Multirotorska vertikalno potisna letjelica

Čereg, Marin

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:060096

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**

Repository / Repozitorij:

Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek

zir.nsk.hr

Image not found or type unknown

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA

Stručni studij

MULTIROTORSKA VERTIKALNO POTISNA LETJELICA

Završni rad

Marin Čereg

Osijek, 2016

SADRŽAJ:

1. UVOD ... 1

2. KONSTRUKCIJA LETJELICE ... 4

2.1. Okvir ... 5

2.2. Propeleri ... 9

3. MOTORI ... 11

3.1. Izvedba *inrunner* istosmjernog motora bez četkica ... 11

3.1.1. Način rada *inrunner* istosmjernog motora bez četkica ... 12

3.2. Izvedba *outrunner* istosmjernog motora bez četkica ... 13

3.2.1. Način rada *outrunner* istosmjernog motora bez četkica ... 14

3.3. Specifikacije istosmjernih motora bez četkica ... 15

3.4. Primjena istosmjenih motora bez četkica ... 17

3.5. Kontrola brzine istosmjernih motora bez četkica ... 18

4. BATERIJA ... 21

5. SENZORI ... 25

5.1. Žiroskop ... 25

5.2. Barometar ... 26

5.3. Akcelerometar ... 26

5.4. Magnetometar ... 27

5.5. GPS modul ... 27

5.6. Ultrazvučni senzor ... 28

6. MIKROKONTROLER ... 29

7. RADIOSTANICA ... 32

8. PROGRAMSKA PODRŠKA ... 35

8.1. Kalibriranje ... 36

8.2. Autopilot ... 40

9. VIDEOPRIJENOS ... 42

10. TIJEK IZRADE LETJELICE ... 44

11. ZAKLJUČAK ... 46

LITERATURA 48

SAŽETAK 49

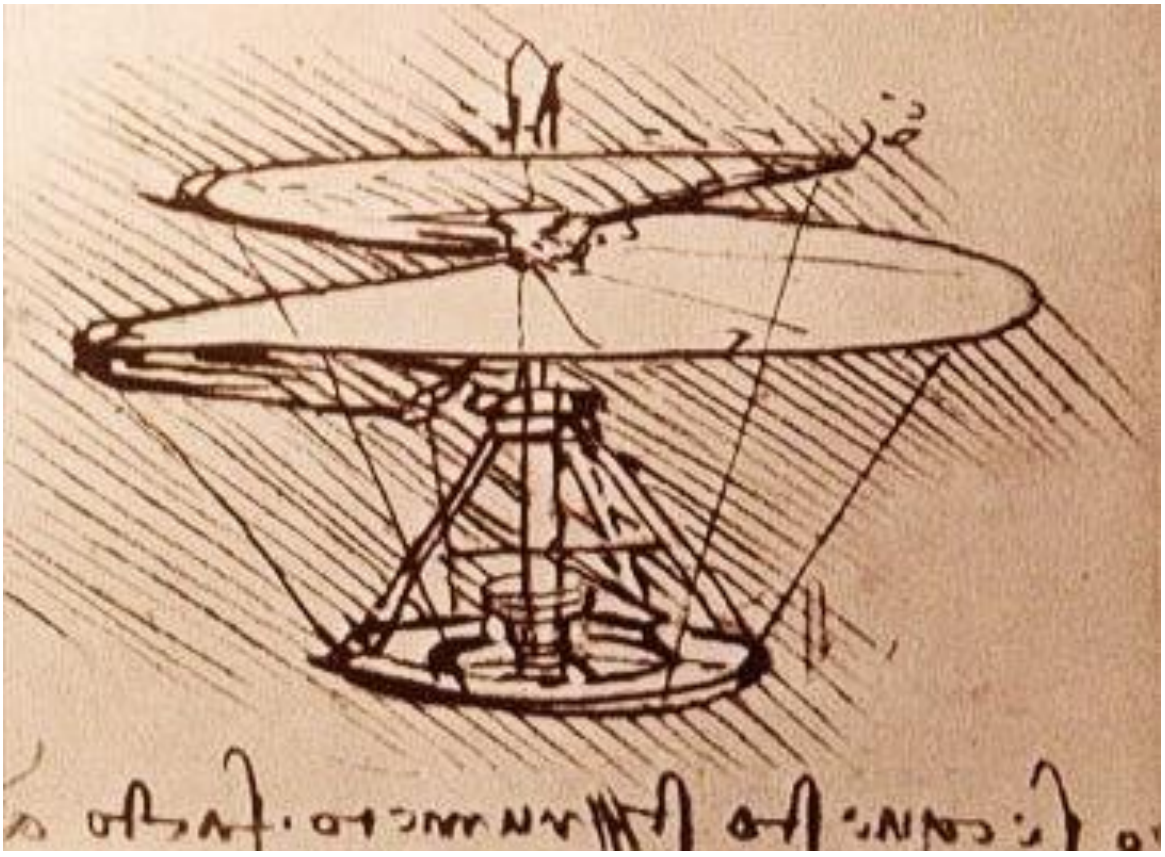
ABSTRACT 50

ŽIVOTOPIS 51

1. UVOD

Od samih početaka ljudi pokušavaju pobijediti gravitaciju i letjeti zrakom, a to su pokušali na mnoge načine gdje su mnogi od njih bili neuspjeli.

Među brojnim znanstvenicima i izumiteljima koji su se mučili sa problemom leta najistaknutiji od njih je bio talijanski slikar, arhitekt, izumitelj, kipar, mislilac, matematičar i inženjer Leonardo Da Vinci. Leonardo je potrošio 25 godina svoga života kako bi proučavao mogućnost leta. Svaka ideja za izume većinom dolazi iz prirode pa je tako Leonardo proučavao životinje koje imaju mogućnost leta zrakom. Tako je njegov prvi izum za pokušaj leta zrakom bila krila koja su imitirala krila ptice. Pokus je bio neuspješan zbog prevelike težine. Uz svoje pokušaje Leonardo je opazio i kako neki kukci okreću svoja krila pa tako imaju mogućnost lebdjeti u zraku. Tako je Leonardo izumio propeler te se on smatra izumiteljem prvog koncepta helikoptera koja se može vidjeti sa slike (slika 1.1.).



Slika 1.1. Skica Leonarda Da Vinci-a i njegovog letećeg stroja u pariškom institutu [1]

Na nastavak Leonardovog istraživanja ali i istraživanja drugih znanstvenika i izumitelja pravljeni su prvi koncepti letjelica. Prva letjelica koja je uspješno letjela bila je balon sa korpom. Balon je uspješno letio zrakom ali jako sporo te je bio jako ovisan o vremenskim prilikama, a ponajviše vjetru.

Mnogi znanstvenici i izumitelji su proučavali područje leta te su na tom području razvijali prve koncepte aviona i helikoptera.

U 1906.-oj godini, Francuska braća Jacques i Louis Berguet počinju svoj projekt nazivom *gyroplane 1.* koji je završen u 1907-oj godini i uspješno je lebdio nad zrakom preko jedne minute na visini od pola metra. U daljnjem razvijanju ovoga koncepta napravile su se i prve letjelice kao što je letjelica francuskog izumitelja Paula Cornu-a napravljena 1907. godine koju je nazvao *Cornu helicopter* (slika 1.2.). Iako je letjela samo 20 sekundi i uspjela se uzdići 0.3 metra to je bila prva takva letjelica sa motorom koju je kontrolirao pilot.



Slika 1.2. Cornu copter [2]

U 1911.-oj godini slovenski ekonomist i filozof Ivan Slokar patentirao je prvi koncept helikoptera. Daljnjim razvojem nastali su helikopteri koji mogu nekoliko sati lebdjeti u zraku, prevaliti veliku udaljenost te prenositi jako veliki teret.

Zbog želje za letom i lebdjenjem pojavljuju se prvi koncepti manjih letjelica imenom dronovi koji omogućuju čovjeku da je upravlja zrakom sa sigurne udaljenosti. Sa tom idejom počeli su se koristiti sve lakši i tvrđi materijali, a letjelica je sve više dobivala na kvaliteti. Isto tako se na letjelice ugrađivala kamera kako bi se dobio pogled sa visine što je još više dalo na popularnosti letjelica.

Razvoj tehnologije dronova počinje u 21. stoljeću te se njihova primjena počinje proširivati. Trenutno se još koriste ponajviše u istraživačke i ekološke svrhe iz razloga što je tehnologija u razvoju. U zadnjem proširivanju promjene ove letjelice su se počele primjenjivati u nadzoru i snimanju iz zraka što je privuklo jako veliku pažnju ljudi te je cijena manjih dronova znatno pala.

Kroz ovaj seminar opisuje se izrada takve letjelice i mogućnosti koja ona postiže. Prolazi se kroz probleme izrade takve te kako se rješavaju ti problemi.



Slika 1.3. Vertikalno potisna letjelica

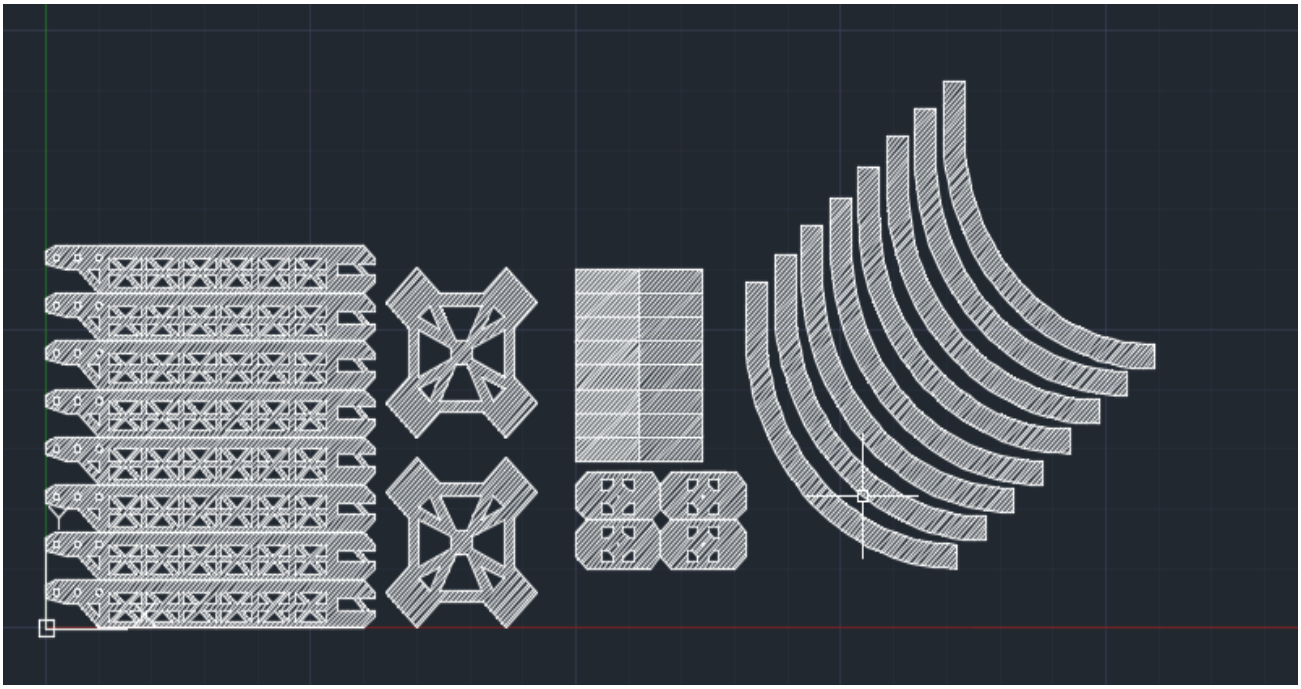
Na slici 1.3. se vidi izgled letjelice kada se sastave svi dijelovi. U daljnjem dijelu opisivati će se dio po dio letjelice te objasniti koja je svrha toga dijela.

2. KONSTRUKCIJA LETJELICE

Letjelica svojom konstrukcijom mora biti sa što manjom masom, a opet mora biti čvrsta. Tako se za izradu konstrukcije letjelice moraju oprezno birati materijali koji zadovoljavaju potrebe letjelice. Materijali koji su se pokazali najboljim svojstvima su karbon te aluminiji zato što su lagani i jako čvrsti, ali su se dobro pokazali PCB plastika te *plexiglas*. Karbon je svojim svojstvima kao što je tvrdoća, čvrstoća i mala masa materijal koji najbolje odgovara za izradu letjelice, ali je njegova cijena jako velika. Uz karbon, aluminiji je materijal koji se koristi u avioindustriji zbog svoje male mase i dovoljno velike čvrstoće ali je cijena isto tako jako velika. Za materijal najboljeg omjera cijene i potrebnih svojstava nalazi se PCB plastika koja je dovoljno čvrsta za potrebe letjelice, a masa nije jako velika dok je cijena pristupačna.

Konstrukcija ove letjelice može biti sa izvedbom tri motora, četiri motora ili *quadcopter*, šest motora ili *hexacopter* i osam motora koja je zapravo dupla izvedba *quadcoptera*.

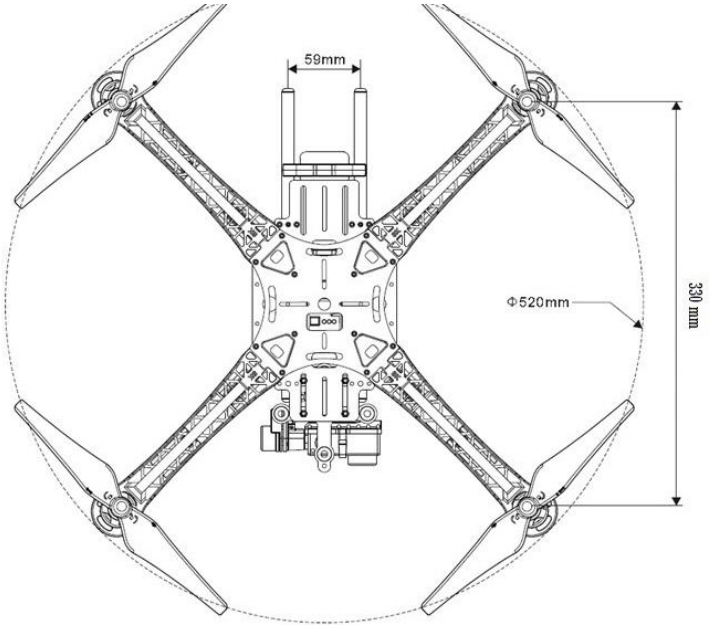
Dizajn kućišta može se lako pronaći na internetu gdje postoji veliki broj već isprobanih modela letjelice, ali se može i samostalno napraviti ili čak napraviti u programu autocad kao što se vidi na slici 2.1. te se kasnije taj crtež može izrezati na CNC-stroju



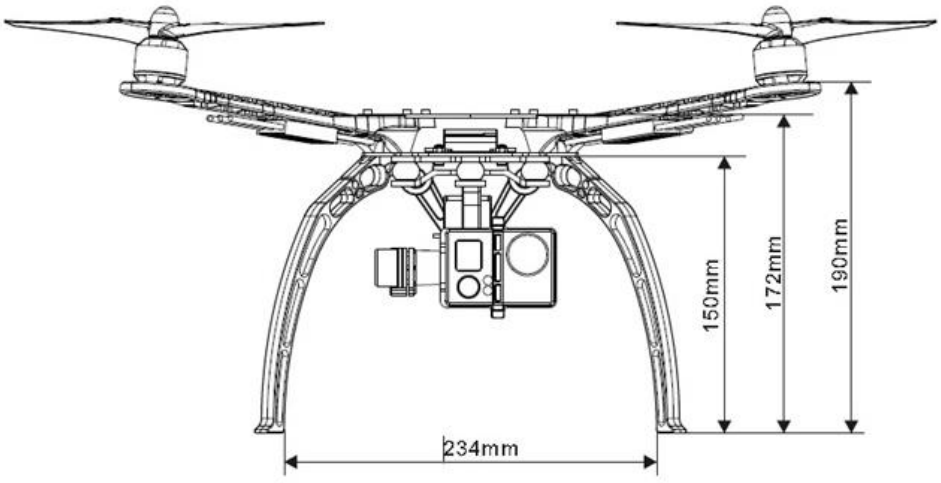
Slika 2.1. Izrada kućišta *quadcoptera* u programu *autocad*

2.1. Okvir

Okvir letjelice je napravljen od PCB-a te su u njima napravljeni bakreni energetski vodovi za motore. Dizajn letjelice naziva se S500 te je ovo novija verzija toga dizajna. Sa slike 2.2 i slike 2.3. vidi se shematski prikaz dizajna S500



Slika 2.2. Tlocrt sheme letjelice S500



Slika 2.3. Bokocrt sheme letjelice S500

Kako bi se dodatno smanjila masa, a pritom održala dovoljno potrebna čvrstoća napravljene su rupe i prosjeci na okviru. Na slikama 2.3 i 2.4 vide se izrezani i napravljeni dijelovi za izradu letjelice u PCB-u.



Slika 2.3. Središnji dio okvira letjelice



Slika 2.4. „Ruke“ letjelice

Uz okvir letjelice poželjno je postaviti i noge na letjelici kako bi se izbjegao udarac na motore prilikom slijetanja letjelice ili eventualno manjeg pada.

Kako bi ruke i noge letjelice podnijele što bolje udarce i teret kroz njih se ugrađuje tanka karbonska šipka koja je smještena kroz sredinu dijelova te služi kao kost u ljudskom tijelu. Zbog te šipke vijek trajanja te primanje udaraca letjelice je znatno povećan.

Sa slike 2.5. vidi se spojen okvir konstrukcije za letjelicu. Na tu konstrukciju još se trebaju montirati motori, elektronika i ostali dijelovi letjelice.



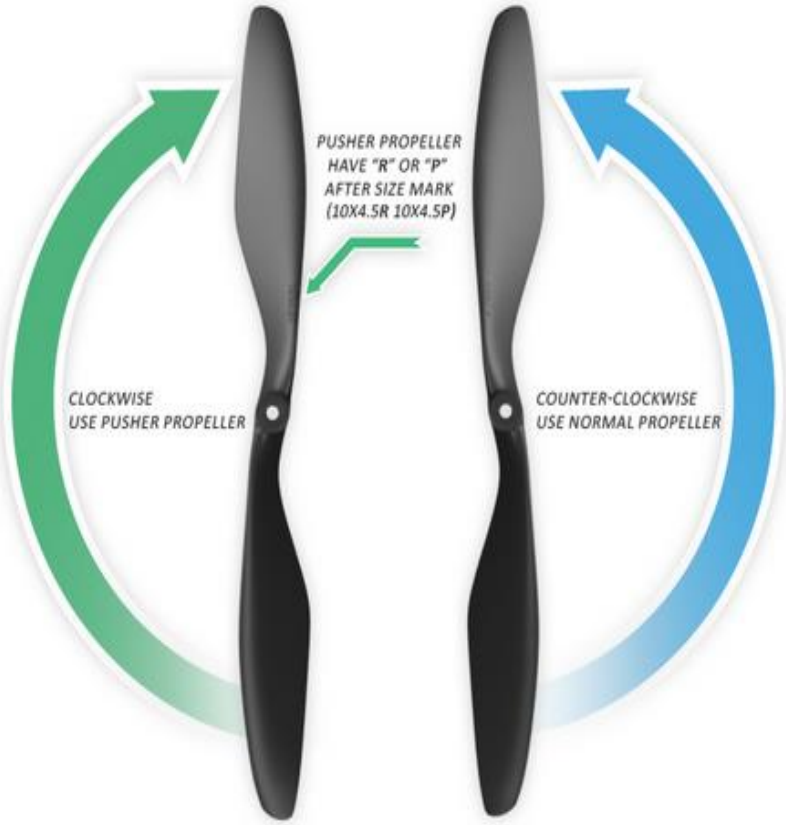
Slika 2.5. Sastavljeni okvir S500

Na slici 2.5. može se uočiti kako ruke letjelice nisu skroz ravne nego su malo nakošene prema unutra ili uzdignute. Razlog tome je povećavanje stabilnosti letjelice prilkom leta tako da motori uz to što tjeraju zrak prema dolje, tjeraju zrak i lagano od letjelice te kada se to napravi sa sva četiri motora na svim stranama letjelice dobiva dodatnu stabilnost.

Spajanje dijelova letjelice, ali i ostalih dijelova na tu konstrukciju izvršava se vijcima, no potrebno je koristiti i izolir traku te vezice kako bi se dodatno učvrstili neki elementi na letjelicu kao što su ESC i baterija.

2.2. Propeleri

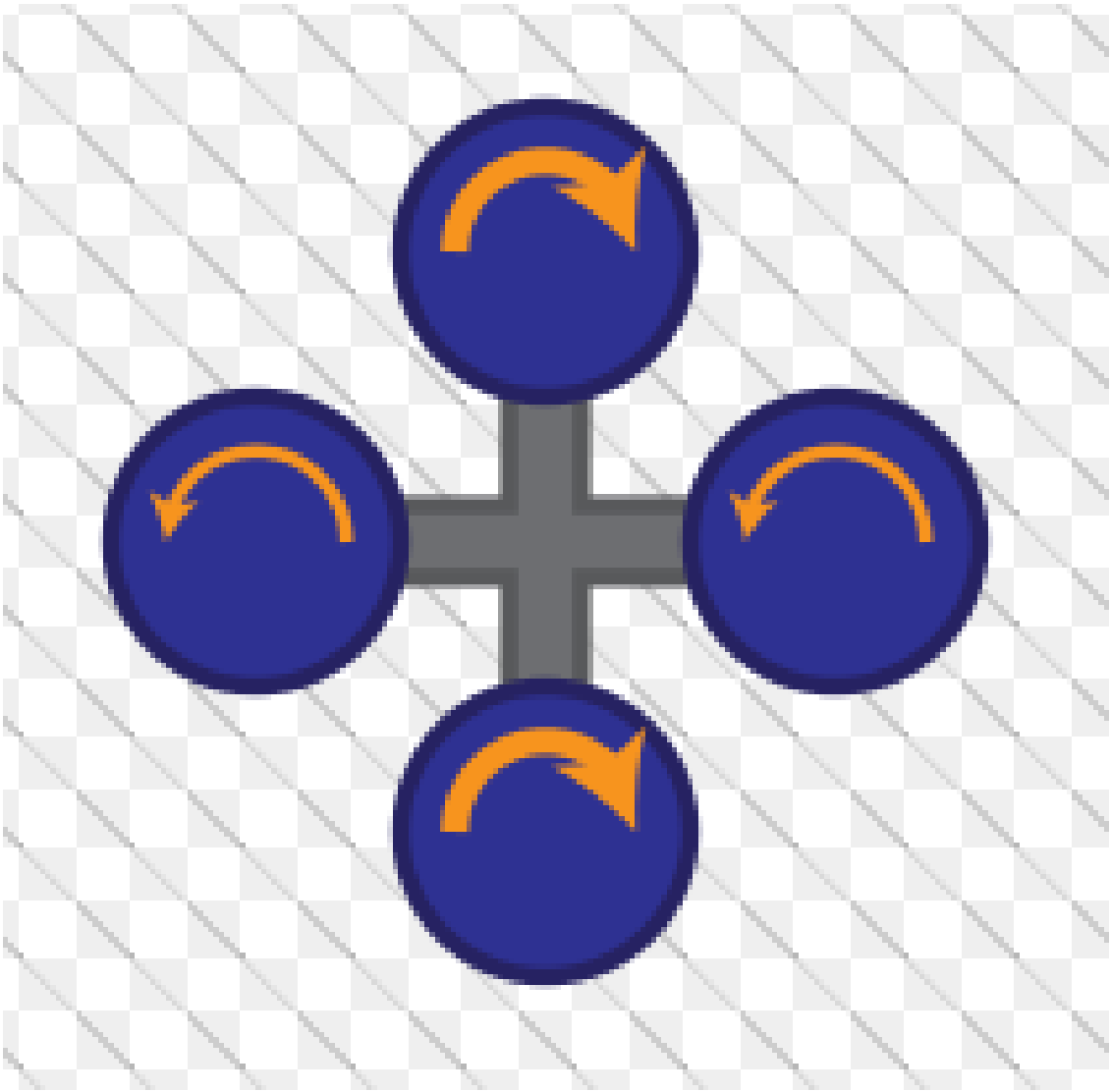
Propeleri su napravljeni od tvrde plastike te su aerodinamički formirani kako bi gurali zrak prema dolje. Sa slike 2.6. vidi se propeler za vrtnju u smjeru kazaljke na satu sa lijeve strane te propeler koji se vrti obrnuto od kazalje na satu sa desne strane.



Slika 2.6. Kretanje propelera na letjelici [3]

Treba voditi obzira o smjeru kretanja propelera. Kako bi letjelica letjela uspravno mora posjedovati dva motora koja se kreću u smjeru kretanja kazaljke i dva koja se kreću u suprotnom smjeru (CW,CCW) inače bi se letjelica cijela rotirala u smjeru kako su postavljeni motori ili bi se jednostavno srušila na stranu gdje je manji potisak.

Sa slike 2.7. vidi se pravilno postavljanje vrtnje propelera. Propeleri moraju imati drugačiju rotaciju od susjednih propelera.



Slika 2.7. Postavljanje motora na letjelicu

Ukoliko se propeleri ne postave pravilo letjelica će letjeti veoma nestabilno. Ako se svi propeleri vrte na istu stranu to će se rezultirati okretanjem cijele letjelice u tome smjeru. Potrebno je jako zategnuti propelere zato što na njih djeluje velika sila. Ako bi propeler nekim slučajem izletio sa motora letjelica bi se srušila.

3. MOTORI

Kako je konstrukcijski napravljen kao *quadcopter* znači da ova letjelica ima četiri motora raspoređena na četiri strane.

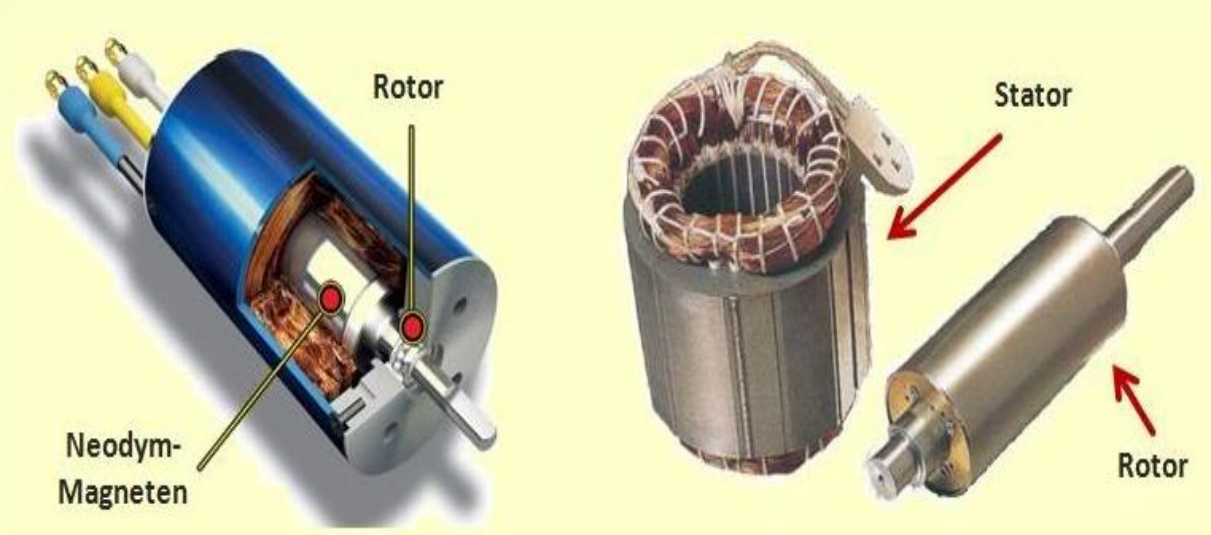
Električni istosmjerni motori spadaju u grupu kolektorskih motora, ali imaju snagu manju od 1KW pa spadaju i u grupu malih motora. Ovi motori imaju dvije izvedbe koji po načinu rada rade slično, ali se razlikuju u smještaju kućišta, a to su :

- *Inrunner*
- *Outrunner*

3.1. Izvedba *inrunner* istosmjernog motora bez četkica

Ovi motori se sastoje od statora i rotora. Stator je pričvrćen uz kućište motora te se na njemu nalaze namoti, dok se rotor nalazi između namota te se na rotoru nalaze permanentni magneti sa jednakim brojem magneta koliko i koraka u motoru.

Ovi motori imaju tri ulaza koja predstavljaju svaku fazu unutar motora.



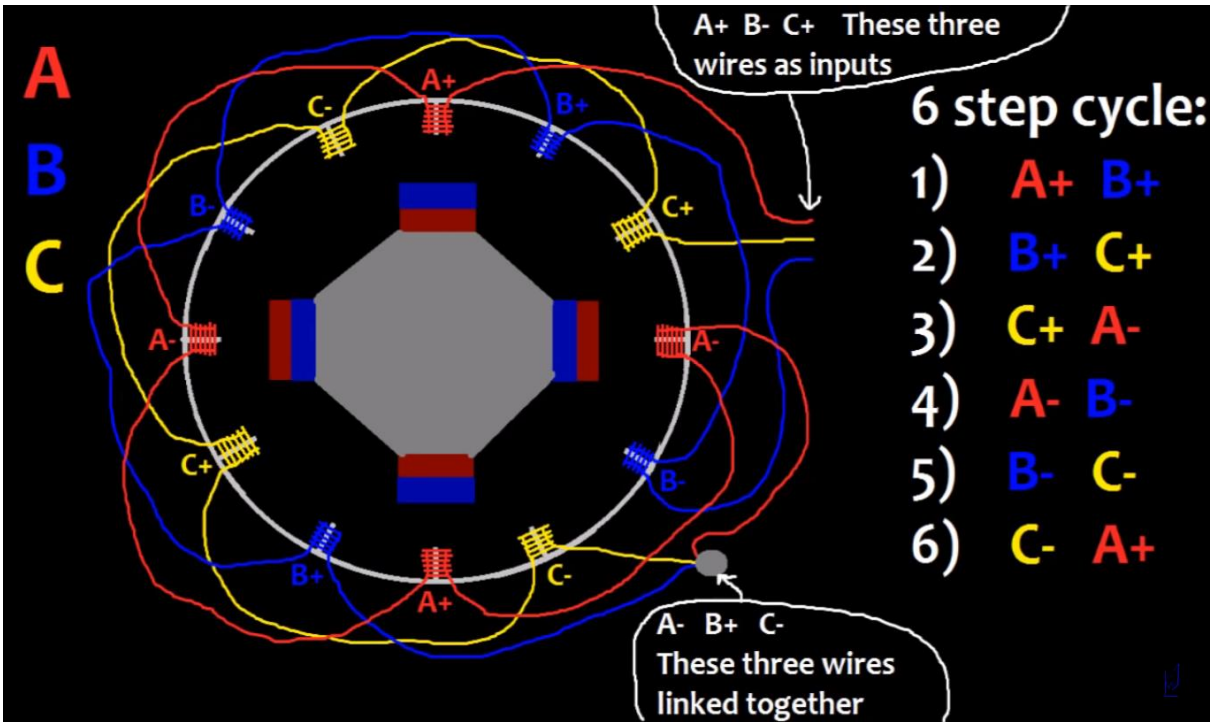
Slika 3.1. Unutrašnjost *inrunner* istosmjernog motora bez četkica [4]

3.1.1. Način rada *inrunner* istosmjernog motora bez četkica

Ovi motori imaju svoje namote raspoređene kroz tri faze a to su:

- Prva faza ili faza A
- Druga faza ili faza B
- Treća faza ili faza C

Namoti se spajaju u smjeru kazaljke na satu tako da je potrebno spojiti faze A,B pa C i treba voditi obrzira o smjeru namatanja žica oko faza. Za jedan smjer se odabere smjer namatanja koji će biti pozitivan, dok se u drugome smjeru namatanja uzima kao negativan smjer namatanja. Udaljenost između namatanja treba biti približno ista, a shema postavljanja namota i spajanje vidi se sa slike 3.2. te šest koraka koje motor ponavlja kako bi pomicao rotor.



Slika 3.2. Način rada *inrunner* istosmjernog motora bez četkica [9]

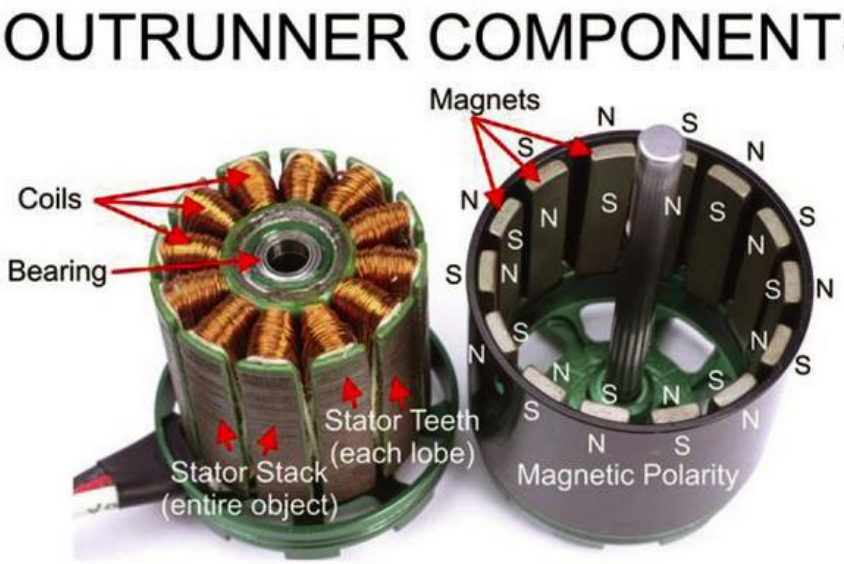
Kako bi se promijenili koraci dovođenja napona na namote u istosmjernom motoru bez četkica potrebno je imati dodatan sklop za mijenjanje faza.



Slika 3.3. Izgled *inrunner DC* motor bez četkica [4]

3.2. Izvedba *outrunner* istosmjernog motora bez četkica

Za razliku od *inrunner* izvedbe istosmjernog motora bez četkica *outrunner* ima promjenjenu konstrukciju rotora i statora koja se može vidjeti sa slike 3.4. Rotor *outrunner* motora je spojen sa kućištem motora te se obavija i okružuje stator koji je fiksiran na sredini. Na statoru su postavljene faze namota koje prate broj permanentnih magneta koji se nalaze na rotoru.



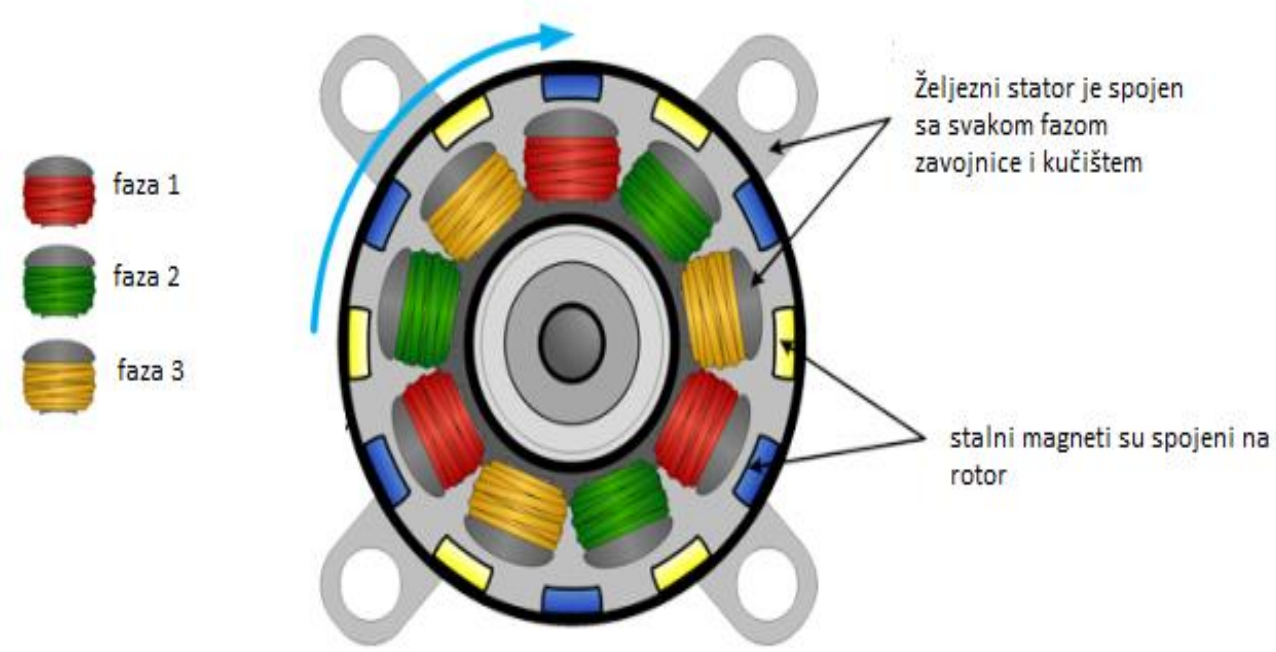
Slika 3.4. Unutrašnjost *outrunner* istosmjernog motora bez četkica [4]

3.2.1. Način rada *outrunner* istosmjernog motora bez četkica

Ovi motori isto tako imaju raspoređene faze kao i kod *inrunner* istosmjernih motora bez četkica, a to su:

- Prva faza ili faza A
- Druga faza ili faza B
- Treća faza ili faza C

Sa slike 3.5. se vidi kako isto posjeduje tri faze koje se namataju isto kao i kod *inrunner* istosmjernog motora. Postoje izvedbe ovih motora koje imaju samo dvije faze te takvi motori gibaju brzinom koja im je nominalna te ne trebaju nikakvu dodatnu elektroniku za rad.



Slika 3.5. Faze namatanja *outrunner* motora

Ovi motori su namjenjeni sa velike brzine vrtnje te im je brzina veća od *inrunner* izvedbe istosmjernih motora bez četkica osim toga vijek trajanja im je malo veći te su zbog toga razloga ovi motori montirani na letjelicu (slika 3.6.).



Slika 3.6. *Outrunner DC* motor sa propelerom

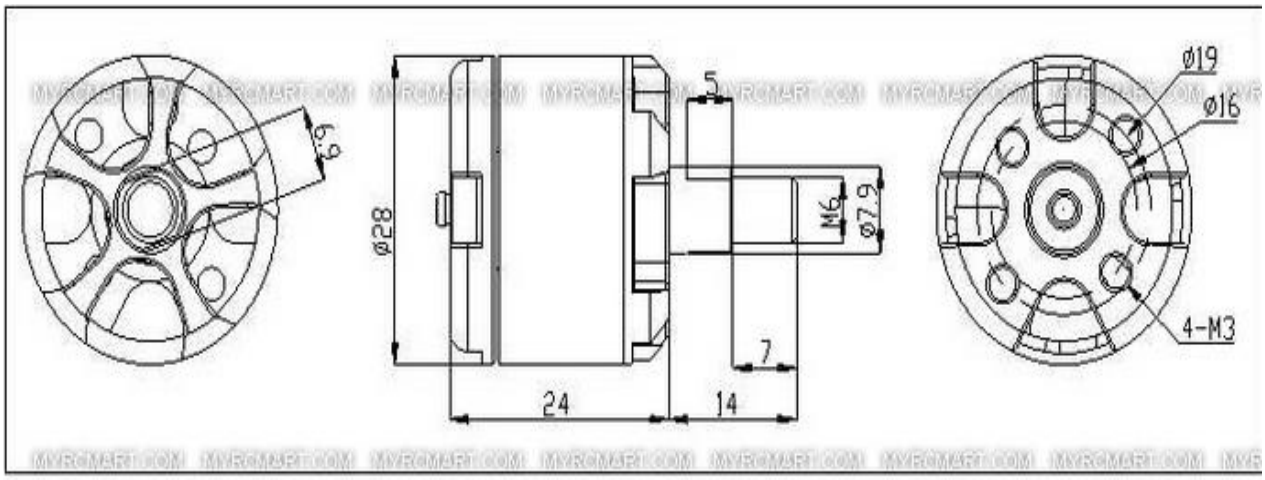
3.3. Specifikacije istosmjernih motora bez četkica

Za projektiranje i odabir motora koji odgovara određenim potrebama nužno je znati njegove specifikacije i kako se one čitaju.



Slika 3.7. Izgled *outrunner DC* motor bez četkice

Kao primjer očitanja specifikacija uzet je istosmjerni motor bez četkica izvedbom *outrunner* pod nazivom 2212 koji se vidi na slici 3.7. na motoru je označeno 920 KV što zapravo u teoriji znači da za 1V koji se dovede na priključak motora on napravi 920 okretaja u minuti. Kako bi se motor okretao potrebno je na njega dovesti više od 1V pa se tako na ove motore spajaju baterije sa dva članka (7.4 V), tri članka (11.1 V), četiri članka (14.8 V) pa čak i još jače baterije. Pa tako ako ovaj motor koji je naveden na slici 3.7. spojimo na 11.1. V on će teoretski imati 10200 okretaja u minuti (RPM) i pritom povlačiti struju ako je motor opterećen od 8.5 A. Sa slike 3.8. vidimo detaljan prikaz vrijednosti koje motor dostiže prilikom spajanja na različite razine napajanja.



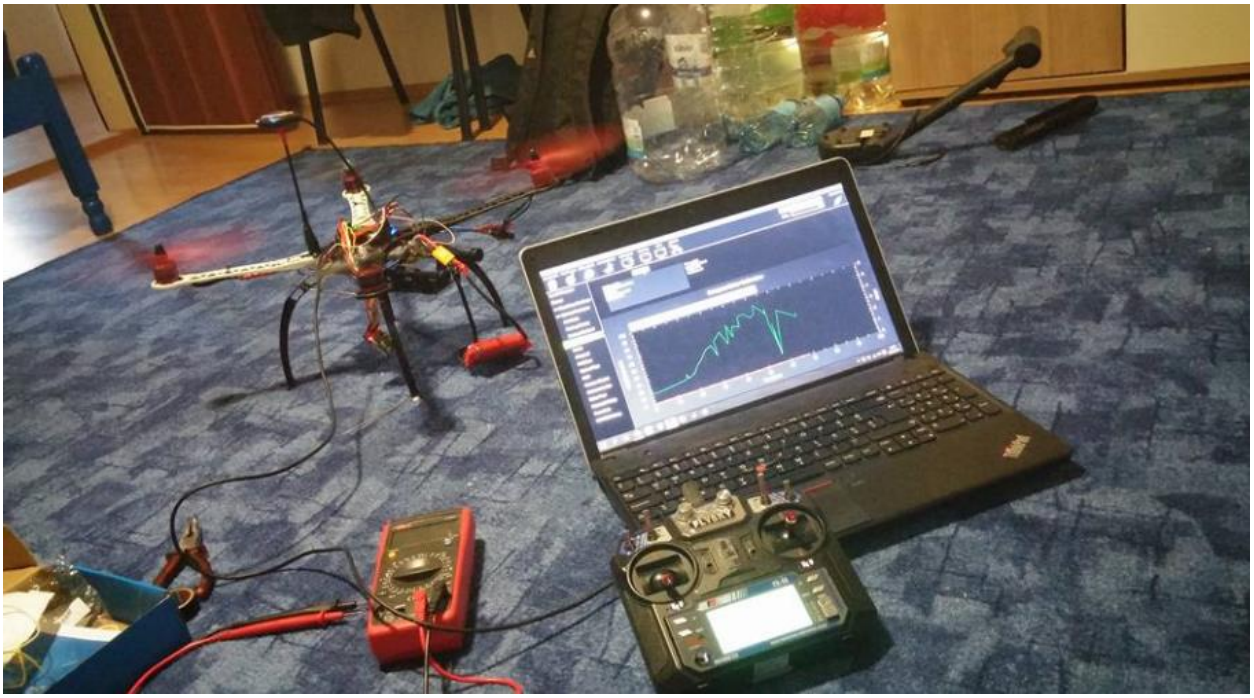
	NO LOAD		ON LOAD				LOAD TYPE
VOLTAGE	CURRENT	SPEED	CURRENT	Pull	Power	EEP	Battery/prop
V	A	rpm	A	g	W	%	
11.1	0.3	10200	8.5	600	94.4	6.4	LiPox3/8045
14.8	0.3	13610	13	940	192.4	4.9	LiPox4/8045
18.5	0.4	17000	17.2	1270	318.2	4.0	LiPox5/8045

Slika 3.8. Karakteristike *brushless DC outrunner* motora 2212 920KV [10]

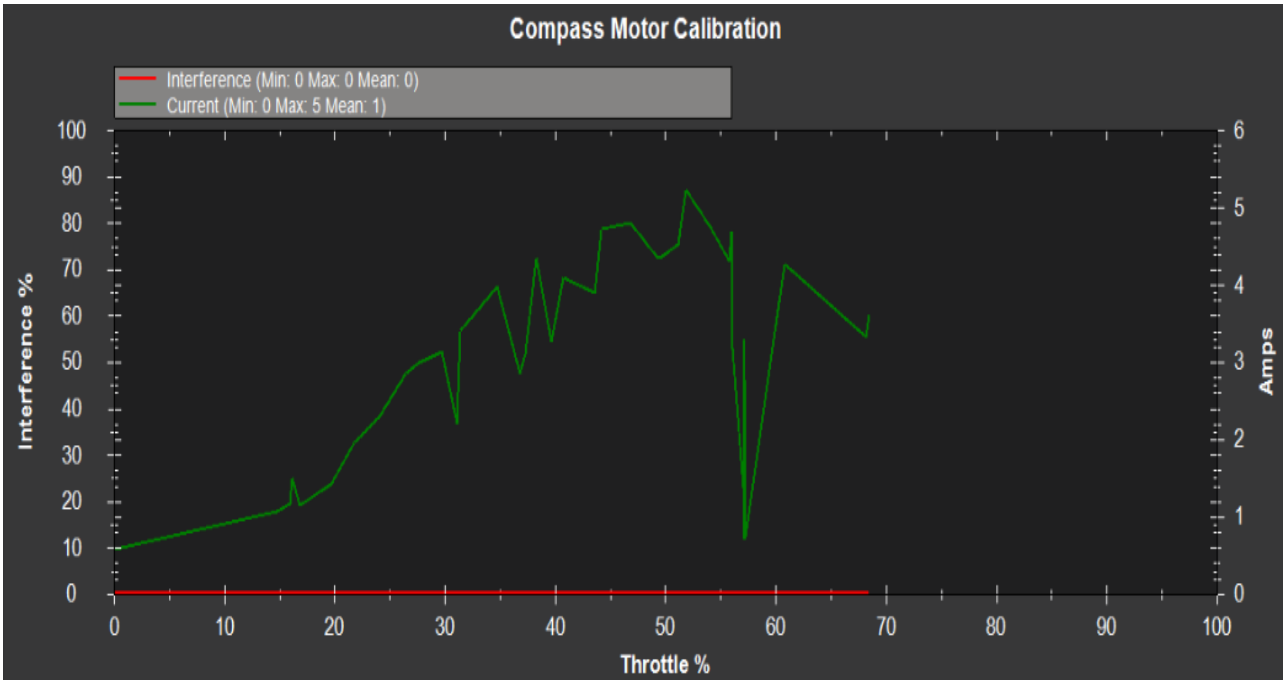
3.4. Primjena istosmjenih motora bez četkica

Ovi motori imaju veoma široku primjenu zbog toga što razvijaju male momente, jako velike brzine, a svojim malim dimenzijama i malom masom ne zauzimaju puno prostora i nisu masivni. Istosmjerni motori bez četkica mogu se pronaći u letjelicama, električnim autima, električnim biciklima, igračkama, računalima i drugim proizvodima koji zahtjevaju pretvorbu električne energije u rotacijsku mehaničku energiju.

Quadcopter (slika 3.9.) letjelice posjeduju četiri *outrunner* istosmjerna motora koja sa svojim zajedničkim radom uzdižu i spuštaju letjelicu. Motori potežu jako velike struje prilikom polijetanja koje mogu prelaziti 30A pa je nužno ugraditi neku zaštitu kako motor ne bi odjednom povukao maksimalnu struju i kretao iz teoretski kratkog spoja (slika 3.10.). Kako bi se to riješilo ugrađuje se sklop koji je prije naveden kao kontrola brzine motora, ali mu je dodatna funkcija ograničenje struje unutar motora.



Slika 3.9. *quadcopter* letjelica

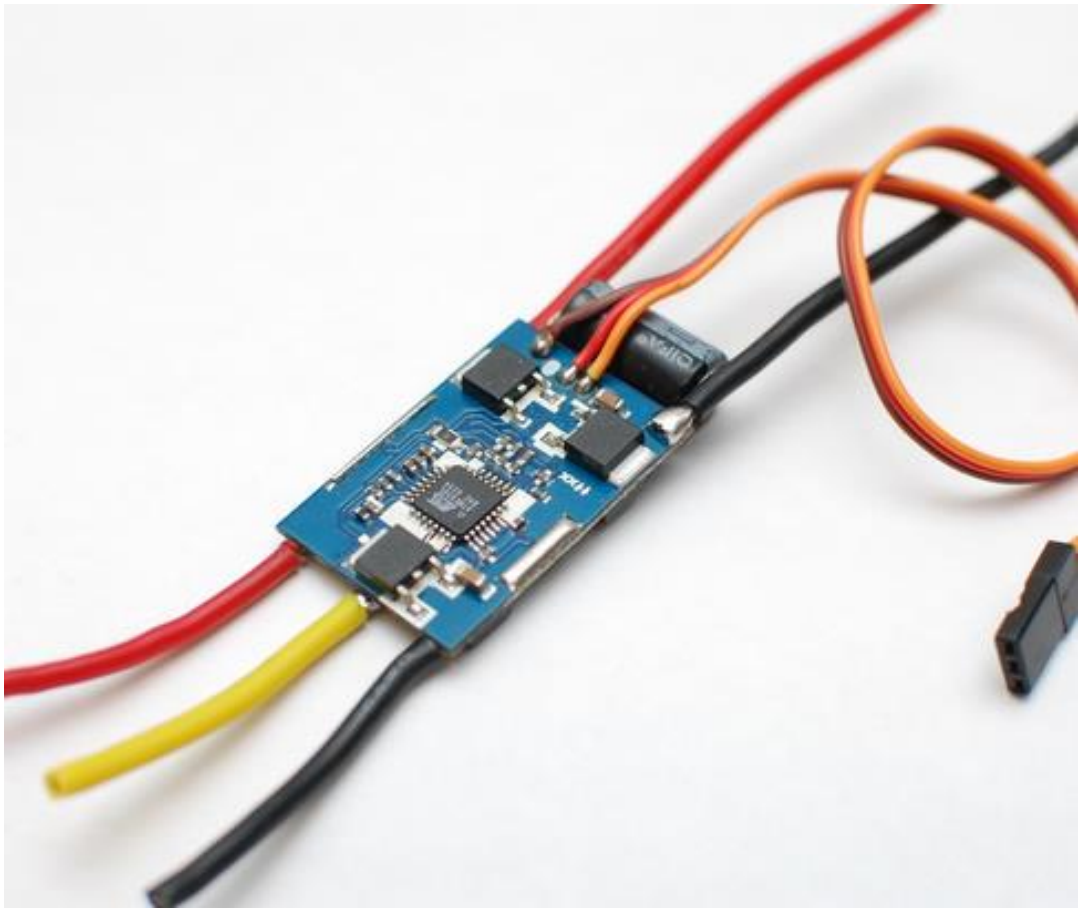


Slika 3.10. Potezna struja prilikom laganog podizanja letjelice

3.5. Kontrola brzine istosmjernih motora bez četkica

Kao što je i prije navedeno potreban je sklop koji kontrolira brzinu motra te ograničava struju kroz istosmjerne motore bez četkica.

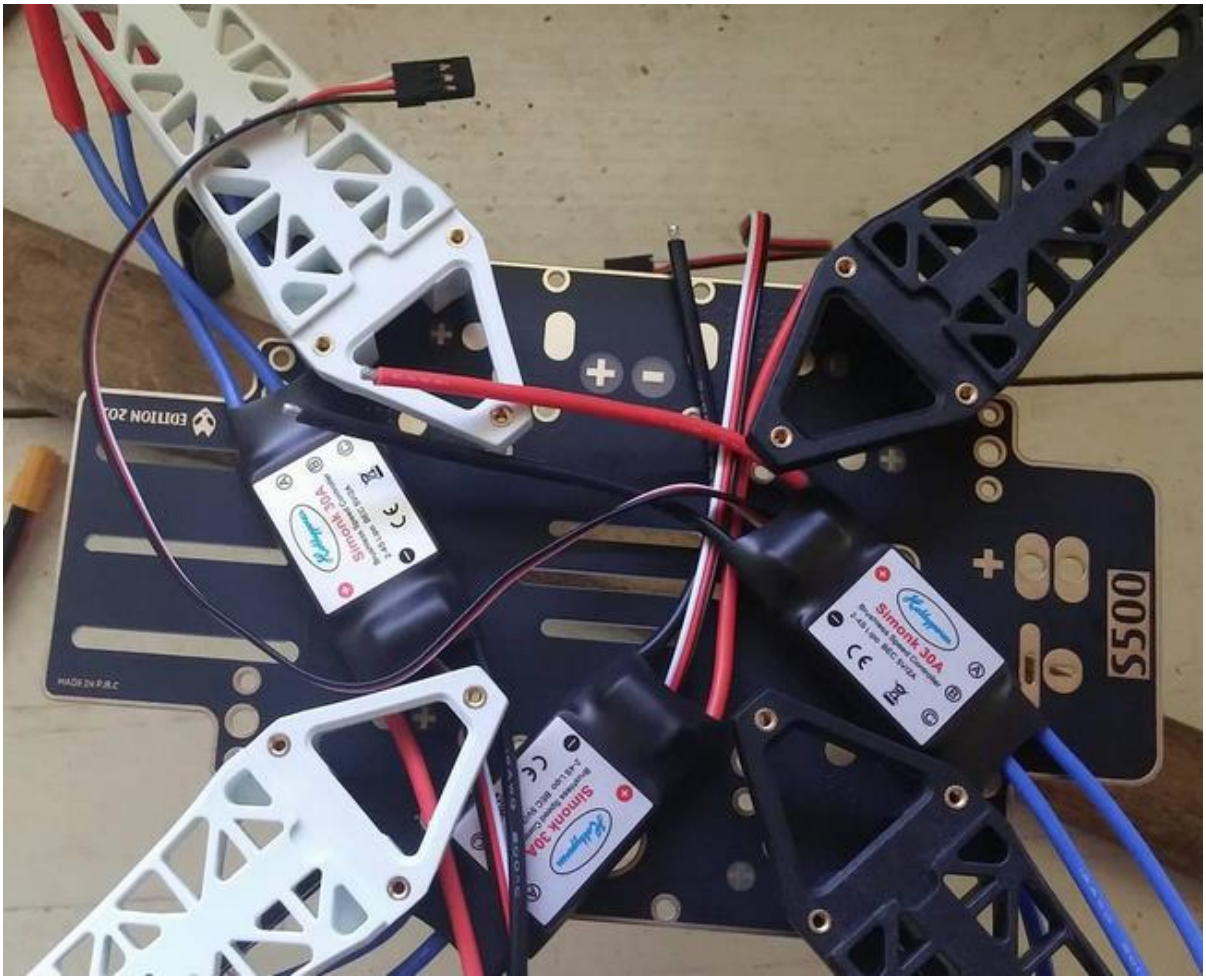
Elektronički sklop za prebacivanje faza naziva se skraćenicom ESC (*Electronic Speed Control*). Na ulazu u ESC nalaze se dva energetska voda koja predstavljaju pozitivan vod i negativan vod, te još na ulazu posjeduje signali vod gdje dolazi informacija o potrebnoj brzini motora. Na izlazu se nalaze tri žice koje daju napon na fazu A,B i C. ESC koji radi na ovakav način prikazan je na slici 3.11.



Slika 3.11 ESC

Kako bi motori radili potrebno je izmjenjivati faze, a radi boljeg okretanja rotora ESC u jednom trenutku daje negativni i pozitivni napon te tako time sa jednom fazom namota privlači rotor, a dugom ga gura.

Sa slike 3.12. vidi se montiranje ESC-a na letjelicu tako da se energetski vodovi spoje na prave polove, a kablovi sa konektorom spoje na izlazni dio mikrokontrolera koji će naređivati ESC-u kada da mijenja faze.



Slika 3.12. Spajanje ESC-a

Ovaj ESC ograničava struju od 30 A po motoru kako bi motor izbjegao kvar prilikom velikih struja.

4. BATERIJA

Skladištenje energije je problem koji zahvaća ne samo letjelice nego sve elektroničke uređaje, električna vozila i ostale stvari kojima je potrebna baterija.

Trenutno najoptimalnije su litij-ionske baterije (*Li-Ion*, LIB) koje pripadaju u skupinu punjivih baterija. Tijekom pražnjenja litijski ioni putuju od negativne elektrode prema pozitivnoj, a kada ioni putuju od pozitivne prema negativnoj je punjenje baterije. Ove baterije su se najprije koristile u mobitelima, a kasnije razvojem se koriste u letjelicama, ali i u električnim automobilima.

Najveća mana ovih baterija jest oštećenje baterije. Ukoliko se baterija ošteti te litijski ioni dođu u dodir sa zrakom razvija se jako velika toplina koja izaziva i eksploziju. Uz tu manu ove baterije su osjetljive na prepunjavanje te pretjerano pražnjenje ili pražnjenje skoro prazne baterije.



Slika 4.1. Litij ionska baterija

Baterija na slici 4.1. je litijska baterija. Jedan članak (1S) baterije ima 3.7 V. Kada se spoje tri baterije ili tri članka baterije (3S) na krajevima se dobije napon od 11.1 V. Baterije posjeduju 3000mAh što nam daje dovoljno dugu izdržljivost.

Postoje razni kapaciteti litiji ionskih baterija, od jako malih kapaciteta kao 600mAh do kapaciteta od preko 8000 mAh.

Osim po kapacitetu baterije te člancima, kvaliteta baterije se gleda i po brzini pražnjenja. Taj podatak dobivamo direktno sa baterije na kojoj budu oznake 30C,45C,60C ili čak 120C. postotkom pražnjenja možemo izračunati najveću struju koju baterija može dati. Faktor uz C se množi sa brojem kapaciteta baterije te se dobiva maksimalna potezna struja. Ako baterija ima 2200mAh i 35 C faktor pražnjenja, to znači da će baterija u jednom trenutnu moći dati do 77A što su jako velike struje.



Slika 4.2. litijska baterija nano-tech



Slika 4.3. litijska baterija „rock amp“

Za bateriju na ovoj letjelici uzele su se baterije sa slike 4.2. i slike 4.3. koje su bile sličnih kapaciteta ali je baterija na slici 4.2. imala znatno veći postotak pražnjenja. Ta baterija daje 65C u normalnim uvjetima ali na kratko vrijeme može dati struje i do 130C što za takvu bateriju znači 292A.

Ako bi se pravila vlastita baterija od 3S ili 11.1. V treba spojiti baterije tako da pozitivan pol ide na negativan. Tako na krajevima nove baterije ostane negativan i pozitivan pol. Osim toga moramo ožičiti bateriju kako je prikazano na slici 4.4. kako bi se baterija mogla puniti.



Slika 4.4. prikaz ožičavanja baterije

Punjenje baterije se izvodi pomoću posebnog punjača *li-po balance charger* (slika 4.5) na kojem se moraju unijeti točni podatci o bateriji te željena brzina punjenja. Inače se uzima ako je baterija od oko 2000 mAh da je jačina punjenja 2A što znači da će se puniti oko jedan sat.



Slika 4.5. Punjač litijsko ionskih baterija

5. SENZORI

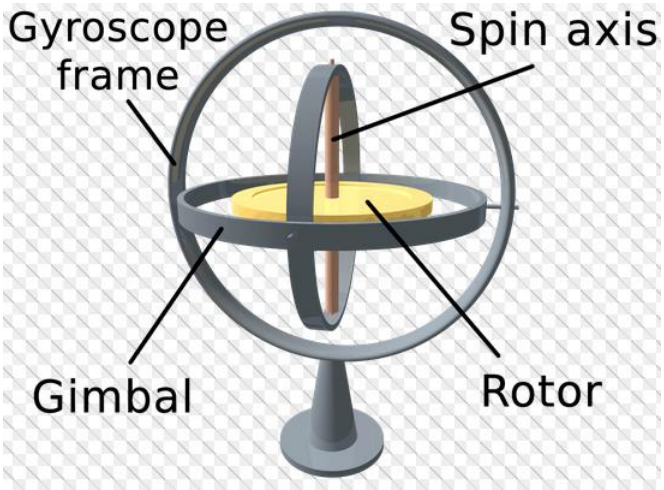
Kako bi letjelica što bolje letjela ili lebdjela u zraku potrebna joj je povratna informacija kao što su gdje se nalazi, na kojoj nadmorskoj visini, kojom brzinom se kreće i druge informacije. Kako bi te informacije dobili potrebni su senzori za brzinu, visinu, položaj. Svi ovi senzori osim GPS modula i ultrazvučnog senzora su ugrađeni unutar kućišta mikrokontrolera Arducopter (AMP 2.6).

Senzor je mjerni uređaj koji fizikalnu veličinu pretvara u neki električni signal. Pa tako vertikalno potisna letjelica posjeduje nekoliko senzora, a to su:

- Žiroskop
- Barometar
- Akcelerometar
- Magnetometar
- GPS modul
- Ultrazvučni senzor

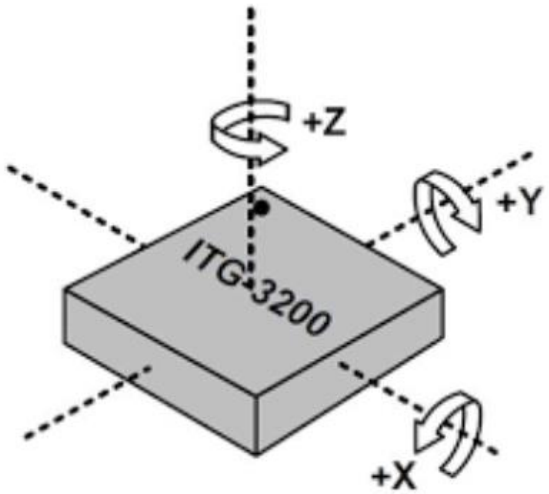
5.1. Žiroskop

Ovaj senzor se još zove i senzor položaja ili senzor nagiba. Njegova zadaća je odrediti orijentaciju letjelice. Ovi senzori imaju veliku primjenu i navigacijskim sistemima (slika 5.1.).



Slika 5.1. Način rada žiroskop-a [5]

Razvojem mikroeletronike nastali su jako mali žiroskopi koji se ugrađuju u mobitele, letjelice i drugo. Kako vidimo sa slike 5.2. posjeduje osjet na tri osi, a to su x,y i z.



Slika 5.2. Žiroskop sa tri osi [5]

Žiroskop ima veliki značaj u vertikalno potisnim letjelicama jer njegovim osjetilima letjelica u zraku stoji uspravno, ukoliko se počne rušiti na jednu stranu, preko ovog senzora mikrokontroler dobije podatke o tome i reagira na način da neke motore vrti brže neke sporije dok se ne stabilizira.

5.2. Barometar

Ovaj senzor određuje tlak zraka, a po tome nadmorsku visinu na kojoj se nalazi letjelica. Za letjelice koje se kreću zrakom od velikog je značaja na kojoj se nadmorskoj visini nalaze te tako promjenom nadmorske visine mogu ustanoviti padaju li ili se podižu.

5.3. Akcelerometar

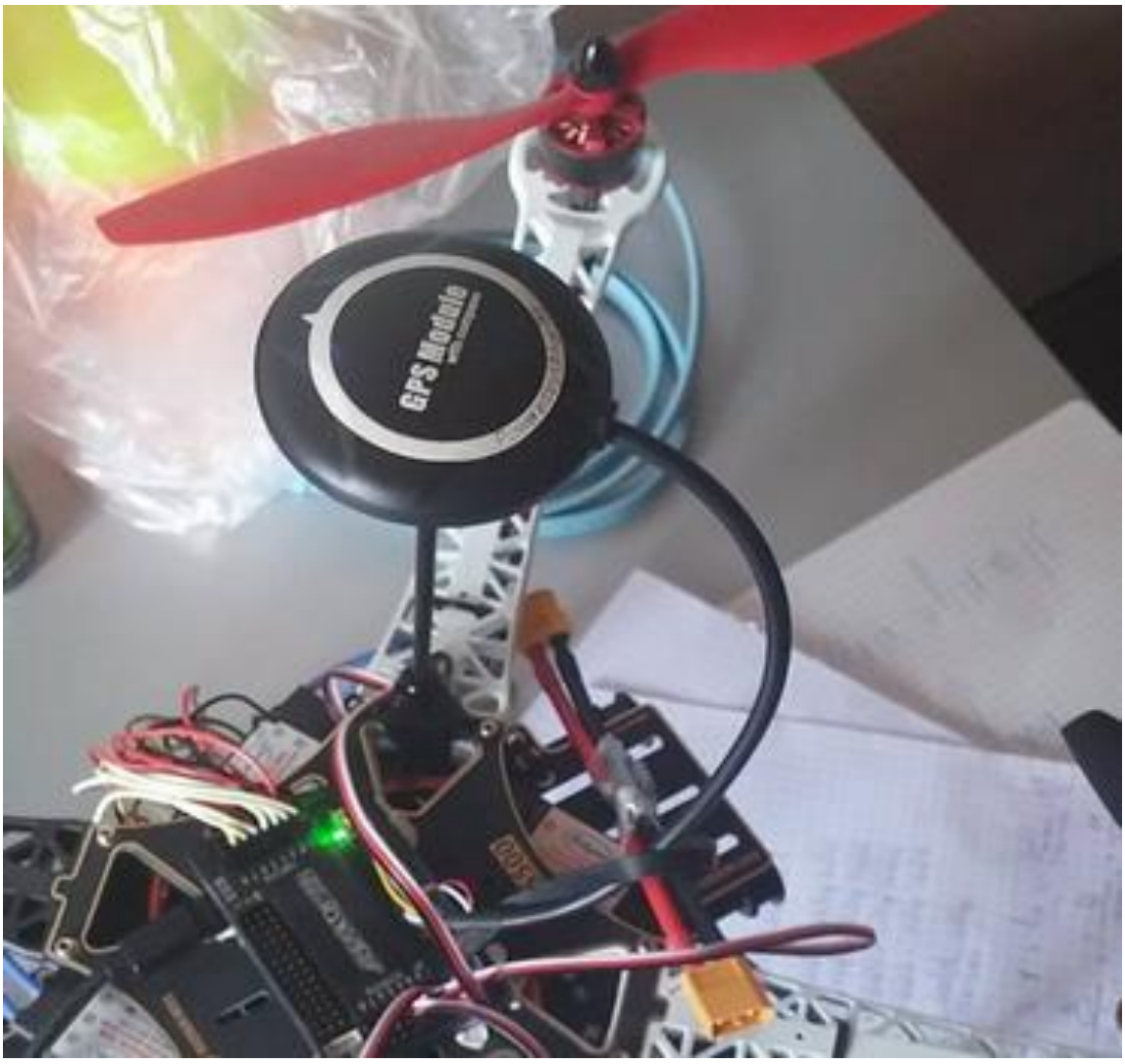
Ovaj senzor mjeri akceleraciju putem gravitacijske slile (*G-force*). Njegov princip rada je uspoređivanje stvarne akceleracije sa zemljinom gravitacijskom silom (9,81m/s^2). Ovi senzori se najviše primjenjuju u avionima.

5.4. Magnetometar

Ovaj senzor se u letjelici koristi kao kompas. Kako bi se snašao u prostoru i znao uz pomoć GPS koordinata i žiroskopa pravi položaj letjelice, ali i orijentaciju.

5.5. GPS modul

Global position system (GPS) je globalni navigacijski sistem. Ovaj senzor prima signale od nekoliko satelita koji kruže u zemljinoj orbiti te dobiva točne koordinate svoga položaja na zemlji. Iako nije tipičan senzor kroz ovaj modul primamo informacije o vanjskom položaju letjelice. Sa slike 5.3. vidi se GPS modul koji je montiran na letjelicu.

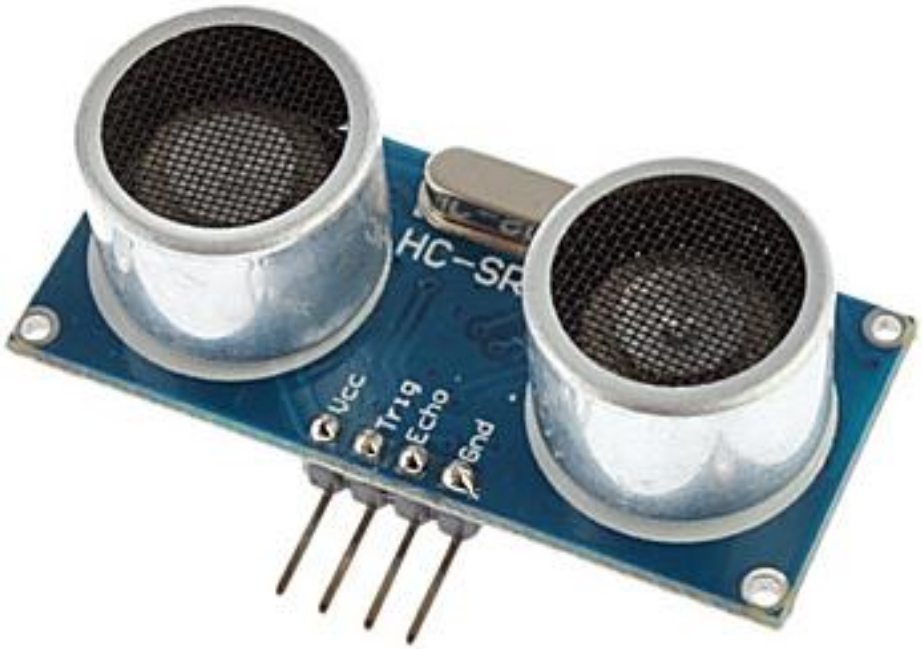


Slika5.3. GPS modul

5.6. Ultrazvučni senzor

Ovaj senozr se još zove *sonar* te se može koristiti ali nije nužan. Ukoliko se koristi mod autopilota onda je ovaj senzor potreban zato što detektira objekte i zapreke ispred sebe te ih zaobilazi.

Kako se vidi na slici 5.4. ovaj senzor posjeduje prijamnik i predajnik, a osim toga posjeduje i dio za pretvorbu ultrazvučnog signala u neki električni oblik koji mikrokontroler prepoznaje.



Slika 5.4. Ultrazvučni senzor

Ovaj senzor na predajniku emitira ultrazvučne valove te čeka kako bi prijemnik očitao prvi odbijeni val nakon čega sljedi ponovno emitiranje ultrazvučnog vala. Tako ovaj senzor ima pregled koliko mu je koji objekat blizu.

6. MIKROKONTROLER

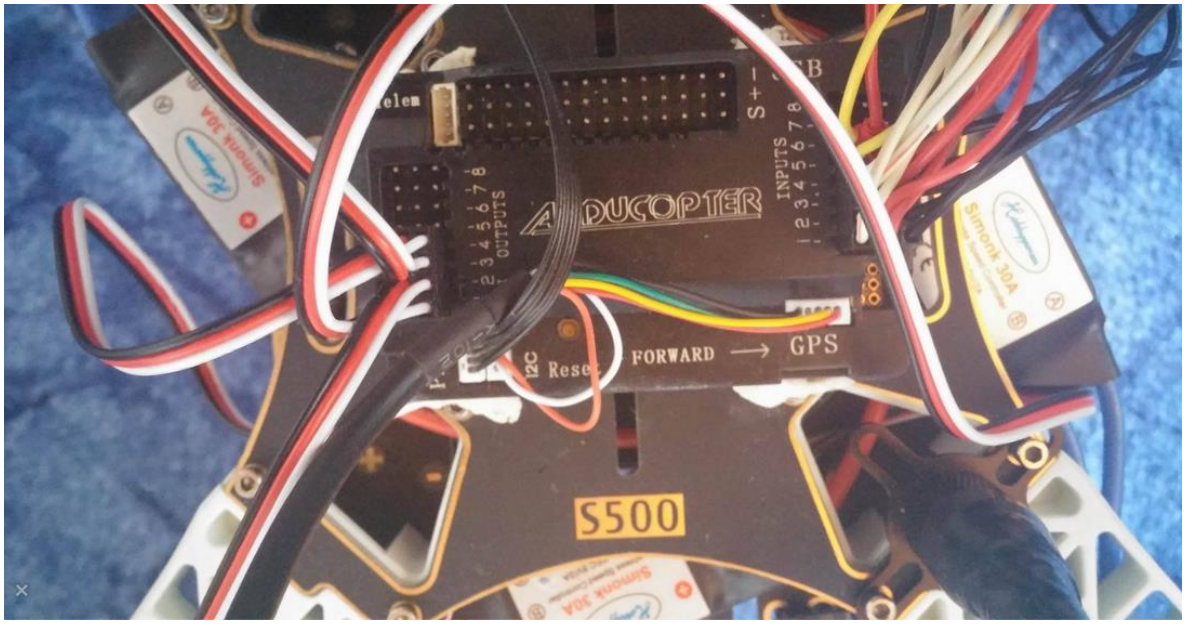
Mikrokontroleri su mali elektronički sklopovi koji imaju unutar sebe logičke funkcije te sa njima rade kompleksne zadatke. Preko mikrnokontrolera može se isprogramirati skoro sve, a najbolja karakteristika mikrokontrolera jest ta da su povoljni.

Na letjelici se koristi mikrokontroler AMP 2.6 ili drugim nazivom *arducopter* koji je zapravo izvod miktokontrolera *Adruino mega 2560* koji vidimo na slici 6.1. [8]. U *flash* memoriju mikrokontrolera ubačen je program (*firmware*) koji daje uputstvo mikrokontroleru kako da obrađuje dobivene podatke od senzora i radiostanice te ih preračuna i pošalje signal na izlaz prema motorima.



Slika 6.1. *Arduino mega 2560*

Na izvodu mikrokontrolera napravljeni su ulazni i izlazni pinovi, ali tu si i posebni ulazi za GPS, kontrolu baterije i još neke uređaje.



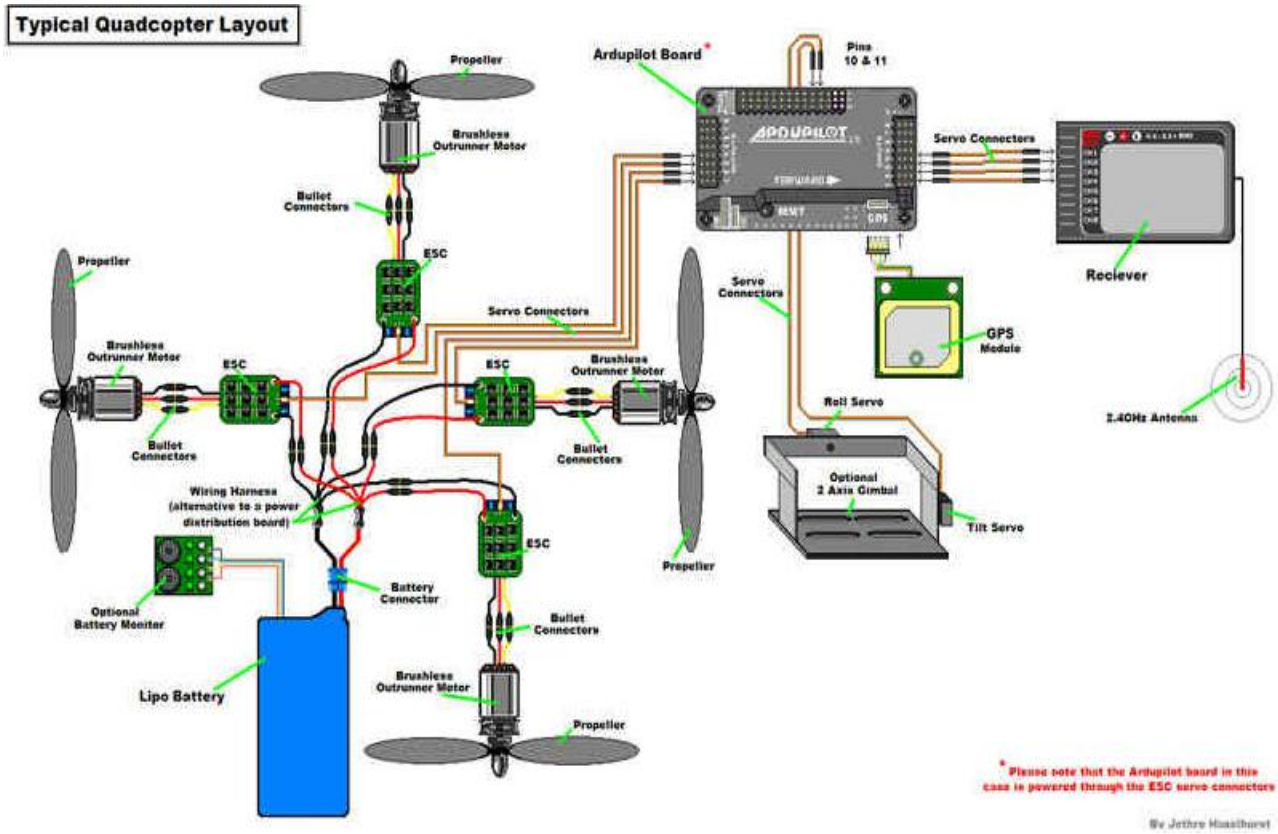
Slika 6.2. Kontroler *arducopter*



Slika 6.3. *Arducopter*

Sa slike 6.2. vidi se mikrokontroler *arducopter* sa spojenim dijelovima te na slici 6.3. može se vidjeti sam mikrokontroler.

Izlaze kontrolera je potrebno spojiti na svaki ESC od svakog motora kako bi mogao slati signale o potrebnoj brzini vrtnje svakog motora. Na ulaze kontrolera potrebno je spojiti sve senzore te prijemnik radiostanice. Detaljan način spajanja komponenti prikazan je slikom 6.4.



Slika 6.4. Shema spajanja mikrokontrolera sa ostalim dijelovima letjelice [9]

Mikrokontroler posjeduje USB ulaz preko kojeg se spaja sa računalom. Preko računala se vrši kalibracija te unošenje programa. Kako su spojeni moguće je očitati ali i izmijeniti kako i što mikrokontroler očitava na svojim ulazima. Isto tako postoji opcija testiranja motora gdje sa računala dajemo naredbu kontroleru da upali motore.

Unutar *flash* memorije mikrokontrolera ugrađen je program za autopilot koji automatski leti na željenu GPS lokaciju ili više njih.

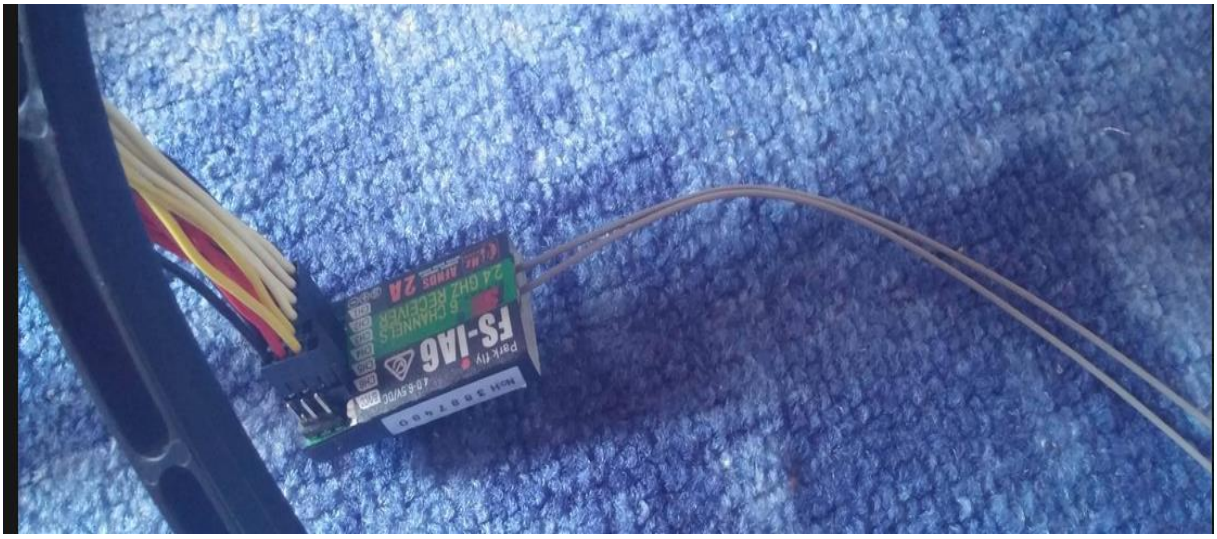
7. RADIOSTANICA

Kako je navedeno mikrokontroler posjeduje program za samostalan let ali je moguće upravljati letjelicom i preko radiostanice. Pod pojam radiostanica se podrazumijeva kontrolna stanica kojom korisnik daje željeno ponašanje letjelice kao što je pomicanje u desno ili vertikalno uzdizanje. Uz radiostanicu moramo imati i radioprijemnik koji prima signale sa radiostanice kroz nekoliko kanala te po kanalima šalje signale do mikrokontrolera. Isto tako moguće je spojiti prijamnik direktno na ESC, ali tada bi izgubili mjerna osjetila i let bi bio upravljan isključivo preko našeg vida i osjetila.



Slika 7.1. Radiostanica

Sa slike 7.1. vidi se izgled jedne radiostanice koja ima analogne jojstycka za upravljanje letjelice. Isto tako uz *joystick* vidimo i dugmad za finiju kontrolu letjelice. Isto tako posjedujemo i ostale prekidače za dodatne funkcije te lcd ekran gdje se prikazuje stanje letjelice i stanje baterije.

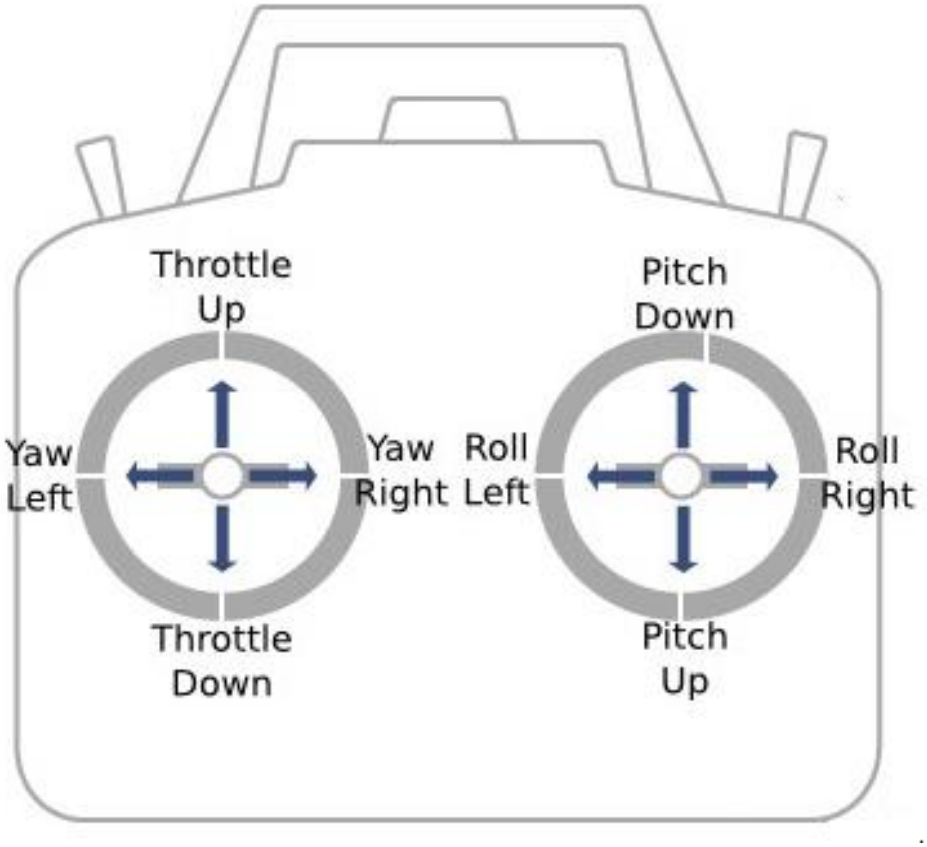


Slika 7.2. Radioprijemnik

Radioprijemnik se sastoji od šest kanala. Svaki kanal predstavlja neku kontrolu letjelice (npr. kanal tri je zadužen za uzdizanje i spuštanje letjelice). Uz šest kanala radioprijemnik posjeduje još jedan kanal, a to je zapravo kanal za povezivanje radiostanice i radioprijemnika (*binding*).

Povezivanje radiostanice i radioprijemnika radi se tako da se žicom na kanalu za povezivanje (*binding*) kod radioprijemnika kratko spoji – izvod i signalni vod. Kada se to napravi prije nego što se uključi radiostanica pritisne se tipka *binding* na radiostanici i drži se dok se pali radiostanica. Tada se na ekranu ispiše *binding* i nakon par sekundi se radiostanica i radioprijemnik povežu te se na ekranu ispiše stanje letjelice.

Radiostanica koja je na slici 7.1. i radioprijemnik koji je na slici 7.2. komuniciraju na 2,4 gigaherca (GHz) te im je domet i do nekoliko stotina metara. U slučaju gubitka signala dok se upravljanja letjelicom sa radiostanicom, letjelica se preko programske podrške vraća na koordinate ili dok ponovno ne uspostavi vezu sa radiostanicom.



Slika 7.3. Osnovni kanali radio stanice

Na slici 7.3. prikazani su osnovni kanali za upravljanje letjelicom, a to su četiri kanala: *yaw,pitch,thorttle* i *roll.*

Prvi kanal ili *yaw* služi za skretanje letjelice lijevo ili desno. On omogućuje rotaciju stabilnu rotaciju cijele letjelice oko njezine osi.

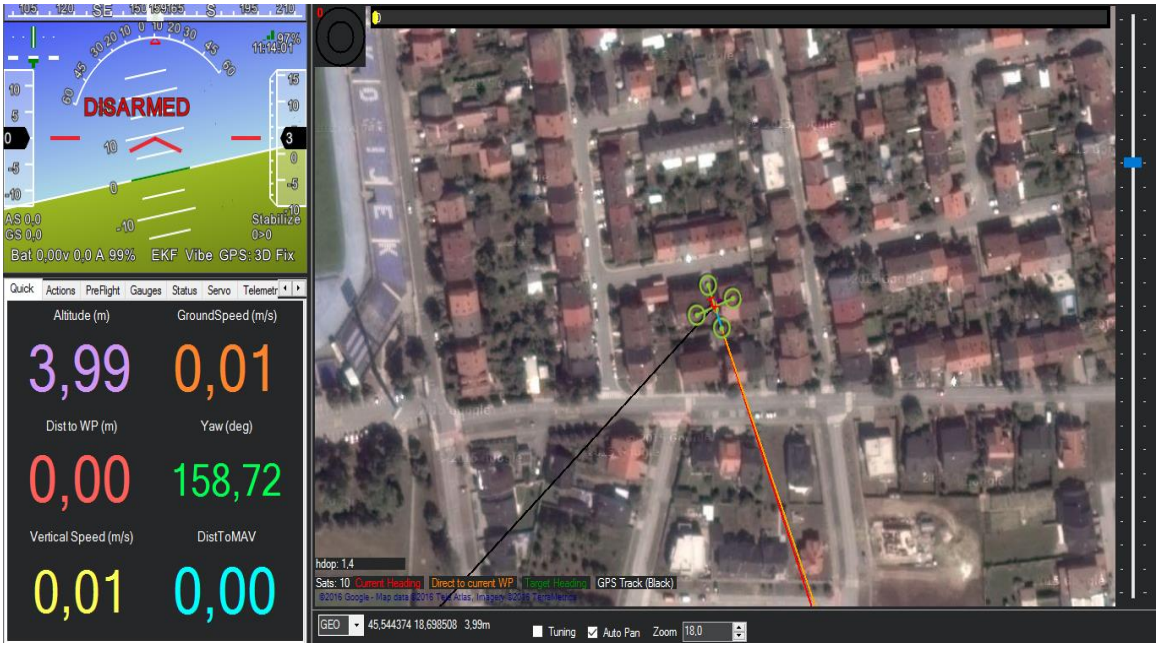
Drugi kanal ili *throttle* dodaje snagu vrtnje motora te tako letjelicu uzdiže prema gore. Ukoliko je kanal 2 na sredini letjelica bi trebala lebdjeti u zraku. Smanjenjem kanala 2 letjelica počinje padati prema dolje.

Treći kanal ili *roll* omogućuje zakretanje letjelice u jednu stanu. Letjelica tako poveća broj okretaja motora sa jedne strane i smanji broj okretaja sa druge te se tako letjelica zakreće

Četvrti kanal ili *pitch* omogućuje uzdizanje prednjeg ili zadnjeg dijela letjelice. To radi na način da prednji ili zadnji motori se brže vrte od onih na suprotnoj strani.

8. PROGRAMSKA PODRŠKA

Pod programsku podršku ubraja se *firmware* koji se nalazi na mikrokontroleru te programu na računalu koji se zove *mission planer* (slika 8.1.). Preko programa mission planer se povezuje sa mikrokontrolerom te učitava program za letjelicu ovisno o modelu. Kako bi se učitao program potrebno je povezati računalo i mikrokontroler te izabrati *initial setup*. Tamo treba pratiti ponuđene opcije o modelima letjelice.

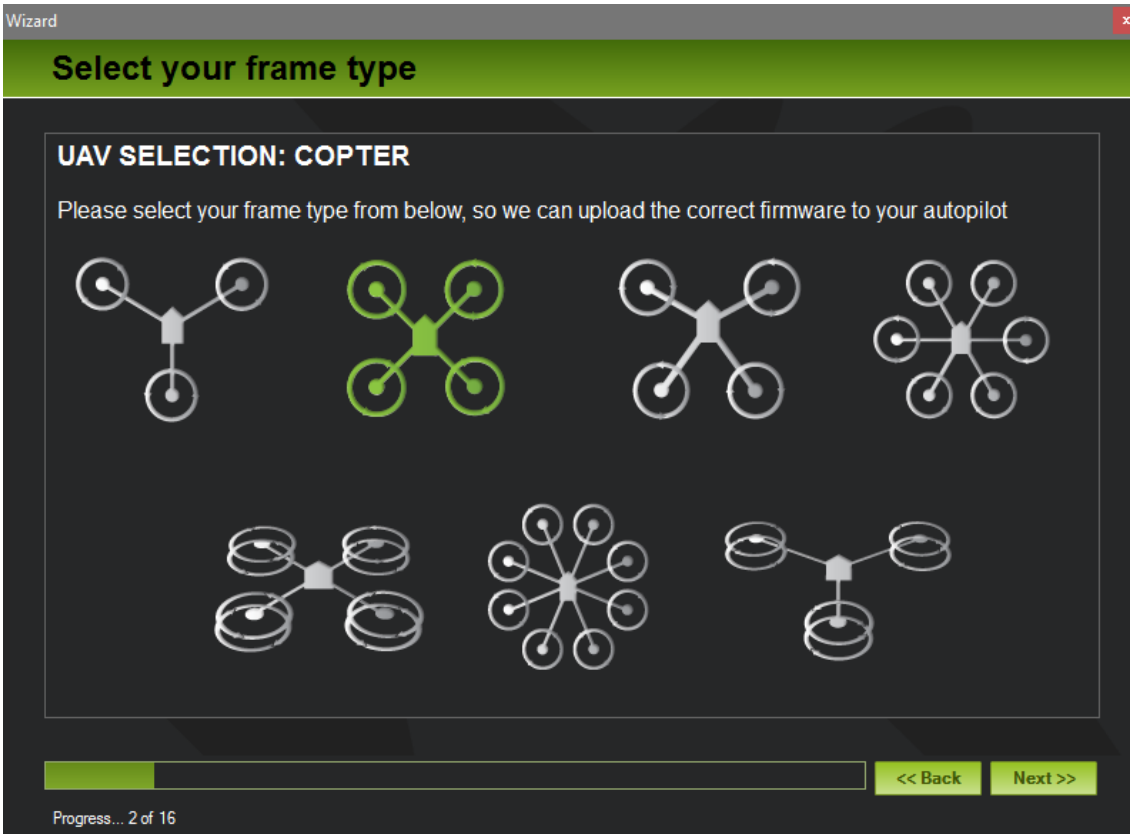


Slika 8.1. Sučelje programa *mission planer* dok je povezan sa letjelicom

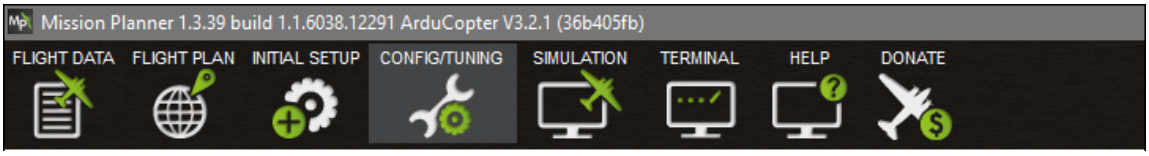
Kada je prebačen program u mikrokontroler potrebno je kalibrirati njegove senzore i radiostanicu.

Za prvo postavljanje postavki na mikrokontroler preporučava se korištenje čarobnjaka kako bi ponudio i pomogao podešenja za parametre koji su nužni za rad. Čarobnjak usput prođe i kroz proces kalibracije koja je voma nužna za let letjelice. Ako se kalibracija ne provede mikrokontroler neće dopustiti da se letjelica uzdigne.

Sa slike 8.2. ponuđen je izbor okvira letjelice te time počinje kalibracija letjelice pomoću čarobnjaka.



Slika 8.2. Izbor okvira letjelice

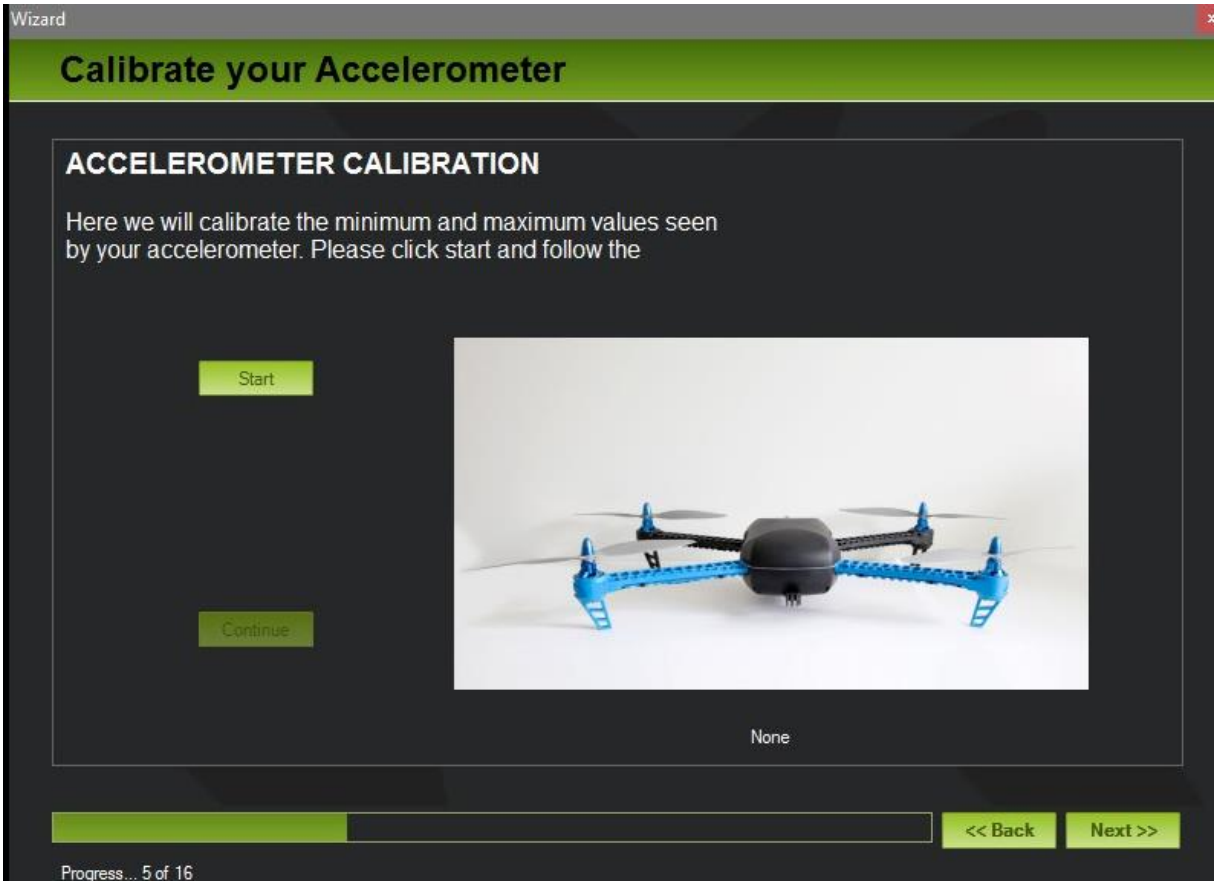


Slika 8.3. Izbornik u programu *mission planner*

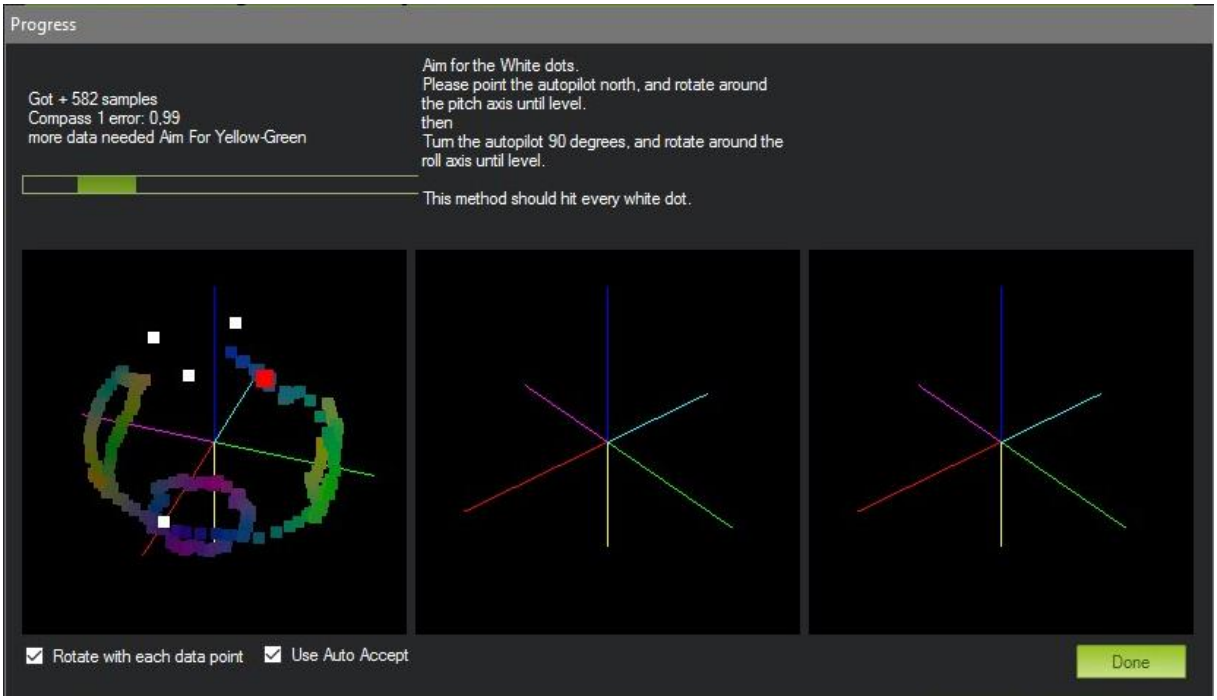
Na slici 8.3. prikazane su sve opcije koje nudi program *mission planer*. Za instalaciju letjelice i kalibraciju koristi se *initial setup* i *config/tuning* opcija.

8.1. Kalibriranje

Kalibriranje ili usklađivanje vrijednosti je proces kojim određujemo maksimalnu i minimalnu granicu ili usklađujemo neke parametre. Kalibriranje se izvodi u programu *mission planer* kada je letjelica spojena sa računalom. Kako bi se parametri za senzore položaja i orijentacije uskladili potrebno je ručno okretati letjelicu po svim osima kao što se vidi sa slike 8.4. i slike 8.5.

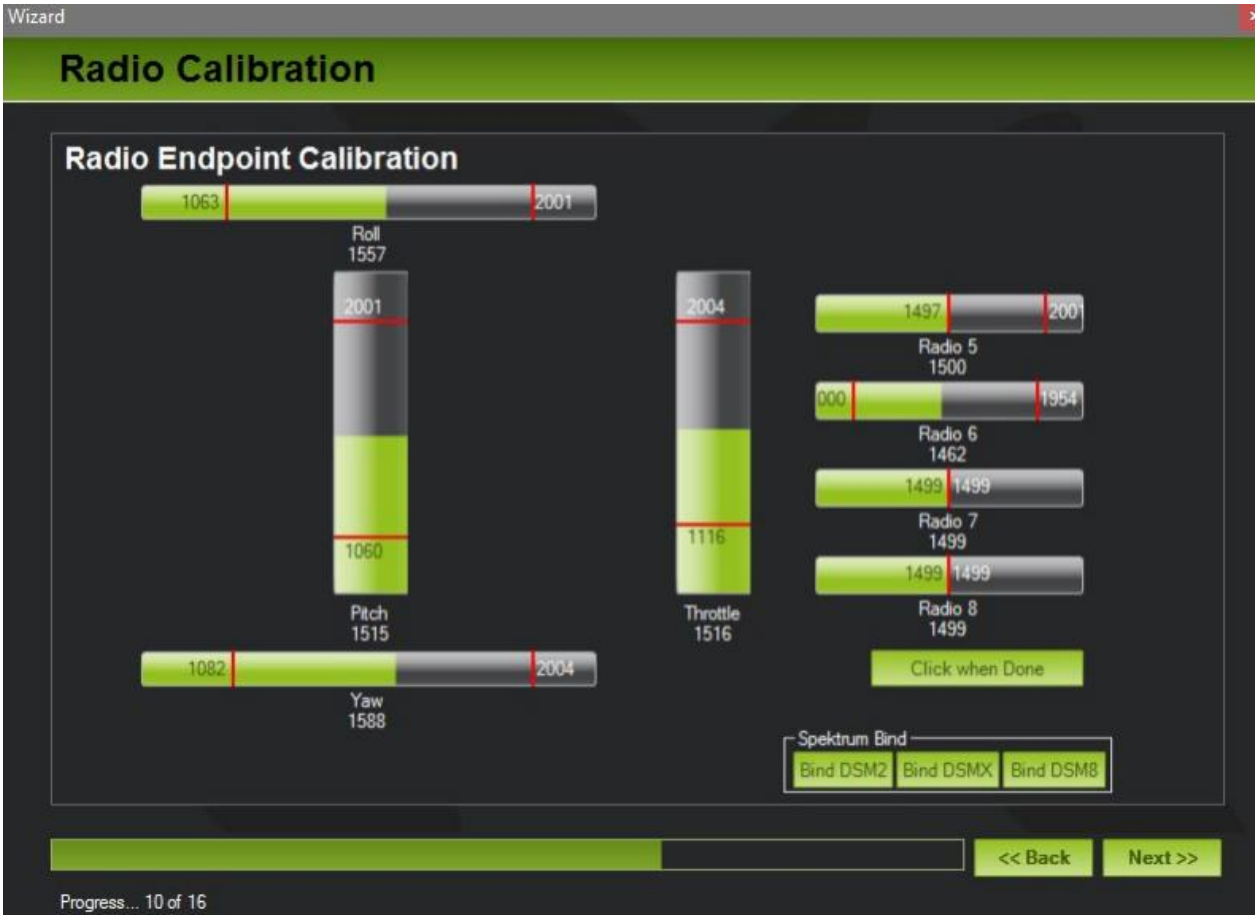


Slika 8.4. Kalibracija akcelerometra



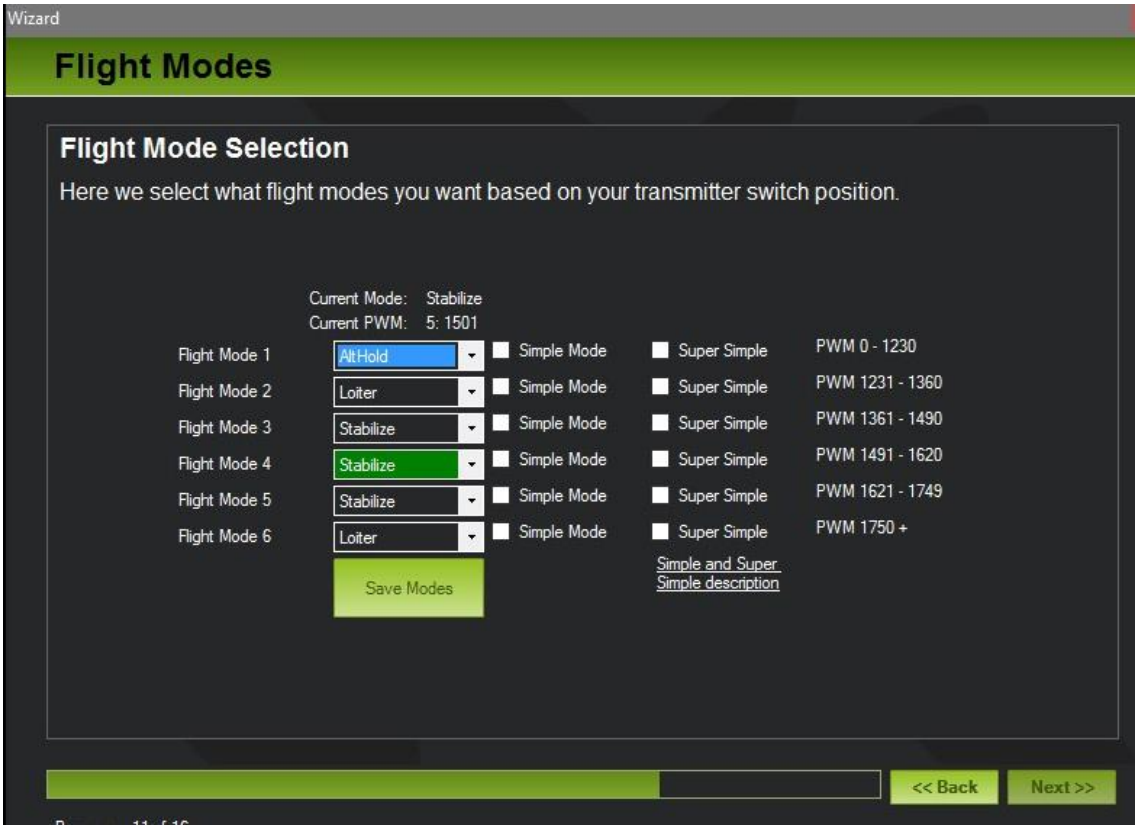
Slika 8.5. Kalibriranje osi i kompasa

Kada su osi kalibrirane potrebno je kalibrirati i radiostanicu. Odrediti do koje granice je maksimum uzleta, ili skretanja. To se radi na izborniku *radio calibration*. Nakon toga odrede se granice signala za svaki kanal na radiostanici (slika 8.6.).

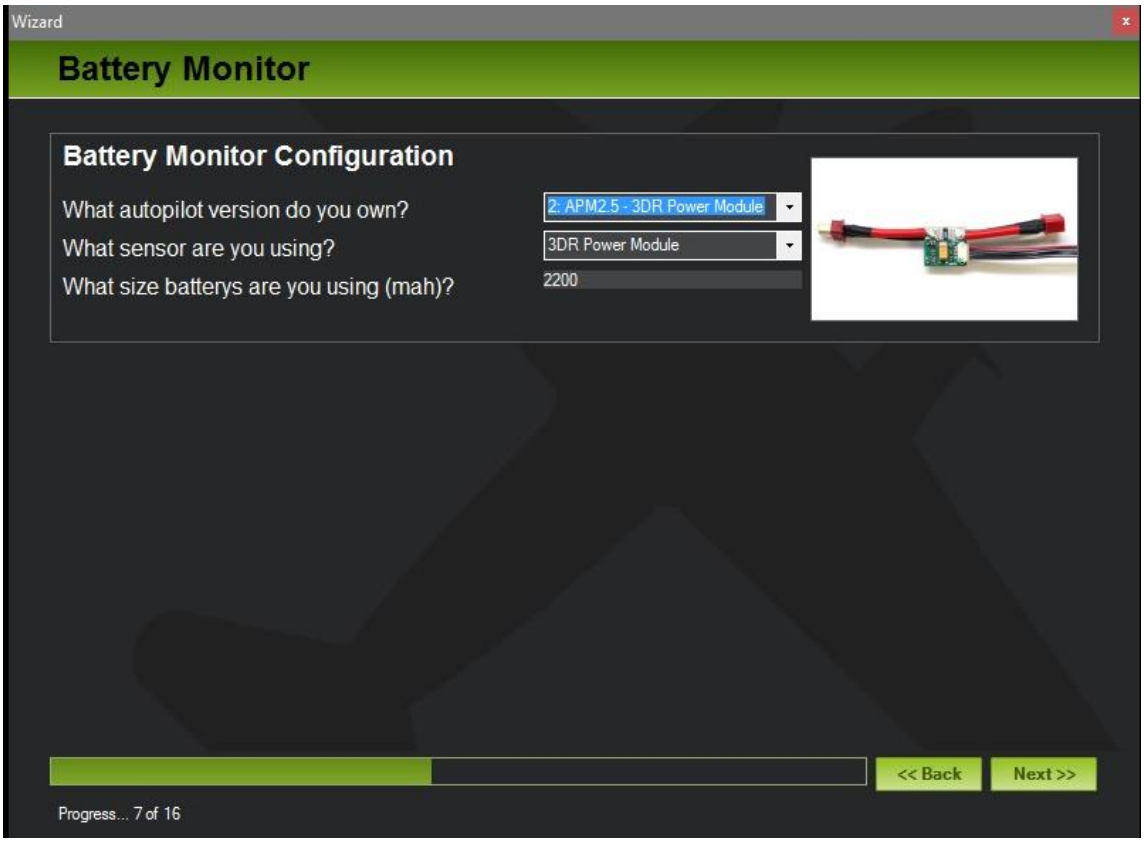


Slika 8.6. Kalibracija radiostanice

Na slici 8.7 i slici 8.8. ponuđeni su ostali izbori koji su bitni za završetak instalacije letjelice, a to su opcije *fligh mode* gdje se namještaju načini leta te uvođenje dodatnih opcija za zaštitu letjelice kao što je praćenje razine napunjenosti baterije.

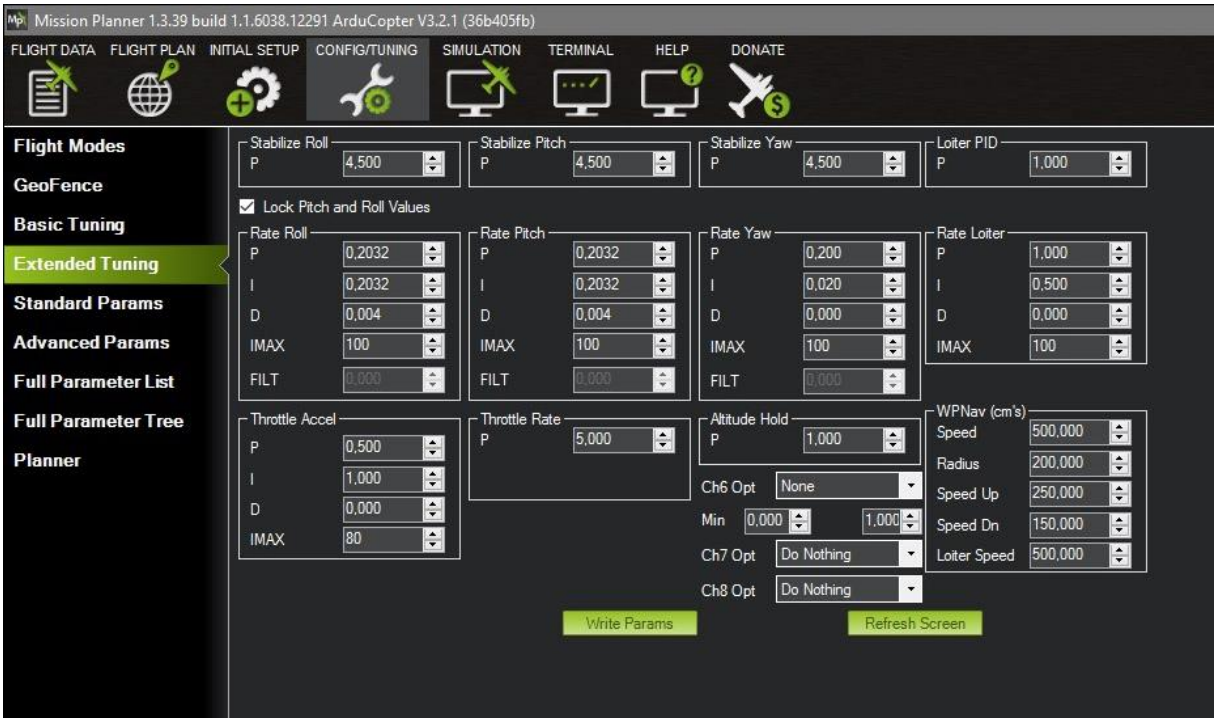


Slika 8.7. Modovi leta



Slika 8.8. Uvođenje opcije praćenja stanja baterije

Osim kalibracije letjelice mogu se podesiti i parametri letjelice. Sa slike 8.9. vide se parametri PID regulatora koji je zadužen za stabilnost letjelice te brzinu uzleta.

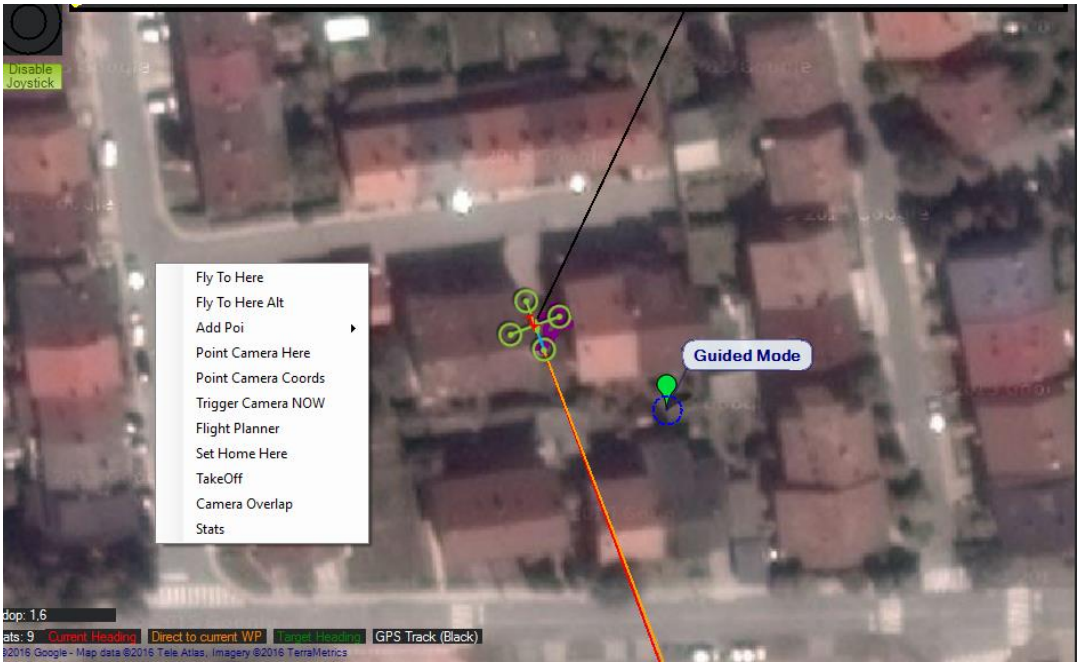


Slika 8.9. Parametri letjelice

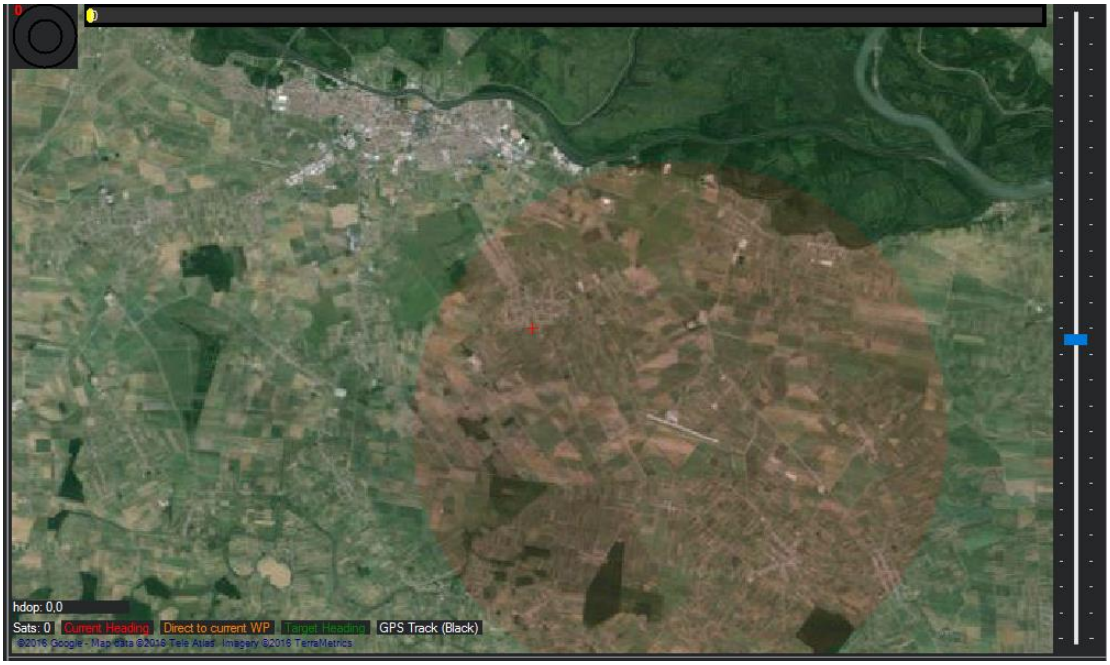
8.2. Autopilot

Kao što je i prije navedeno, program u mikrokontroleru posjeduje dio koji je zadužen za samostalan let. Korisnik unese GPS koordinate koje želi da letjelica prođe te ih učitava preko programa mission planer u *flash* memoriju mikrokontrolera. Te kada se pokrene letjelica leti do željene točke. Moguće je staviti više GPS lokacija (*points*) kako bi letjelica napravila krug oko nekog mjesta te se vratila na početnu lokaciju. Kako bi odredili lokaciju letjelice i lokaciju željene pozicije, letjelica koristi GPS modul te time određuje gdje se nalazi i koju koordinatu još treba promijeniti kako bi sigurno došla na mjesto.

Na slici 8.10. prikazano je programsko sučelje za odabir GPS mjesta koje letjelica mora obići.



Slika 8.10. Postavljanje koordinata za samostalan let letjelice

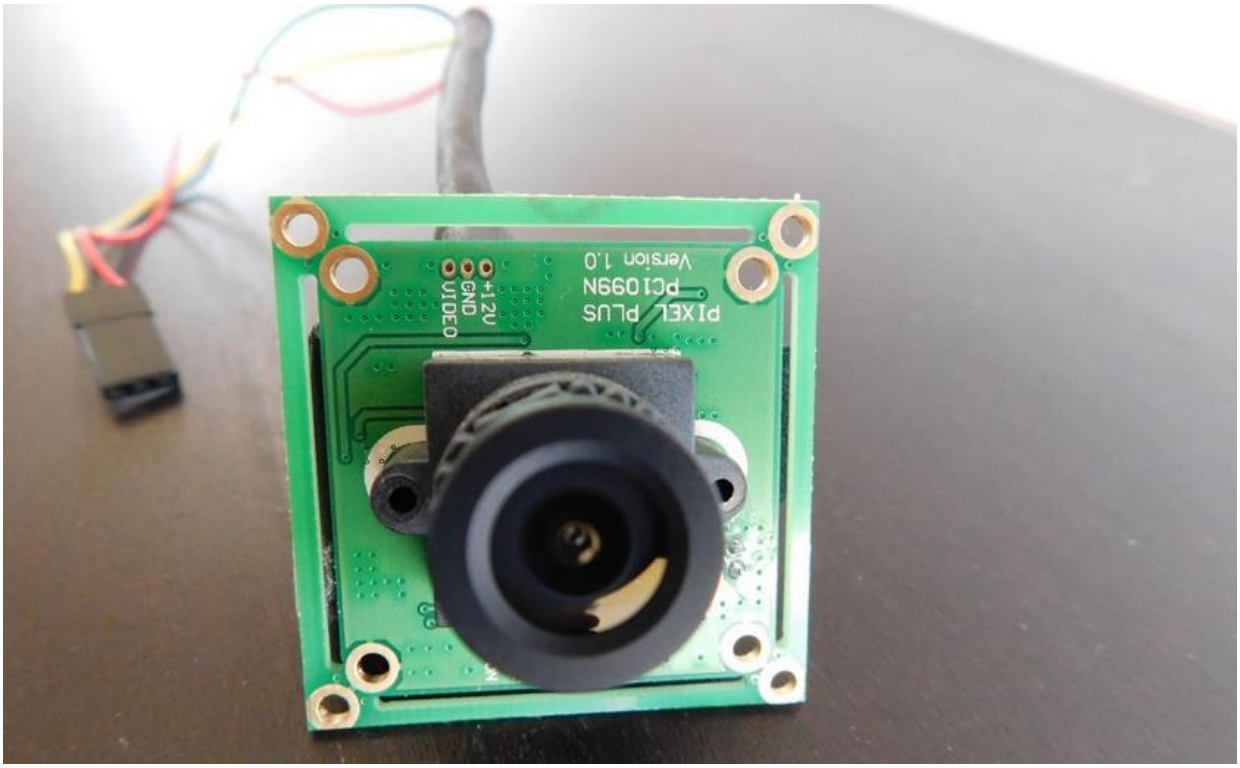


Slika 8.11. Satelitska snimka zabranjene zone leta za dronove

Sa slike 8.11. vidi se zona u kojoj se ne smije letjeti sa vertikalno potisnim letjelicama jer je to zona u blizini zračne luke. U toj zoni program ne dopušta da se postave GPS koordinate za let automatskog pilota.

9. VIDEOPRIJENOS

Na letjelice se sve više počinje stavljati videokamera te moduli za video prijenos zbog toga što je atraktivno vidjeti sliku sa visine te gledati uživo kako letjelica putuje zrakom. Postoje posebne kamere napravljene baš za snimanje i prijenos visoko kvalitetne slike iz zraka (vidi se sa slike 9.1. i slike 9.2.)



Slika 9.1. Kamera

Prijenos slike iz zraka moguće je na dva načina:

- Preko radiostanice
- Preko lokalne bežične mreže



Slika 9.2. Akcijska kamera

Kako bi se prenijela slika preko radiostanice potrebna je radiostanica sa devet kanala koja je skuplja od šest-kanalnih radiostanica. Ali isto tako i prijemnik mora imati devet kanala gdje su 7,8 i 9-i kanal rezervirani isključivo za video prijenos.

Kamere se ugrađuju u letjelice radi pregleda nad prirodnim ljepotama ili snimanje i slikanje nekih događaja iz zraka, ali i mnogih drugih potreba (slika 9.3.).



Slika 9.3. Slikano kamerom na letjelici

10. TIJEK IZRADE LETJELICE

Na letjelici se prvo napravio okvir na koji su se postupno spajali ostali dijelovi. Sa slike 10.1. montirani su motori na ruke letjelice te radioprijemnik na sredini okvira letjelice.



Slika 10.1. Montiranje motora na letjelici

Sa slike 10.2. postavljen je poklopac na letjelicu te su spojeni ESC-ovi sa energetskim vodovima koji vode prema bateriji.



Slika 10.2. Montiranje poklopca na središnjem dijelu letjelice



Slika 10.3. Potpuno složena letjelica

Na slici 10.3. vidi se potuno složena letjelica koja je kalibrirana i spremna za let. Svi dijelovi su postavljeni kako se opisivalo kroz ovaj završni rad.

11. ZAKLJUČAK

Kroz završni rad opisana je izrada i karakteristike jedne vertikalno potisne letjelice ne samo kroz konstrukciju letjelice nego i kroz programsku podršku.

Letjelica koja je napravljena ima primjenu većinom radi slikanja i snimanja sa visina te iz zabave i hobija. Danas ove letjelice se mogu pronaći po niskoj cijeni, ali to su letjelice malih dimenzija i malog kapaciteta baterije gdje je njihovo vrijeme leta oko 5 do 10 minuta.

Letjelica koja je opisana kroz završni rad (slika 11.), vlastite je izrade ima vrijeme leta predviđeno i preko 15 minuta što je veoma dobro. Što se bolja baterija stavi, vrijeme leta je duže i kvalitetnije.



Slika 11. Vertikalno potisna letjelica

U mnogim zemljama svijeta ove malene višenamjenske letjelica postaje popularna. U pozitivnom smislu redovno dostavljaju osnovne namirnice na teško dostupnim destinacijama do negativnih konotacija poput skandala skidanja albanske zastave na stadionu u Beogradu.

U Hrvatskoj još nema zakonskih propisa koji bi regulirali njihovo korištenje.

LITERATURA

[1] Opća i nacionalna enciklopedija, *Večernji list, 2009*

[2] Chiles, James R. The Story of the Helicopter. New York: Bantam Books, 2007.

[3] Kretanje propelera, *www. pocketdronefq777.com* , pristup: 20.7.2016

[4] Inrunner DC motor, *www.aliexpress.com*, pristup: 20.7.2016

[5] *"Gyroscope" Oxford Dictionaries. Retrieved 4 May 2015*

[6] ESC, *https://en.wikipedia.org/wiki/Electronic_speed_control*, pristup: 1.6.2016

[7] Osnove o arduino mikrokontroleru, *https://www.arduino.cc*, pristup: 20.6.2016

[8] Shema spajanja letjelice, http://ardupilot.org/copter, pristup: 20.6.2016

[9] Račin rada inrunner motora. *http://www.ourbadscience.com/*, pristup: 1.9.2016

[10] Uputstva 2212 920KV motora

[11] Stephen L. Herman , Industrial Motor Control, 6th Edition 6th Edition

SAŽETAK

Izrada jedne multirotorske potisne letjelice je složen proces koji se može podijeliti na nekoliko postupaka izrade, a to su: planiranja letjelice, nabave dijelova letjelice, sastavljanja, programiranja, kalibriranja te isprobavanja i namještanja postavki upravljanja letjelicom.

Pod planiranje letjelice podrazumijeva se odabir željenog tipa letjelice i izraziti želje za što će biti namjenjena. U obzir se mora uzeti masa same letjelice u što pripada baterija, kućište, motori, mikrokontroler ali isto tako i kamera ili neki teret koji je zamišljen da letjelica može prenositi. Na temelju toga za letjelicu se proračunavaju potrebni motori, baterija, propeleri i ostale komponente.

Nabava dijelova za letjelicu se radi po tome kako je isplanirana letjelica. Neki dijelovi će se morati preraditi. Zbog moguće visoke cijene nekih dijelova postoji opcija vraćanja na postupak planiranja letjelice kako bi se pronašli drugi jeftiniji dijelovi.

Kada su potrebne komponente nabavljene može se sastaviti letjelica te tako provjeriti kompatibilnost svih dijelova sa drugim dijelovima. Ako dijelovi nisu kompatibilni ponovno se planira za određeni dio letjelice koji se ne podudara sa potrebama te se izvršava nabava.

Programiranje i kalibriranje letjelice se radi preko računala. Kako bi letjelica mogla letjeti u mikrokontroler je potrebno ubaciti program koji omogućuje kontroliranje motora. U odlučivanju o brzini vrtnje motora odlučuje se preko radiostanice ali i putem senzora koji govore o položaju letjelice.

Pod isprobavanje letjelice podrazumijeva se let sa multirotorsko potisnom letjelicom gdje se na najbolji mogući način može vidjeti funkcioniranje svih dijelova u cjelini te se mogu vidjeti nedostatci letjelice koji se mogu riješiti dodatnim namjštanjem postavki, vraćanjem na postupak planiranje letjelice ili postupak kalibriranja letjelice.

ABSTRACT

Making a single quadcopter is a complex process that can be divided into several steps, they are: planning aircraft, aircraft parts procurement, assembly, programming, calibration of aircraft, testing and setting up the management of aircraft.

The planning of aircrafts includes the selection of the desired aircraft design and the express intentions for the aircraft. Mass needs to be taken account of for the same aircraft that belongs to the battery casing, motors, and microcontroller, as well as the weight of the camera and the weight that the aircraft is designed to carry. On this basis, the aircraft calculates the required motors, battery, propellers and other components.

Supply of parts for the aircraft itself is made according to plans; however, some parts may have to be recast. Due to the potential high cost of some parts, it may be economically sound to return to the initial planning stages at some point.

When the required components are procured, they can be assembled to an aircraft and check the part compatibility. If the parts are not compatible, it will be necessary to return to the planning stages of the specific parts of the aircraft that are incompatible with the remaining parts.

The programming and calibration of an aircraft is done by a computer. If the aircraft is to fly in the sky, it is necessary to insert a mircrocontroler program that will allow for motor control. On deciding upon the engine speed, it shall be made via a radio station or through the sensors that face towards the position of the aircraft.

The quadcopter is given a test flight to ensure that the components function as a whole and to identify any aircraft deficiencies that can be solved with additional adjustment settings by returning to the planning process of aircraft.

ŽIVOTOPIS

Rođen 9.4. 1994. u Požegi, gdje sam pohađao Osnovnu školu i srednju Tehničku školu, smjer Tehničar za mehatroniku. Srednju školu sam završio sa završnim radom Ultrazvučni senzori mobilnog robota gdje sam napravio mobilnog robota koji se koristio sa tim senzorima. Nakon završetka srednje škole upisao sam Elektrotehnički fakultet u Osijeku, smjer Stručni studiji automatike.

Kroz obrazovanje pokazao sam interes za programiranje mikrokotrolera i programljivih logičkih kontrolera (PLC) te sastavljanju elektronike.

Vlastoručni potpis : _____