

Konverzija vanbrodskog motora sa unutarnjim izgaranjem u električno pogonjen agregat

Mikloška, Jurica

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:995373>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-03**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





Sveučilište Sjever

Završni rad 483/EL/2021

Konverzija vanbrodskog motora s unutarnjim izgaranjem u električno pogonjen agregat

Jurica Mikloška, 2758/336

Varaždin, prosinac 2023.

Prijava završnog rada

Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL Odjel za elektrotehniku

STUDIJ preddiplomski stručni studij Elektrotehnika

PRISTUPNIK Jurica Mikloška

MATIČNI BROJ

DATUM 14.06.2021

KOLEGIJ Zaštita u elektroenergetskim postrojenjima

NASLOV RADA Konverzija vanbrodskog motora sa unutarnjim izgaranjem u električno pogonjen agregat

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU Conversion of An Outboard Internal Combustion Engine Into An Electrically Powered Unit

MENTOR Srđan Skok

ZVANJE Izvanredni profesor

ČLANOVI POVJERENSTVA

1. Izv.prof.dr.sc. Srđan Skok
2. Doc.dr.sc. Dunja Srpak
3. mr.sc. Ivan Šumiga, viši predavač
4. Doc.dr.sc. Ladislav Havaš
- 5.

Zadatak završnog rada

BROJ 483/EL/2021

OPIS

U završnom radu potrebno je obraditi temu električnog pogona plovila. Ograničenje u korištenju električnog pogona za plovila je doseg kao i vrsta korištene baterije. Potrebno je razraditi mogućnosti i primjenu korištenja električnog pogona na plovilima, kao i vrste električnih pogona i korištenih baterija. U radu je potrebno izraditi projekt konverzije vanbrodskog motora sa unutarnjim izgaranjem u električni pogonjen agregat. Potrebno je dati detaljne smjernice konverzije sa osvrtom na regulaciju korištenog električnog motora. Rezultat rada treba biti konvertiran vanbrodski motor pogonjen električnim strojem.

ZADATAK URUČEN

22.11.2023.

POTPIS MENTORA

S. Skok





Sveučilište Sjever

Odjel elektrotehnika

Završni rad / prosinac /2023

Konverzija vanbrodskog motora s unutarnjim izgaranjem u električno pogonjen agregat

Student

Jurica Mikloška, 2758/336

Mentor

Srđan Skok, izv.prof.dr.sc.

Varaždin, prosinac 2023.

Sažetak

U ovom završnom radu glavna ideja bila je preraditi vanbrodski motor s unutarnjim izgaranjem koji će kao pogon koristiti istosmjerni elektromotor. Njegovo upravljanje brzine vrši se pomoću tehnike PWM-a (eng. Pulse Width Modulation), a promjena smjera vrtnje ostvaruje se korištenjem H-mosta. Cijeli proces prerade biti će detaljno objašnjen u praktičnom dijelu rada, dok će se uloga glavnih dijelova elektromotornog pogona objasniti u teorijskom dijelu rada. Konačna izvedba električnog vanbrodskog motora služiti će samo za demonstracijske svrhe s ciljem objašnjenja načina rada istosmjernog elektromotora i tehnikama upravljanja koje su korištene u projektu završnog rada.

Ključne riječi: istosmjerni elektromotor, PWM, H-most, upravljanje istosmjernog elektromotora, električni vanbrodski motor

Summary

The main idea of this final paper was to transform the outboard motor powered by internal combustion into the version which would be powered by a DC motor. The speed of the DC motor will be controlled with a PWM technique (Pulse Width Modulation) and the change of the direction of rotation of the DC motor is achieved through the use of the H -bridge. The detailed process of transformation will be explained in the practical part of this final paper and each main electrical component will be explained in the theoretical part of the final paper. The final version of the electric outboard motor will be used only for demonstration purposes and to help to explain the work principles of the DC motor and techniques used to control the DC motor.

Keywords: DC motor, PWM, H – bridge, electric outboard motor, control of a DC motor

Popis korištenih kratica

A – mjerna jedinica „amper“

Ah – mjerna jedinica amper sat

B – oznaka magnetske indukcije

D – oznaka promjera rotora

DC – istosmjerna struja

DC – oznaka za radni ciklus

e – oznaka inducirane elektromotorne sile

E_{\max} – oznaka maksimalne vrijednosti inducirane elektromotorne sile

$-E_{\min}$ – oznaka maksimalne vrijednosti inducirane elektromotorne sile, u suprotnom smjeru

F – oznaka sile

F_i – faktor ispunje

F_t – oznaka tangencijalne sile

I – oznaka struje

I_a – oznaka struje armature

KHZ – mjerna jedinica kiloherc

kW – mjerna jedinica „kilowat“

l – oznaka duljine vodiča

M – oznaka momenta

n – oznaka brzine vrtnje

N – mjerna jedinica „njutn“

Nm – mjerna jedinica „njutn po metru“

Okr/min – oznaka za broj okretaja u minuti

R_a – oznaka otpora armature

T – period

U – oznaka napona

U_a – oznaka napona armature

U_{izl} – oznaka izlaznog napona

U_{max} – oznaka maksimalnog napona

V – mjerna jedinica „volt“

v – oznaka brzine kretanja vodiča

W – mjerna jedinica „wat“

$\Delta U_{\check{c}}$ - oznaka pada napona na četkicama

\emptyset - oznaka magnetskog toka

Sadržaj

1. Uvod.....	9
2. Vanbrodski motor: izvorna verzija.....	10
2.1. Opće informacije	10
2.2. Građa i tehnički podaci	11
2.2.1 Motorni pogon.....	11
2.2.2 Sustavi upravljanja.....	13
2.2.3 Sustav dovoda goriva	15
2.2.4 Pogonski sustav	16
3. Opis glavnih dijelova elektromotornog pogona vanbrodskog motora.....	17
3.1 Elektromotor.....	17
3.2 Upravljačka jedinica.....	25
3.2.1 Upravljanje brzinom kretanja	26
3.2.2 Promjena smjera kretanja.....	31
3.3 Izvor napajanja	36
4. Proces prerade u električnu verziju	37
5. Zaključak	53
Literatura	55
Popis slika.....	56

1. Uvod

Razvojem električnih strojeva otvaraju se nova područja u kojima pronalazimo njihovu primjenu. Elektromotori su danas nezamjenjiv dio pogonskih sustava. Sastavni su dio kućanskih aparata i pomagala, građevinskih i industrijskih alata, kao što su bušilice, pumpe, drobilice, pokretne i transportne trake, dizalice, glodalice i sl. te vojnih sustava i opreme. Vrlo važnu ulogu također imaju u prometnoj industriji gdje postupno zamjenjuju motore s unutarnjim izgaranjem koji pogone automobile, motocikle, vlakove itd. Nadalje, elektromotori također pronalaze svoju primjenu u nautici kao glavni ili pomoćni pogonski motori manjih brodica, čamaca, kajaka i sl.

U prvom poglavlju završnog rada ukratko je pojašnjen vanbrodski motor Tomos T-4 koji je korišten u projektu završnog rada te je opisan njegov princip rada kako bi se u četvrtom poglavlju mogao usporediti s električnom verzijom. Teorijski dio čini drugo poglavlje u kojem su opisani glavni električni dijelovi i njihova uloga. Proces prerade vanbrodskog motora u verziju s električnim pogonom detaljno je opisan u trećem poglavlju.

Cilj ovog završnog rada bio je preraditi vanbrodski motor s unutarnjim izgaranjem koji će koristiti električni pogon kao poučan i pristupačan projekt te proširiti svoja znanja na području upravljanja elektromotorom te principu rada elektromotora.

2. Vanbrodski motor: izvorna verzija

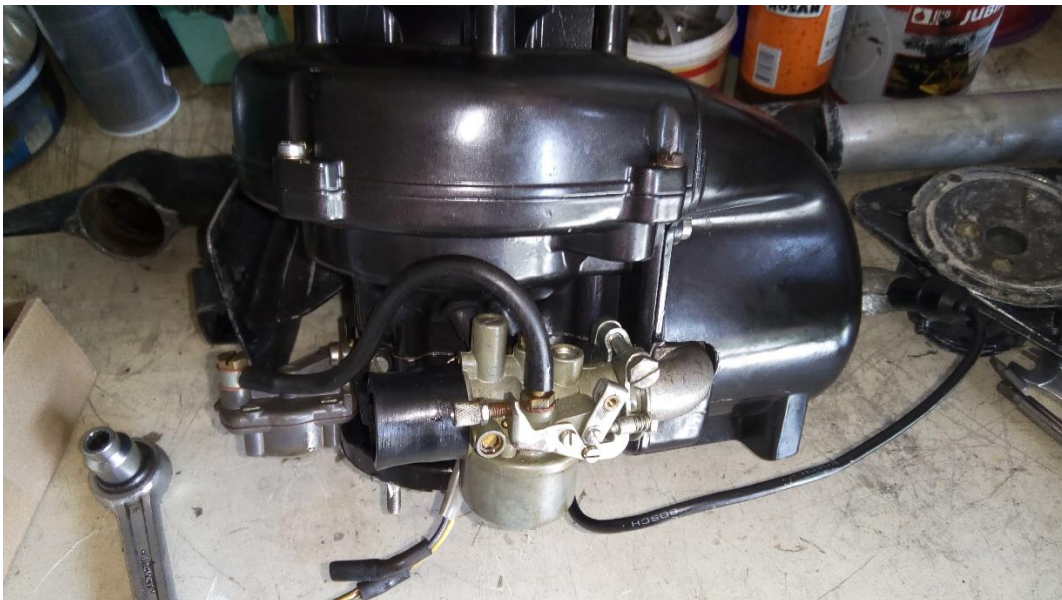
2.1. Opće informacije

Motor koji je korišten u projektu završnog rada je vanbrodski motor Tomos T- 4. Naziv „Tomos“ je skraćeni naziv slovenske tvrtke „Tovarna Motornih koles Sežana“ (hrv. Tvornica motornih bicikala Sežana) koja je osnovana 1954. godine. Tvrtka se u bivšoj državi Jugoslaviji izvorno bavila ugradnjom malih benzinskih motora na bicikle. Sklapanjem partnerstva sa tvrtkom Steyer-Daimler-Puch omogućilo je kvalitetan razvoj vlastitih proizvoda. Proizvodnja prvog vanbrodskog motora započela je 1958. godine modelom Lamo 05k koji je temeljen na osnovama mopeda Tomos - Puch MS50. Proizvedena su tri modela s jednim klipom te su ubrzo krenuli u serijsku proizvodnju. Model Tomos T-4 proizveden je 1969. godine, a još i danas nosi legendarno ime TOMOS 4 zbog svoje pouzdanosti i kvalitete [1].

2.2. Građa i tehnički podaci

2.2.1 Motorni pogon

Pogonsku jedinicu čini jednocilindrični dvotaktni motor zapremnine 60 cm³. Snaga koju motor razvija na osovini elise propelera iznosi 2.2 kW pri 5400 okr/min. Kod punog opterećenja radno područje broja okretaja motora iznosi od 4600 do 5800 okr/min, a potrošnja goriva iznosi 1,6 l/h. Paljenje motora postiže se tako da se nekoliko puta pritisne gumenu pumpicu goriva kako bi se dovelo gorivo u rasplinjač. Nakon toga, ovisno o zagrijanosti motora, zatvori se dovod zraka u rasplinjač pomoću ručice na prednjoj strani motora. Ručica gasa zaokrene se do označene pozicije „START“ te se jednom rukom povuče ručica pokretača, dok se drugom rukom pridržava motor kako bi se osigurala stabilnost motora prilikom pokretanja.



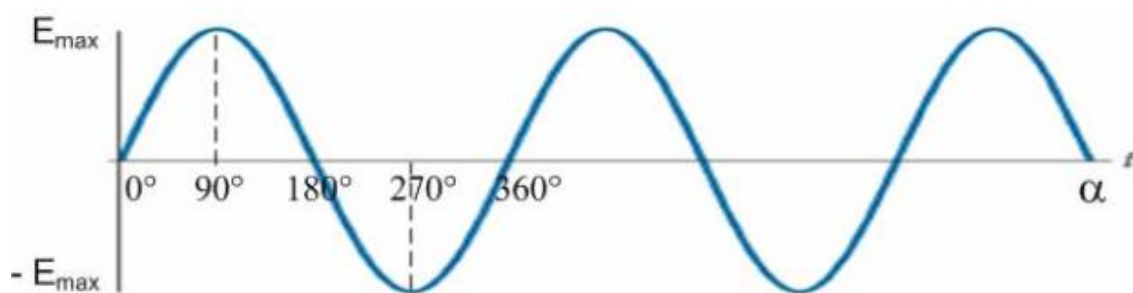
Slika 2.1. Pogonski dvotaktni motor

Povlačenjem ručice pokretača okreće se cijeli radni mehanizam motora iz razloga jer je pokretač pričvršćen na radilicu motora. Pokretač se sastoji od magneta i bakrenih zavojnica koje su smještene oko samog magneta. Magnet je pričvršćen na radilicu pomoću spojnice i prilikom rada motora rotacija radilice uzrokuje vrtnju magneta između zavojnica [2].



Slika 2.2. Ručni pokretač

Kaiser (1949.) navodi kako rotacija magneta uzrokuje pojavu struje u zavojnicama. Struja koja se pojavila u zavojnicama posljedica je inducirana elektromotorne sile u zavojima bakrene zavojnice. Zakon elektromagnetske indukcije govori nam da se rotacijom petlje u fiksnom magnetskom polju inducira promjenjiva elektromotorna sila. Ta sila koja je opisana sinusnom funkcijom za vrijeme jednog okretaja mijenja svoju veličinu i smjer. Najprije raste, zatim postiže maksimalnu vrijednost (E_{\max}) te opada do nule. Nakon dostizanja nule dolazi do promjene smjera. Sila tada raste u suprotnom smjeru, postiže istu maksimalnu vrijednost ($-E_{\max}$) te opada u nulu. Na taj način dolazi do periodičkog ponavljanja unutar vremena radnog ciklusa. [3]

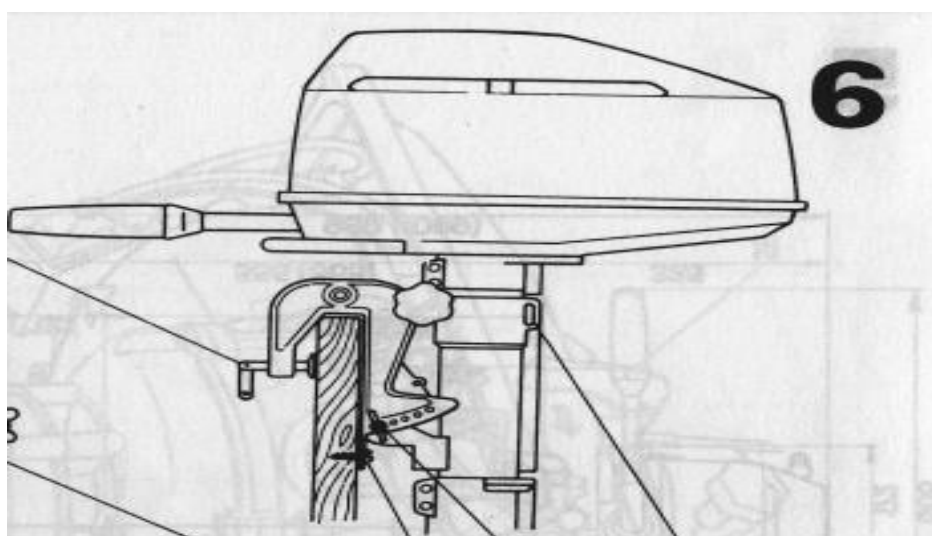


Slika 2.3. Prikaz inducirane elektromotorne sile opisane sinusnom funkcijom

Za induciranje elektromotorne sile potreban je promjenjivi magnetski tok. U sklopu pokretača promjenjivi magnetski tok postiže se rotacijom magneta oko kojeg su fiksno postavljene zavojnice. Struja koja je nastala u zavojnicama dovodi se do svjećeice koja u cilindru klipa baca iskru i pali smjesu goriva te pokreće radni ciklus. Za gašenje motora koristimo gumb „stop“ na prednjoj strani kućišta motora. Gašenje motora postiže se tako da se pomoću gumba „stop“ prekine dovod struje svjećeice [2].

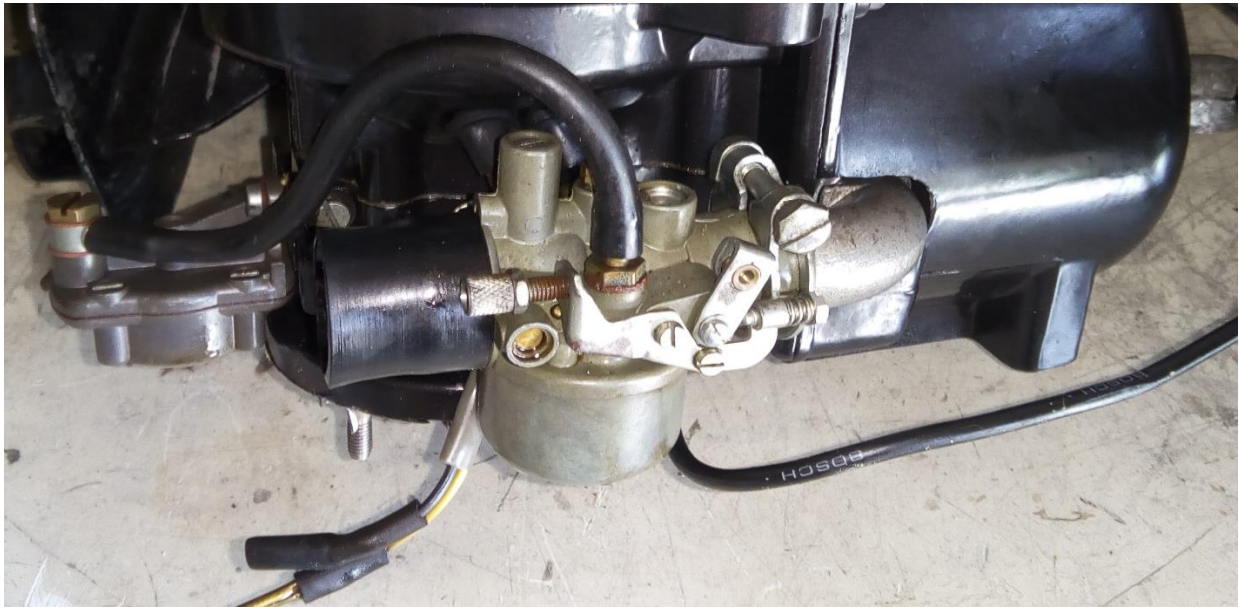
2.2.2 Sustavi upravljanja

Sustav upravljanja može se podijeliti u dva glavna dijela: sustav upravljanja brzinom kretanja i sustav upravljanja smjerom kretanja. Velika prednost upravljanja motorom je to što sama građa motora omogućava jednostavno upravljanje, budući da se oba upravljanja rade pomoću jedne te iste ručke koja se nalazi s desne strane motora. Upravljanje smjerom kretanja vrši se na način da se motor rotira u desno kako bi se čamac kretao u lijevo ili obrnuto rotacijom u lijevo, kako bi se čamac kretao u desno. Rotaciju motora omogućava sklop za pričvršćivanje motora koji koristimo za montiranje motora na predviđeno mjesto na čamcu, a samu rotaciju olakšava nam ručka kojom određujemo smjer kretanja. Sklop za pričvršćivanje ostaje u fiksnoj poziciji, a vanjsko kućište, koje prolazi kroz sklop, slobodno se rotira u lijevu ili desnu stranu za 180°. Za vožnju unatrag na modelu T-4 potrebno je rotirati motor za 180°. Prilikom vožnje unatrag potrebno je voditi pažnju da je motor dobro pričvršćen kako ne bi iskočio iz mjesta na koje je pričvršćen na čamcu [2].



Slika 2.4. Prikaz montiranja motora na čamac i sklopova upravljanja

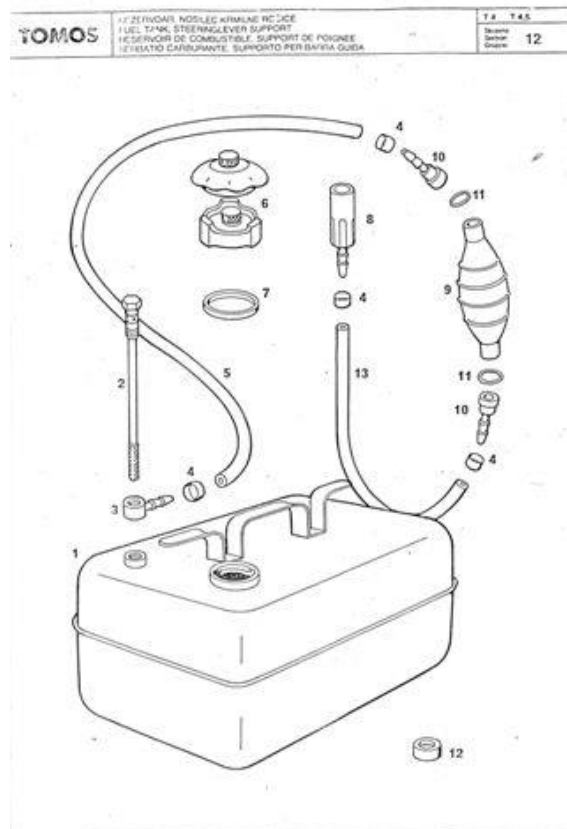
Upravljanje brzinom kretanja također se radi pomoću ručke na desnoj strani motora. Na završetku ručke nalazi se mehanička rotirajuća gas ručica koja služi za regulaciju brzine kretanja. Ručica gasa povezana je s rasplinjačem pomoću tankog čeličnog užeta. Rotacijom ručice gasa čelično uže se nateže i otvara usisnu granu te na taj način omogućava prolazak veće mješavine zraka i goriva. Rotacijom ručice u lijevo povećava se brzina, dok se otpuštanjem ručice smanjuje brzina kretanja [2].



Slika 2.5. Prikaz upravljačkog krilca usisne grane na rasplinjaču

2.2.3 Sustav dovoda goriva

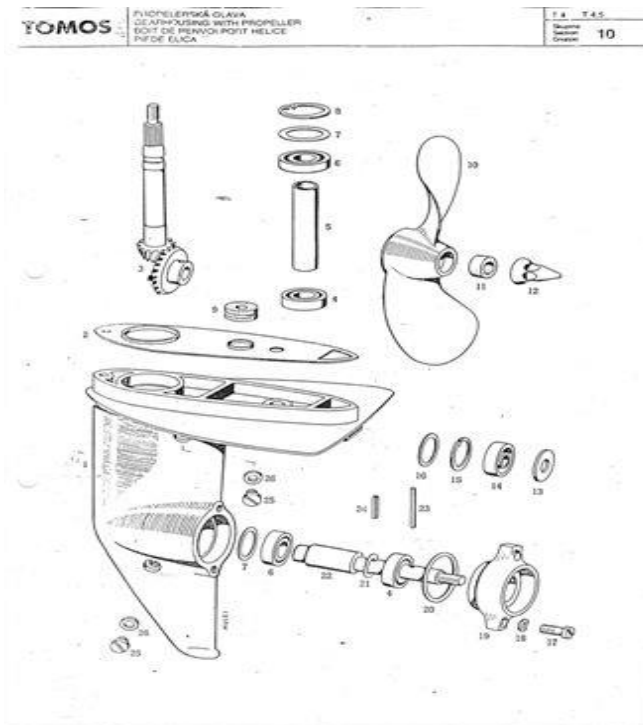
Model T-4 dolazi s vanjskim spremnikom goriva zapremnine 12 litara povezanim s motorom pomoću gumene cijevi koja dovodi gorivo u motor. Kako je i prije bilo navedeno, prilikom paljenja motora potrebno je nekoliko puta pritisnuti gumenu pumpu na cijevi dovoda goriva kako bi se gorivo dovelo do rasplinjača. Nakon što se pokrenuo radni ciklus motora, gorivo se automatski dozira samim radom motora prilikom usisnog dijela radnog ciklusa [2].



Slika 2.6. Prikaz vanjskog spremnika goriva

2.2.4 Pogonski sustav

Snaga koju proizvodi dvotaktni motor koristi se za pokretanje propelera na donjem dijelu tzv. „noge“ vanbrodskog motora. Osovine motora i propelera spojene su pomoću kutnog prijenosa zupčanika čiji prijenosni omjer iznosi 2.08:1.



Slika 2.7. Prikaz kutnog prijenosa

Na taj način smanjena je brzina rotacije propelera kako bi se olakšao rad motora i smanjila opterećenja zbog jakog otpora vode. Prilikom rada motora kod punog opterećenja propeler stvara potisnu silu od 420 N [2] .



Slika 2.8. Elisa propelera

3. Opis glavnih dijelova elektromotornog pogona vanbrodskog motora

3.1 Elektromotor

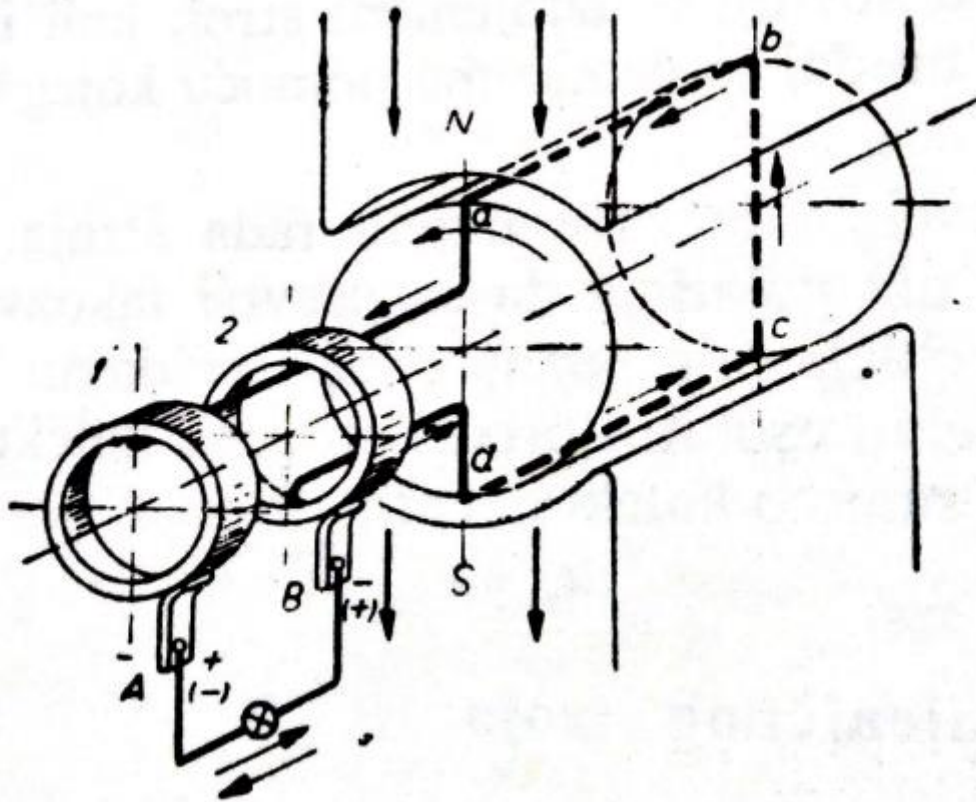
Kao pogonski motor korišten je istosmjerni elektromotor snage 200 W. Prema načinu građe motor pripada kolektorskom tipu električnih istosmjernih strojeva.

Prema Piotrovskom (1974.), kolektorski istosmjerni elektromotor zapravo je elektromotor za izmjeničnu struju koji ima posebni sklop kolektora s četkicama pomoću kojeg se izmjenična struja pretvara u istosmjernu [4].

Većina električnih strojeva mogu biti korišteni kao motori ili generatori, tako i kolektorski strojevi iako se uglavnom koriste kao motori. Postoje i izvedbe kolektorskih strojeva koje su namijenjene za izmjenične napone. Kolektorski strojevi izvode se s uzбудom na statoru, dok se armatura nalazi na rotoru. Uzbuđena na statoru može se izvesti pomoću uzbuđnih namota smještenih oko polova statora kroz koje teče istosmjerna struja koja stvara uzbuđno protjecanje te magnetski tok. Drugi način izvedbe uzbuđe statora je pomoću permanentnih magneta, što je češća izvedba kod motora slabijih snaga [5].

Motoru koji je korišten u ovom projektu, uzbuđena je izvedena pomoću permanentnih magneta. Armaturni namotaj, sastavljen od svitaka, nalazi se na rotoru. Simetrično je raspoređen u utore te je zatvoren u sebe. Krajevi svitaka spojeni su na lamele kolektora koji je pričvršćen na osovinu rotora. Kolektor služi kao mehanički ispravljač koji ispravlja izmjeničnu struju koja teče kroz armaturni namotaj u istosmjernu struju vanjskog kruga [5]. Sastoji se od posebnih bakrenih lamela koje su spojene tako da čine cilindrično geometrijsko tijelo, tj. šuplji valjak. Također, lamele su međusobno izolirane i od željeznog tijela kolektora. Namotaj rotora spaja se s kolektorskim lamelama pomoću posebnih užadi usađenih na završetke svitaka i zalemljenih na lamele kolektora. Kako bi se rotor stroja mogao spojiti s vanjskim krugom koristi se sklop držača četkica. Sklop se sastoji od kućišta za usađivanje četkica, poluge s četkicama i držača četkica. Četkice, koje su nepokretne, dodiruju lamele kolektora te usred rotacije rotora klize po lamelama, a služe kako bi dovele struju iz vanjskog kruga ili odvele struju u vanjski krug [4].

Kako je i prije bilo navedeno, kolektorski motor može također raditi kao generator.



Slika 3.1. Pojednostavljeni shematski prikaz izmjeničnog stroja

Slika 3.1. prikazuje pojednostavljeni prikaz sheme izmjeničnog stroja. Mogu se uočiti dva magnetska pola koji su nepokretni, sjeverni (N) i južni (S) magnetski pol. Oni stvaraju konstantni magnetski tok, a njihove magnetske silnice usmjerene su od sjevernog ka južnom polu. Između magnetskih polova nalazi se rotor koji je, radi jednostavnosti, prikazan pomoću zavoja „a-b-c-d“. Krajevi zavoja „a-b-c-d“ izvedeni su na prstene 1 i 2 koji su ugrađeni na osovinu rotora te se vrte istom brzinom kao i sam rotor. Prstenove dodiruju nepokretne četkice A i B čija je svrha spajanje vanjskog strujnog kruga trošila s armaturom rotora [4].

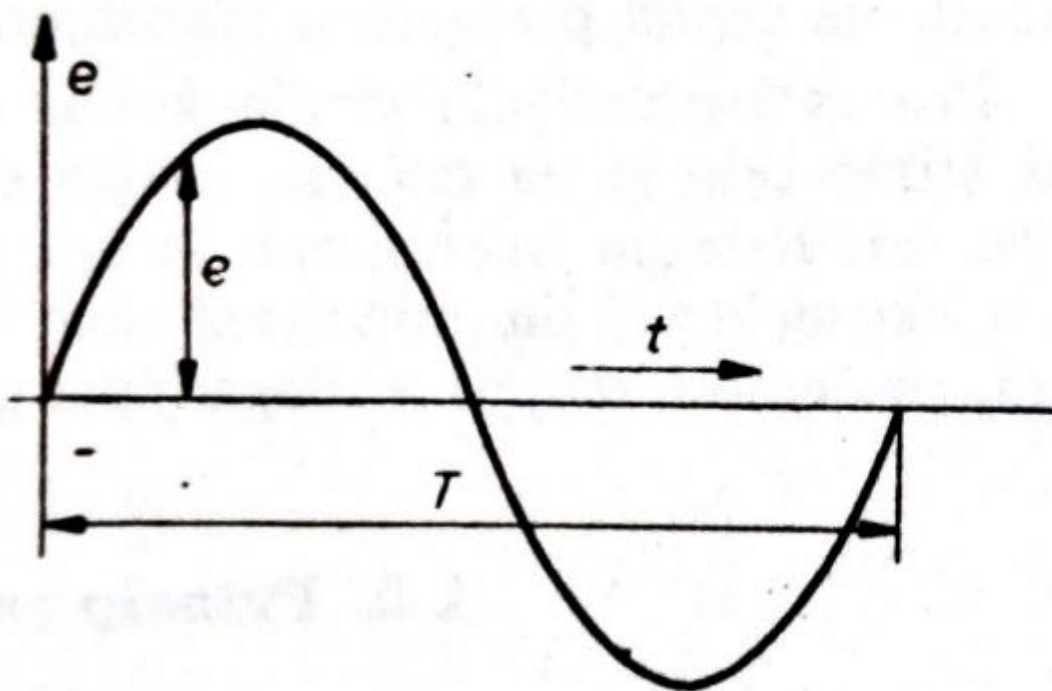
Ako se rotor stroja započne vrtjeti konstantnom brzinom vrtnje n , primjerice u smjeru suprotnom od kazaljke na satu, u namotajima armature rotora inducirat će se elektromotorna sila. Ta elektromotorna sila poprimat će, u jednom vodiču, trenutnu vrijednost [4]:

$$e = (\vec{v} \times \vec{B}) \cdot \vec{l} \quad (3 - 1)$$

Ovdje vrijedi da je \vec{v} vektor brzine vodiča, \vec{B} vektor magnetske indukcije, a \vec{l} vektor duljine vodiča. S obzirom da su svi vektori međusobno okomiti, jednadžba se može zapisati u sljedećem obliku [4] :

$$e = B l v \quad (3 - 2)$$

Primjenjujući pravilo desne ruke na vodiče „a-b“ i „c-d“ u trenutku prikazanom na slici 3.1., može se uočiti da je inducirani napon u vodiču „a-b“ usmjeren prema nama. Suprotno tome, inducirani napon u vodiču „c-d“ usmjeren je od nas. Dakle, struja vanjskog kruga teče od prstena 1 kroz četkicu A pa do četkice B i na prsten 2. U ovom slučaju, kada stroj radi kao generator, četkica koja odvodi struju u vanjski krug ima pozitivan potencijal i preuzima pozitivan predznak (+), dakle četkica A zauzima predznak „plus“ (+), a četkica koja dovodi struju natrag u stroj ima negativan potencijal i preuzima negativan predznak (-), dakle četkica B zauzima predznak „minus“ (-). Zaokrene li se rotor za 180° , vodiči „a-b“ i „c-d“ mijenjaju položaj. Na mjesto vodiča „a-b“ dolazi vodič „c-d“ i obratno. Primjenjujući opet pravilo desne ruke na vodiče „a-b“ i „c-d“ koji se nalaze u trenutnom položaju, vidljivo je da sada četkica B, na koju je spojen kraj vodiča „c-d“ pomoću prstena 2, poprima pozitivan potencijal i predznak „plus“ (+). Četkica A sada poprima negativan potencijal i predznak „minus“ (-), budući da je vodič „a-b“ spojen na četkicu A pomoću prstena 1. Samim time struja koja teče u vanjskom krugu također mijenja smjer. Dakle, uzastopnim rotiranjem zavoja „a-b-c-d“ u strujnom krugu koji čine zavoj „a-b-c-d“ i vanjski krug trošila, djeluje izmjenični inducirani napon i izmjenična struja [4].

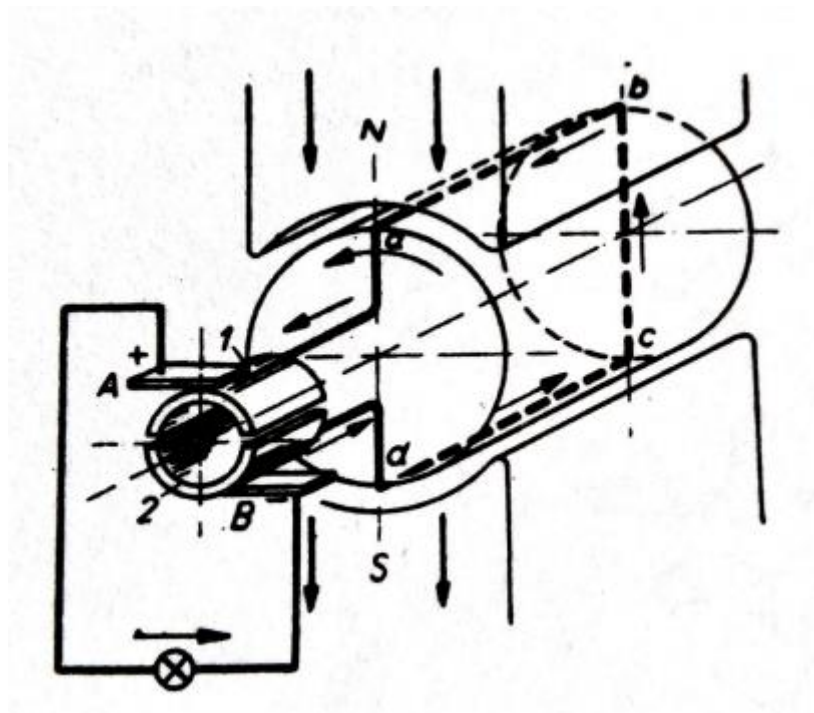


Slika 3.2. Grafički prikaz induciranog napona u zavoju

Slika 3.2. prikazuje mijenjanje induciranog napona e u jednom periodu T , koji predstavlja vrijeme jednog punog okretaja u kojem dolazi do potpune izmjene induciranog napona e [4].

Iako se radi o istosmjernom stroju, vidljivo je da dolazi do pojave i djelovanja izmjenične struje. Kaiser (1949.) navodi da u gotovo svim istosmjernim strojevima teče izmjenična struja koja se ispravlja u istosmjernu [3].

Kako bi se dobivena izmjenična struja ispravila u istosmjernu, stroju sa slike 3.9. potrebno je ugraditi kolektor. Završeci zavoja „a-b-c-d“ spajaju se na bakrene lamele kolektora po kojima klize nepokretne četkice A i B, što je prikazano na slici 3.11.

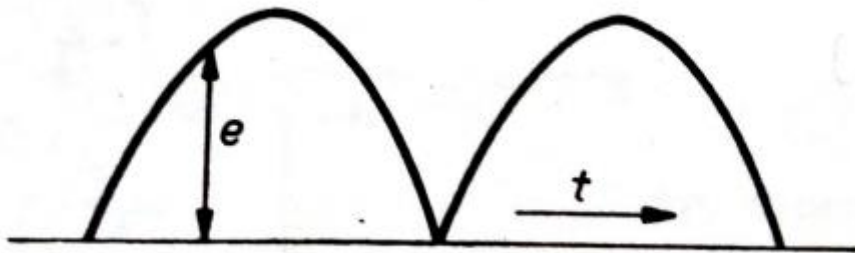


Slika 3.3. Pojednostavljeni shematski prikaz istosmjernog stroja

Proces ispravljanja inducirano napona najpogodniji je u trenutku kad su četkice postavljene na kolektoru tako da one prelaze iz jedne lamele na drugu kada je inducirani napon u zavoju jednak nuli. Tada će se u zavoju „a-b-c-d“, nalaziti izmjenični napon, ali svakoj od četkica dovođen će se napon samo određenog predznaka.

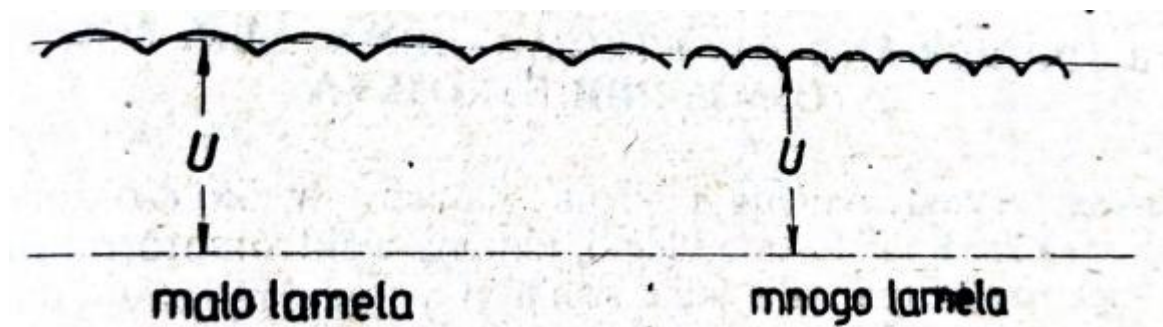
U trenutku prikazanom na slici 3.3., četkica A, koja je spojena na lamelu 1, poprimala pozitivni potencijal (+), budući da se na nju dovodi inducirani napon vodiča „a-b“ koji se u trenutku prikazanom na slici nalazi pod sjevernim polom (N). Zaokrene li se rotor za 180°, pod četkicu A dolazi lamela 2 te četkica A opet poprimala pozitivan potencijal (+) jer joj se pomoću lamele 2 dovodi inducirani napon vodiča „c-d“ koji se sada nalazi pod sjevernim polom (N). Ponavljanjem rotacije rotora četkica A uvijek poprimala pozitivan potencijal (+), dok četkica B uvijek poprimala negativan potencijal (-). Na taj način izmjenična struja zavoja „a-b-c-d“ ispravila se u istosmjernu struju koja teče u vanjskom krugu trošila od četkice A do četkice B [4].

Proces ispravljanja izmjenične struje koja teče u zavojima rotora u istosmjernu struju vanjskog kruga naziva se komutacija struje.



Slika 3.4. Ispravljeni inducirani napon zavoja

Dobivena istosmjerna struja jako pulsira i njezina jakost nije stalna. Kako bi se smanjilo pulsiranje induciranih napona i struje vanjskog kruga, potrebno je povećati broj zavoja rotora, a samim time i broj lamela kolektora. Kod velikog broja zavoja istosmjerna struja bi gotovo bila konstantna s minimalnim pulsiranjem [3].



Slika 3.5. Usporedba pulsiranja induciranih napona kod izvedbe stroja s manjim i većim brojem lamela

U ovom projektu kolektorski stroj korišten je kao pogonski motor. Kako bi stroj radio kao motor, potrebno mu je na četkice dovesti istosmjerni napon. Tada će kroz njegove namotaje poteći struja i motor će se početi okretati. Struja koja teče kroz vodič stvara silu koja djeluje na vodič kojim teče struja. Ona djeluje na obodu vodiča te je tangencijalna na vodič. Ta se sila može zapisati sljedećim izrazom [5]:

$$\vec{F} = I \cdot (\vec{l} \times \vec{B}) \quad (3 - 3)$$

Ovdje vrijedi da je: \vec{F} vektor sile koja djeluje na vodič, I struja koja protječe kroz vodič, \vec{l} vektor duljine vodiča, a \vec{B} vektor magnetske indukcije. Kao i kod izraza za inducirani napon, i ovdje vrijedi da su svi vektori međusobno okomiti pa izraz možemo zapisati kao [5]:

$$F = B \cdot I \cdot l \quad (3 - 4)$$

Ukupan zbroj svih sila koje djeluju na pojedine vodiče rotora predstavlja ukupna tangencijalna sila prikazana formulom [5]:

$$F_t = \sum_{i=1}^n F_n = F_1 + F_2 + F_3 + \dots + F_n \quad (3 - 5)$$

Sile koje djeluju na vodiče stvorit će okretni moment koji djeluje u smjeru sile, što će uzrokovati rotaciju rotora. Moment ovisi o ukupnoj tangencijalnoj sili i promjeru rotora. Taj odnos prikazuje izraz [5]:

$$M = F_t \frac{D}{2} \quad (3 - 6)$$

Ovdje vrijedi da je: M moment elektromotora, F_t ukupna tangencijalna sila, a D promjer rotora elektromotora.

Prilikom okretanja u svakom zavoju namotaja rotora inducirat će se elektromotorna sila. Ukupna elektromotorna sila jednaka je zbroju elektromotornih sila koje se induciraju u pojedinim zavojima. Ta elektromotorna sila bit će veća ako stroj ima veći broj zavoja i ako mu je magnetsko polje jače. Također, ovisi i o brzini kojom se stroj vrti, kao i o broju parova polova stroja [3]. Ovisnost inducirane elektromotorne sile prikazana je matematičkim izrazom (3 - 7):

$$E = \frac{2p}{a} \cdot \frac{\Phi \cdot z \cdot n}{60} \quad (3 - 7)$$

Ovdje vrijedi da je: E – inducirana elektromotorna sila, a – broj paralelnih grana, z – broj zavoja, n – brzina vrtnje, p – broj parova polova, Φ - magnetski tok

Dovedeni napon troši se na svladavanje elektromotorne sile i na pad napona u otporima armature. Namotaji armature imaju vlastiti otpor R_a na kojem se pojavljuje pad napona U_a . Pad napona U_a može se opisati matematičkim izrazom [5](3 - 8) :

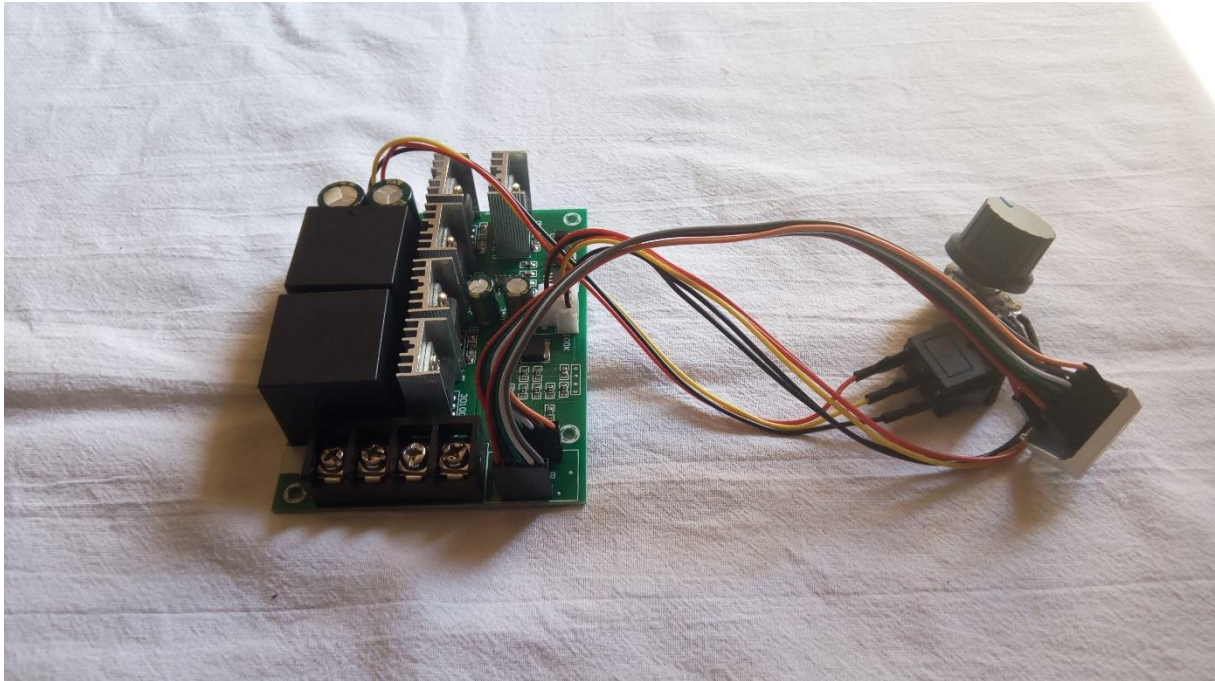
$$U_a = I_a \cdot R_a \quad (3 - 8)$$

Uz pad napona na armaturi U_a javlja se i pad napona na četkicama $\Delta U_{\check{c}}$ koji ne ovisi o struji i u pravilu iznosi oko 2 V. Kada stroj radi kao motor za dovedeni napon U vrijedi izraz [5] (3 - 9):

$$U = E + U_a + \Delta U_{\check{c}} \quad (3 - 9)$$

3.2 Upravljačka jedinica

Upravljačka jedinica *hwa yeh dc* važan je dio elektromotornog pogona koji služi za upravljanje radom pogonskog elektromotora. Koristi se za upravljanje brzinom kretanja i odabira za vožnju unaprijed ili unatrag.



Slika 3.5. Upravljačka pločica

Podržava istosmjerni napon u rasponu od 9 V do 50 V, radnu struju do 40 A i kratkotrajnu od 60 A, dok struja mirovanja iznosi 0.01 A. Namijenjena je za regulaciju jednog istosmjernog elektromotora snage do 2000 W. Frekvencija PWM radnog ciklusa iznosi 15 KHZ.

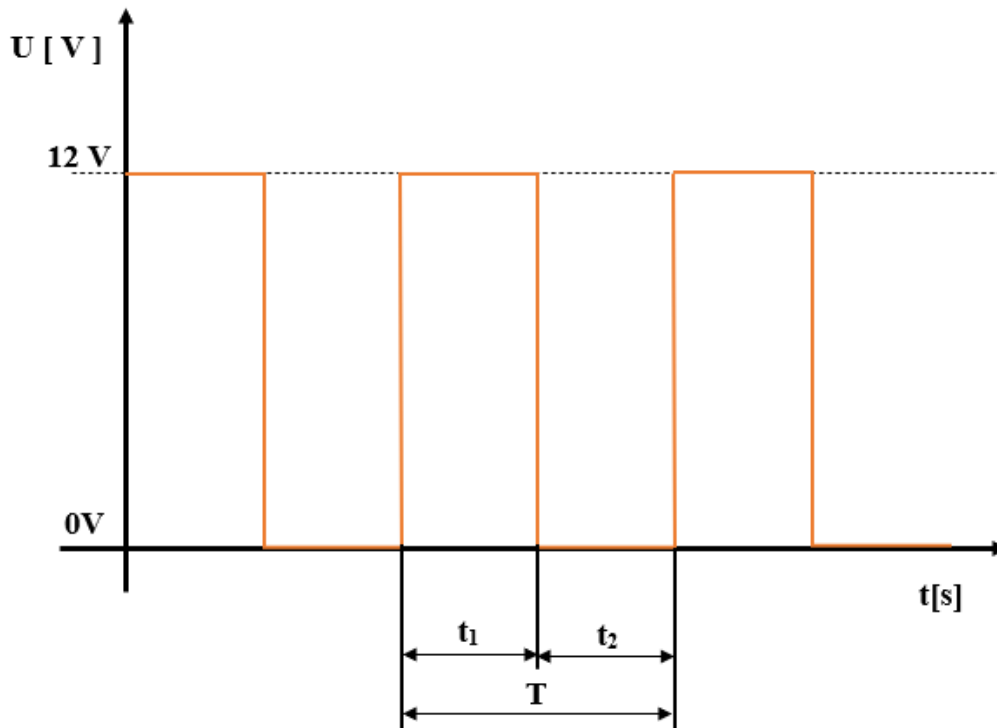
3.2.1 Upravljanje brzinom kretanja

Upravljanje brzinom kretanja postiže se upravljanjem brzine vrtnje pogonskog elektromotora.

Kao način upravljanja brzinom vrtnje pogonskog elektromotora koristi se PWM tehnika (eng. Pulse Width Modulation), tj. pulsno-širinska modulacija. Spomenuta tehnika koristi se kod upravljanja strujnim krugovima kako bi se digitalnim signalima generirali signali analognih karakteristika. Svoju primjenu pronalazi u mnogim poljima, kao što su regulacija LED rasvjete, upravljanje elektromotora, regulacija brzine vrtnje ventilatora kod stolnih računala, zaštita baterija u manjim solarnim sustavima, komunikacijskim sustavima itd. [6]

Korištenje pulsno-širinske modulacije omogućuje da digitalni signali poprimaju oblik analognih signala. Analogni signali imaju vremenski promjenjivu amplitudu, što znači da vrijednost amplitude analognog signala može odstupati od zadane vrijednosti. Tako primjerice kod baterije napona 12V, amplituda izlaznog napona može se mijenjati vremenski tako da vrijednost amplitude padne ispod zadane razine od 12V ili preraste zadanu vrijednost amplitude. Drugim riječima, amplituda može poprimiti vrijednost bilo kojeg realnog broja čija je vrijednost približna 12V. Iako analogni krugovi izgledaju jednostavno, njihova primjena često nije praktična i isplativa te se javlja i problem disipacije topline koji zahtijeva dodatno hlađenje cijelog sustava. Upravo zbog financijskih razloga digitalna kontrola analognih krugova vrlo je česta zbog toga što se cijena i potrošnja energije mogu znatno smanjiti. [7]

Kako bi digitalni signal poprimio oblik analognog signala, generiraju se impulsi jednakih amplituda na način da se dovedeni ulazni signal napajanja periodički uključi i isključi velikom brzinom. Za pravilan rad uređaja potrebno je osigurati visoke frekvencije uključivanja i isključivanja signala. Ukoliko su frekvencije preniske, odnosno ako je vremenski razmak između uključenog i isključenog stanja prevelik, dolazi do smanjenja snage uređaja što naposljetku može uzrokovati prestanak rada ili oštećenje uređaja. Korišteni signal, na navedeni način, pretvara se u niz generiranih pravokutnih impulsa jednakih amplituda. [7][8]

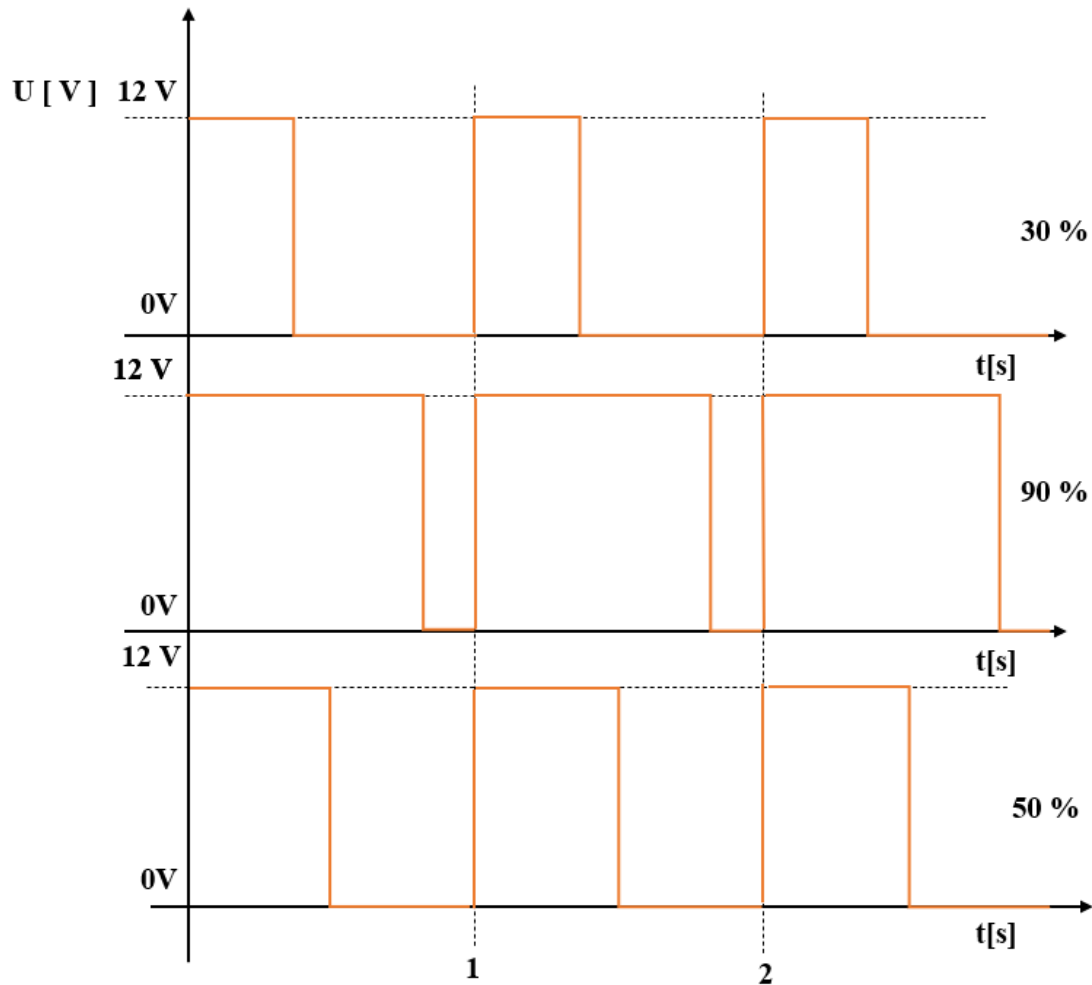


Slika 3.6. Generirani pravokutni impulsi

Slika 3.6. prikazuje niz generiranih pravokutnih impulsa koji u određenom vremenskom periodu T imaju dva stanja, visoko (high ili 1) i nisko (low ili 0). Vrijeme trajanja visokog stanja (1) označeno je oznakom t_1 , dok je vrijeme niskog stanja (0) označeno oznakom t_2 . Konačnu jačinu izlaznog signala određuje vrijeme trajanja visokog stanja signala unutar perioda T , što se drugim riječima naziva „radni ciklus“ ili eng „Duty cycle“. Dakle, radni ciklus predstavlja vremenski postotak trajanja visokog stanja generiranog signala unutar zadanog perioda [3][7]. Izražava se formulom:

$$DC = \frac{t_1}{T} \times 100 = n \text{ [%]} \quad (3 - 10)$$

Gdje je: DC – radni ciklus, t_1 – vrijeme trajanja visokog stanja, T – period.



Slika 3.7. Prikaz generiranih pravokutnih signala u tri radna ciklusa

Na slici 3.7. prikazana su 3 signala s različitim vlastitim radnim ciklusima, jednakim amplitudama te periodom T od jedne sekunde. Kada bi se signal koji ima radni ciklus 30% koristio za napajanje nekog istosmjernog motora, motor bi u zadanom periodu imao napajanje samo 30% vremena zbog toga što je u tom zadanom periodu signal uključen 30% vremena zadanog perioda (nalazi se u visokom stanju ili 1). Ostalih 70% vremena signal je isključen (nalazi se u niskom stanju ili 0) te zbog toga motor u tom istom zadanom periodu 70% vremena nema napajanje. Taj isti princip vrijedi i za preostala dva signala koji imaju radni ciklus od 50% i 90% [7][9].

Omjer vremenskog trajanja impulsa i vremena perioda naziva se faktor ispune signala te se izražava jednačinom:

$$F_i = \frac{t_1(s)}{T(s)} = n \quad (3 - 11)$$

Gdje je F_i – faktor ispune, t_1 – vrijeme trajanja impulsa, T – zadani vremenski period.

Faktor ispune potreban je kako bi se izračunala srednja vrijednost izlaznog napona. Ona također ovisi i o vrijednosti ulaznog napona. Dakle, konačna srednja vrijednost izlaznog napona je umnožak faktora ispune i maksimalnog ulaznog napona [7]:

$$U_{izl} = \frac{t_1(s)}{T(s)} \times U_{max} = n [V] \quad (3 - 12)$$

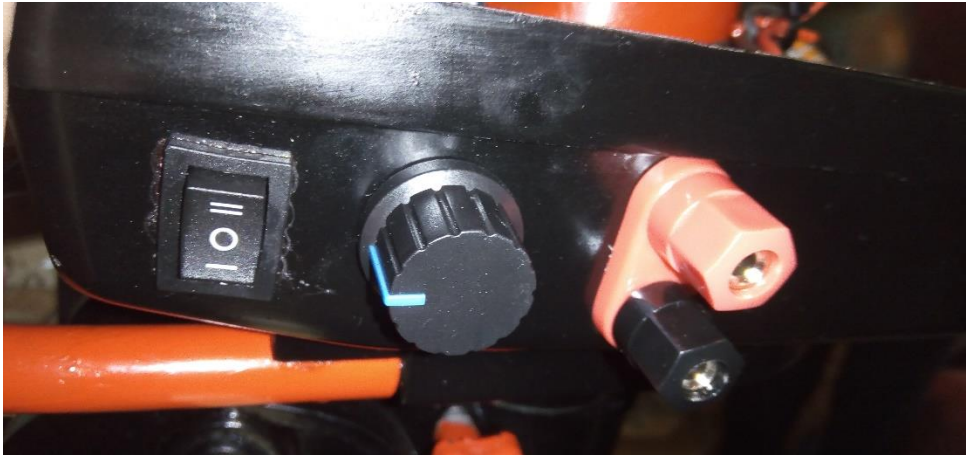
Za signal čiji je radni ciklus 30% srednja vrijednost izlaznog napona iznositi će:

$$U_{izl} = \frac{t_1(s)}{T(s)} \times U_{max} = \frac{0.30}{1} \times 12 = 3,6 V \quad (3 - 13)$$

Primijeni li se navedeni izraz za preostala dva signala, dobiju se sljedeće vrijednosti izlaznog napona:

- za signal čiji je radni ciklus 90 %, srednja vrijednost izlaznog napona iznosi 10.8 V
- za signal čiji je radni ciklus 50 %, srednja vrijednost izlaznog napona iznosi 6 V

Biranje radnog ciklusa omogućuje potenciometar koji je ugrađen s lijeve bočne strane metalnog kućišta.



Slika 3.8. Potenciometar za kontrolu PWM ciklusa

Zbog lakšeg odabira radnog ciklusa upravljačka jedinica dolazi s dodatnim malim LCD zaslonom na kojem se prikazuje radni ciklus od 0 do 100.



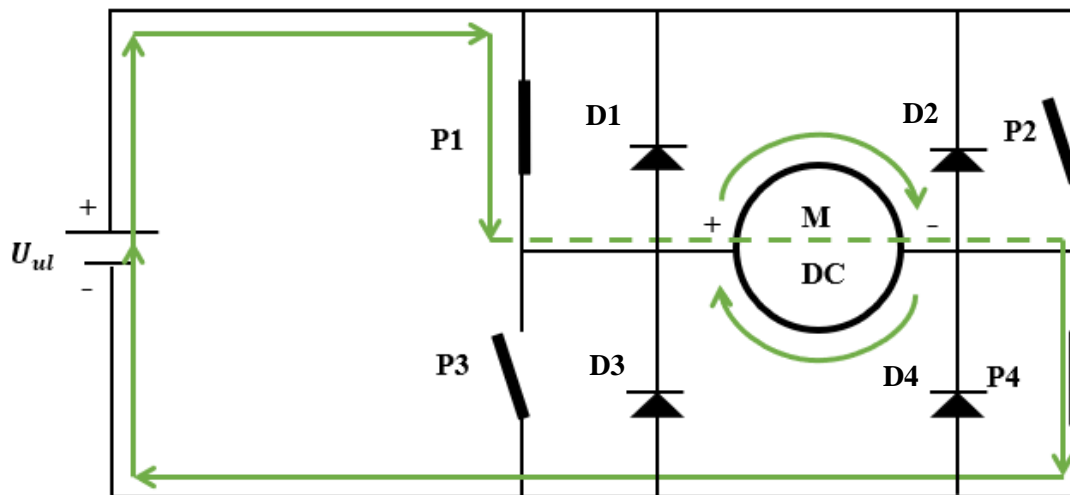
Slika 3.9. LCD zaslon

3.2.2 Promjena smjera kretanja

Upravljačka jedinica također omogućava promjenu smjera okretanja pogonskog istosmjernog elektromotora. Promjena smjera okretanja pogonskog elektromotora koristi se za vožnju unaprijed ili unatrag.

Kako bi se istosmjernom elektromotoru promijenio smjer okretanja, potrebno je promijeniti smjer dovedenog napona na njegovim stezaljkama. Drugim riječima, promjenom polariteta napona na stezaljkama moguće je promijeniti smjer vrtnje istosmjernog elektromotora. Promjena polariteta napona na stezaljkama uzrokovat će i promjenu smjera toka struje kroz elektromotor, zbog čega će se motor vrtjeti u suprotnom smjeru. Za promjenu polariteta napona koji se dovodi na stezaljke pogonskog elektromotora koristi se tzv. „h-most“ koji se nalazi unutar same upravljačke pločice. H-most sastoji se od četiri logička prekidača, s paralelnim diodama, između kojih se nalazi istosmjerni elektromotor [10].

Prekidači i elektromotor smješteni su tako da tvore oblik slova H pa je iz tog razloga spoj poprimio ime H-most. Kao prekidači koriste se tranzistori PNP i NPN tipa ili MOSFET tranzistori P i N tipa. Otvaranjem i zatvaranjem prekidača određuje se tok struje kroz strujni krug te samim time i smjer vrtnje elektromotora [11].



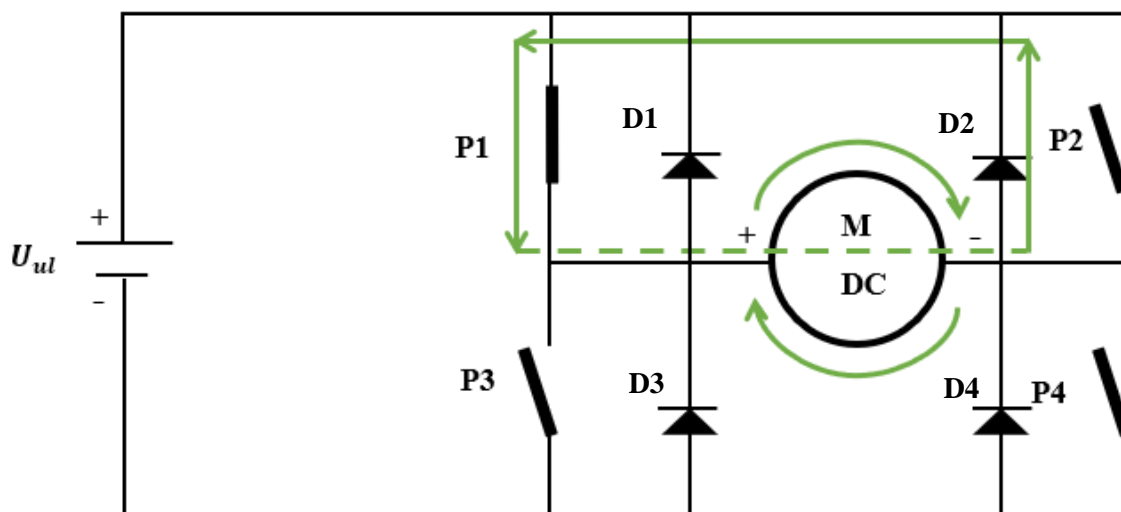
Slika 3.10. Pojednostavljeni prikaz H-mosta

Slika 3.10. prikazuje rad H-mosta u slučaju kada su prekidači P1 i P4 zatvoreni. Zelene strelice označavaju tok struje u slučaju kada su prekidači P1 i P4 zatvoreni.

Dakle, struja s pozitivne stezaljke (+) ulaznog napona U_{ul} ulazi preko zatvorenog prekidača P1 na pozitivnu stezaljku motora (+) te izlazi na negativnu stezaljku (-) ulaznog napona U_{ul} preko zatvorenog prekidača P4. Na taj način motor će se vrtjeti u smjeru kazaljke na satu.

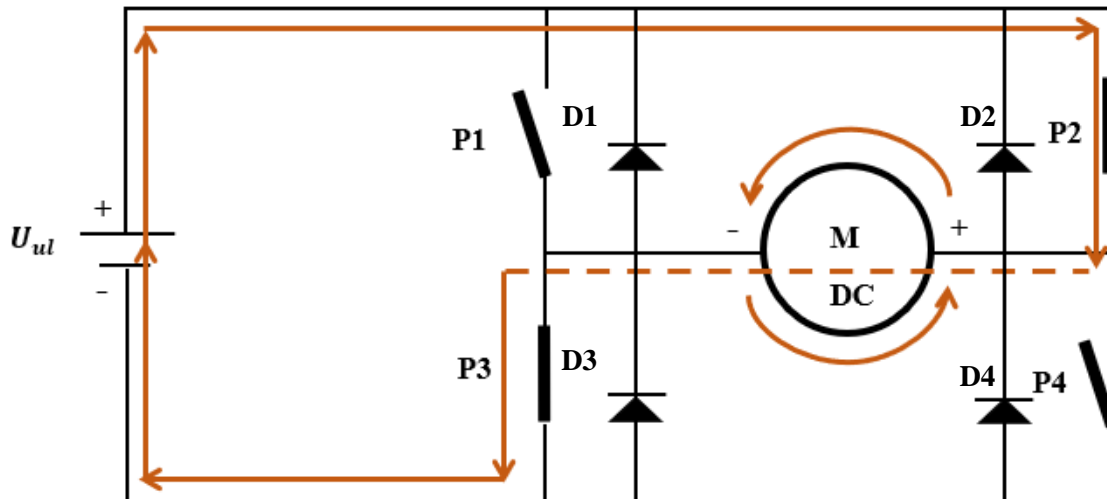
Kada bi se prekidač P4 isključio, prestao bi dovod napajanja elektromotora te bi elektromotor prešao iz radnog stanja u režim kočenja. Motor se u tom slučaju neće zaustaviti istog trena, nego će postupno usporavati svoju vrtnju do potpunog zaustavljanja. Razlog tome je induktivnost elektromotora koja ne dozvoljava trenutnu promjenu struje. Kada se elektromotor priključi na izvor napajanja postoji određeno vrijeme u kojem dostiže svoju maksimalnu brzinu. U tom vremenu struja raste eksponencijalno od svoje minimalne do svoje maksimalne vrijednosti. Isto vrijedi i za kočenje [10].

Prilikom isključenja napajanja struja će eksponencijalno padati do minimalne vrijednosti. Drugim riječima, struja će i dalje postojati kao posljedica inducirane elektromotorne sile u elektromotoru te će se motor lagano zaustavljati sve dok ne potroši tu struju. Kako bi se omogućio protok struje u režimu kočenja, postavljaju se paralelno smještene diode svakom prekidaču [10].



Slika 3.11. H-most u režimu kočenja elektromotora

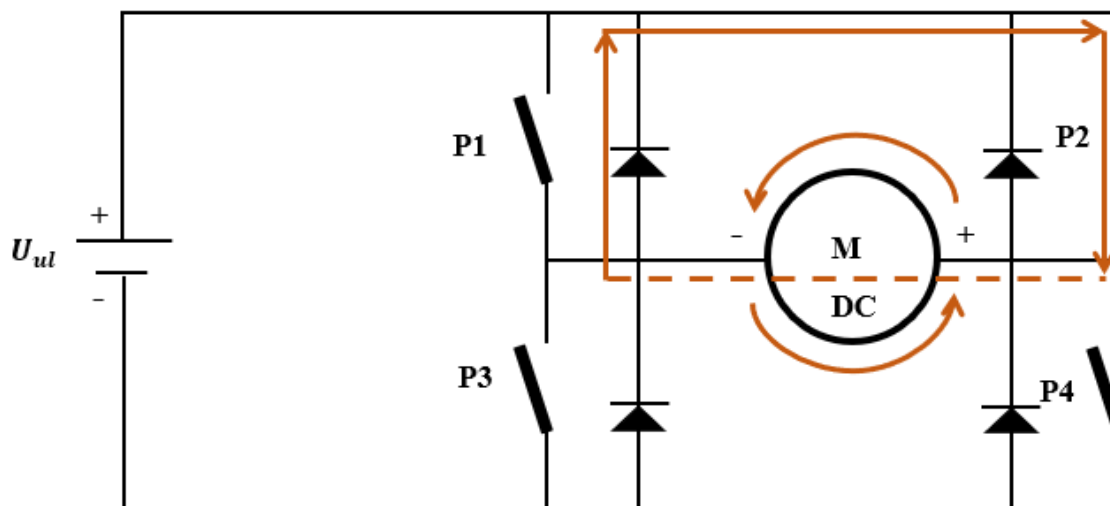
Slika 3.11. prikazuje slučaj kada prekidač P1 ostaje zatvoren, a prekidač P4 je isključen. Struja protječe kroz pomoćnu diodu D2 i vraća se kroz zatvoreni prekidač P1. Kada se preostala struja potroši, motor će se zaustaviti [10].



Slika 3.12. H-most s obrnutim smjerom vrtnje elektromotora

Slika 3.12. prikazuje slučaj u kojem su prekidači P2 i P3 zatvoreni, a prekidači P1 i P4 su isključeni. Na taj način struja dolazi s pozitivne stezaljke (+) ulaznog napona U_{ul} kroz zatvoreni prekidač P2 na stezaljku elektromotora, koja je u prethodnom slučaju imala negativan predznak (-), a sada poprima pozitivan predznak (+) te izlazi kroz prekidač P3 do negativne stezaljke ulaznog napona U_{ul} .

Na taj način ostvarila se promjena polariteta napona na stezaljkama elektromotora i protjecanje struje kroz elektromotor, što uzrokuje promjenu smjera vrtnje, u ovom slučaju u smjeru suprotnom od kazaljke na satu [10].



Slika 3.13. H-most u režimu kočenja elektromotora s obrnutim smjerom vrtnje

Kočenje se ostvaruje na isti način kao i u prethodno navedenom slučaju. Prekidač P2 ostaje uključen, dok je prekidač P3 isključen. Isključenjem prekidača P3 struju počinje provoditi dioda D1. Tok struje zatvara se kroz diodu D1 do zatvorenog prekidača P2 i kroz stezaljke elektromotora.

Prilikom promjene smjera kretanja iz unaprijed prema unatrag i obrnuto, važno je smanjiti radni ciklus na 0 pomoću potencijometra te pričekati da se motor potpuno zaustavi. Nakon što se motor potpuno zaustavio moguće je promijeniti smjer pomoću vanjske sklopke i pojačati radni ciklus PWM-a. Bilo kakvo naglo mijenjanje smjera vrtnje može prouzročiti strujna naprezanja u komponentama upravljačke pločice i oštetiti ih, budući da pločica nije namijenjena za vraćanje energije u baterije ili strujno kočenje [10].

Odabir smjera vrtnje postiže se pomoću vanjske sklopke spojene na upravljačku pločicu.

Sklopka ima 3 položaja:

- položaj 0: stanje mirovanja
- položaj I: vožnja unatrag
- položaj II: vožnja unaprijed



Slika 3.14. Sklopka za biranje smjera kretanja prema naprijed ili natrag

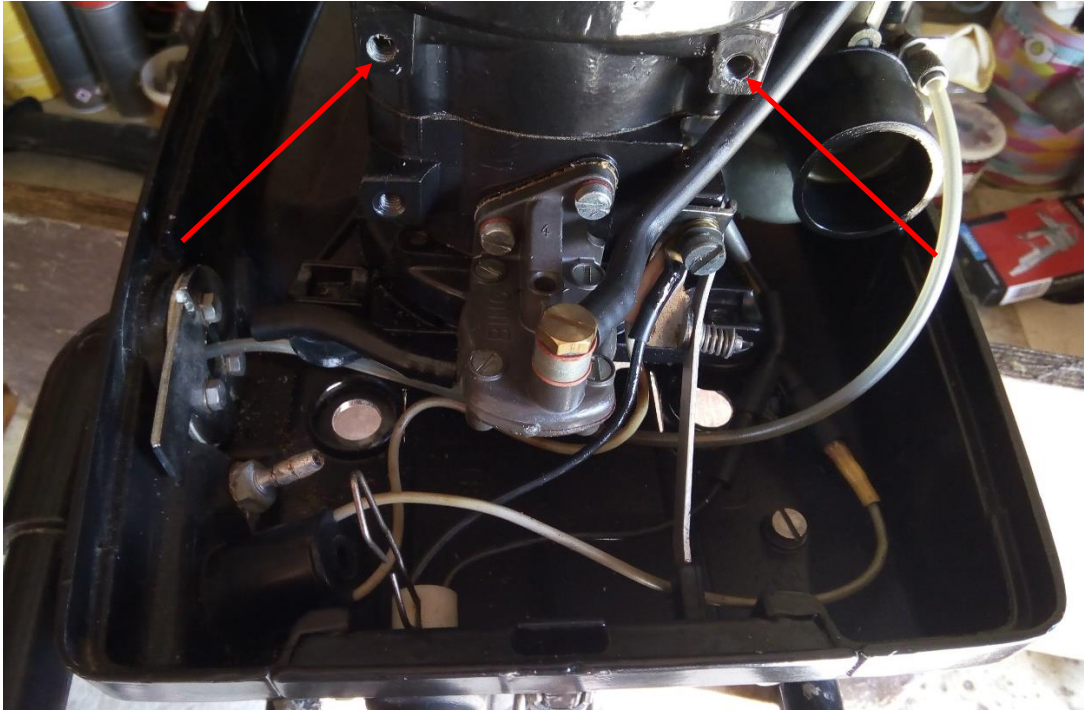
Pomoću vanjske sklopke šalje se upravljački signal koji uključuje prekidače H-mosta ovisno o odabranom položaju.

3.3 Izvor napajanja

Kao izvori napajanja koriste se baterije od 12V. Za glavni izvor napajanja namijenjena je jedna ili više baterija većeg kapaciteta smještenih izvan kućišta vanbrodskog motora. Uloga glavne baterije je osigurati napajanje pogonskom elektromotoru u vožnji na duljim putovanjima. Kako bi se motor mogao priključiti na glavnu bateriju, ugrađena je utičnica smještena s lijeve bočne strane kućišta. Unutar kućišta nalazi se još jedna baterija manjeg kapaciteta od 7.5 Ah koja služi kao rezervna baterija u slučaju kvara glavne baterije ili za kraću vožnju. Ugrađena je u vlastito metalno kućište koje služi kao zaštita baterije i sprječava bateriju od prevrtanja prilikom transporta. Za odabir izvora napajanja ugrađen je prekidač s funkcijom 0 – 1 – 2 gdje je položaj 1 odabir unutarnje baterije, položaj 2 odabir vanjske baterije, a položaj 0 je prekid napajanja.

4. Proces prerade u električnu verziju

Proces prerade započeo sam s uklanjanjem svih komponenti koje će biti zamijenjene elektroničkim varijantama. Za početak je bilo potrebno maknuti zračni filter usisne grane koji se nalazi s prednje strane dvotaktnog motora kako bi se omogućio pristup dijelovima ispod filtra.

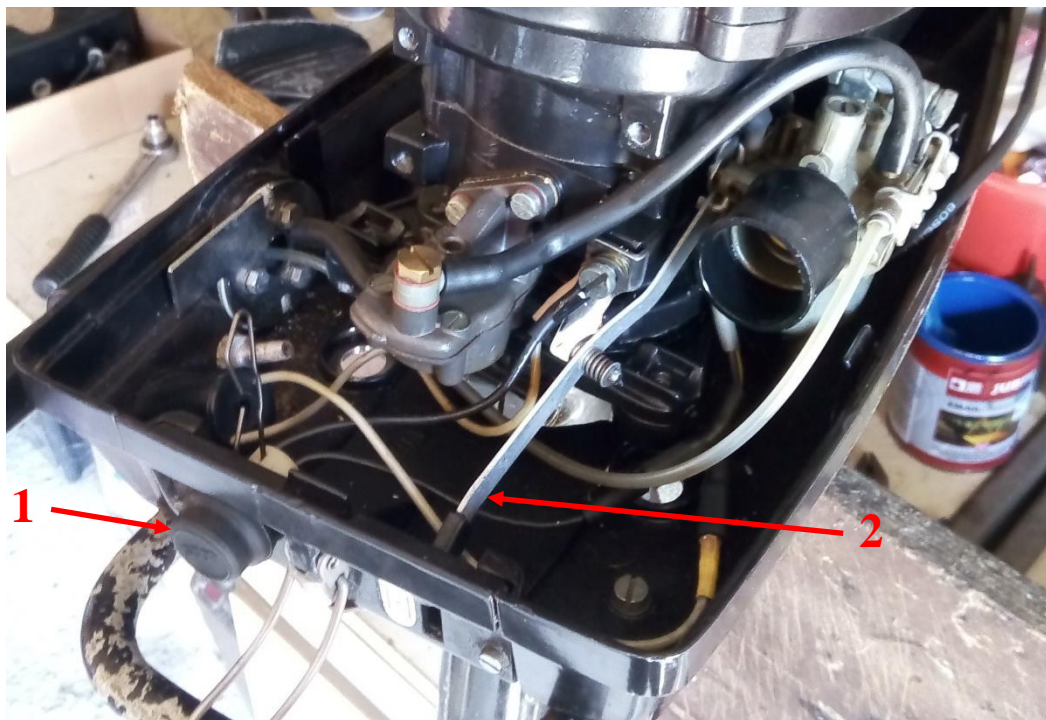


Slika 4.1. Prikaz mjesta montiranja zračnog filtra

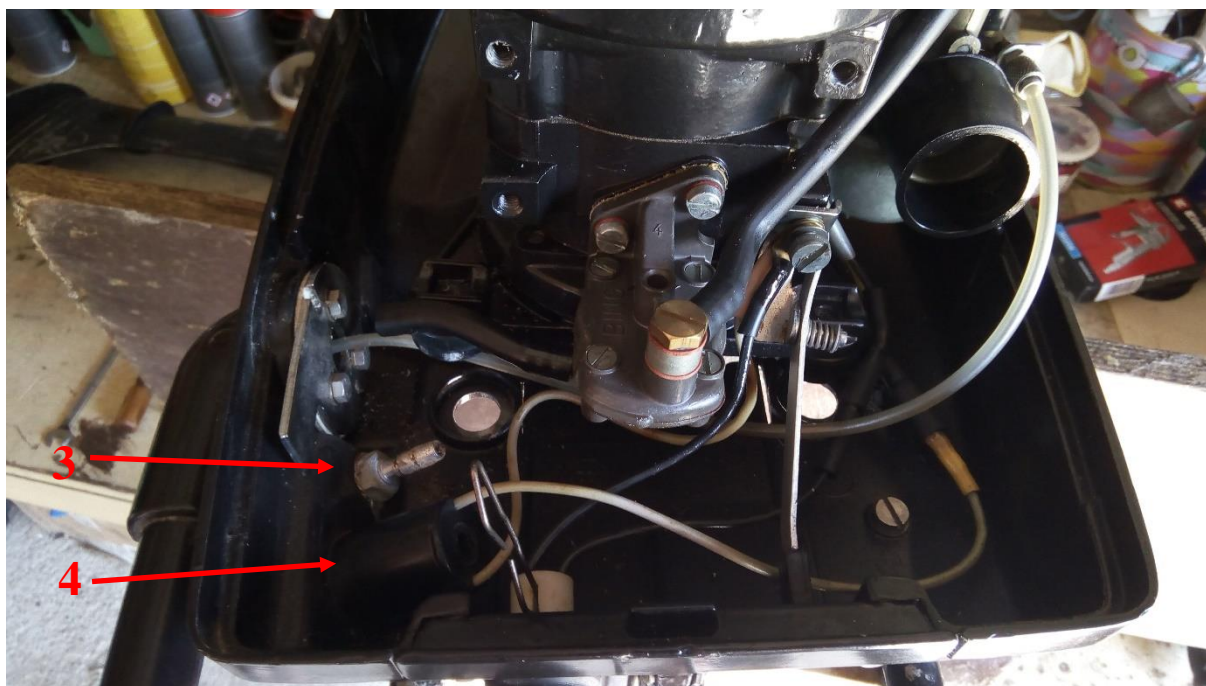


Slika 4.2. Zračni filter

Kako bi bilo jednostavnije demontirati motor, najprije treba odspojiti sve vanjske priključke. Nakon što sam odstranio filtar, odspojio sam priključak za vanjsku rasvjetu, gumb za gašenje motora, priključak za crijevo goriva rezervoara i regulator usisa prilikom paljenja motora.

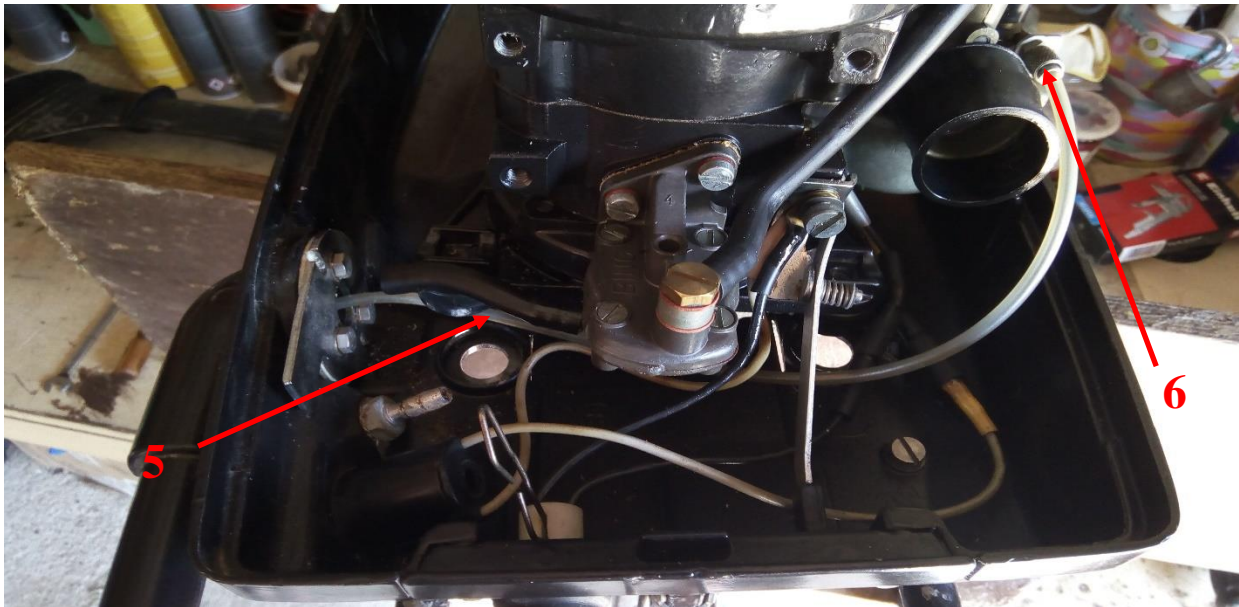


Slika 4.3. „Stop“ gumb (1) i regulator usisne grane za paljenje motora (2)



Slika 4.4. Priključak za crijevo goriva (3) iz rezervoara i utičnica za vanjsku rasvjetu (4)

Sljedeći dio koji je trebalo odspojiti je čelično uže koje povezuje ručku s desne strane motora i regulacijsko krilce rasplinjača. Užetu je potrebno prvo smanjiti napetost kako bi se moglo maknuti iz sjedišta na sklopu za regulaciju krilca rasplinjača. Napetost se može regulirati pomoću zatezne matice ovisno po potrebi. Kada maticu odvinemo do kraja, uže se opusti te ga je moguće maknuti. Uže je smješteno u plastičnoj cijevi kako bi se spriječilo oštećenje.



Slika 4.5. prikaz upravljačkog čeličnog užeta (5) i mjesta montiranja zatezne matice (6)

Kako bi se pogonski motor mogao slobodno izvaditi, potrebno je odspojiti ispušni sustav koji se nalazi s desne strane pogonskog motora. Ispušna cijev pričvršćena je na pogonski motor i metalno kućište te odvodi ispušne plinove iz motora pa kroz metalno kućište ili „nogu“ vanbrodskog motora u vodu.

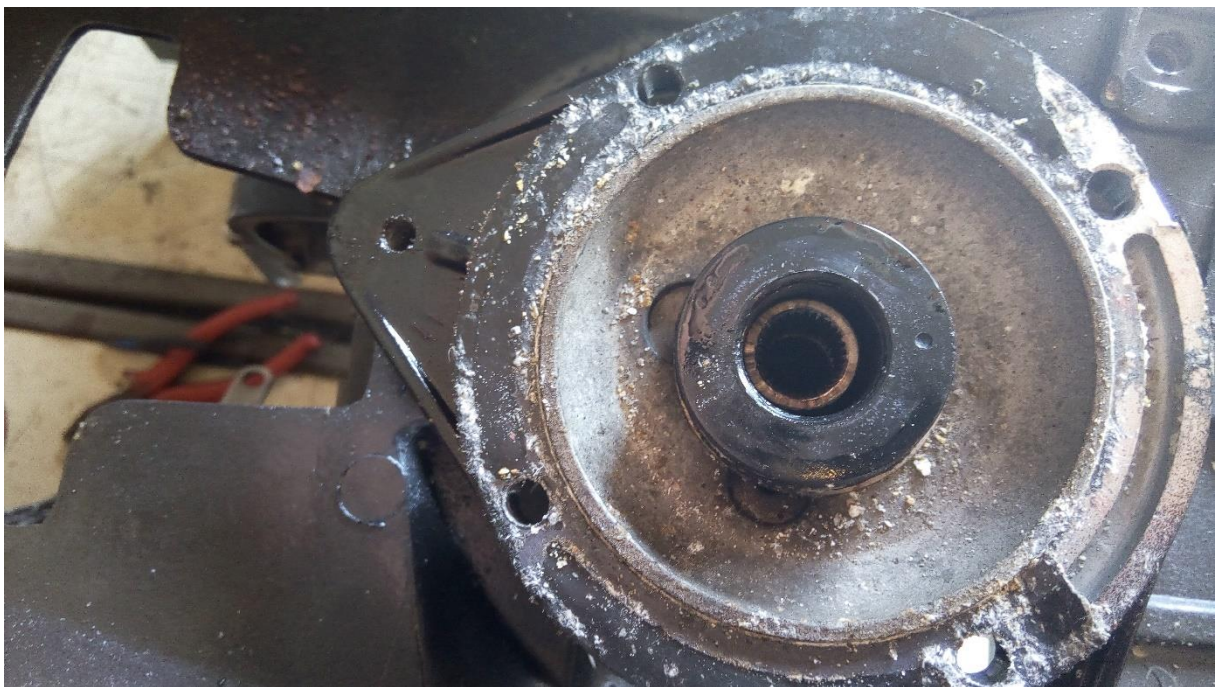


Slika 4.6. Mjesto montiranja ispušne cijevi (7)



Slika 4.7. Prikaz ispušne cijevi.

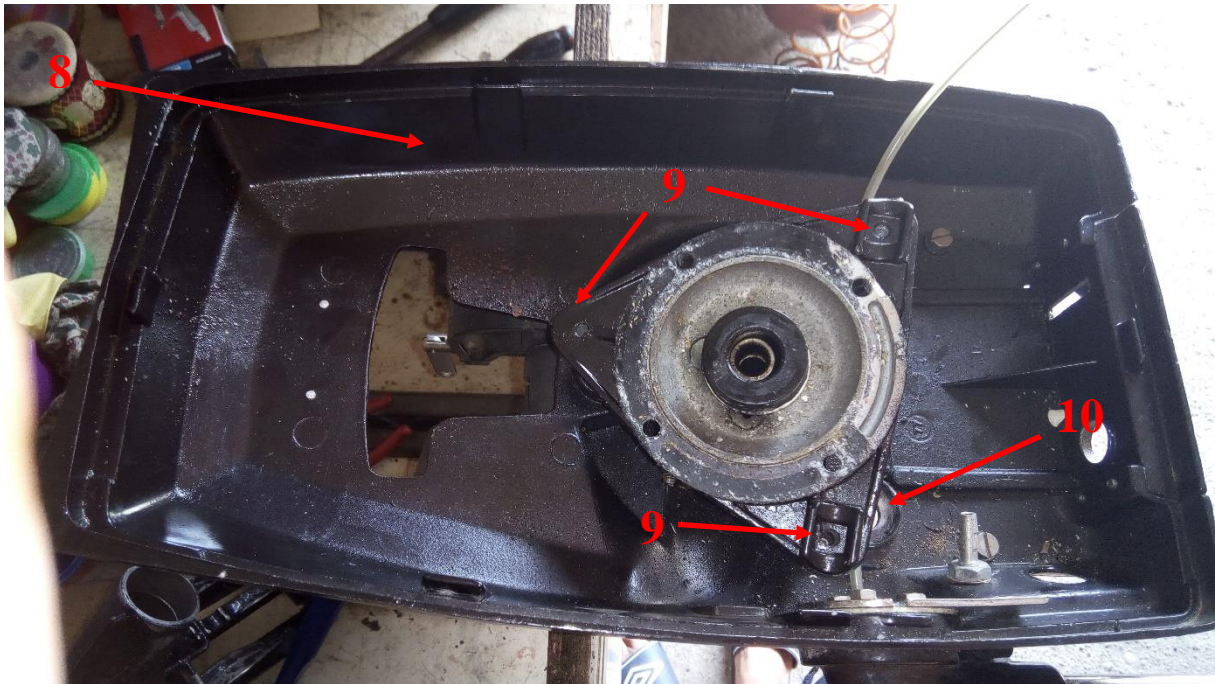
Nakon što sam maknuo sve potrebne dijelove, motor se može izvaditi s postolja na koje je pričvršćen. Pogonski motor je pričvršćen pomoću četiri vijka na metalno kućište ili „nogu“.



Slika 4.8. Mjesto na koje je pričvršćen pogonski motor

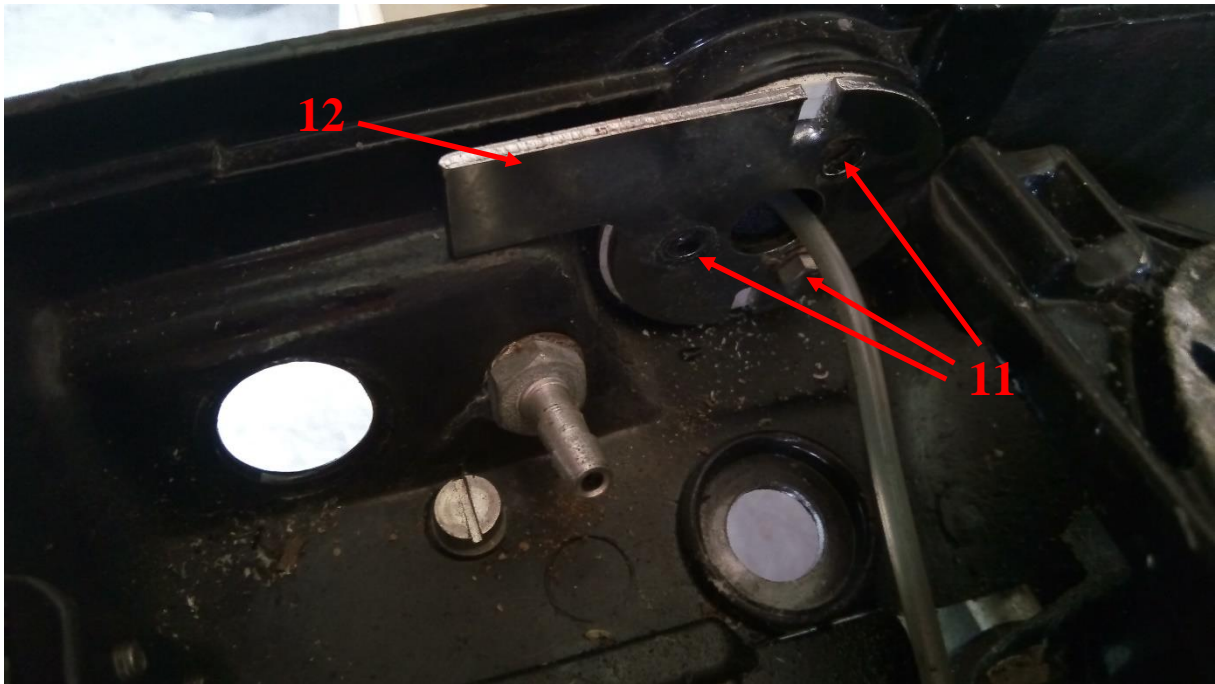
Također, na slici 4.8, možemo vidjeti i osovinu koja povezuje motorni pogon i propeler.

Metalno kućište, tj. „noga“, je pričvršćeno na postolje pomoću 3 vijka. Na svaki vijak stavljen je po jedan gumeni stabilizator koji dolazi između metalnog postolja i završetka metalnog kućišta na kojem su predviđena mjesta za pričvršćivanje na postolje. Gumeni stabilizatori služe za smanjenje vibracija te također razdvajaju dvije metalne površine kako bi se spriječilo oštećenje.



Slika 4.9. Prikaz metalnog postolja (8), mjesta spoja metalnog kućišta i postolja (9) i gumenih stabilizatora (10)

Posljednji dio koji je trebalo maknuti bila je upravljačka ručka. Smještena je s desne strane i pričvršćena na metalno postolje. Na kraju ručke, s unutarnje strane postolja, nalazi se graničnik koji služi za pričvršćivanje ručke na postolje. Graničnik također ograničava rotacije ručke u smjeru gore - dolje. Konstrukcija metalnog postolja služi također kao granica do koje se graničnik može rotirati i na kojoj se zaustavi.



Slika 4.10. Prikaz mjesta pričvršćivanja ručke (11) i graničnika (12)

Nakon što sam odstranio sve dijelove koji neće biti korišteni, slijedila je obnova svih dijelova koji će kasnije biti ponovno korišteni. Budući da je motor prethodno bio korišten, vidljivi su tragovi oštećenja poput ogrebotina na metalnoj „nozi“, hrđa na vijcima itd. Također, trebalo je očistiti unutrašnjost metalnog postolja i vanjsko metalno kućište „noge“ od masnih mrlja, prašine i ostalih prljavština. Za odstranjivanje masnoća koristio sam sredstva za odstranjivanje masnih mrlja. Nakon što sam odstranio masnoće i ostale prljavštine, krenuo sam s popravkom mehaničkih oštećenja. Sve površine metalnih dijelova motora brusio sam finim brusnim papirom kako bih odstranio stari lak i boju do golog metala. Zatim sam s malo grubljim brusnim papirom brusio površine oko i na mjestima s oštećenjima. Na kraju brušenja svi su dijelovi oprani kako bi se odstranila prašina koja je nastala prilikom brušenja.

Nakon što su se dijelovi osušili krenuo sam s bojanjem. Za bojanje sam koristio sprej za metalne površine crne i crvene boje.



Slika 4.11. Prikaz obnovljenih dijelova motora i novih dijelova elektronike

Elektromotor koji će biti korišten također sam obnovio. Kućište motora je očišćeno i iznova obojano. Također, stavljene su nove četkice.



Slika 4.12. Obnovljeni elektromotor

Sljedeći korak bio je sastavljanje vanbrodskog motora s novim dijelovima i onima koji su prethodno bili obnovljeni. Prvo sam pričvrstio metalno postolje s „nogom“ motora. Postupak montiranja isti je kao i kod originalne verzije, budući da na tom dijelu nema nikakvih izmjena.

Zatim sam pričvrstio propeler i novu upravljačku ručku. Stavljena je nova ručka koja služi samo kao kormilo, tj. za upravljanje smjerom kretanja. Za ugodnije korištenje stavljena je gumena ergonomska drška.



Slika 4.13. Prikaz nove ručke za upravljanje smjerom kretanja

Nadalje, ugradio sam elektromotor. Elektromotor je ugrađen izravno na osovinu, bez dodatnih prijenosa, pomoću dodatne prirubnice. Ta prirubnica pomaže kod učvršćivanja elektromotora i gumene brtve koja se nalazi između prirubnice i mjesta montiranja na metalnoj „nozi“.



Slika 4.14. Elektromotor s ugrađenom prirubicom

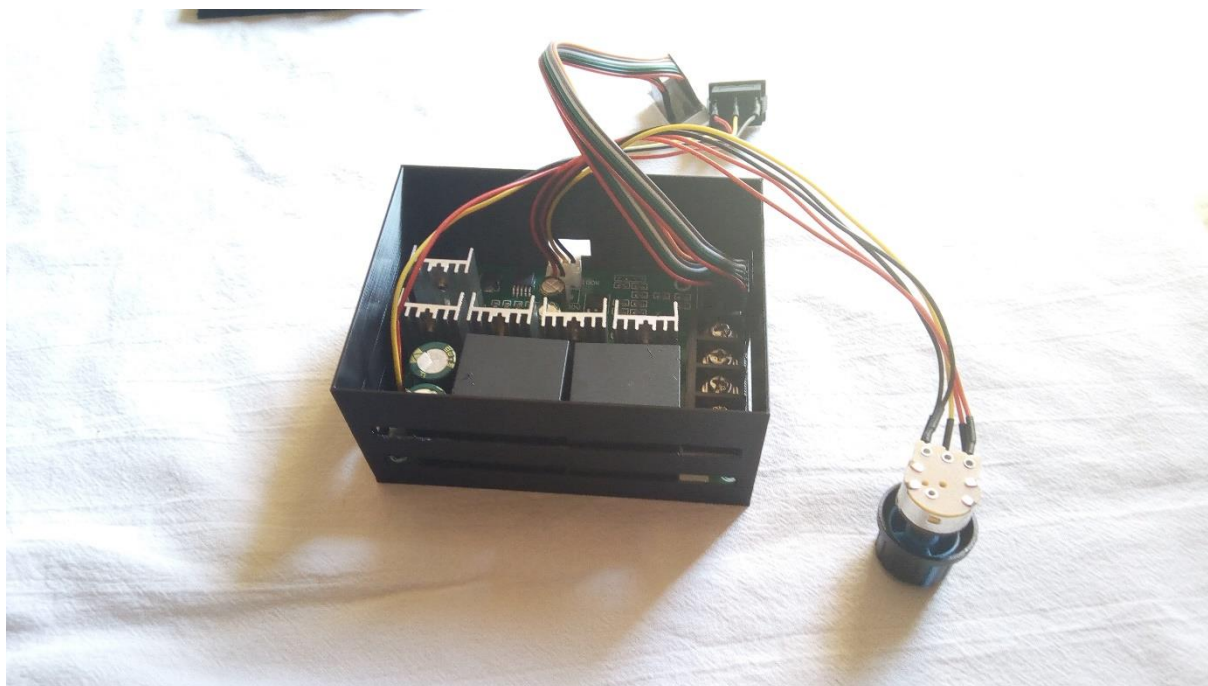
Slijedila je ugradnja akumulatora. Kako bi se lakše i sigurnije mogao ugraditi, akumulatoru je izrađeno kućište od nehrđajućeg čelika. Kućište je ugrađeno na stražnji dio postolja i pričvršćeno pomoću 4 vijka. Na vrhu kućišta stavljena je metalna pločica koja služi kao zaštita za bateriju kako bi spriječila prevrtanje ili ispadanje baterije u slučaju većih naginjanja motora.



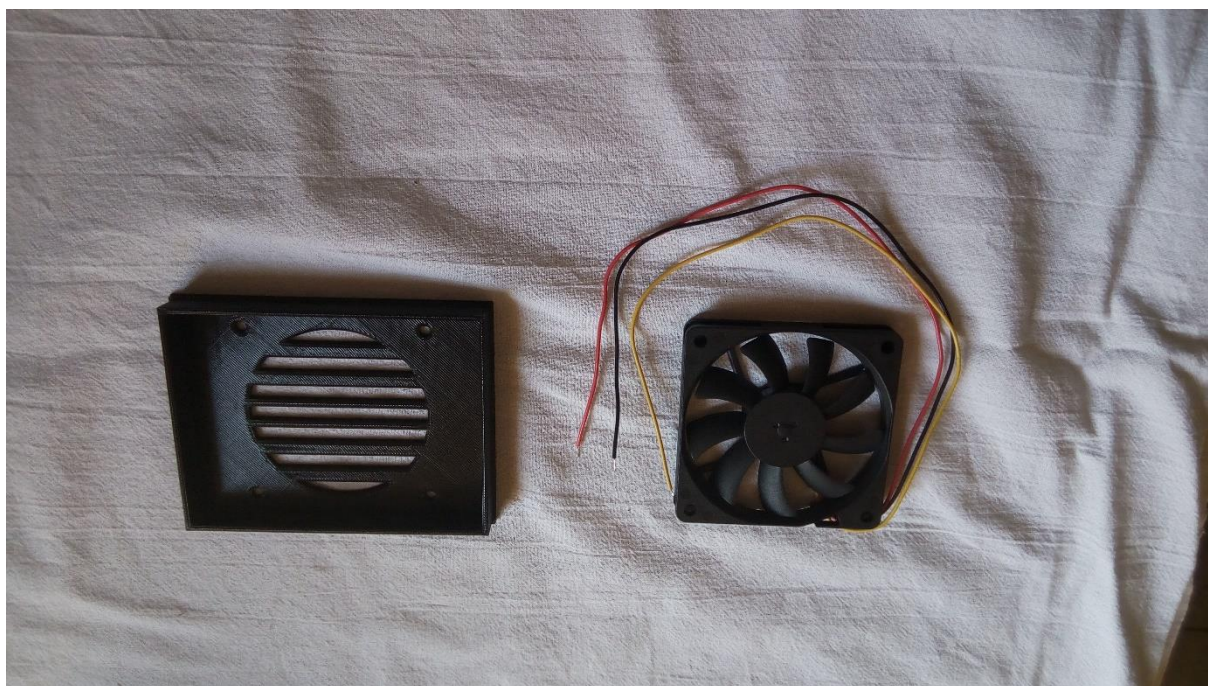
Slika 4.14. Prikaz kućišta akumulatora

Nakon ugradnje akumulatora, zajedno s kućištem, ugradio sam upravljačku elektroničku pločicu. Kao i za akumulator, trebalo je izraditi dodatno kućište za sigurnost pločice i lakšu ugradnju. Izradio sam plastično kućište u koje će biti ugrađena upravljačka pločica te poklopac kućišta na koji će se montirati mali ventilator za hlađenje pločice.

Kućište i poklopac samostalno su rađeni tehnologijom 3D printanja od PLA plastike te su ugrađeni s prednje strane postolja.



Slika 4.15. Kućište za upravljačku pločicu



Slika 4.16. Poklopac kućišta upravljačke pločice

Slijedila je ugradnja prekidača, potenciometra i vanjskih priključaka. Prekidač za biranje unutarnjeg ili vanjskog akumulatora ugrađen je s vanjske desne strane postolja, dok su prekidač za biranje smjera kretanja, potenciometar i priključak vanjskog akumulatora ugrađeni s vanjske lijeve strane.

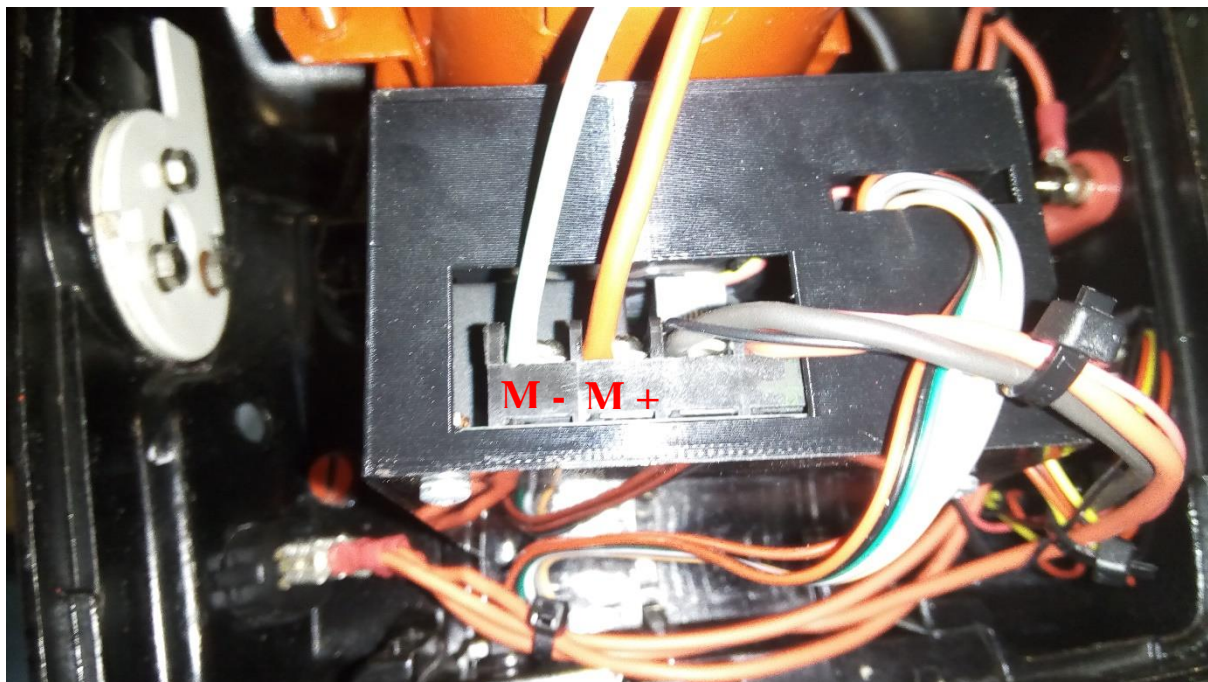


Slika 4.17. Prekidač za biranje akumulatora

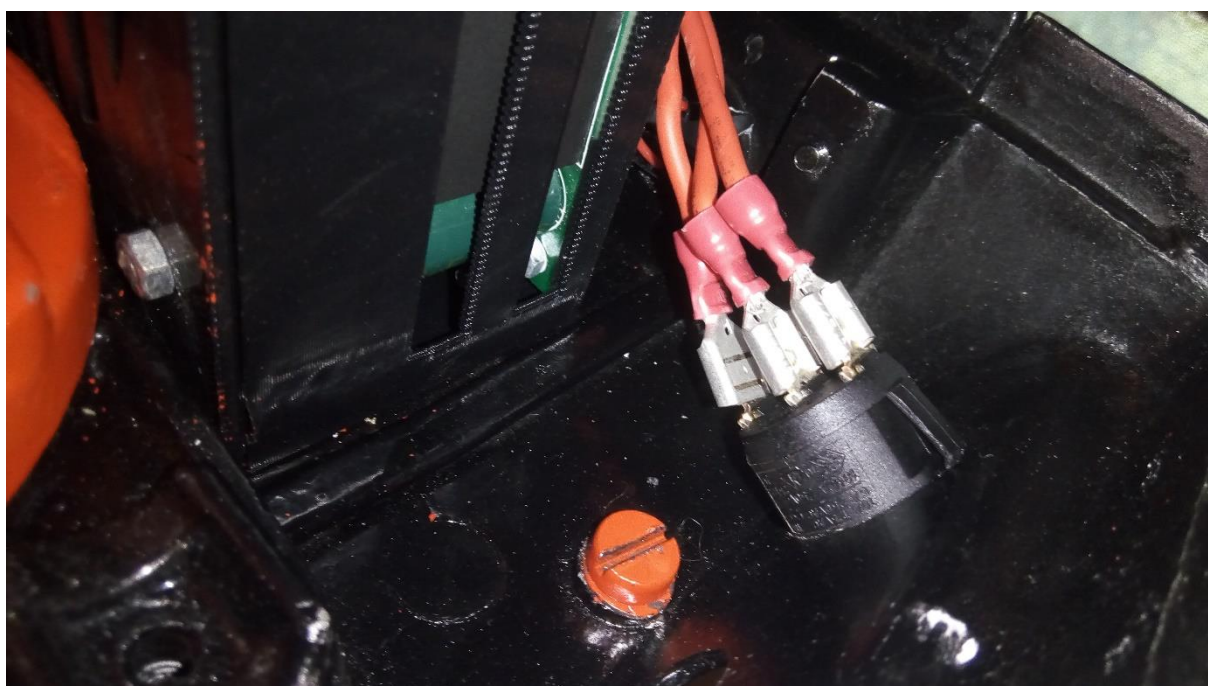


Slika 4.18. Prekidač za biranje smjera kretanja, potenciometar i priključak vanjskog akumulatora

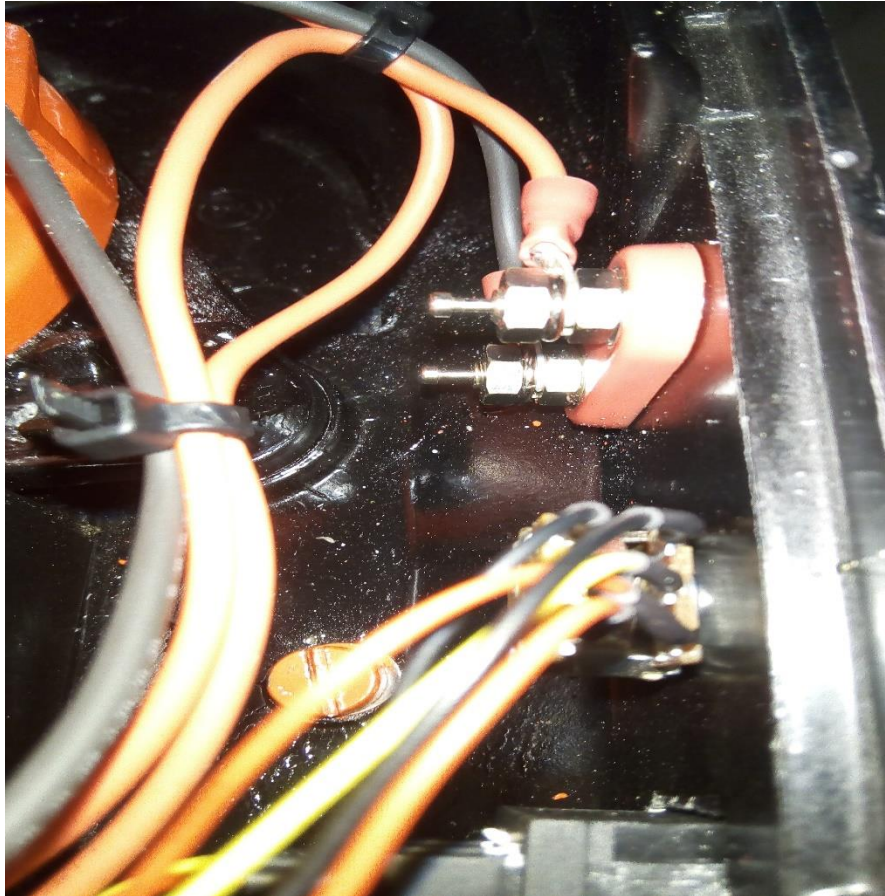
Završetkom ugradnje svih potrebnih dijelova slijedilo je ožičavanje unutarnjih radnih komponenata.



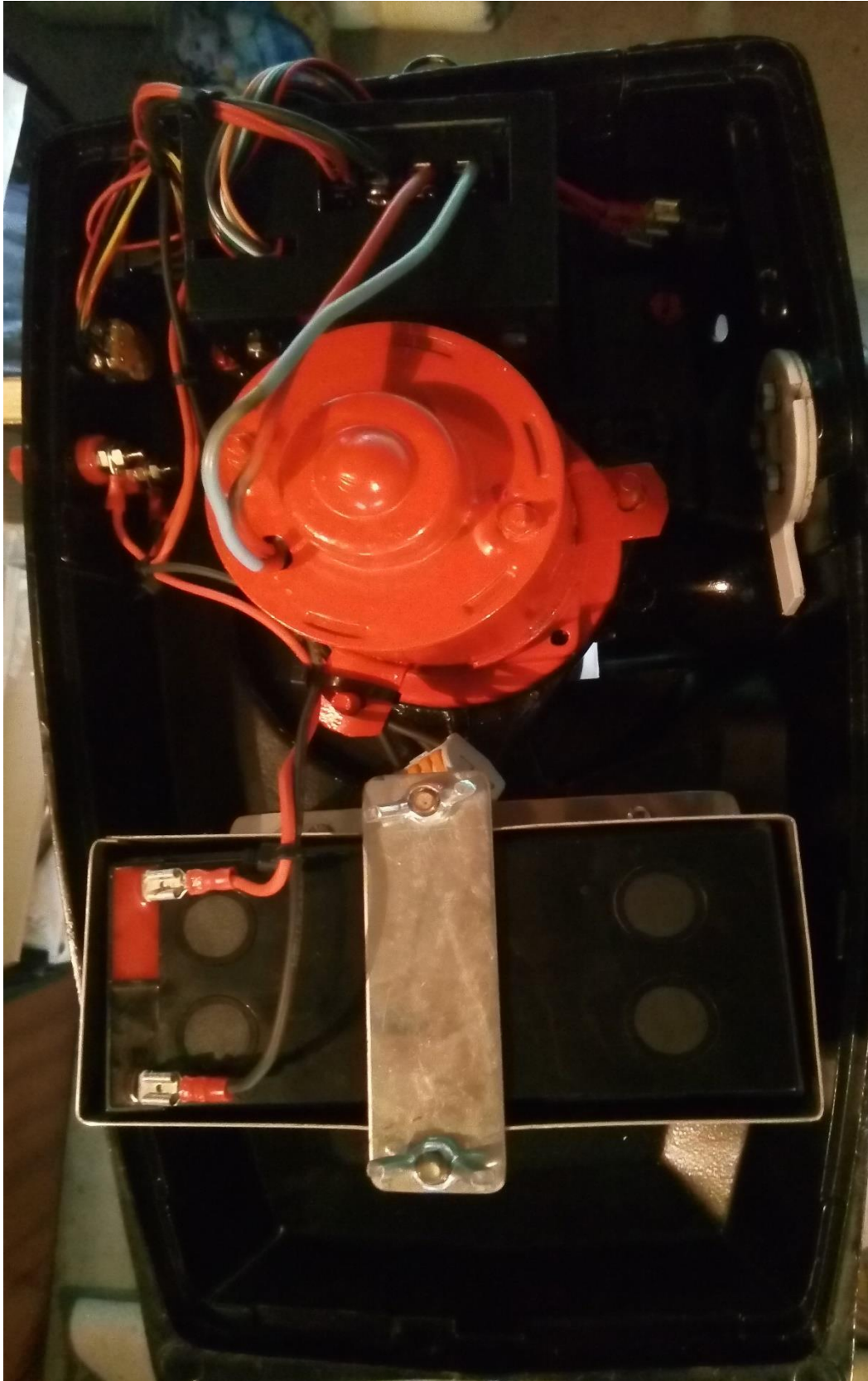
Slika 4.19. Prikaz spoja stezaljki motora (M) i napajanja pločice



Slika 4.20. Prikaz ožičenog prekidača za biranje akumulatora

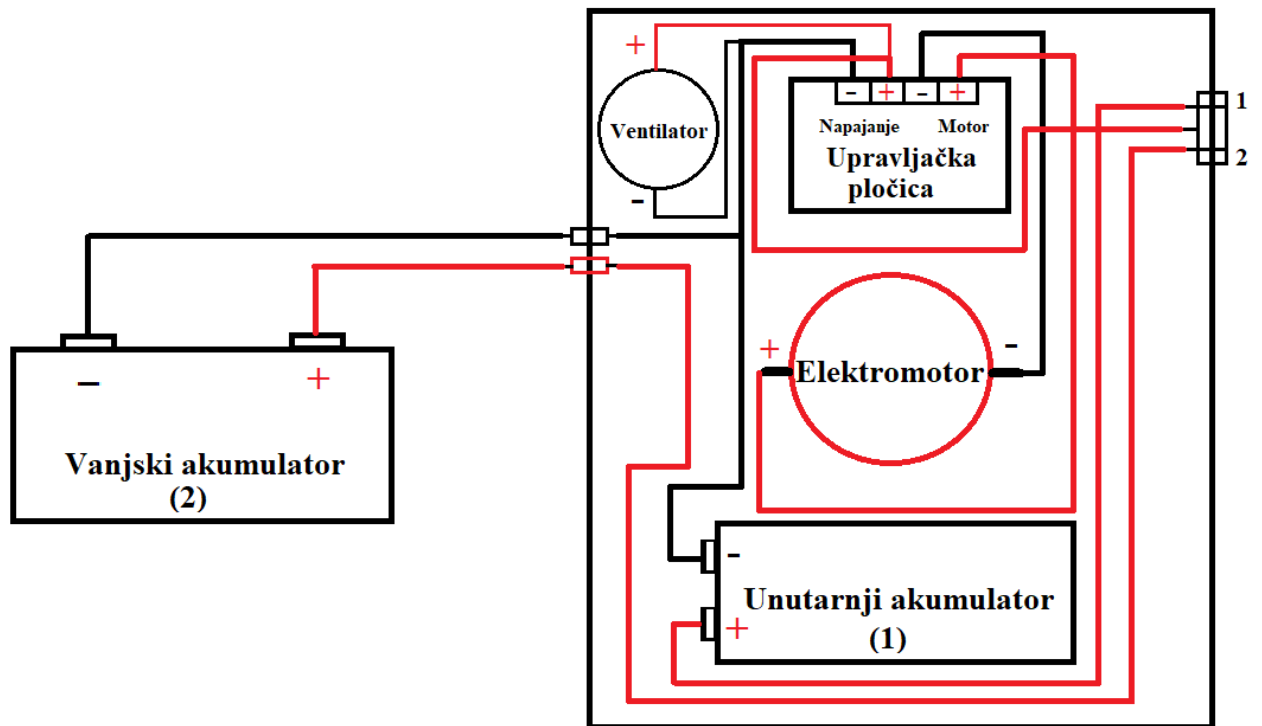


Slika 4.21. Ožičen priključak vanjskog akumulatora



Slika 4.22. Prikaz završnog ožičenja

Za ožičavanje su korištene žice kvadrature 1.5 mm², a samo ožičavanje rađeno je po shemi prikazanoj na slici ispod:



Slika 4.23. Pojednostavljeni prikaz sheme ožičavanja

Elektromotor je spojen na stezaljke upravljačke pločice na predviđeno mjesto. Pozitivan pol (+) unutarnjeg akumulatora (1) spojen je na stezaljku 1 prekidača za odabir akumulatora, a pozitivan pol (+) vanjskog akumulatora (2) spojen je na stezaljku 2 prekidača za odabir akumulatora. Zajednička stezaljka pozitivnog pola (+) na prekidaču za biranje akumulatora spojena je na pozitivan pol (+) upravljačke pločice. Negativni polovi (-) unutarnjeg i vanjskog akumulatora spojeni su na zajedničku točku pomoću spojnice prikazane na slici 4.48. i na negativan pol (-) upravljačke pločice. Ventilator je spojen na upravljačku pločicu na ulaz napajanja.



Slika 4.24. Prikaz spojnice zajedničke točke negativnih polova akumulatora

Nakon završetka ožičavanja započeo sam sa završnim pregledom svih sustava vanbrodskog motora te sam započeo testiranje. Testiranje svih funkcija koja električna verzija nudi završila su uspješno. Važno je napomenuti da električna verzija kao i originalna verzija vanbrodskog motora nisu namijenjena za rad ili testiranje u „suhim“ uvjetima. Razlog tome je trenje koje se razvija između osovine propelera i brtve prilikom dugotrajnog rada u suhim uvjetima. Na taj se način brtva može oštetiti što može uzrokovati propuštanje vode i nečistoća u sustav zupčanika ukoliko se ne uoči oštećenje prije korištenja na vodi.

5. Zaključak

Svrha ovog završnog rada bila je pretvoriti izvorni vanbrodski motor Tomos T-4 u verziju s električnim pogonom te opisati i objasniti princip rada prerađene verzije. U teorijskom dijelu rada navedene su glavne komponente električne verzije vanbrodskog motora te je objašnjen njihov način rada i njihova uloga. Istosmjerni elektromotor kolektorskog tipa, snage 200 W, korišten je kao pogonski motor te zamjenjuje dvotaktni motor izvorne verzije. Ugrađen je izravno na osovinu bez dodatnih prijenosa. Upravljanje načinom rada pogonskog elektromotora omogućuje upravljačka jedinica. Kao tehnika upravljanja brzinom vrtnje motora koristi se pulsno-širinska modulacija, PSM, ili eng. PWM (Pulse Width Modulation). PWM metoda zasniva se na upravljanju analognih krugova pomoću digitalnih signala. Uzastopnim brzim paljenjem i gašenjem digitalnog signala generiraju se pravokutni impulsi jednakih amplituda u zadanom periodu. Kontrolom radnog ciklusa signala određuje se jačina izlaznog napona koja se dovodi elektromotoru te se na taj način postiže upravljanje brzinom vrtnje elektromotora, a samim time i brzina kretanja. PWM metoda često je korištena kod regulacije LED rasvjete, regulacije brzine elektromotora, zaštite manjih solarnih stanica, a također se koristi u mehatronici. Prednosti PWM metode su financijska isplativost, ušteda energije, smanjenje disipacije energije i jednostavna, ali i učinkovita kontrola željenog sustava. Iako se PWM metoda široko primjenjuje u elektrotehnici i mehatronici zbog svojih prednosti, ona također ima svoje nedostatke. Glavni nedostatak PWM metode jest frekvencija paljenja i gašenja generiranog impulsa. Ukoliko se ne osigura stabilna i velika frekvencija uključivanja i isključivanja generiranog signala, dolazi do nestabilnosti upravljanog sustava. Male frekvencije dovode do povećanog vremenskog razmaka između uključenog i isključenog stanja generiranog signala, što uzrokuje i nestabilan dovod napajanja na upravljani stroj. Posljedice nestabilnog dovoda napajanja mogu biti nepravilan rad ili čak i kvar stroja.

Uz upravljanje brzine vrtnje elektromotora, upravljačka jedinica omogućava kontrolu smjera vrtnje elektromotora. Promjena smjera vrtnje realizirana je pomoću H- mosta čiji se rad temelji na upravljanju logičkih prekidača, najčešće tranzistori ili MOSFET, koji određuju smjer protoka struje kroz elektromotor, a samim time i smjer vrtnje elektromotora. Kao izvor napajanja koristi se 12V baterija smještena unutar kućišta motora u obliku rezervne baterije manjeg kapaciteta, dok je glavna baterija većeg kapaciteta smještena izvan kućišta. Ovisno o potrebi korištenja, moguće je birati koja će baterija napajati sustav pomoću prekidača smještenog na bočnoj strani kućišta.

U praktičnom dijelu završnog rada objašnjen je detaljan postupak prerade izvorne verzije vanbrodskog motora Tomos T-4 u električnu verziju. Prerada je započela s uklanjanjem svih nepotrebnih dijelova. Uslijedilo je čišćenje preostalih dijelova koji će biti korišteni, kao što su metalno postolje, poklopac, metalno kućište ili „noga motora“, propeler i postolje za pričvršćivanje. Nakon završetka obnove, vanbrodski motor ponovno je sastavljen u prvobitno stanje te je slijedila ugradnja električnih dijelova i ožičavanje.

U usporedbi s izvornom verzijom Tomosa T-4, električna verzija je znatno tiša te proizvodi manje vibracija prilikom rada. Jednostavnija je za održavanje, manje je mase i sigurnija je prilikom transporta. Budući da ne proizvodi nikakve ispušne plinove, električna verzija je sigurnija i prihvatljivija za okoliš. Iako ima svoje prednosti, električna verzija također ima svoje nedostatke. Glavni nedostatak je osjetljivost električnih dijelova na strujno-naponska naprezanja prilikom rada, stoga je potrebno pažljivo i savjesno rukovati s njome. Nadalje, električna verzija ima manji domet. Kako bi se osigurao dovoljan domet prilikom vožnje, potreban je veći broj baterija koje zbog svoje mase mogu predstavljati problem za skladištenje.

Električna verzija izrađena je isključivo za demonstracijske svrhe te kao takva nije namijenjena za korištenje kao pogon plovila. U slučaju korištenja kao pogon plovila bilo bi potrebno ugraditi elektromotor veće snage koji ima mogućnost razvijanja većeg broja okretaja kako bi se proizveo jači potisak. Uz nadogradnju motora također bi bilo potrebno nadograditi set baterija većeg kapaciteta i prilagoditi jačinu napona ovisno o potrebi elektromotora. Pritom je naravno potrebno ugraditi drugačiji model upravljačke pločice koji bi zadovoljavao potrebe drugačijeg pogonskog elektromotora. Nadogradnjom na dijelove sposobnih za jača opterećenja nužno je osigurati sustav hlađenja koji će održavati stabilne radne temperature i sprječavati moguća pregrijavanja.

Literatura

- [1] TOMOS 4 Priča o legendarnoj penti , URL : <https://demosmedia.hr/2021/01/13/prica-o-legendi-penta-tomos-4/>
- [2] TOMOS 4 Priručnik za održavanje, URL : https://www.jurec.hr/Content/Images/uploaded/Dokumenti/tomos_t4.pdf
- [3] Kaiser, D. (1949). Osnovi elektrotehnike. Zagreb: Nakladni zavod hrvatske
- [4] Piotrovskij, L.M. (1974). Električki strojevi. Zagreb: Tehnička knjiga
- [5] Kolektorski elektromotori: URL: <http://ss-tehnicka-kt.skole.hr/upload/ss-tehnicka-kt/multistatic/56/kolektorski%20konstrukcija.pdf> (pristupljeno: 12.11.2022.)
- [6] Kuntic,D. (2022). Pulsno – širinska modulacija korištenjem Arduino uno
- [7] Otpornik: Osnovno o impulsno širinskoj modulaciji, URL: <http://www.otpornik.com/elektronika/motori/osnovno-o-impulsno-sirinskoj-modulaciji.html> (pristupljeno:17.01.2023.)
- [8] CircuitBread: What is a PWM signal?, URL : <https://www.circuitbread.com/ee-faq/what-is-a-pwm-signal> (pristupljeno 15.01.2023.)
- [9] Kumar R, Ray M, Basak S, Ray T (2019). Speed control of DC motor using pulse width modulation , Department of Electrical Engineering RCC INSTITUTE OF INFORMATION TECHNOLOGY CANAL SOUTH ROAD, BELIAGHATA, KOLKATA – 700015, WEST BENGAL Maulana Abul Kalam Azad University of Technology (MAKAUT), dostupno na: https://rcciit.org.in/students_projects/projects/ee/2019/GR16.pdf
- [10] Otpornik : Princip rada H – mosta 1, URL: <http://www.otpornik.com/elektronika/motori/princip-rada-h-mosta-1.html> (pristupljeno: 25.03.2023.)
- [11] Nathan Dumont Tutorials: H-Bridge tutorials URL: <https://nathandumont.com/blog/h-bridge-tutorial> (pristupljeno: 24.03.2023.)
- [12] url: <http://docplayer.gr/66943047-Magnetizam-ii-elektromagnetska-indukcija.html>

Popis slika

Slika 2.1. Pogonski dvotaktni motor, samostalno slikano

Slika 2.2. Ručni pokretač, samostalno slikano

Slika 2.3. Prikaz inducirane elektromotorne sile opisane sinusnom funkcijom, preuzeto sa [12]

Slika 2.4. Prikaz montiranja motora na čamac i sklopova upravljanja, preuzeto sa [2]

Slika 2.5. Prikaz upravljačkog krilca usisne grane na rasplinjaču, preuzeto sa [2]

Slika 2.6. Prikaz vanjskog spremnika goriva, preuzeto sa [2]

Slika 2.7. Prikaz kutnog prijenosa, preuzeto sa [2]

Slika 2.8. Elisa propelera, preuzeto sa [2]

Slika 3.9. Pojednostavljeni shematski prikaz izmjeničnog stroja, preuzeto sa [4]

Slika 3.1 Grafički prikaz induciranog napona u zavoju, preuzeto sa [4]

Slika 3.2. Pojednostavljeni shematski prikaz istosmjernog stroja, preuzeto sa [4]

Slika 3.3. Ispravljeni inducirani napon zavoja, preuzeto sa [3]

Slika 3.4. Usporedba pulsiranja induciranog napona kod izvedbe stroja s manjim i većim brojem lamela, preuzeto sa [3]

Slika 3.5. Upravljačka pločica, samostalno slikano

Slika 3.6. Generirani pravokutni impulsi, samostalno rađeno po uzoru na [7]

Slika 3.7. Prikaz generiranih pravokutnih signala u tri radna ciklusa, samostalno rađeno po uzoru na [7]

Slika 3.8. Potenciometar za kontrolu PWM ciklusa, samostalno slikano

Slika 3.9. LCD zaslon, samostalno slikano

Slika 3.10. Pojednostavljeni prikaz H – mosta, samostalno rađeno po uzoru na [10]

Slika 3.11. H – most u režimu kočenja elektromotora, samostalno rađeno po uzoru na [10]

Slika 3.12. H – most s obrnutim smjerom vrtnje elektromotora, samostalno rađeno po uzoru na [10]

Slika 3.13. H – most u režimu kočenja elektromotora s obrnutim smjerom vrtnje, samostalno rađeno po uzoru na [10]

Slika 3.14. Sklopka za biranje smjera kretanja prema naprijed ili natrag, samostalno slikano

Slika 4.1. Prikaz mjesta montiranja zračnog filtra, samostalno slikano

Slika 4.2. Zračni filter, samostalno slikano

Slika 4.3. „Stop“ gumb (1) i regulator usisne grane za paljenje motora (2), samostalno slikano

Slika 4.4. Priključak za crijevo goriva (3) iz rezervoara i utičnica za vanjsku rasvjetu (4), samostalno slikano

Slika 4.5. Prikaz pozicije čeličnog užeta i mjesta montiranja (6) čeličnog užeta, samostalno slikano

Slika 4.6. Mjesto montiranja ispušne cijevi (7), samostalno slikano

Slika 4.7. Prikaz ispušne cijevi, samostalno slikano

Slika 4.8. Mjesto na koje je pričvršćen pogonski motor, samostalno slikano

Slika 4.9. Prikaz metalnog postolja (8), mjesta spoja metalnog kućišta i postolja (9) i gumenih stabilizatora (10), samostalno slikano

Slika 4.10. Prikaz mjesta pričvršćivanja ručke (11) i graničnika (12), samostalno slikano

Slika 4.11. Prikaz obnovljenih dijelova motora i novih dijelova elektronike, samostalno slikano

Slika 4.12. Obnovljeni elektromotor, samostalno slikano

Slika 4.13. Prikaz nove ručke za upravljanje smjerom kretanja, samostalno slikano

Slika 4.14. Elektromotor s ugrađenom prirubnicom, samostalno slikano

Slika 4.15. Prikaz kućišta akumulatora, samostalno slikano

Slika 4.16. Kućište za upravljačku pločicu, samostalno slikano

Slika 4.17. Poklopac kućišta upravljačke pločice, samostalno slikano

Slika 4.18. Prekidač za biranje akumulatora, samostalno slikano

Slika 4.19. Prekidač za biranje smjera kretanja, potencijometar i priključak vanjskog akumulatora, samostalno slikano

Slika 4.20. Prikaz spoja stezaljki motora (M) i napajanja pločice, samostalno slikano

Slika 4.21. Prikaz ožičenog prekidača za biranje akumulatora, samostalno slikano

Slika 4.22. Ožičen priključak vanjskog akumulatora, samostalno slikano

Slika 4.23. Prikaz završnog ožičenja, samostalno slikano

Slika 4.24. Pojednostavljeni prikaz sheme ožičavanja, samostalno slikano

Slika 4.25. Prikaz spojnice zajedničke točke negativnih polova akumulatora, samostalno slikano



IZJAVA O AUTORSTVU

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, Jurica Mikloška pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor završnog rada pod naslovom Konverzija vanbrodskog motora s unutarnjim izgaranjem u električno pogonjen agregat te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student:

Jurica Mikloška

(vlastoručni potpis)

Sukladno čl. 83. Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Sukladno čl. 111. Zakona o autorskom pravu i srodnim pravima student se ne može protiviti da se njegov završni rad stvoren na bilo kojem studiju na visokom učilištu učini dostupnim javnosti na odgovarajućoj javnoj mrežnoj bazi sveučilišne knjižnice, knjižnice sastavnice sveučilišta, knjižnice veleučilišta ili visoke škole i/ili na javnoj mrežnoj bazi završnih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice, sukladno zakonu kojim se uređuje znanstvena i umjetnička djelatnost i visoko obrazovanje.