silom pri pokretanju neće se moći pokrenuti.

Motori bez četkica dijele se na motore s vanjskim namotajima i s unutarnjim namotajima. Motori s unutarnjim namotajima imaju rotor s permanentnim magnetima u centru motora dok motori s unutarnjim namotajima imaju namotaje u centru, a rotor je cijelo "zvono" motora. Motori s vanjskim namotajima su zbog veće efikasnosti i većeg okretnog momenta puno zastupljeniji na tržištu. Inrunner motori se najčešće koriste za vrlo visoke brojeve okretaja kao na primjer električne turbine ili sustave sa prijenosom.



Slika 2. Brushless motor 2206

Izvor: <https://images.app.goo.gl/ZmK2VVxVgFMkgKJ>

2.2.1. INRUNNER ISTOSMJERNI BRUSHLESS MOTOR

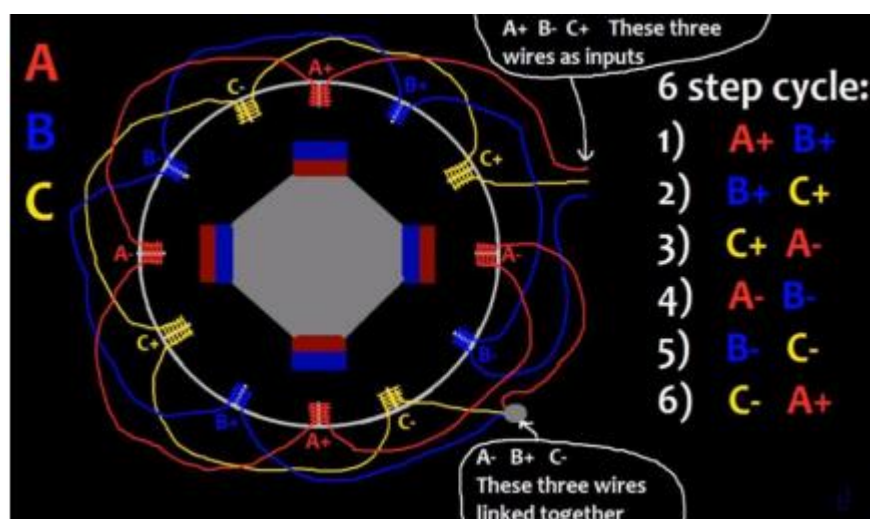
Inrunner istosmjerni brushless motor (motor bez četkica) sastoji se od statora i rotora. Stator je pričvršćen uz kućište motora te se na njemu nalaze namotaji, dok se rotor nalazi između namota te se na rotoru nalaze permanentni magneti.

Inrunner motori imaju tri ulaza, svaki ulaz je za jednu fazu unutar motora. Inrunner motor može razviti velike brzine, malih su dimenzija, imaju male momente, male su mase, što ih čini idealnim za upotrebu na bespilotnim letjelicama poput FPV.

Namotaji inrunner motora raspoređeni su kroz tri faze:

- Faza 1 ili faza A
- Faza 2 ili faza B
- Faza 3 ili faza C

Namotaji u motoru spajaju se u smjeru kazaljke na satu. Spaja se faza 1, zatim faza 2 te nakraju fazu 3. Veoma je bitan smjer namatanja žica oko faza jer za jedan smjer namatanja biti će pozitivan, dokle drugi dio namatanja se uzima kao negativan smjer. Udaljenost među namotajima treba biti ista. Na slici 3. prikazani su koraci koje motor treba obavljati da bi pomicao rotor. (Akrap, 2020)



Slika 3. Način rada inrunner brushless motora

Izvor: (Akrap, 2020)

2.2.2. OUTRUNNER ISTOSMJERNI BRUSHLESS MOTORI

Kod outrunner motora stator je pričvršćen u sredini, a rotor motora spojen je s kućištem motora te okružuje stator. Faze namotaja postavljene su na statoru, a na rotoru se nalaze permanentni magneti. Broj namotaja prati broj permanentnih magneta.

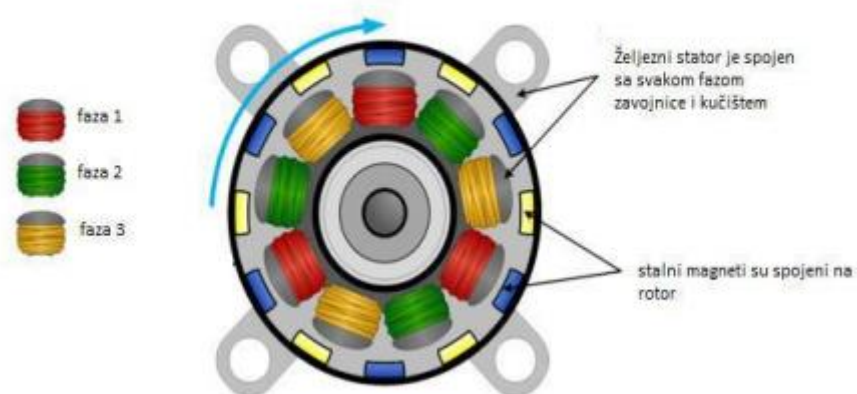
Ovi motori se ne mogu koristiti direktno s baterijom zato koristimo ESC (elektronički komutator).

Outrunner motor ima raspoređene faze kao i Inrunner motor, a to su:

- Faza 1 ili faza A
- Faza 2 ili faza B
- Faza 3 ili faza C

(I.Mandić, 2012)

Na slici 4. može se vidjeti kako se namotavaju faze istosmjernog outrunner motora.



Slika 4. Faze namatanja istosmjernog outrunner brushless motora

Izvor: (Akrap, 2020)

Outrunner motori kraći su i širi od inrunner motora.

2.3. ESC (ELEKTRONIČKI KOMUTATOR)

ESC (eng. „Electronic Speed Controller“) je elektronički sklop koji pokreće brushless motore. On regulira brzinu motora.

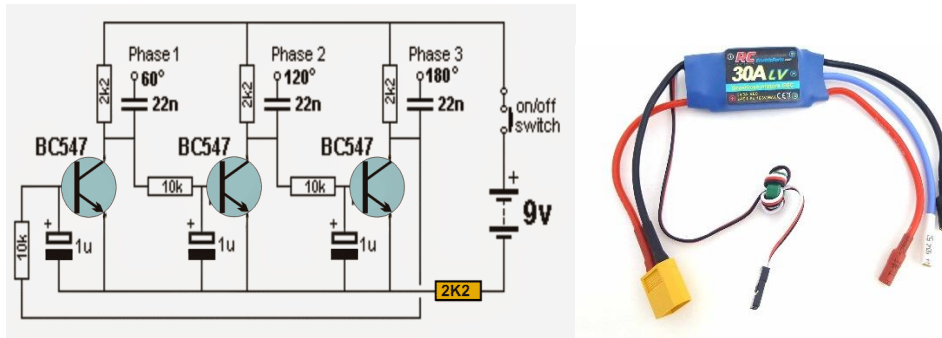
ESC na svome ulazu ima dva voda koji predstavljaju pozitivan i negativan vod te još posjeduje signalni vod gdje dolazi informacija o potrebnoj brzini motora. Na izlazu se nalaze tri voda koji daju napon na faze 1 , 2 i 3 (A, B, C). Da bi motor mogao raditi potrebno je izmjenjivati faze, u jednom trenutku ESC daje negativan i pozitivan napon te tako time sa jednom fazom namota privlači rotor, a druga ga gura. (Akrap, 2020)

ESC u samom svom sklopu ima eliminator baterijskog kruga koji služi za zaštitu samog sebe, jer se mijenjanjem baterija 3S ili 4S mijenjaju i sami naponi koji napajaju ESC.

Za rad kontrolera potreban je napon od 5V koji ESC osigurava upravo jer je u njega integriran eliminator baterijskog kruga koji osigurava 5V. Time nije potreban dodatan sklop za napajanje kontrolera te je samim time smanjena i masa letjelice. (Akrap, 2020)

Za izradu ove letjelice potrebna su četiri motora pa tako i četiri ESC-ova koji se ugrađuju direktno na krakove letjelice.

Korištenje ESC-a omogućuje preciznu brzinu vrtnje elektromotora kod visokih struja što je ključno za stabilan let letjelice. ESC sa svojim mikrokontrolerom koji se nalazi na pločici ESC-a regulira brzinu vrtnje elektromotora. S korištenjem ESC-a na letjelici dobiju se: brže promjene brzine vrtnje elektromotora, brži odaziv, manje zanošenje kod upravljanja letjelicom. ESC koristi N- kanalni FET zbog čega ima manji otpor i manje gubitke. Napon i jakost struje su proporcionalni tlaku i brzini protoka struje. ESC ograničava napon tako da oduzima napon na motoru i okreće ga ON ili OFF na visokoj frekvenciji. (Akrap, 2020)



Slika 5. Shema ESC-a (lijevo) Prikaz ESC-a (desno)

Izvor: https://m.media-amazon.com/images/I/81qYVshazPL._AC_SL1500_.jpg

2.4. PROPELERI

Najpopularnija klasa kod FPV bespilotnih letjelica od propelera je od 5 inča (12, 7 centimetra). Razlog tomu je što se na nju najčešće stavlja baterija od 4s (14, 8 V), koja ima odličan omjer snage i težine, čak i s dodatnim teretom kao što je veća kamera. (FPV racing drones: Recommended parts, kits, and components. , 2020). Propeleri mogu biti različitih vrsta, dimenzija i koraka. Propeleri za male bespilotne letjelice najčešće su izrađeni od plastike i kao takvi dosta su jeftiniji. Također mogu biti i od drva i karbonskih vlakna. Karbon je veoma čvrst i lagan tako da su i sami propeleri dosta lakši i čvršći od drugih, ali su i skuplji.

Kod izrade quadcoptera bitno je da svi propeleri ne budu isti, pa tako imamo "CW" (clockwise) i "CCW" (counter clockwise) propelere. CW propeleri vrte se u smjeru kazaljke na satu, dokle CCW u smjeru suprotnom od smjera kazaljke na satu. Propeleri koje se rotiraju u istom smjeru postavljaju se dijagonalno. Ovaj postupak je veoma bitan da bi se mogao unutarnji moment sila quadcoptera svesti na nulu. Iz oznaka propelera možemo iščitati njihove fizičke karakteristike. Na primjer kod propelera oznake 5552x3, prve dvije znamenke označavaju dužinu propelera u inčima, a druge dvije korak propelera u inčima. (Baichtal, 2015)



Slika 6. Dimenzije propelera za FPV bespilotnu letjelicu

Izvor: <https://images.app.goo.gl/mcoeUVawXQM4AJAdA>

2.5. KONTROLOR LETA (FC)

Flight Controller ili kontrolor leta (FC) je mozak samog drona. On mjeri performanse letjelice pomoću različitih senzora, stotinu puta u sekundi, a zatim upravlja sva mikro upravljanja koja su potrebna za upravljanje motora da bi letjelica mogla ostati uspješno u zraku. Jedan od primjera bi mogao biti hodanje ulicom, ne razmišlja se o varijacijama potrebnim za svladavanje kolnika, neravnog pločnika itd. mozak dolazi do tih detalja i izvršava ih dok je nama jedina misao „naprijed“, tako i kontrolor leta funkcionira kod bespilotne letjelice. Naprimjer kada letjelici damo naredbu da ide naprijed pri brzini od 10 km/h , kontrolor leta preuzima naredbu te je „razbija“ na stotine drugih naredbi u sekundi da bi motori izvršili našu naredbu uspješno, također ako letjelica naiđe na neku prepreku, poput jakog vjetra, kontrolor leta će izračunati te nadoknaditi razliku potrebnu za svladavanje te prepreke bez ikakve pomoći pilota.

Srce samog kontrolera leta su IMU (inercijalna mjerna jedinica). Najtipičniji IMU senzori na kontroloru leta su: žiroskop, akcelometar i barometar te dodatni vanjski su GPS, magnetometar, optički senzori protoka te senzori brzine u zraku. (Kilby, 2015)

Danas postoji više generacija FC-a, karakteristike možete pogledati na slici 7.

Procesor(model čipa)	Brzina Procesora	Broj UART ulaza na FC	Brza memorija
F1 (STM32F103CBT6)	72MHz	2	128KB
F3 (STM32F303CCT6)	72MHz	3	256KB
F4 (STM32F405RGT6)	168MHz	3.svi	1MB
F4 (STM32F411)	100MHz	2	512KB
F7 (STM32F745VG)	216MHz	5.lip	1MB
F7 (STM32F722RE)	216MHz	5	512KB
F7 (STM32F765)	216MHz	5.lip	2MB
H7 (STM32H750)	480MHz	TBC	128KB

Slika 7. Generacije te karakteristike FC-a

2.5.1. AKCELOMETAR I ŽIROSKOP

Akcelometar i žiroskop jedni su od važnijih sastavnih dijelova navigacijskog sustava svake letjelice. To su inercijalni senzori koji se nalaze na pločici za kontrolu leta. Akceleracijske sile na letjelici mjeri akcelometar, a rotacijske sile mjeri žiroskop. Pomoću ova dva senzora moguće je odrediti pod kojim se kutom točno nalazi letjelica te izvesti određene korekcije ukoliko je potrebno da bi se letjelica održala stabilnom prilikom leta. (Akrap, 2020)

Akcelometri se mogu podijeliti na mehaničke i poluvodičke. Mehanički se akcelometar sastoji od mase koja je pričvršćena na okvir elastičnim vezama. Poluvodički akcelometar je senzor koji nam omogućuje određivanje brzine te pravac kretanja. (Kučić, 2010)

Danas postoji nekoliko vrsta žiroskopa najčešći su (Kučić, 2010) :

- mehanički
- žiroskop s jednim stupnjem slobode gibanja
- žiroskop s dva stupnja slobode gibanja
- Interferencijski optički žiroskop
- Laserski žiroskop
- Mikro obrađeni elektro mehanički žiroskopi

Mehanički i optički žiroskopi imaju veliki broj dijelova te potrebu za dijelovima koji omogućavaju visoku preciznost te kompliciranu tehniku sklapanja. Rezultat toga je visoka cijena. MEMS senzori se izrađuju kao mikroelektroničke poluvodičke komponente što rezultira manjim brojem dijelova (žiroskop može imati tri dijela) i relativno niskom cijenom. MEMS žiroskopi sadrže vibrirajuće elemente za mjerenje Coriolisovog efekta. "Coriolisova sila je inercijska ili fiktivna sila koja djeluje na predmete koji se kreću u referentnom okviru koji se okreće u odnosu na inercijski okvir." (n.d.) Postoje mnoge geometrije vibrirajućeg elementa, a najjednostavnija se sastoji od mase koja vibrira oko pogonske osi. Kod ovakvih uređaja, senzori detektiraju silu koja djeluje na masu koja je podvrgnuta linearnom vibriranju u referentnom sustavu koji se rotira oko osi koja je okomita na os linearnog kretanja. Kad je žiroskop zakrenut, induciraju se sekundarne vibracije oko okomite osjetilne osi zbog Coriolisove sile. Kutna brzina se može izračunati mjerenjem ove sekundarne vibracije. Trenutno se točnost MEMS žiroskopa ne može mjeriti sa optičkim, ali se to od njih očekuje u budućnosti.

(Kučić, 2010)

2.6. VTX (VIDEO ODAŠILJAČ)

Za prijenos videa u realnom vremenu s drona na naočale pilota koristimo video odašiljač ili drugim nazivom VTX (eng. Video transmitter). Pomoću VTX-a emitiramo uživo sliku s kamere na letjelici na prijemnik na zemlji, koji možemo spojiti na monitor ili na naočale pilota. Standardno ova komunikacija se odvijala na 5.8 GHz analognog video odašiljača te prijemnika. Danas neki proizvođači koriste i 2.4Ghz WIFI mreže s mobilnim uređajima za prikaz video prijenosa. Cjelokupna arhitektura je ista za oba dizajna i dalje imamo odašiljač koji šalje signale na prijemnik na tlu i zatim prijemnik prikazuje video na nekim našim monitorima ili naočalama. VTX se sastoji od odašiljača, FPV kamere te antene. (Kilby, 2015)



Slika 8. Prikaz VTX-video odašiljača

Izvor: <https://images.app.goo.gl/Rqb6AFifmzHr75AS8>

2.7. RADIO ODAŠILJAČ (RC) I RADIO PRIJAMNIK (TX)

Radio odašiljač RC je kontrolna stanica kojom korisnik upravlja letjelicom i zadaje željeno ponašanje letjelice kao što je pomicanje gore i dolje ili lijevo i desno. Radio odašiljač služi za upravljanje letjelice na daljinu. Radio odašiljač RC da bi radio mora imati i prijemnik TX. (Slika 7.) Radio odašiljač odašilje signale, a radio prijemnik ih prima preko nekoliko kanala te signale šalje do mikrokontrolera (FC). Prijemnik (TX) se može direktno spojiti na ESC-ove ali tada bi izgubili mjerne senzore te let bi bio upravljan isključivo od korisnika. Radio odašiljač i radio prijemnik potrebno je međusobno upariti (eng. Bind) tako da bi prijemnik mogao reagirati na signale samo od uparenog odašiljača. Također pomoću uparivanja izbjegavamo i interferencije od drugih uređaja koji se nalaze u blizini. Najčešće radio odašiljači rade na frekvenciji od 2.4GHz. Prije su se koristili i na frekvenciji od 72MHz koje su omogućivale veće domete letjelicama ali imali su problema s smetnjama. Danas se u većini slučajeva koriste frekvencije od 2.4 GHz, pa je time kraća i antena i domet te nema frekvencijskih smetnji. (Akrap, 2020)



Slika 9. Radio odašiljač lijevo, radio prijemnik desno

Izvor: <https://images.app.goo.gl/qUfoRdoANcXNsDPE9>

2.8. FPV KAMERA

Kamera je jedan od najbitnijih dijelova drona jer predstavlja „oči“ drona pilota. Analogni video iz prvog lica kamere ima nisko vrijeme čekanja zahtijeva i odličan domet, ali lošiju kvalitetu video slike. Svakim danom je sve popularnija oprema koja omogućuje digitalni prikaz iz prvog lica te video prijenos iz kamere. Digitalni FPV može kompresirati više podataka u isti video pa je znatno povećana kvaliteta video slike. Danas se analogna kamera počela mijenjati sa digitalnom. Potrebne komponente za spojiti kameru da imamo prijenos uživo na letjelici su video odašiljač (VTX) i antena, a kod korisnika su video prijemnik, antena video prijmnika, pretvarač te ekran gdje će se prikazivati slika. Kod FPV-a je potrebno koristiti što kvalitetniju te što manju i lakšu kameru. Najpoznatije kamere su Mobius, GoPro, TVL te DJI.

TVL kamere koriste senzore CCD i CMOS. Svaki senzor ima svoje prednosti i mane.

CCD kamere se više koriste kod FPV letjelica zbog boljih reakcija na nagle promjene smjera, bolje reagiraju na nagle promjene svjetla, imaju dobru vidljivost u sumrak te vibracije prilikom leta ne utječu na kvalitetu slike. CCD kamere su skuplje od CMOS kamera. (Akrap, 2020)



Slika 10. FPV kamera

Izvor: <https://images.app.goo.gl/Apfc2mUsb5bxQn5H7>

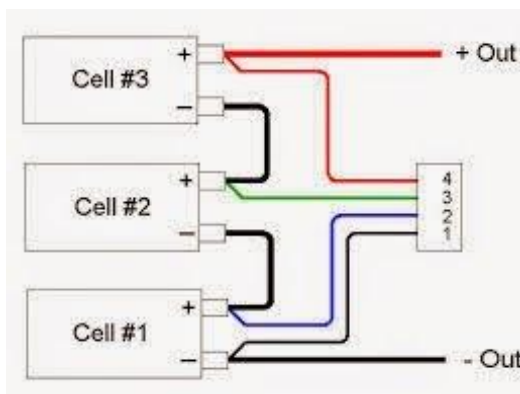
2.9. BATERIJA

Danas se kod FPV dronova najčešće koristi 3S litij – polimer baterija (LiPO) te ona je glavni izvor energije letjelice. To je baterija na bazi litija te je punjiva. Prije ovih baterija koristile su se nikal-metal hibridne (NiMH) baterije koje su imale veći gabarit i težinu, ali puno manji kapacitet što je imalo rezultat ograničavanja vremena leta i dodatno povećanje mase letjelice. LiPO baterije imaju niz prednosti jedna od važnijih je visoka gustoća energije po masi. To čini ove baterije idealne za izradu baterija male mase i vrlo visokog kapaciteta. LiPO baterije nije potrebno održavati pošto nisu podložne štetnim efektima, te se mogu puniti u bilo koje vrijeme. Mane ovih baterija su oštećenje baterije, osjetljivost na niske temperature, osjetljivost na prepunjenost baterije, kraći životni vijek itd. (Baichtal, 2015)

Baterija se sastoji od određenog broja ćelija (4S,3S...) dok nominalni napon jedne ćelije iznosi 3.7 V. Ukupni napon ovisi o broju ćelija koja sadrži baterija te označava se sa xS, gdje x označava broj ćelija. Nominalni napon baterije je 11.1 V. Pražnjenje baterije ispod 3V može uzrokovati trajna oštećenja te zapaljenje samo baterije. (Baichtal, 2015)

Manje letjelice mogu povući i do 40A struje u maksimalnoj snazi, a veće letjelice mogu povući i do 200A struje što zahtijeva baterije velikog kapaciteta jer dolazi do velikog pražnjenja baterije. LiPO baterije danas se proizvode od 500mAh pa do kapaciteta većeg

od 20000 mAh. Veoma bitna karakteristika baterije je i brzina pražnjenja koju možemo dobiti direktno s specifikacije baterije (oznaka 30C, 45C, 60C). (Akrap, 2020)



Slika 11. Ožičenje 3S LiPO baterije

Izvor: <https://www.makerspace.org.uk/files/2016/05/LiPoWiring.jpg>

Baterija korištena za ovu letjelicu je LiPO baterija oznake 3S, brzine pražnjenja 35C te kapaciteta 2700mAh. Pomoću ovih vrijednosti se može izračunati najveća struja koju letjelica može dati. Vrijednost pražnjenja baterije 35 uz oznaku C pomnoži se s kapacitetom korištene baterije, u ovom slučaju 2700mAh. Dobiva se da će baterija moći maksimalno dati 94,5A struje.



Slika 12. LiPO baterija 2700mAh, 3S, 35C

Izvor: <https://www.jsumo.com/gens-ace-1800mah-111v-25c-3s1p-lipo-battery-2933-10-B.png>

2.9.1. VRIJEME TRAJANJE BATERIJE PRORAČUN

Vrijeme trajanja baterije kod letjelice može se izračunati pomoću formule ako su poznate vrijednosti komponenata. Za izračun vremena letenja s baterijom potrebne su tri vrijednosti a to su: kapacitet baterije, vrijeme pražnjena baterije te maksimalna struja letjelice.

- Kapacitet baterije: 4700 mAh = 4,7 Ah
- 80% posto baterije za korištenje 0.8
- Maksimalna struja = 27A

Ako napon kod LiPO baterija padne ispod 20 % ili ako se potpuno isprazne, moguće je da se dogodi kvar na bateriji. Zato se prilikom letenja nikad ne ispražnjuje baterija ispod 20% što bi značilo da 80% baterije može koristiti.

Formula za izračunati vrijeme je :

$$T_{bat} = \frac{\text{Kapacitet baterije (C)} * 80\%}{\text{Maksimalna struja (Imax)} * 60min}$$

Iz toga slijedi:

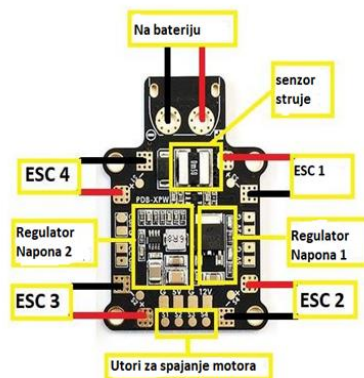
$$T_{bat} = \frac{4,7Ah * 0,8}{27A * 60min} = 8,35min$$

Proračunom se dobiva da je maksimalno vrijeme letenja 8, 35 min.

2.9.2. PLOČICA ZA NAPAJANJE (PDB)

Energetski sustav letjelice u osnovi se sastoji od dva osnovna kruga. To su visokoenergetski krug u koji ubrajamo komponente koje vuku jake struje i rade na visokim naponima kao što su baterija, ESC kontroleri, motori..., te niskoenergetski krug koji se uglavnom sastoji od logičkih komponenti koje rade na niskim naponima kao što su radio prijemnik, senzori i dr. (Akrap, 2020)

Pločica za napajanje (PDB – Power distribution board) uzima direktno napon s baterije te ga regulira ostalim komponentama. Također omogućava razne točke za spajanje ostale elektronike potrebne za napajanje na letjelici. Moguće je od pločice dobiti napajanje od 5V te 12V te ima mogućnost maksimalne struje i do preko 100A. Najviše se koristi za spajanje niskonaponskih komponenta kao što su kontrolor leta, ostali senzori te kamera (5V). Na 12V spajaju se motori, ESC-ovi te video odašiljač (VTX). (FPV racing drones: Recommended parts, kits, and components. , 2020)



Slika 13. Prikaz pločice za napajanje

Na slici 13. vide se četiri seta ESC-ova. Također pločica ima označene S1, S2, S3, S4 koje označavaju signale za motor 1, 2, 3 i 4. Preko njih kontrolor leta (FC) komunicira s njima.

Pločica za napajanje ima i funkciju mjerenja jakosti struje iz baterije te mjerenje napona baterije koje prosljeđuje kontroleru leta koji aktivno prati stanje baterije. Kontroler vrijednosti napona šalje na indikator napona baterije, gdje ih lako očitavamo i pratimo.

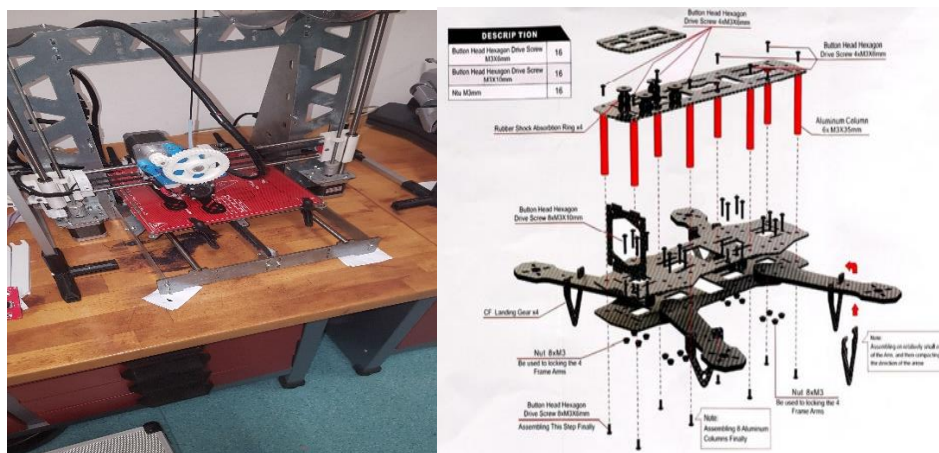
3. IZRADA I SPAJANJE KOMPONENTI FPV BESPILOTNE LETJELICE

3.1. IZRADA TIJELA LETJELICE

Za izradu tijela letjelice korišteni su sljedeći materijali: 3d printer, PLA filament 1.75mm, aluminijski vijci, antivibracijski vijci te podloške, kliješta, odvijač i brusni papir.

Pomoću aplikacijskog programa Solidworks konstruira se tijelo drona, te dokument se sprema u obliku STL (standard triangulation/tessellation language). Pomoću STL oblika možemo prebaciti rad na 3d printer te isprintati konstruirani model. (Slika 10.)

Prilikom završetka 3d printanja svih dijelova potrebnih za tijelo letjelice, pomoću brusnog papira odstranjujemo višak filameta te spajamo komponente u završni oblik pomoću aluminijskih vijka te antivibracijskih podloška i vijka.



Slika 14. Printanje tijela drona pomoću 3d printera (lijevo) Shema spajanja tijela drona (desno)

Izvor slika desno: <https://images.app.goo.gl/BkEEZRpiqSp6R56A9>

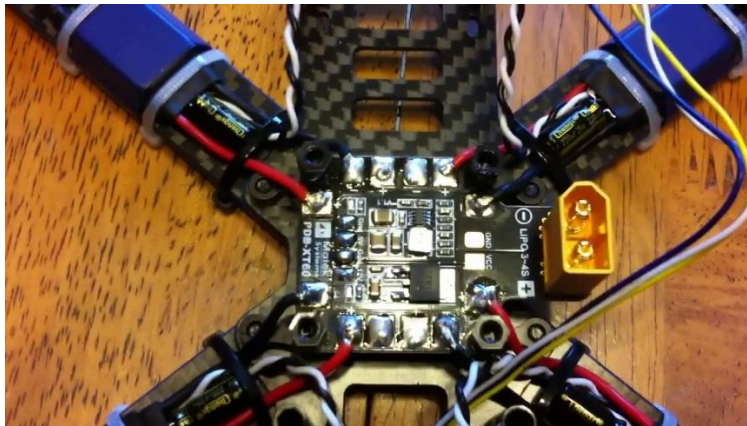
3.2. MONTIRANJE PLOČICE ZA NAPAJANJE (PDB)

Za izradu letjelice korištena je pločica za napajanje Matek systems XT 60.

Pločica na sebi ima četiri ulaza za ESC-ove s kojima komunicira preko kontrolera leta (FC). Na pločici se nalaze još i konektori za napajanje na 5V i 12 V.

Montira se prva na tijelo drona jer se pomoću nje dovodi napajanje na ostale komponente koje se nalaze na letjelici. Za montiranje i spajanje potrebni su vijci i lemilica.

Pločicu za napajanje montira se s četiri vijka na tijelo letjelice, kada je pričvršćena pomoću lemilice i kositra za lemljenje pripremaju se svi kontakti na pločici za daljnji rad te lakše lemljenje ostalih žica na samu pločicu.



Slika 15. Pločica za napajanje Matek system XT 60

Izvor: https://i.ytimg.com/vi/m3CvVQEw_Z4/maxresdefault.jpg

3.3. MONTIRANJE KONTROLERA LETA I SPAJANJE

Za montiranje kontrole leta (FC) od komponenata je potrebna obostrana ljepljiva traka te žice za dovod napajanja s pločice za napajanje.

Za izradu letjelice korišten je Naze 32 full koji na sebi od senzora ima barometar, IMU senzor te magnetometar.

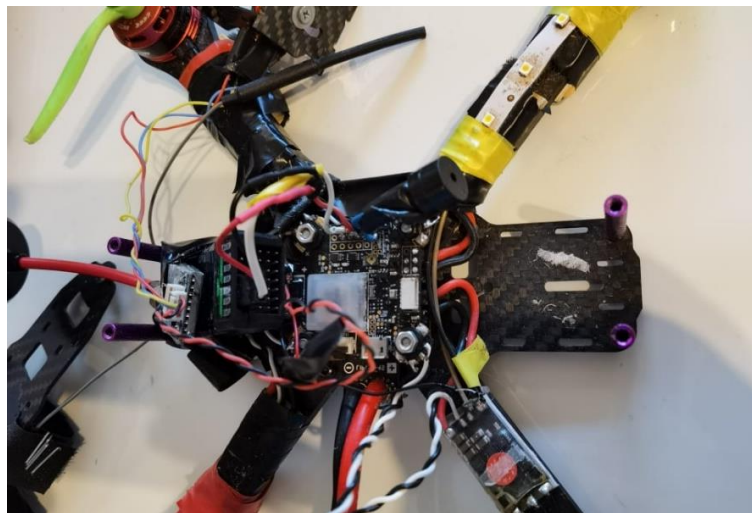
Mikrokontroler (FC) montira se na donji dio tijela drona. Bitno je prilikom montiranja okrenuti mikrokontroler na pravilnu stranu, u pravilu uvijek se montira prednji dio FC u smjeru kojem će letjelica ići naprijed. Za prepoznavanje prednjeg dijela mikrokontrolera

najčešće je prikazana mala strelica, ako je nema može se još odrediti i pomoću mjesta utora za spajanje kamere na FC. Za montiranje se koristi obostrana ljepljiva traka. U praksi se nastoji izbjeći korištenje velikih komada te umjesto njih se preporuča lijepljenje s više manjih komada. Također pošto obostrana traka ima vibracijske izolacije preporuča se koristiti što širu traku za lijepljenje mikrokontrolera na tijelo drona.

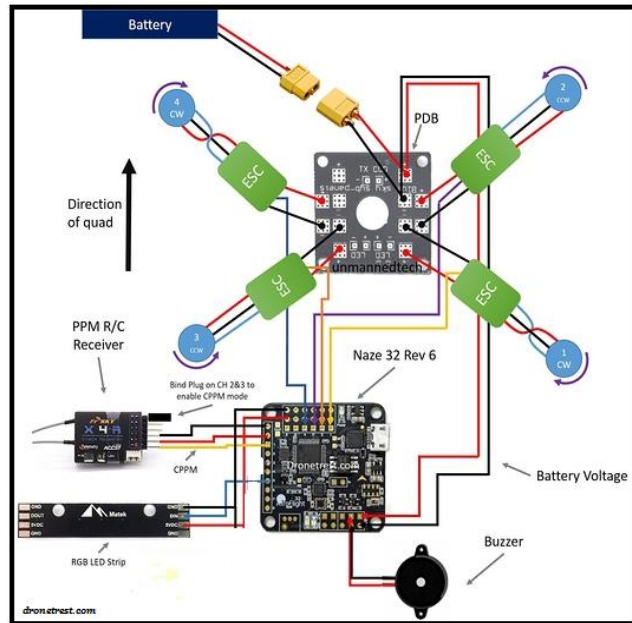
Na pločici se nalaze:

- konektori za spajanje ESC – ova
- GPS (utor za spajanje GPS-a)
- Buzzer (zvono)
- Konektor za TX (radio prijemnik)
- Glavni dovod napajanja s PDB (pločice za napajanje)
- 5V (Konektor za spajanje komponente na 5V, npr. kamera)
- GND (konektor za spajanje uzemljenja)
- IC2 (standardna sabirnica kompjutera, najčešće se koristi za spajanje vanjskog kompasa)
- PM (modul napajanja, omogućava nam prikaz trenutnog stanja napajanja na monitoru)
- Micro USB (konektor za spajanje letjelice s računalom)

Na slici 17. može se vidjeti dijagram spajanja komponenta.



Slika 16. Prikaz montiranog i spojenog kontrolera leta (FC)



Slika 17. Dijagram spajanja Naze 32 full kontrolera leta

Izvor: <https://robu.in/wp-content/uploads/2020/03/Naze-32-connection.png>

3.4. MONTIRANJE I SPAJANJE ESC-OVA I MOTORA

Za montiranje motora i ESC-ova potrebni su vijci te obostrana ljepljiva traka. U radu su korišteni brushless motori RacerStar BR2205 te ESC od 30 A.

Motori se montiraju na svaku "ruku" tijela letjelice pomoću vijaka, te četiri ESC-a kao i motori montiraju se na „ruke“ letjelice ali se pričvršćuju pomoću obostrane ljepljive trake.

Prilikom montiranja važno je namontirati motore ispravno dva motora "CW" (clockwise) i dva motora "CCW".

Spajaju se tako da se motori spoje na ESC-ove koji im i daju napon s PDB-a (pločice za napajanje) te se ESC spaja na FC (kontrolor leta).



Slika 18. Motor RacerStar BR2205

3.5. SPAJANJE VIDEO ODAŠILJAČA VTX I KAMERE

Za spajanje VTX te kamere potrebna je pločica za napajanje, kablovi za napajanje, antivibracijsko kućište za kameru, polarizirana antena te obostrana ljepljiva traka pričvršćena na video odašiljač (VTX). VTX se spaja direktno na pločicu za napajanje, dokle se kamera spaja na VTX koji šalje video signale na prijemnik na zemlji.

Višenamjenska antena korištena je za prijenos slike. Također, antena je kružno polarizirana te se koristi za kraće domete do nekih 2 km. Postoje još i usmjerene antene koje imaju veći domet do 4km i više.

Za prijenos slike su veoma važni prijemnik i odašiljač. Odašiljač se nalazi na samoj letjelici i on šalje signal do prijemnika. Prijemnik prima signal te ga ponovno prikazuje u video formatu i prikazuje na ekranu. Prijemnik ima na sebi dvije tipke, a to su podešavanje kanala (CH) te frekvencijski pojas (FR). Prilikom stiska CH dostupno je 8 kanala (1 – 8), a pritiskom FR mijenja se frekvencijski pojas od 1 do 4 što čini ukupno 34 kanala. Na odašiljač se spaja kamera, a na prijemnik se spaja monitor ili FPV naočale. (Slika 15) Prijemnik (TX) mora imati vlastito napajanje, a odašiljač se spaja na pločicu za napajanje (12V). Prijemnik prima analogni signal od odašiljača te ga pretvarač pretvara u digitalan signal pogodan za emitiranje na TV, monitoru, laptopu itd. (Akrap, 2020)



Slika 19. Pojednostavljena shema spajanja VTX i prijemnika

Izvor: (Kilby, 2015)

3.6. MONTIRANJE RADIO PRIJEMNIKA I SPAJANJE

Za upravljanje letjelice korišten je radio odašiljač, antena i radio prijemnik marke Spektrum.

Za montiranje radio prijemnika potrebna je obostrana ljepljiva traka, žice za spajanje te sklop za uparivanje radio odašiljača i radio prijemnika.

Radio prijemnik se pričvrsti s obostranom ljepljivom trakom na letjelicu, te se spaja na ulaz FC (kontrolora leta). Kada se spoji radio prijemnik na FC potrebno je spojiti na ulaz radio prijemnika (TX) sklop za uparivanje (Bind plug). Na radio prijemniku potrebno je naći u postavkama opciju za uparivanje, prilikom pritiska na uparivanje, radio odašiljač (RC) trebao bi se automatski spojiti na radio prijemnik (TX), ako su svi prijašnji postupci točno napravljeni. Radio prijemnik (TX) pomoću LED diode svijetlit će u znak da smo ga uspješno spojili.



Slika 20. Radio prijemnik AR400(lijevo) Radio odašiljač Spektrum NX8

Izvor: https://www.der-schweighofer.com/public/files/original/285599_SET_Spektrum_NX8_8_Kanal_Solosender_Spektrum_by_Horizon_Hobby_SPMR8200EU289188.jpg

3.7. DODATNE KOMPONENTE ZA MONTIRANJE

Osim nužnih komponenti na letjelici, mogu se staviti i dodatne komponente na letjelicu kao što je GPS, indikator napona te kvalitetan brzi punjač.

3.7.1. GPS

Pomoću GPS-a letjelica dobiva niz novih mogućnosti kao što su: praćenje letjelice uživo, mogućnost da letjelica stoji u mjestu (hover) te dosta zanimljivu mogućnost "return to home" u prijevodu vraćanje letjelice doma. Vraćanje letjelice doma (RTH) možemo podesiti u sljedećim slučajevima, a to su: prazna baterija, izgubljen signal s RC (radio odašiljačem) te pritiskom na tipku na RC. RTH (vraćanje doma) radi na principu pamćenja zadnje početne točke. Početna točka je točka kada se letjelica upali. Preko GPS-a se također može upravljati letjelicom autonomno, postavljanjem unaprijed zadanih ruta. Točnost GPS-a je danas sve točnija, točnost kod kvalitetnijih GPS-ova je do 0,5 metara.



Slika 21. GPS pločica

Izvor: https://drones.altigator.com/images/ardupilot/Mediatek_ardupilot_GPS_MT3329-02.jpg

3.7.2. INDIKATOR NAPONA

Zbog pretjeranog pražnjenja 3S baterije, indikator napona je veoma važna dodatna komponenta. Indikator se montira direktno na tijelo letjelice. Na njemu se nalaze zvučnici koji zvučnim signalom upozoravaju da je nizak napon na bateriji (ispod 3V) te će tim zaštititi bateriju od prevelikog pražnjenja i oštećenja. Također indikator ima i LED diode koje svijetle crveno ili zeleno. Crveno predstavlja nizak napon baterije, dokle zeleno predstavlja zadovoljavajuću razinu baterije.



Slika 22. Indikator napona

Izvor: <https://oscarliang.com/ctt/uploads/2014/12/lipo-battery-alarm-buzzer.jpg>

3.7.3. PUNJAČ BATERIJE

Danas na tržištu postoji dosta vrsta i modela punjača različitih kvaliteta i proizvođača.

Većina punjača danas namijenjena je za punjenje više vrsta baterija, time je potrebno konfigurirati punjač za određenu bateriju. Potrebno je unijeti podatke o bateriji koju želimo puniti te željenu brzinu vremena punjenja.

Ako baterija ima kapacitet 4000 mAh i puni se s 2A struje, potrebno vrijeme će biti otprilike 2h.

$$T_{punjena} = \frac{Q}{I} = \frac{4}{2} = 2h$$

Punjač također na sebi ima i način punjenja skladištenja baterije (eng. storage mod). Ovaj način punjenja baterije puni sve ćelije baterije na 3.7V što je idealni napon za skladištenje baterije. Ukoliko je napon iznad ili ispod ove vrijednosti, a baterija nije duži period korištena moguće je oštećenje baterije (pretjerano zagrijavanje, napuhavanje baterije, eksplozija...).

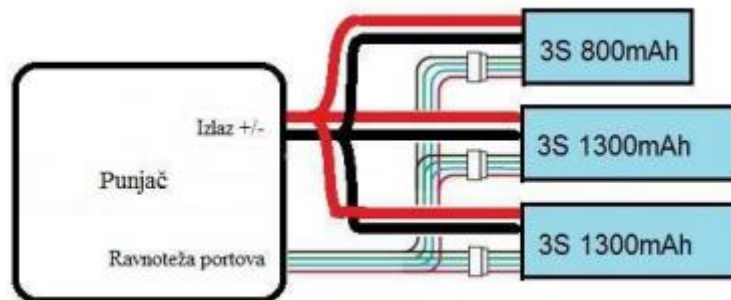


Slika 23. Punjač LiPO baterije

Izvor: <https://www.rc-airplanes-simplified.com/images/lipobatterychargerreview-1.jpg>

3.7.4. STRUJA PUNJENA

Prilikom punjenja LiPO baterija u paralelnom spoju potrebno je paziti da se ne pune baterije s različitim brojem ćelija 3S ili 4S. Kapaciteti baterija prilikom punjenja mogu se razlikovati.



Slika 24. Spoj punjena baterija

Izvor: (Akrap, 2020)

Kada se pune baterije od 2000 mAh potrebna je struja od 1A, za bateriju od 4700 mAh potrebna je struja od 4,7 A. A u slučaju da spojimo više 3S baterija u paralelu od 4700 mAh struja punjena će biti 14.1 A.

$$I = \text{broj čelija baterije} * Q = 3 * 4,7 = 14,1$$

Kapacitet baterija mora biti sukladan s strujom punjena baterija.

3.7.5. LED TRAKE

Za lakše orijentiranje letjelice prilikom leta noći, na same "ruke" letjelice stavljaju se LED trake. S LED trakama letjelica je uočljivija te je s njom lakše orijentirati se. Prilikom izrade LED trake su se spojile na PDB (pločicu za napajanje) na 12V, te stavljene su na "ruke" letjelice koje su s prednje strane (okrenute u smjeru kamere). Duljina traka je 40 mm, širina 10mm te debljina 2mm.



Slika 25. LED traka

3.8. ZAVRŠETAK IZRADE LETJELICE

Kada se sve komponente spoje kako je opisano dobije se letjelica koja je s izradom gotova, potrebno joj je još samo programiranje i konfiguracija komponenti.



Slika 26. FPV bespilotna letjelica

Težina letjelice bez baterije je 386 grama (slika 25.)



Slika 27. Težina letjelice bez baterije

4. PROGRAMIRANJE I KONFIGURACIJA

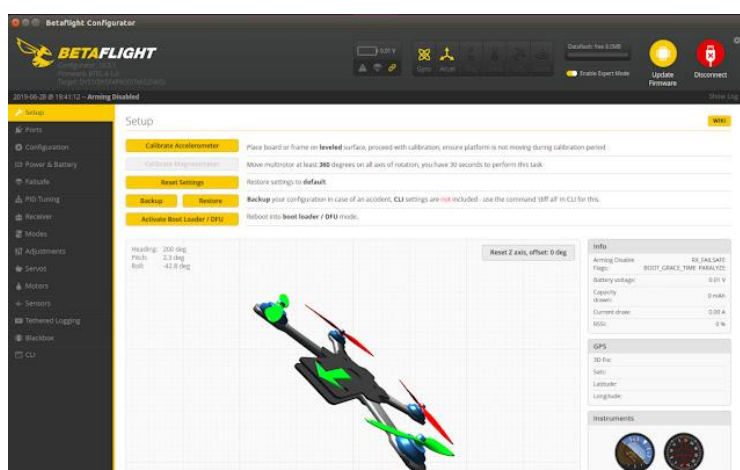
Programiranje i konfiguracija su nužni za upravljanje letjelice, pomoću programskog jezika upravlja se načinom leta, te također se radi kalibracija letjelice. Za programsku podršku koristi se besplatni program Betaflight. Betaflight spada u gotovi napisani program koji služi za programiranje i kalibraciju letjelice.

Za spajanje letjelice na Betaflight, potrebno je instalirati drivere za odgovarajući mikrokontroler (FC) u ovom slučaju Naze32 full. Mikrokontroler na sebi ima micro USB priključak koji se spaja na računalo, odnosno na Betaflight-ovu programsku podršku. Ako su driveri na računalu točno instalirani letjelica će se automatski povezati s računalom.

Kada se uspješno poveže, potrebno je napraviti nužnu konfiguraciju, točnije postupak kalibracije motora, odašiljača (RC) i prijemnika (TX). Betaflight programska podrška omogućuje još dosta stvari, neke od korisnijih su konfiguracija GPS-a te vrijeme gašenja letjelice prilikom neaktivnosti.

Osnovna kalibracija letjelice vrši se u 5 koraka:

Prvi korak je povezivanje letjelice s mikro USB-om na računalo, te skidanje svih propelera s motora. Nakon toga otvara se programska podrška BetaFlight.



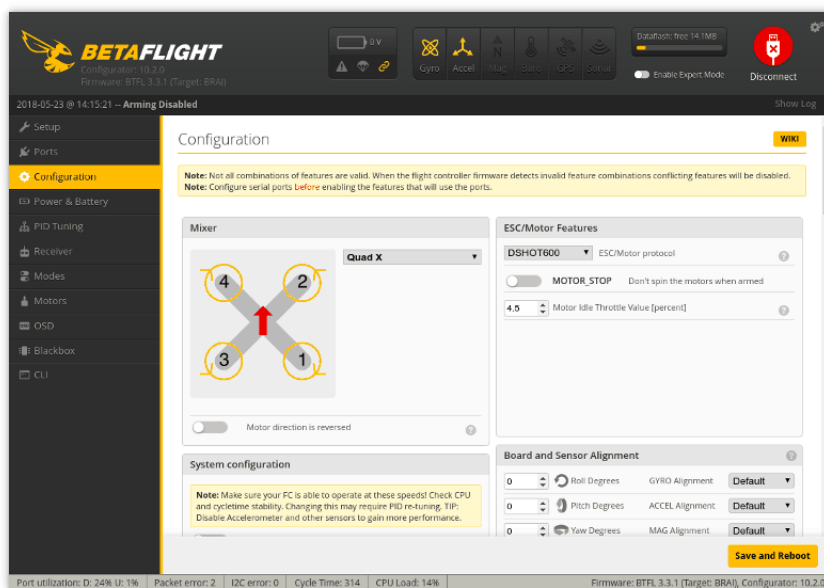
Slika 28. Prikaz programske podrške Betaflight

Izvor:

<https://lh3.googleusercontent.com/di77U8MJEDNqdZ3UQuqKJy6TEDtHsPegDH8fOaCM0m8E7zImA6bW1epvftG5LdpUsxE-eAkJtKAfDqIvOf-RXR8VUhg=w640-h400-e365-rj-sc0x00ffffff>

Drugi korak je provjera je li se letjelica automatski spojila, ako nije, potrebno je u programu odabrati odgovarajući port (COM1, COM2....) te pritisnuti na tipku „CONNECT“ tada se otvara glavno programsko sučelje koje upozorava da se letjelica odloži na ravnu površinu kako bi se moglo na što ispravniji i kvalitetniji način napraviti kalibriranje akcelometra i kompasa. Potom se slijede uputstva na ekranu za pravilno kalibriranje.

U trećem koraku u programskoj podršci treba se odabrati tip letjelice i ESC-ova. U programskoj podršci potrebno je odabrati quadcopter (letjelica s četiri kraka) u formaciji X.



Slika 29. Konfiguracija letjelice

Izvor: https://www.brainfpv.com/wp-content/uploads/2018/01/bf_configuration.png

Također u trećem koraku potrebno je odabrati ESC-ove koje se koriste na letjelici te im zadati minimalne i maksimalne vrijednosti gasa, treba ga kalibrirati.

Konfiguracija ESC-ova provodi se na način da se konektor ESC-a spoji direktno na radio prijemnik Spektrum (RC). Crvena i crna žica spajaju se na bateriju, a izlazi se spajaju na faze motora. Potom se uključuje radio prijemnik s throttle kanalom u maksimalnom položaju te se zatim priključuje baterija. Iz motora se tada čuje visokofrekventni kratki signal što znači da je motor spreman za kalibraciju. Nakon toga potrebno je na RC vratiti ručicu na minimalni throttle nakon čega se može čuti iz FC-a (kontrolne pločice) 2, 3 ili 4 kratka zvuka što označava da je elektronika uspješno kalibrirana. Zvuk s FC-a će se čuti

ovisno s kojom se baterijom radi ako je 2S čuti će se dva puta, ako je 3S čuti će se tri puta. (Akrap, 2020)

Preporuča se i sigurnije je kalibrirati elektroniku svakog ESC-a jednu po jednu, iako je moguće kalibrirati ih i sve odjednom.



Slika 30. Konfiguracija motora i ESC-ova

Izvor: <https://oscarliang.com/ct/uploads/2018/06/betaflight-configurator-motor-tab-slider-max.jpg>

Četvrti korak je odabir i definicija modova leta što se može vidjeti na slici 31. Letjelica ima četiri moda leta, to su: arm, air mode, angle i horizon. Svakim danom izlaze noviji modovi leta, ali svi se nadovezuju na ova četiri glavna.

- Arm mod nema ograničenja kuta nagiba i nema stabilizacije letjelice. Vrlo dinamičan i zahtjevan mod leta.
- Air mode je način leta koji služi za akrobacije, uobičajeno kada se spusti ručica na minimum na RC-u letjelica se zagasi, u ovome slučaju letjelica i dalje nastavlja raditi čak i u slobodnom padu.

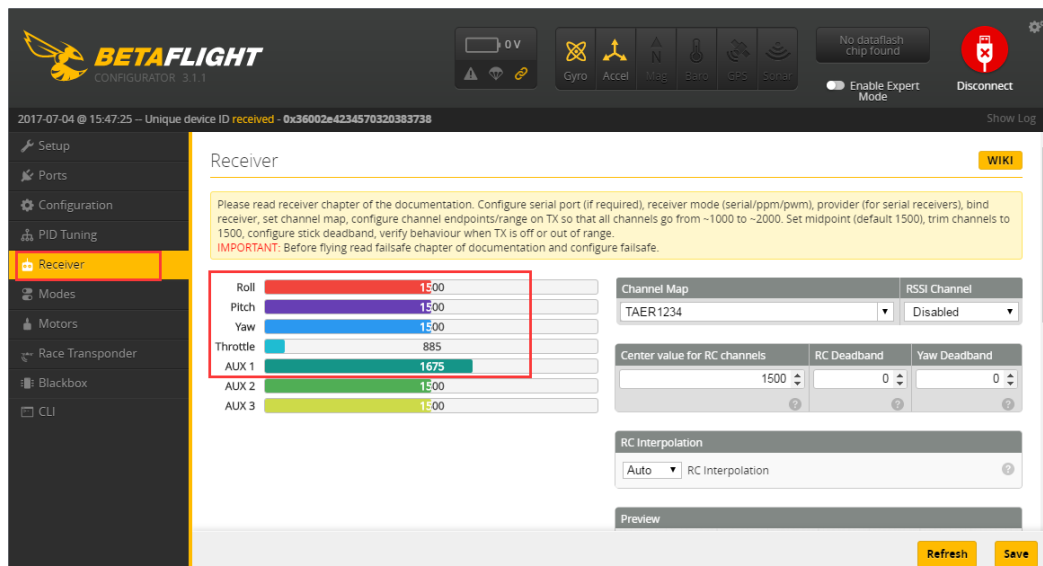
- Angle način leta je kada je nagib letjelice ograničen do određenog kuta kojega sami zadajemo i letjelica se ne može prevrnuti (zarotirati). Kada se pusti palica upravljača (RC) letjelica i dalje zadržava nagib – ne vraća se odnosno ne izravna se sama.
- Horizon je sličan angle modu samo što se kod horizon moda letjelica može prevrnuti točnije zarotirati.



Slika 31. Konfiguracija načina leta

Izvor: <https://i0.wp.com/blog.dronetrest.com/wp-content/uploads/2017/04/modes-5.JPG?w=1250&ssl=1>

U petom koraku potrebno je konfigurirati RC (radio odašiljač). U programskoj podršci pomoću pomicanja palica na RC-u kalibrira se upravljač na način da se određuju komande i da se zna koja je palica na upravljaču što radi (Slika 32). (Akrap, 2020)



Slika 32. Konfiguracija RC

Izvor: <https://fasrlogin486.weebly.com/uploads/1/2/3/9/123929686/794116177.png>

Nakon ovih pet osnovnih koraka letjelica je spremna za prvo letenje.

5. ZAKLJUČAK

Primjene FPV letjelica danas su mnogobrojne i mogu se koristiti u rekreacijske svrhe ili komercijalne. Danas se FPV letjelice koriste za utrke, snimanje filmova te situacije za pregled stvari kojima su ljudima zbog položaja opasnim za život.

U ovome radu je prikazana i izrađena FPV quadcopter bespilotna letjelica (letjelica s četiri kraka) X konfiguracije. Tijelo letjelice izrađeno je od filamentna , materijal je lagan i čvrst iako najbolji odabir za izradu tijela su karbonska vlakna. Na letjelici se nalaze četiri motora RacerStar BR 2205 koji letjelicu daju veliko ubrzanje i konstantnu veliku brzinu. Na letjelici se nalazi baterija od 4700mAh s tri ćelije s kojom se može letjeti i do 16 minuta normalnim načinom leta te 8,35 minuta prilikom maksimalnog opterećenja letjelice, točnije baterije. Na letjelicu je ugrađena i FPV kamera s video odašiljačem i video prijemnikom te kružno polariziranom antenom koji služe za prijenos slike u realnom vremenu do maksimalnog dometa od 4km. Ova letjelica može se još koristiti i za profesionalna snimanja te za potrebe izviđanja mjesta nedostupnih čovjeku.

U ovome radu su opisani još detaljno koraci konfiguracije i načini programiranja letjelice u aplikacijskom softveru BetaFlight te je prikazano da svaki mod leta utječe na različiti način letenja.

Prilikom izrade letjelice potrebno je biti veoma pažljiv pošto je većina komponenta veoma osjetljiva. Stoga je potrebno prilikom montaže detaljno pročitati i pratiti upute svakog proizvođača. LiPO baterije su također veoma osjetljive pa se preporuča provjeriti vodove multimetrom da ne bi došlo do kratkog spoja i oštećenja komponenti.

Izrada letjelice iziskuje dosta posla i strpljenja, potrebno je imati znanja iz područja elektronike te iskustvo rada s lemilicom i ostalim alatima potrebnim za izradu letjelice.

LITERATURA

Akrap, B. (2020). *Bespilotna letjelica sa FPV prikazom slike*. Sveučilište u Splitu, Hrvatska.

Baichtal, J. (2015). *Building Your Own Drones: A Beginners' Guide to Drones, UAVs, and ROVs*. Que Publishing.

FPV racing drones: Recommended parts, kits, and components. . (2020). Dohvaćeno iz Drone Nodes: <https://dronenodes.com/fpv-racing-drones/>

I.Mandić, V. M. (2012). *Sinkroni i asinkroni električni motori*. Dohvaćeno iz <https://www.bib.irb.hr/629238/download/629238.SinAsin.pdf>

Kilby. (2015). *Make: Getting started with drones: Build and customize your own quadcopter*. Maker Media, Inc.

Kučić, A. (2010). Diplomski rad. Zagreb, Hrvatska.

Upravljanje i korištenje sustava bespilotnih zrakoplova (tzv. dronova). (2020). Dohvaćeno iz Središnji državni portal: <https://gov.hr/moja-uprava/aktivno-gradjanstvo-i-slobodno-vrijeme/sport-i-rekreacija/upravljanje-i-koristenje-sustava-bespilotnih-zrakoplova-tzv-dronova/1955>

Wikipedia. (n.d.). Dohvaćeno iz Coriolisova sila: https://hr.wikipedia.org/wiki/Coriolisov_u%C4%8Dinak

POPIS KRATICA

FPV (eng. First person view) – Pogled iz prvog lica

GPS (eng. Global positioning system) – Globalni položajni sustav

RPA (eng. Remotely piloted aircraft) - daljinski kontrolirana letjelica

UAV (eng. Unmanned aerial vehicle) – bespilotna letjelica

ESC (eng. Electronic speed controller) – elektronički komutator

KMH – kilometra po satu

DC – istosmjerna struja

CW (eng. Clockwise) – smjer kazaljke na satu

CCW (eng. Counter clockwise) – obrnuti smjer od kazaljke na satu

FC (eng. Flight controller) – kontrolor leta

IMU (eng. Inertial measurement unit) – inercijalna mjerna jedinica

VTX (eng. Video transmitter) – Video odašiljač

RC (eng. Radio controller) – Radio odašiljač (upravljač)

TX (eng. transmitter) – Radio prijemnik

LiPO – litiji- polimer baterija

NiMH - nikal-metal hibridne baterije

PDB (eng. Power distribution bord) – Pločica za napajanje

GND (eng. Ground) – uzemljenje

IC2 - standardna sabirnica kompjutera

PM - modul napajanja

CH – podešavanje kanala na video prijemniku

FR – frekvencijski pojas

RTH (eng. Return to home) – Mod vraćanje doma letjelice

h – sat

mAh – mili amper sat

A – amper

I – struja

POPIS SLIKA

Slika 1. Prikaz mogućih tijela FPV letjelice	3
Slika 2. Brushless motor 2206	4
Slika 3. Način rada inrunner brushless motora	5
Slika 4. Faze namatanja istosmjernog outrunner brushless motora	6
Slika 5. Shema ESC-a (lijevo) Prikaz ESC-a (desno)	8
Slika 6. Dimenzije propelera za FPV bespilotnu letjelicu	9
Slika 7. Generacije te karakteristike FC-a.....	10
Slika 8. Prikaz VTX-video odašiljača	12
Slika 9. Radio odašiljač lijevo, radio prijemnik desno.....	13
Slika 10. FPV kamera	14
Slika 11. Ožičenje 3S LiPO baterije	15
Slika 12. LiPO baterija 2700mAh, 3S, 35C	15
Slika 13. Prikaz pločice za napajanje.....	17
Slika 14. Printanje tijela drona pomoću 3d printera (lijevo) Shema spajanja tijela drona (desno).....	18
Slika 15. Pločica za napajanje Matek system XT 60.....	19
Slika 16. Prikaz montiranog i spojenog kontrolera leta (FC)	20
Slika 17. Dijagram spajanja Naze 32 full kontrolera leta	21
Slika 18. Motor RacerStar BR2205.....	22
Slika 19. Pojednostavljena shema spajanja VTX i prijemnika.....	23
Slika 20. Radio prijemnik AR400(lijevo) Radio odašiljač Spektrum NX8	24
Slika 21. GPS pločica	25
Slika 22. Indikator napona	26
Slika 23. Punjač LiPO baterije	27
Slika 24. Spoj punjena baterija	27
Slika 25. LED traka	28
Slika 26. FPV bespilotna letjelica.....	29
Slika 27. Težina letjelice bez baterije	29
Slika 28. Prikaz programske podrške Betaflight.....	30
Slika 29. Konfiguracija letjelice	31
Slika 30. Konfiguracija motora i ESC-ova	32
Slika 31. Konfiguracija načina leta	33

