



Sander Saaliste

**YAMAHA YZF R6 ÜMBEREHITUS
ELEKTRIAJAMILE JA
ELEKTRIJUHTMESTIKU
PROJEKTEERIMINE NING KOOSTAMINE**

LÕPUTÖÖ

Tehnikainstituut
Autotehnika õppekava
Juhendaja: Kaido Hiieleek, *MSc*

Tallinn 2025

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina/meie, Sander Saaliste

annan Tallinna Tehnikakõrgkoolile (edaspidi kõrgkool) tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

Yamaha YZF R6 ümberehitus elektriajami peale ja elektriskeemi projekteerimine

- 1) reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada ja teha üldsusele kättesaadavaks Tallinna Tehnikakõrgkooli digiarhiivi DSpace kaudu;
- 2) reprodutseerimiseks pärast piirangu lõppu juhul, kui instituudi direktori korraldusega on kehtestatud lõputöö avaldamisele tähtajaline piirang.

Olen teadlik, et nimetatud õigused jäävad alles ka autorile ja kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid ega muid õigusi.

Autorideklaratsioon

Mina/meie, Sander Saaliste

tõendan/tõendame, et lõputöö on minu/meie kirjutatud. Töö koostamisel kasutatud teiste autorite, sh juhendaja ja iseenda varasematele teostele on viidatud õiguspäraselt.

Kõik isiklikud ja varalised autoriõigused käesoleva lõputöö osas kuuluvad autori/te/le ainuisikuliselt ning need on kaitstud autoriõiguse seadusega.

(allkirjastatud digitaalselt)

Juhendaja Kaido Hiieleek

Töö vastab lõputööle esitatavatele nõuetele.

(allkirjastatud digitaalselt)

Lõputöö on kaitsmisele lubatud instituudi direktori korraldusega.

SISUKORD

SISSEJUHATUS	4
1 OHUTUS JA REEGLID	5
1.1 Hädaolukorras ratta pingetustamine	6
1.2 Seadused	7
1.3 Vajalikud tegevused sõiduvahendi legaliseerimiseks	8
2 PARAMEETRID.....	9
2.1 Harjadeta alalisvoolumootor	9
2.2 Aku	11
2.3 Juhtmoodul	12
2.4 Muundur	15
2.5 Kaitsefunktsioonid	16
2.6 Pistikud.....	17
3 PÕHIMÕTTELINE SKEEM.....	18
3.1 Elektriskeem.....	19
3.2 Arvutused	21
3.3 Elektrimootorrattale kohalduvad standardid	23
4 PAIGUTUS RAAMIL	24
5 MAJANDUSLIK ANALÜÜS	28
KOKKUVÕTE	29
SUMMARY.....	30
KASUTATUD ALLIKAD	31
LISADE LOETELU	33
Lisa 1. Seadused	34

SISSEJUHATUS

Autori tööks on projekteerida elektrijuhtmestik mootorattale, mis enne oli bensiinimootoriga, aga nüüd soovitakse see ümber ehitada elektriajamile. Elektri ohtlikkust inimene ei taju, elekter ei tee müra, ei erita soojust ega lõhna. Pingestatud juhet pole ka võimalik kuidagi eristada pingestamata juhtmest. Sellepärast tuleb rääkida ka ohutusest ning ohutusnõuetest. Kõrgepingega töötamisel on omad nõuded ja kaitsevarustus, mida tuleb järgida, kindlasti ka kasutada. Jälgida tuleb kõiki silte ja ohutuseeskirju, ükskõik kui mõtetud nad mõnikord ei tundu. Ohtlikud pinged autotehnikas on alates 30 V vahelduvpinget ja 60 V alalispinget, Projekteeritaval rattal on mõlemad olemas. Mootorrattale läheb 72 V 100 Ah aku ja 52-90 V 12 KW harjavaba alalisvoolumootor, mida juhib 32bitine juhtmoodul. Töös tuleb leida juhtmetele sobivad ristlõiked, otsida välja vajalikud standardid, millele juhtmed ja pistikud peavad vastama, et peaksid vastu niiskusele ja vibratsioonile. Leida millistele seadustele peab ümberehitus vastama ja mis tuleb kogu ehituse maksumuseks. Samuti tuleb leida informatsiooni, kuidas need komponendid töötavad ja mis on tööpõhimõtted, kuidas töötavad erinevad juhtmooduli kaitsefunktsioonid ja millised on veakoodid.

Lõputöö käigus tuleb koostada õpetus, kuidas järgmisele samalaadsele projektile saaks paigaldada juhtmestiku ja mida selleks vaja on, kuna koolil on plaanis 2 taolist ratast veel ehitada, aga erineva raami peale siis on õpetus üldisem. Välja on vaja mõelda, kuidas kinnitada juhtmestik raamile nii, et see peaks vastu raputustele ja erinevatele ilmastikuoludele.

1 OHUTUS JA REEGLID

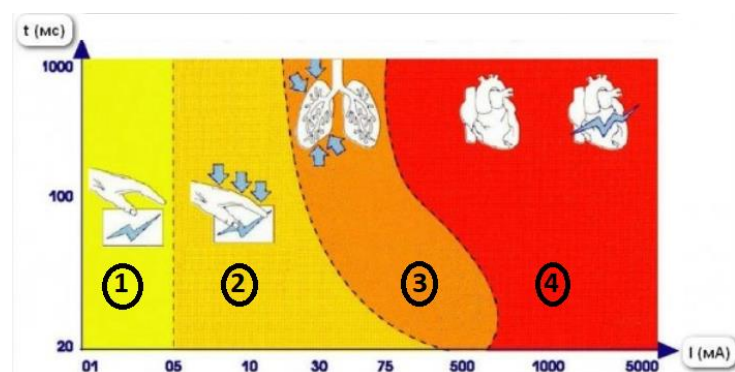
Kuna projekteeritav elektriskeem ja juhtmestik sisaldab ka kõrgepinget siis tuleb rääkida ohutusest ja nõuetest kõrgepingega töötamisel. Eesti seadusandlus ei ole veel järele jõudnud, aga näiteks Euroopaliidus peab iga elektrisõiduki tehnik olema läbinud elektriohutuse koolituse. Elektriohutuskoolitus hoiatab elektrilöögi ohtude eest ja õpetab tegutsema hädaolukorras, kui peaks juhtuma õnnetus.

Ohtlikud pinged autotehnikas on alates 30 V vahelduvpinge ja 60 V alalispinge, See on tunduvalt madalam pinge kui tavaliste elektripaigaldiste puhul. Tavaliste elektripaigaldiste puhul on ruumid, käed ja jalanõud kuivad, aga autotehnikas võib olla töökojas põrand märg ja tehnika ise ka niiske. Üldiselt on tingimused väga muutuvad ja sellepärast on ka voolu ohtlikuse tasemed madalamad. Inimesele loetakse ohtlikuks juba 50 mA vool, mis võib põhjustada pöördumatuid tagajärgi.

Arvutame:

- Inimkeha takistus ca 1000 oomi $U = I \times R$ ohtlik $I = 50/1000 = 0,05A$ ehk 50 mA - piiri peal
- Inimkeha takistus niiskete kätega ca 400 oomi $I = 50/400 = 0,125A$ 125 mA - kaks korda üle ohutu piiri, tekib elektrilöök.
- Elektrivoolu ohtlikkus sõltub ennekõike voolu suurusest ja kestusest. Kõige ohtlikumaks peetakse voolu kulgemist läbi parema käe ja vasaku jala, sest see läbib südame piirkonda.

Peale voolutugevuse on oluline ka voolu mõjumise aeg kehale, kui pikalt vool kehale mõjub. Mida pikemalt vool inimkehale mõjub, seda suuremaid kahjustusi see tekitab. Voolu tugevuse ja aja suhet näeme pildil (Sele 1)



Sele 1. Voolu mõju ajaga [8]

Aja ja voolu mõju:

- Ala 1 – kuni 0,5 mA loetakse ohutuks.
- Ala 2 – 0,5 kuni 30 mA loetakse ka veel ohutuks, kuigi võib põhjustada valu, lihaskrampe ja ehmatust. Ehmatuse tagajärjel võib kukkuda, aga vool ise ei põhjusta veel pöördumatuid kahjustusi.
- Ala 3 - 200 kuni 500 mA tugev šokk, krambid, pöördumatud kahjustused. Voolu toimele võib nahk ja siseelundid põleda, tekivad hingamisraskused. Võib lõppeda surmaga.
- Ala 4 - üle 500 mA väga eluohtlik olukord, tekib südamevatsakeste virvendus, vereringe lakkab, aju ei saa hapnikku. Aju talub maksimaalselt 5 minutit verevarustuse katkemist, mis järel saabub surm. [8]

Ohutuse mõttes tuleks alati kõiki kõrgepingega seotud komponente käsitleda nii nagu need oleks kõrgepinge all, kui ei ole ohutuses mõõtmisega veendunud. Projekteeritavas juhtmestikus on üks nõrk koht, kust võib kõrgepinge sattuda 12 V süsteemi ja selleks on alalispinge muundur, mis teeb 72 V alalispingest 12 V alalispinge. Kui antud seadmega peaks midagi juhtuma ja läheb näiteks lühisesse, siis võib tulla 12 V juhtmest hoopis 72 V ja see on eluohtlik. Alati kui tehakse elektrisõidukiga mingisuguseid elektritöid, tuleb peale panna vastav hoiatussilt, et ka asjast mitte midagi teadev isik saaks aru ja oskaks ohtu hinnata. (Sele 2) [8]



Sele 2. Hoiatus [8]

1.1 Hädaolukorras ratta pingetustamine

Kui rattaga juhtub avarii või mõni muu õnnetus siis on vaja ratas teha ohutuks ja ühendada kõrgepinge kõikidest seadmetest lahti. Selleks on aku peal peavoolu ühendus (Sele 3), mille lahti ühendamisega on seadmed pingetud. Aku peal on ka teine väiksem pistik, mis on mõeldud laadimiseks, kui on juhtunud õnnetus siis ei tohi ka akut laadida. Kõrgepingeaku lahti

ühendamisega kaob ka 12 V süsteem. Aku on lihtsasti eemaldatav, aku peal on kinnitusrihm, mille avamisega saab aku sangast välja tõsta.



Sele 3. Kõrgepinge aku pistik

1.2 Seadused

Üksikorras valmistatud või ümberehitatud sõidukile kehtivad seadused, mille alusel saab neid ümber ehitada ja tänavalegaalseks valmistada. Valmistatud sõiduk peab vastama kehtivatele tehnonõuetele ja samas peab sõiduki välimus erinema tehases valmistatud sõidukist või peab olema firmamärgi kasutamise nõusolek. Seadused reguleerivad näiteks, et pidurisüsteemi ei tohi ringi ehitada ja samuti peavad olema EÜ- või E-tüübikinnitatud rehvid ja valgustus- ja valgussignalisatsiooniseadmed. Valmistaja peab sõiduki valmistamiseks esitama Transpordiametile avalduse ja Transpordiameti poolt nõutavad dokumendid. Üksikorras valmistatud või ümber ehitatud sõiduk tuleb kehtivatele tehnonõuetele vastavuse kontrollimiseks esitada Transpordiameti poolt määratud tehnilisele teenistusele või eksperdile. [3] Seadused on välja toodud lisa (Lisa 1)

1.3 Vajalikud tegevused sõiduvahendi legaliseerimiseks

Kui L kategooria sõidukil puudub Euroopa Ühenduse kogusõiduki tüübikinnitus või osade/komponentide tüübikinnitussertifikaadid, siis kuulub see üksiksõiduk tüübikinnitusele.

Vajalikud tegevused on:

- Esitada sõiduk transpordiametisse registreerimise eelsesesse kontrolli, seal selgub, kas sõidukile on vaja taodelda üksiksõiduki tüübikinnitust.
- Sõiduki registreerimiseelsesesse kontrolli tuleb kaasa võtta dokumendid mis tõendavad, et oled sõiduki omanik ja isikut tõendav dokument.
- Kui sõiduk suunati üksiksõiduki kinnitusele, tuleb esitada taotlus üksiksõiduki kinnitamiseks.
- Selleks, et taotlust saaks esitada, on vaja tasuda riigilõiv 205 eurot ja lisada maksekorraldus taotluse juurde.
- Hiljem lisandub L kategooria sõidukitele esmaregistreerimistasu 30 eurot. [2]

2 PARAMEETRID

Parameetrite all on välja toodud rattale paigaldatud seadmete põhinäidud ja lisatud tutvustavad pildid. Kuna seadmed on universaalsed, siis on neil suurem pingevahemik, millega nad töötavad. Mootor töötab vahemikus 52-92V.

2.1 Harjadeta alalisvoolumootor

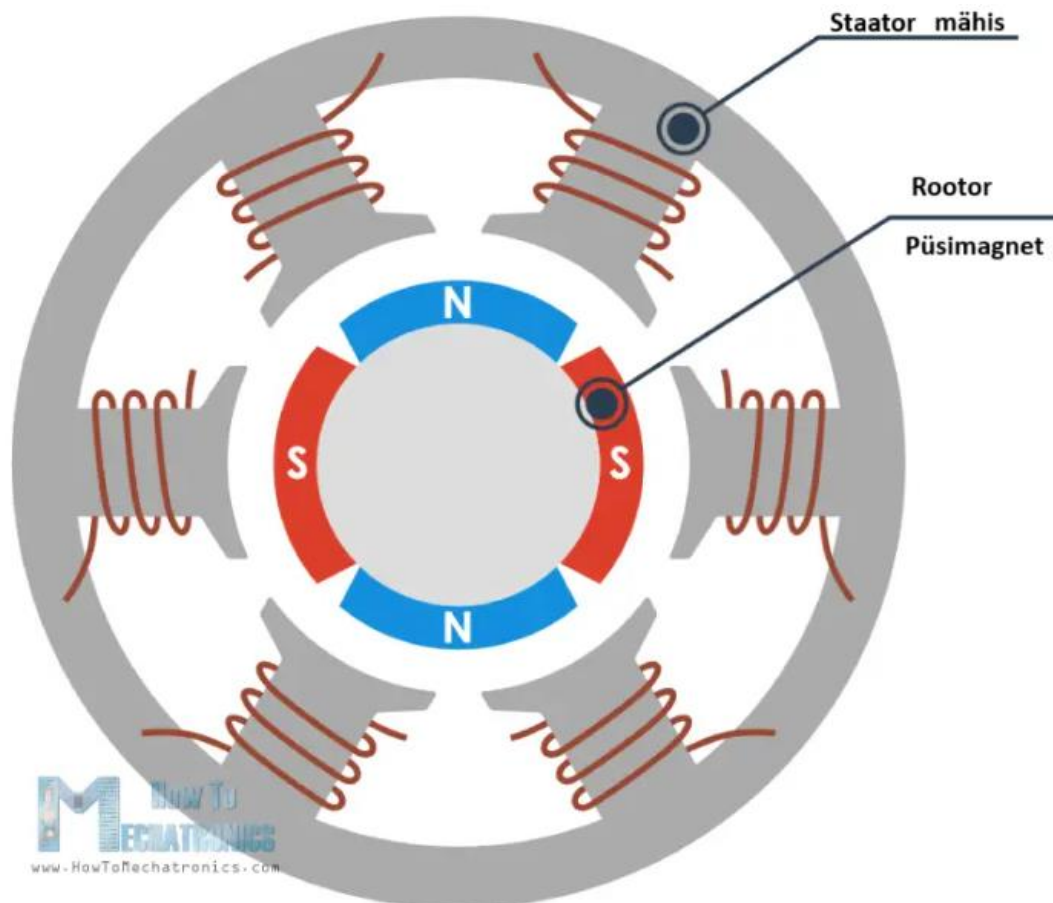
Harjadeta alalisvoolumootor BLDC (harjadeta alalisvoolumootor) 12KW 48-96V (Sele 4) töötab põhimõttel, et magnetid tõmbuvad ja tõukuvad omavahel. Püsimagnetid on kinnitatud rootoris, et moodustada fikseeritud magnetväli, läbi staatormähise tekitatakse elektrivoolu abil staatormähisest pöörlevmagnetväli, mis tõmbub või tõukub rootori magnetiga ja paneb rootori pöörlema.



Sele 4. Harjavaba alalisvoolumootor

Juhtimine peab olema kiire ja täpne, et täpselt õigel ajal tekiks tõmbumine või tõukumine. Täpne juhtimine tagab suure võimsuse ja väikse energia kao. Harjadeta alalisvoolumootori nimi tuleb sellest, et tal puuduvad harjad. Sellist mootorit saab kasutada ka generaatorina mootorratta pidurdamisel, siis genereeritakse elektrivoolu tagasi akusse. Harjadeta alalisvoolumootoril on sees ka asendiandur, mille põhjal juhtmoodul teab rootori asendit,

mis on vajalik näiteks kohalt stardil. Samuti on mootori staatormähiste vahel ka temperatuuriandur, millelt näeb juhtmoodul mootorimähiste temperatuuri, kui temperatuur tõuseb üle seadistatud piiri siis vähendatakse jõudlust, et staatorimähised üle ei kuumeneks ja ei tekiks lühist. Mootori ehitus (Sele 5)



Sele 5. Mootori ehitus [11]

Tehnilised eelised:

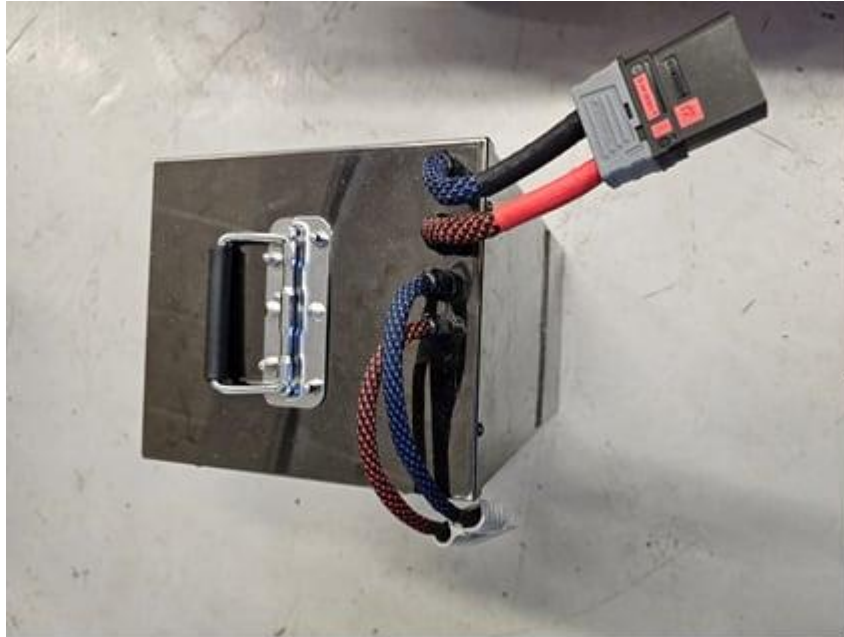
- Kõrge efektiivsus- Harjadeta alalisvooluelektromootori kasutegur on tavaliselt 85-92% ja energiakadu väike, samuti on maksimum moment nullist alates.
- Suur võimsustihedus- Püsिमagnetitena on kasutatud neodüüm raudboor magneteid, millest tuleb suur võimsus väiksema mahuga
- Lai kiirusevalik- Täppis juhtimisega kontrolleri abil on võimalik saavutada suur pööretevahemik ja täpne juhtimine
- Dünaamika- Vektorjuhtimise või pöördemomendi otsese juhtimise tehnoloogia võimaldab mootoril kiiret dünaamilist reageerimist
- Madal müra ja vibratsioon- Lihtne struktuur, sujuv töö, madal müratase ja vibratsioonitase. [11] [16]

Spetsifikatsioonid [10]:

- Mootori tüüp – BLDC rummu sisene mootor
- Tootja – QS Motor
- Mootori disain – topelttelg
- Sobivad rehvid – 180/70-17etc
- Magneti suurus – 70mm, 16 poolipaari
- Staator – terasest südamik
- Nimivõimsus – 12000W
- Nimipinge – 48-96V
- Kiirus – 30-145km/h
- Jaotusringi läbimõõt – 3*80mm-M8
- Maksimaalne efektiivsus – 88%
- Piduritüüp – ketas
- Halliandur – topelthalliandur
- Faasijuhe- 25mm²
- Veekindlus – IP65

2.2 Aku

Ümberehitusel on tegemist Liitiumioon kuivakuga, mille lühendiks on NCM ja tuleneb koostismaterjalide inglisekeelsetest sõnadest. Aku (Sele 6) nimipinge on 72 V, mahutavus 100 Ah ja mõõdud 460x230x160mm. Aku peamised koostismaterjalid on nikkel, koobalt, mangaan ja grafiit. Selle konkreetse aku täpne protsentuaalne koostis pole teada, aga vaatame üldisemalt mis on oluline aku koostises. On teada, et liitiumioon aku koosneb katoodmaterjalist, anoodmaterjalist, membraanist ja elektrolüüdist. Elektrimasinate toiteks kasutatakse NCM akusid, kuna nende eluiga on pikk, kannatab umbes 500 laadimistsükli. Samuti kannatab madalat temperatuuri kuni -30 °C, kus aku sumbumine on ainult 15% ja on suur energia salvestamise tihedus, mis võib ulatuda 240 WH/kg. NCM akul on termilise äravoolu temperatuur ehk temperatuur, mille juures aku hakkab kiirelt ja kontrollimatult kuumenema, tekib sisemine lühis ja isesüttimise oht on alla 300 °C . Mõnedel kõrge niklisisaldusega akul isegi alla 200 °C, mis suurendab isesüttimise ohtu võrreldes LFP (liitiumraudfosfaataku) akuga, mille termiline äravoolu temperatuur on üldiselt üle 500 °C ja laadimis- ja tühjenemistsükleid üle 2000 enne kui jõudlus väheneb. [5]



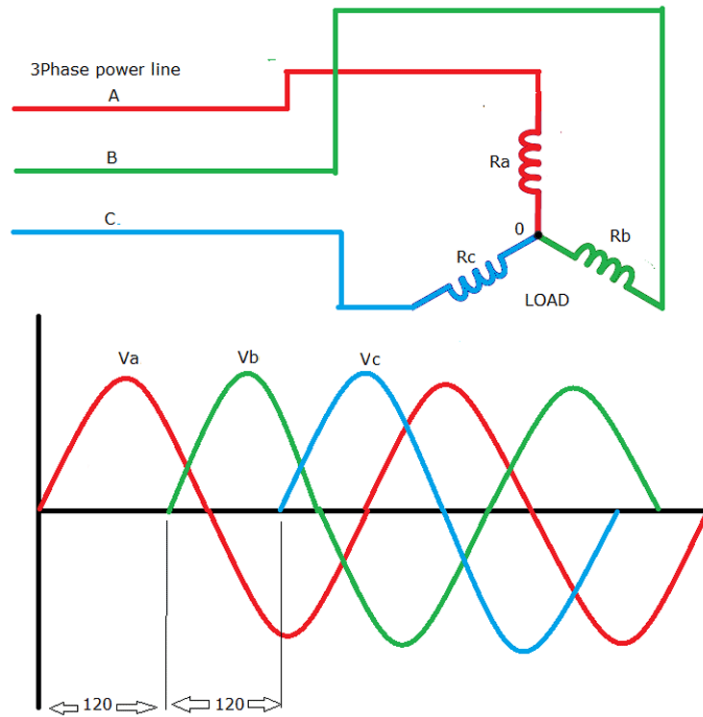
Sele 6. NCM Aku

2.3 Juhtmoodul

Juhtmoodul (Sele 7) ehk alaldi vaheldi 72 V 600/1200 A. Vaheldi teeb akust tulevast alalispingest mootorile sobiva mitmefaasilise vahelduvpinge, kasutatakse mootori töötamiseks. Kasutusel on kahte sorti alaldi vaheldejaid, ühtedel on faasinihe 120° ja teistel 180° . Projektis kasutatav alaldi vaheldi on 120° , Faasinihe on kujutatud (Sele 8)

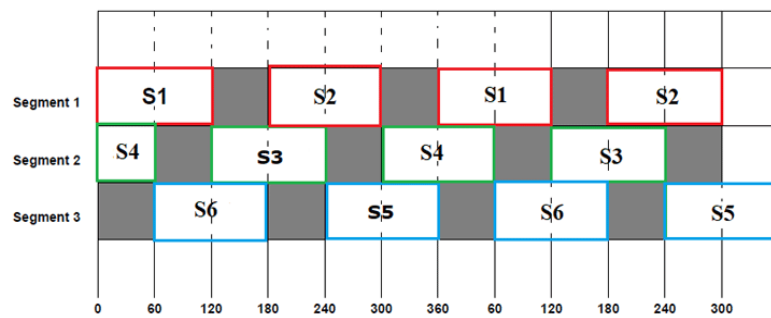


Sele 7. PMSM Juhtmoodul



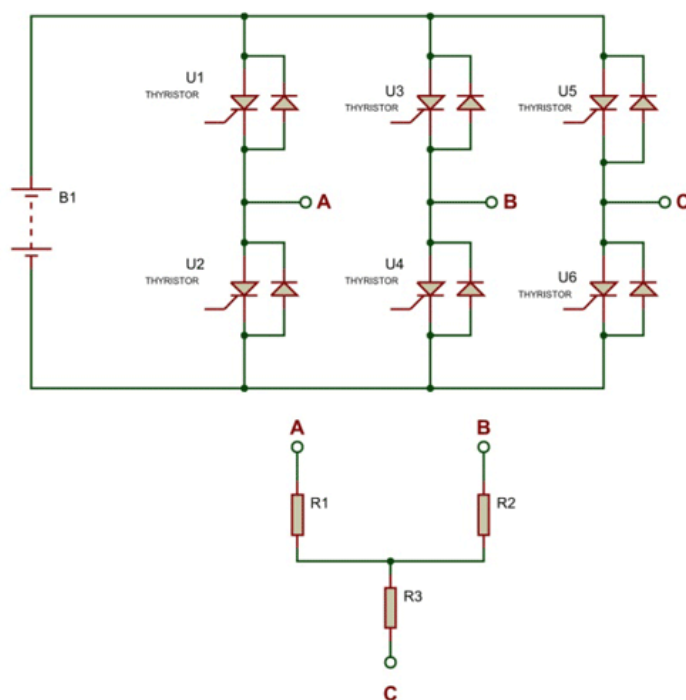
Sele 8. Faasinihe [4]

Järgneval pildil on kujutatud lülitite ehk türistoride suletud olemise aeg, kasti sees olev aeg on 120° ja selle aja on lüliti suletud, järgnevad 60° avatud, ehk hall ala. Pildilt on hästi näha, kuidas faasid pöörlevad koos rootoriga. (Sele 9) [4]



Sele 9. Faasinihe 120° ja paus 60° [4]

Allpool on kolmefaasilise vaheldi vooluringi skeem, kus on kasutaud türistoreid ja diode ülepinge kaitseks. (Sele 10)



Sele 10. Vooluringiskeem [4]

Alaldi teeb vahelduvpingest alalispinge, kasutatakse mootoripidurdusel aku laadimiseks. Vahelduvpinge on siinus mõlemal pool nulli, alaldi ülesandeks on ära lõigata alla poole nulli jääv siinus ja keerata see teistpidi, et suurendada efektiivsust. Lõpuks lõigatakse ära ainult siinuse tipud ja sellest saabki alalispinge, mille silur silub stabiilseks pingeaks. [6]

Juhtmooduli ja aku lisaandmed:

- Vibratsiooni standard- GB/T2423 on hiina standard, millega testitakse vastupidavust kindla raskusastmega siinusvibratsioonile.
- Töö temperatuuri vahemik - $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $+55\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Hoiustamistemperatuur - $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Õhkjahutus - Masinal, kontrollerial ja akul
- Isolatsiooniklass – DC 1000V lekkevool 0,05
- Isolatsiooniklass - DC 1000V tähendab seda, seadmed on mõeldud töötama kuni 1000V pinge all, rahvusvahelised standartid selle jaoks on IEC 60947-3 ja AS 60947.3:2018
- Lekkevool on vool, mis kaldub talle mõeldud rajast kõrvale, projekteerimisvigade, tootmisdefektide või vananemise tõttu. Ohuks on lekkevoolu puhul saada elektrilöök või kahjustada elektriseadmeid. [1]

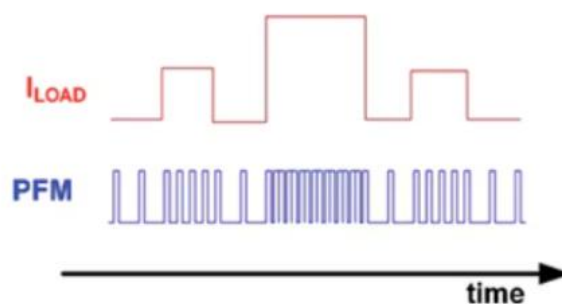
2.4 Muundur

Alalispingemuundur (Sele 11) teeb pulsisagedus modulatsiooni (PFM - Pulse Frequency Modulation) abil kõrgepinge aku 72 voldist lisaseadmetele sobiva 12 volti. Muundureid kasutatakse nende suhteliselt odava tootmismaksumuse ja suure tõhususe pärast, tööefektiivsus on 92 %.



Sele 11. DC/DC Muundur

Põhilised kaod tekivad muunduris transistorides ja poolides. PFM muundur muudab pulsisagedust vastavalt tarbimisele, tarbimise suurenedes pulsisagedus suureneb. (Sele 12) Lihtsamalt seletades transistorid lülitavad sees vastavalt vajadusele, kui tarbimine suureneb siis ka lülituste arv suureneb, et 72 V saaks 12 V. 12 V hoidmiseks on muunduri sees kondensaator, mis silub kõikumised ära, aga PFM muundur ei sobi tundlikele seadmetele, kuna pinge kõikumine jääb. [12]



Sele 12. Pulsisagedus modulatsioon [12]

Spetsifikatsioonid [9]:

- Tüüp - DC-DC Toiteallikas.
- Modulatsioonimeetod - pulsisageduse modulatsioon (PFM).
- Sisendpinge - 24-72V.
- Väljundpinge - 12 V.
- Väljundvool - 10 A.
- Töö efektiivsus - 92%.
- Väljundpinge müra - 1 dB.
- Väljundpinge täpsus - 2%.
- Pinge reguleerimise määr - 1%.
- Koormuse seadistuskiirus - 3%.
- Töötemperatuur - -45 kuni +55 °C.
- Kaal - 106 g.
- Punane juhe - sisend +.
- Kollane juhe - 12V väljund +.
- Must juhe - GND

2.5 Kaitsefunktsioonid

Juhtmoodul on varustatud summeriga. Kui tekib viga annab summer helisignaaliga sellest teada. Tabelis on välja toodud helide seletused (Tabel 1) ja veakoodid. (Tabel 2)

Tabel 1. Seletused toonidele.

	Seletused toonidele:
1	Kostub ainult üks piiks- normaalne käivitus;
2	1 pikk piiks- gaas ja pidur korruga aktiivsed, kontroll funktsioon;
3	2 lühikest, 1 pikk piiks ja kordub- eneseõppe olekus, tuleks viia lõpuni;
4	2 lühikest, paus, 1 lühike piiks- kontrolleri programmi kontrollimine ebaõnnestus, tarkvara tuleb uuesti laadida;
5	4 lühikest, 1 pikk, 5 lühikest piiksu ja seejärel kordub- uuendustarkvara ei ühti kontrollieriga;
6	Kodeerija veakaitse - kodeerija on seade, mis annab pidevalt tagasisidet. Antud juhtmoodulil antakse mootorile kiirusesignaal peale ja kodeerija kontrollib, kas pööreteandur näeb sama pöörete arvu. Kui on tõsine probleem lülitatakse seade välja.

Tabel 2. Veakoodid ja nende seletused

	Veakirjeldus	Piiksude arv	Veaseletus
1	Mootori suhtlus vigane	1	Signaaljuhe mootori ja kontrolleri vahel on katkenud või pole ühendatud.
2	Gaasipedaal vigane	2	Pedaal pole naasnud nulli, näit pole loogiline, juhe katki.
3	Praeguse kaitse taaskäivitus	3	Ebanormaalne kaitse alarm
4	Liigse tarbimise kaitse	4	Ebanormaalne kaitse alarm
5	Pinge viga	5	Pinge liiga kõrge või madal, ületab kontrolleri lubatud vahemiku
6	Alarm aktiveeritud	6	Viga säilib, kuni alarm on peal
7	Mootor temperatuuri vahemikust väljas	7	Temperatuur liiga kõrge või madal, ületades kasutamishvahemikku
8	Juhtmoodul temperatuuri vahemikust väljas	8	Temperatuur liiga kõrge või madal, ületades kasutamishvahemikku
9	Faasivoolu ülevool	9	Ebanormaalne kaitse alarm
10	Faasivoolu nullviga	10	Kontrolleri sisemine rike
11	Faasilühise viga	11	Faasi juhe lühises või mootor vigane
12	Liinivoolu nullviga	12	Kontrolleri sisemine rike
13	MOSFEET ülemise silla rike	13	Kontrolleri sisemine rike
14	MOSFEET alumise silla rike	14	Kontrolleri sisemine rike
15	Tipp liinivoolu kaitse	15	Tarkvaraline ülevoolukaitse

2.6 Pistikud

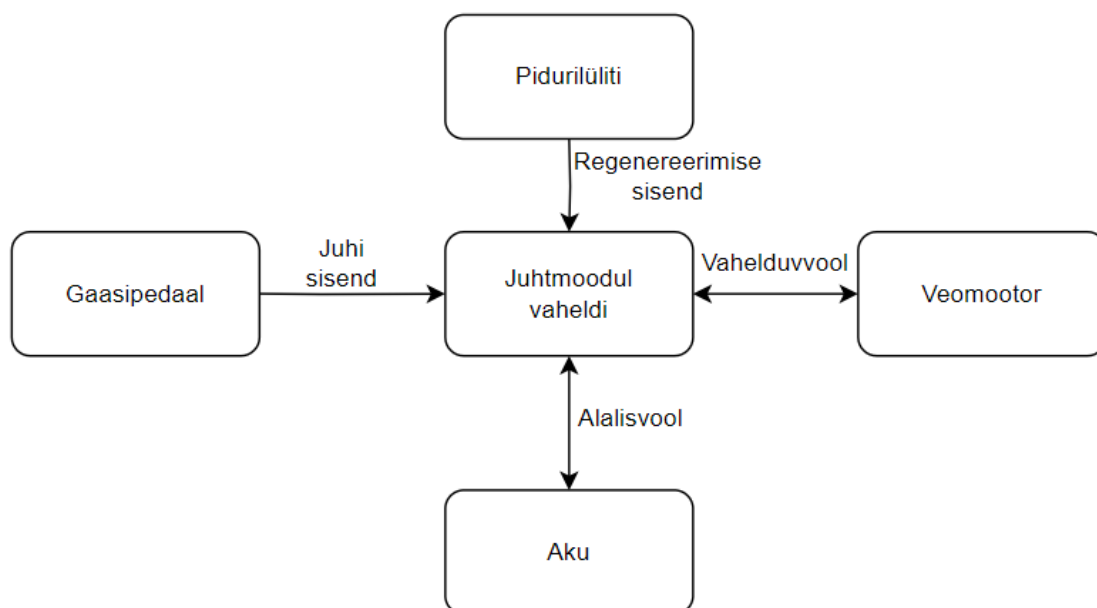
Ratas on mõeldud kasutamiseks igasuguse ilmaga ja igasugusel maastikul. Pistikud peavad pidama vastu niiskusele ja vibratsioonile.

Spetsifikatsioonid [14]:

- Temperatuur – töötemperatuur -55 °C kuni +125 °C.
- Vastupidavus – testitud vähemalt 100 tsükli, ei esine mehaanilisi ega elektrilisi defekte.
- Vibratsioon – testitud siinusvibratsiooni 20G juures, 10- 2000Hz kolmel vastastikku asetseval tasapinnal. Elektrilisi katkestusi ei esine kauem kui 1 mikrosekund.
- Vedelikukindlus – enamikele tööstuses kasutavate vedelike kindlus.
- Isolatsioonitakistus – 25 °C juures vähemalt 1000 megaoomi.
- Niiskuskindlus – IP68
- Dielektriline vastupidavus – 1500 vahelduvpinge juures vähem kui 2mA.
- Temperatuuri vastupidavus test – testitud 20 korda, kõrvalkaldeid ei esine.

3 PÕHIMÕTTELINE SKEEM

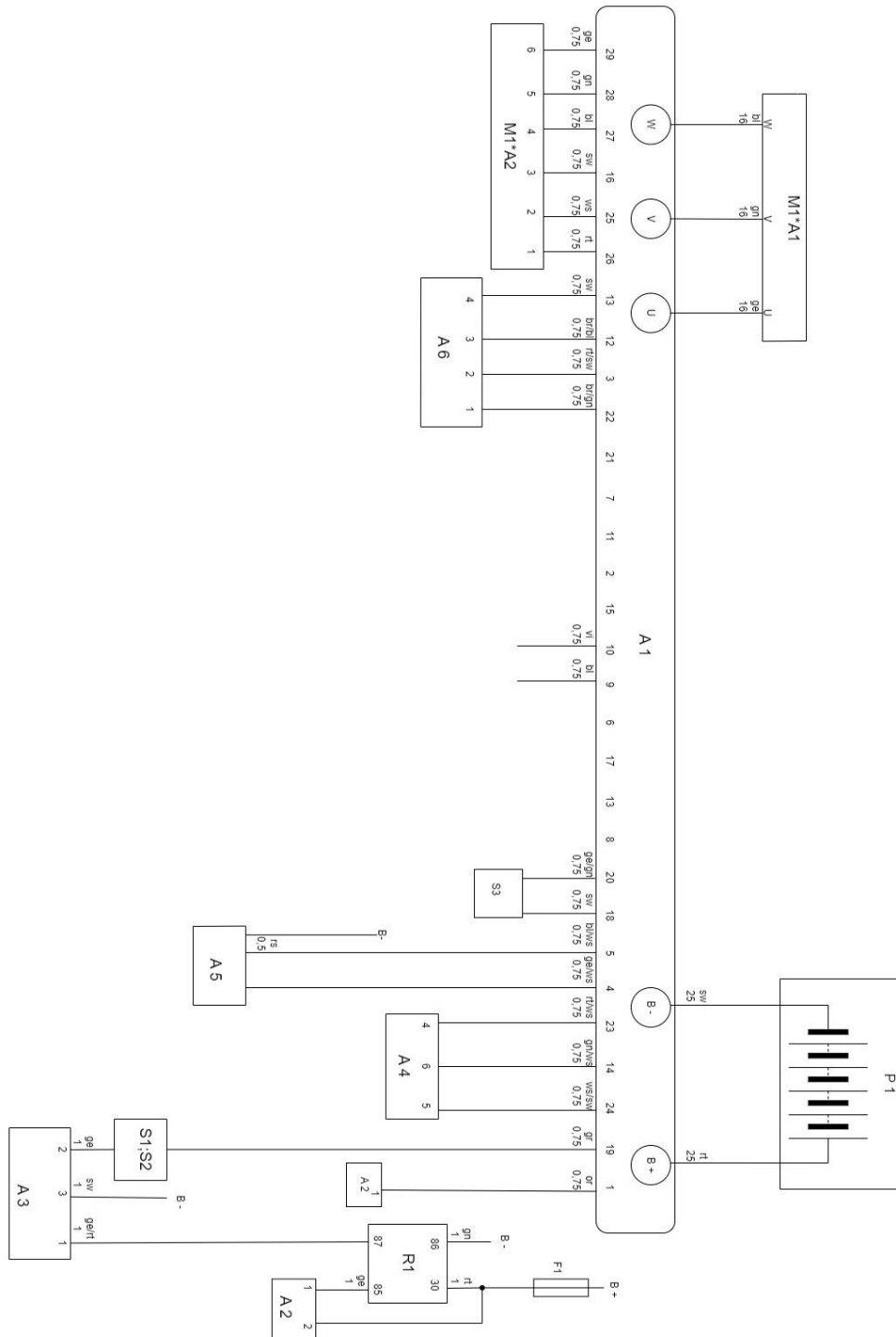
Põhimõtteline skeem on kujutatud pildil (Sele 13) Juht gaasipedaaliga annab sisendi, kui kiirelt veomootor peab pöörlema ja millist momenti arendama. Pidurilülitiga antakse signaal regenereerimiseks, veomootor hakkab pidurdama ja samal ajal voolu tootma, millega laetakse akut. Vaheldi muudab alalispinge mootorile sobivaks vahelduvpingeks ja pidurdusel vastupidi.



Sele 13. Põhimõtteline skeem

3.1 Elektriskeem

Elektriskeem on skeemil (Skeem 1) ja elektriskeemi komponendid on tabelis (Tabel 3)



Skeem 1. Elektriskeem

Tabel 3. Elektriskeemi tähistused

Klemm	Juhtme värv	Tähis	Eesmärk	Seade
26	punane	HALL+	Mootori anduri toide	Mootor M1
25	valge	TEMP	Mootori temperatuur	
16	must	GND	Mootori Miinus	
27	sinine	HC	Mootor C juhe	
28	roheline	HB	Mootor B juhe	
29	kollane	HA	Mootor A juhe	
22	pruun/roheline	BW5V	Andmevahetussini toide	USB A6
3	punane/must	RXD	Andmevahetussiin 1	
12	pruun/sinine	TXD	Andmevahetussiin 2	
13	must	GND	Miinus	
15	must	GND	Vargusvastase seadme miinus	Alarm
2	roosa	60VC	Vargusvastase seadme toide	
1	oranz	KEY	Süütelukk	
7	must/valge	FW	Vargusvastase seadme signaal	
21	pruun/punane	U	Suunatuli	
24	must	GND	Miinus	Kiirusekontroll A4
14	roheline/valge	SV	Gaasihoova signaal	
23	roheline/punane	ACC+	Gaasihoova toide	
4	kollane/valge	SDH	Kiirekäik	Kiire ja aeglane käik A5
18	must	GND	Miinus	
5	sinine/valge	SDL	Aeglane käik	
8	pruun/valge	RE	Tagasi	Tagurpidi käik
13	must	GND	Miinus	
18	must	GND	Miinus	Aeglane pidurdus S3
20	kollane/rohelin	BL	Aeglane pidurdus	
17	sinine/punane	XH	Püsikiiruse hoidja	Püsikiirusehoidja
6	pruun	BOOST	Reserv	
9	helesinine	SPD	Kiirus LIN	Spidomeeter A8
10	lilla	SPA	Analoog kiirusesignaal	
11	oranz	KEY	Süütelukk	Süütelukk A2
19	hall	BH	Tugev pidurdus	Pidurilüliti S1;S2
B +	punane	DC/DC	12V	DC/DC muundur A3
B +	punane	FUSE	Kaitse	F1- 5A
+/-		BAT	Aku	Aku P1

3.2 Arvutused

Arvutuste tegemiseks oleks vaja teada täpseid juhtmete andmeid. Neid kahjuks ei tea, müüjale sai tehtud ka järelpärimine, aga müüja ei väljastanud spetsifikatsioone ega muud infot. Juhtme ristlõike arvutamiseks on vaja erinevaid valemeid, valemiga 1 saab leida volutugevuse, kuna on teada pinge ja võimsus.

$$I = \frac{P}{U} \quad (1)$$

Kus: I - on volutugevus (ampères, A)
P - on võimsus (vattid, W)
U - on pinge (voldid, V)

Alalisvoolu muunduri ette tuleb paigaldada kaitse, et lühise korral kaitse rakenduks ja kaitseks ülejäänud süsteemi. Kaitsme suuruse teadasaamiseks tuleb kõik 12V tarbijad kokku arvutada. Teades tarbijate võimsuseid, saab leida valemiga 1 nende volutugevused. Kuna tulesid ja signaali veel pole, tuleb arvestada varuga, ehk tarbijate maksimaalsete võimsustega. Esitules on 2 niidiga pirn, millest 1 põleb korraga, samuti on ääretuli. Suunatulesid on 4, aga korraga saavad põleda 2. Tagatules on ääretuli ja pidur. Tarbijad välja toodud tabelis Tabel 4. Kokku liites tuleb vastuseks 213W. Selleks, et saada teada volutugevus, saab kasutada valemit 1.

$$I = \frac{P}{U} = \frac{213}{12} = 17,75A$$

Vastuseks tuleb 17,75 A, aga kuna enne muundurit on 72 V siis läheb vaja palju väiksemat kaitset. Kui teha sama tehe 72 voldiga tuleb vastuseks 2,96 A

$$I = \frac{P}{U} = \frac{213}{72} = 2,96A$$

ehk muunduri ette läheb 5 A kaitse, kuna muunduri enda sees on ka kadu, antud muunduri kohta info puudub, aga sarnasel muunduril on välja toodud, et efektiivsus on 92%, seega kadu on 8%. 2,96A saamiseks kulub 8% voolu rohkem, liites 8% tuleb vastuseks 3,2A.

Tabel 4. Lisaseadmete võimsused:

Tule tüüp	Võimsus
Esituli	5+55 W
Suunatuli	2x21 W
Tagatuli	10+21 W
Signaal	60 W
Spidomeeter	20 W
Kokku	213 W

Elektrimootorile sobivate juhtmeristlõigete arvutamine, kuna komponendid ei tulnud EÜst siis kindluse mõttes leian ristlõike. Teada on pinge 72V, võimsus 12KW ja juhtme pikkus umbes 1 meeter. Kolmefaasilise mootori voolu saab arvutada valemi abil (valem 2) Efektiivsuseks on 90% ja võimsustegur 0,85

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \eta \cdot PF} \quad (2)$$

- Kus: I - on voolutugevus (amprites, A)
 P - on võimsus (wattides, W)
 V - on pinge (voltides, V, faasist faasi)
 η - efektiivsus (kümnnendkohana, nt 0,9 90% kohta)
 PF - võimsustegur(kümnnendkohana, mootorite puhul tavaliselt 0,8-0,95).

Vastuseks tuleb 125,79 A

Juhtme takistuse leidmine oomi seadusega, kasutades lubatud pingelangu (valem 3) pingelanguks on 3% ehk 2,16V.

$$R_{max} = \frac{\Delta V}{I} \quad (3)$$

- Kus: R_{max} - maksimum juhtme takistus (oom)
 ΔV - pingelang (voltides, V)
 I - on voolutugevus (amprites, A)

Vastuseks tuleb 0,017 oomi.

Juhtme ristlõike arvutamiseks (valem 4) on teada eritakistus, juhtmete pikkus edasi-tagasi 2meetrit ja maksimaalne juhtmete takistus 0,017oomi.

$$A = \frac{\rho \cdot L}{R_{max}} \quad (4)$$

- Kus: A - Juhtme ristlõikepindala (mm²)
 ρ - Juhtme eritakistus (oom,Ω, tavaliselt vase puhul 1,68x10⁻⁸, alumiiniumi puhul 2,82x10⁻⁸)
 L - Juhtme kogupikkus (edasi, tagasi)
 R_{max} - maksimum juhtme takistus (oom)

Kui võtta vastused, takistus 0,017oomi ja voolutugevus 125,79A siis tuleb vastuseks 1,98mm², kuna juhtmed on lühikesed, siis sellest ka väike ristlõige. Mootori juhtmed on üle 10 korra jämedamad 25mm² ja peavad vastu.

3.3 Elektrimootorrattale kohalduvad standardid

Selleks, et loodavad süsteemid oleksid ohutud ja vastaksid nõuetele on välja mõeldud standardid. Standard on kokkulepitud reeglite kogum protsesside ja teenuste ühildamiseks üle maailma. Standardid aitavad tagada, et tooted ja teenused vastaksid ohutus ja kvaliteedinõuetele.

Standardite organisatsioonid:

- Rahvusvahelised standardid – ISO
- Riiklikud standardid – EVS
- Tööstusharuspetsiifilised standardid – SAE
- Rahvusvaheline elektrotehnika komisjon – IEC

Ratta madalpinge juhtmestikule kehtib standart SAE J1292 [13] :

- Standardi järgi tuleb juhtmed paigaldada selliselt, et sõiduki konstruktsioonid tagaksid juhtmetele maksimaalse kaitse, kui juhe pole kaitstud konstruktsiooniga siis tuleb kasutada lisakaitset.
- Kui kaablid peavad liikuvate osade vahel painduma, peab viimane tugiklamber olema kindlalt kinnitatud ja kinnitama kaabli püsivalt.
- Juhtmete kinnitusdetailid peavad olema elektrit mittejuhtivad, välja arvatud juhul, kui kaasatud juhtmestik või kinnitus on varustatud eriti tugeva väliskattega, näiteks mittemetallist toru, isoleerpael või kaitserüüga.
- Juhtmed peavad olema paigutatud nii, et need oleksid kaitstud teepritsmete, kivide, hõõrdumise, rasva, õli ja kütuse eest. Sellistele tingimustele avatud juhtmeid tuleb täiendavalt kaitsta kas tugeva seinaga termoplastisolatsiooniga kaabli või nende kombinatsiooniga (vt SAE standard J1128, madalpinge esmane kaabel), lisaisolatsiooniga, plastümbrisega või -toruga, mittemetallist kangasarmeeringuga või muust sobivast varjestusest või kattedest.
- Vool kõikidesse madalpingeahelatesse, välja arvatud käiviti ja süüteahelad, peab läbima lühisekaitseseadmeid, mis on ühendatud aku toiteklemmiga. Esitulede süsteemid peavad olema sõltumatult kaitstud. Ahela kaitsmiseks kasutatakse kaitsmeid, kaitselüliteid või sulavühendusi, mis vastavad SAE standarditele. Elektrimootorratal 12V aku puudub, tuleks lisada 12V aku, et tuledeahelad saaksid sõltumatu toite muunduri toite ahela rikke korral.
- Kaitseseade tuleb valida nii, et see ei ületaks juhtmele lubatud maksimaalset koormust.
- Kaitsmete suurused tuleb valida vastavalt juhiste, mis on esitatud dokumendis SAE J554, Elektrikaitsmed. [13]

4 PAIGUTUS RAAMIL

Raamil on paigutatud juhtmed selliselt, et nad oleksid ohutud nii kasutajale, kui ka seadmetele. Juhtmete paigaldusel peab jälgima, et juhtmed ei jääks liikuvate osade vahele ja samas peab olema ka pikkus piisav. Kui juhtmete pikkus ei ole piisav siis hakkab juhtmestik rebenema või pistikutest juhet välja sikutama. Vastupidavuse seisukohalt peab jälgima, et juhtmepuu saaks korralikult isoleeritud, vältimaks hõõrdumist vastu raami või siis abrasiivse mustuse sattumist juhtmestiku vahele. Kui abrasiivne mustus satub liikuva juhtmepundi vahele hakkab see ise kulutama juhtmestiku isolatsiooni, isolatsiooni kulumise tagajärjel isolatsioon puruneb, kust niiskus satub elektrijuhi vasest pinnale ning hakkab oksüdeeruma ja oksüdeerumise tagajärjel kaablikiud katkevad, millega kaabliristlõige väheneb ning tekib ülekoormus ja pingelang. Juhtmepuu isolatsiooni materjaliks sai riidest isoleer, kuna see on tugevalt vastu juhtmeid, samas hoiab juhtmestikku koos ja on vastupidav. Kuna rattal mingeid äärmuslikke keskkonna tingimusi pole siis võib kasutada termoplastisolatsiooniga SAE tüüpi GPT üldotstarbelist kaablit. Kõrgepinge juhtmed peavad olema oranži värvi ja osad tähistatud välgukleepsuga!

Juhtmestik sai kinnitatud raamile lähtudes standartist SAE J1292, kaablisidemetega ja liimitavate kaablisidemekinnitustega, millele saab lisada ka kruvi kindlamaks fikseerimiseks, et vältida hõõrdumist vastu raami ja juhtmeisolatsiooni kulumist. Kui kaabel on korralikult kinnitatud siis peab ta paremini ka vastu vibratsioonile. Mootori ja aku juhtmetele läheb peale topelt isolatsioon, kuna seal on kõrgepinge siis see tuleb tähistada oranži värviga.

Mootori juhtmed tuleb teha parajaks vastavalt raamile, millele seadmed paigaldatakse. Selleks on vaja $M8 \times 25\text{mm}^2$ kaablikingasid 3tk ja kaablikingade pressimiseks vajalikke tange, kui otsad juhtmel küljes siis termorüüs peale. Juhe tuleb kinnitada mootorratta tagakiige külge ja siis mõõta sobiv pikkus välja. Juhtme lõikamiseks on soovitatav kasutada selleks otstarbeks mõeldud spetsiaalseid lõiketange, et juhtme otsa ära ei lõmastaks või laiali ei ajaks, sest pärast on väga keeruline uut kaablikinga juhtmele peale saada. Kiigele juhtmepaigaldusest pilt (Sele 14)



Sele 14. Juhtmepaigaldus kiigel

Juhtmestiku paigaldus raamile, soovitatav teekond on pildil välja toodud oranži värviga. Juhtmestiku kinnitamiseks mõeldud klambrid peavad olema dielektriliselt materjalist. Tuleb leida või tekitada raamile juhtmete kinnitamiseks kohad, mis asuvad raamil seespool, et juhtmed oleksid ratta raamiga kaitstud. R6 raamil olid sobivad avad olemas, viimane kinnitus sai valitud kleebitav ja kruviga fikseeritav kaablisideme kinnitamiseks mõeldud klamber, kuna seal ei olnud eelnevalt ava kuhu oleks võimalik kaablisidet paigaldada ja juhet fikseerida. Standard ütleb, et enne liikuvat osa peab olema kaabel kindlalt kinnitatud. Kui juhtmestiku kinnitamiseks on kohad valitud siis vastavalt sellele tuleb juhtmestiku pikkus. R6 raamil tuli juhtmestiku pikkust umbes 1m vähendada ja siis oli vaja paigaldada uued niiskuskindlad pistikud. Terve juhtmestik sai kaetud riidestisoleerpaelaga. Uute pistikute külge monteerimiseks on vaja spetsiaalseid pistikuklemmidele mõeldud isoleerimata klemmide tange, et klemmid korralikult juhtme otsa kinni saaks ja klemmidel oleks korralik vooluühendus. Kui juhtmeklemmide ühendus teostada mitte kvaliteetselt, siis tekib juhtme ja klemmi ühendukohale pingelang, mille tagajärjel tekib temperatuuri tõus ja on süttimisoht. Osad juhtmed tuleb peale lühendamist spetsiaalsete klambritega ja juhtmetangidega (Sele 15) kokku monteerida ja termokahanevkaitserüüs peale kuumutada. Oomipoes maksavad sellised tangid 37eurot – link: https://www.oomipood.ee/product/vtnct_isoleerimata_st_pistiku_tangid



Sele 15. [15] Isoleerimata pistikute tangid

Teine variant on lühendatud juhtmed kokku joota, aga jootekohad võivad ära murduda vibratsiooniga. R6 raamile juhtmestiku kinnitamise näidis, juhtmestik on tähistatud oranži värviga, et oleks selgemalt aru saada. (Sele 16).



Sele 16. Juhtmestiku kinnitamine raamile

Aku juhtmestiku kinnitamine raamile, tuleb leida kõige sobivam tee juhtmoodulini. R6 raamil läks aku juhtmestik kinni aku kasti raami külge kaablisidemetega 3 koha pealt. Miinusjuhe tuli teha 15cm lühemaks, et sobituks hästi juhtmooduli külge. Juhtme lühendamiseks on vaja tange juhtme lõikamiseks, uut kaablikinga $M8*25mm^2$, kaablikinga otsa pressimiseks tange, termokahanevatrüüd ja kuumaõhu fööni, et juhtmeots korralikult isoleerida. Aku juhtmestik pildil esile tõstetud oranži värviga. (Sele 17).



Sele 17. Aku juhtmestiku kinnitamine

5 MAJANDUSLIK ANALÜÜS

Projekti osad on tellitud Hiinast, mootor ja juhtmoodul on ühes komplektis ja aku on tellitud eraldi, ei kuulunud algselt sellesse komplekti. Kuna algeline juhtmestik on olemas siis juhtmeid ostma ei pea ja see teeb projekti soodsamaks. Juhtmooduli komplektis olevad pistikud tuleb välja vahetada, kuna need ei ole niiskuskindlad. Ratas on mõeldud ka kasutamiseks vihmaste ilmadega selleks peavad olema kõik juhtmeühendused niiskuskindlad. Algselt oli plaan kaotada ära, kõik miinusjuhtmed ja kasutada miinuse juhtimiseks raami, ratas oleks natukene kergem ja juhtmeid vähem, aga seda teha ei saa. Kõrgepinge hakkab 30V vahelduvpinge ja 60V alalispinge, antud mudeli aku on 72V alalispinge ja liigitub juba kõrgepinge alla. Ohutuse tagamiseks ei tohi raamist teha miinusejuhti, kuna alalispingeakust elektrilöögi saamiseks on vaja nii miinust, kui ka plussi. Kui raam ei ole ühendatud aku miinusega siis on elektrilöögi oht väiksem või peaaegu olematu. Transpordi kulu selliste komponentide tellimiseks on suur, aga seda saab vähendada, kui tellida rohkem komplekte korraga. Käesoleva projektiga tellis kool korraga 3 komplekti ja see tegi komplekti maksumuse soodsamaks. Tuleb arvutada ühe komplekti maksumus. Ainult ühe ratta ehitus ei ole majanduslikult otsatarbekas, sest on vaja osta erinevaid tööriistasid juhtmete ja ühenduste korralikuks montaaiks. Samuti kulub esimese projekti projekteerimisele väga palju aega. Tabelis on välja toodud töö, aga see on arvamusklik, et palju võiks kuluda järgmistele samalaadsetele projektidele. Selle konkreetse projekti koostamine võttis oluliselt rohkem aega.

Tabel 5. komponentide maksumus [7]

Nimetus	Kogus eur	Hind eur	Saatekulu eur	Kokku eur
Mootor ja juhtmoodul	1	1570	393,33	1963,33
Aku	1	680	107,67	787,67
Laadija	1	12	0	12
2 klemm pistik	1	5,5	0	5,5
3 klemm pistik	1	6,5	0	6,5
4 klemm pistik	2	7,5	0	15
6 klemm pistik	3	9,5	0	28,5
Rõngasklemm 8mm	1	0,5	0	0,5
Kaabliking 25mm	4	2,1		8,4
Isoleerteip	1	5		5
Termokahanevrüüs	1	5,23		5,23
Kaitsmepesa	1	3,3		3,3
kaitse	1	1		1
Juhtmekinnitus	3	1,5		4,5
Töö	15	50		750
Kokku eur				3596,43

KOKKUVÕTE

Lõputöö käigus valmis ümberehitatud Yamaha R6le sobiv juhtmestik ja sai paigaldatud raamile. Aja ja raha kokkuhoiu mõttes sai kasutatud asjadega kaasas olnud juhtmeid, mis said kohandatud raamile sobivaks. Juhtmestik muudeti niiskus- ja vibratsioonikindlaks. Kogu juhtmestikule sai peale isolatsiooni materjal, et juhtmestik püsiks koos ja oleks hõõrdumiskindel. Kõrgepingejuhtmetele läks peale topelt isolatsioon ja sai samuti kinnitatud raamile. Juhtmestiku töökindluse parandamiseks said kõik pistikud asendatud niiskus- ja vibratsioonikindlate pistikutega. Kõikide komponentide tööpõhimõtete kohta sai otsitud materjali ja tööpõhimõtted töös lahti kirjutatud.

Töös sai koostatud üldisem õpetus juhtmestiku paigaldusest raamile, kuna koolil on plaanis veel mitu sarnast projekti teha, aga erinevate raamide peale, siis said põhilised asjad üle vaadatud ja kirja. Juhtmestikule vahele kaitse ja juhtmestikust ka skeem, et edaspidi oleks asja lihtsam teostada.

Eesmärk projekteerida kooli projektidele juhtmestik ja paigutada see ohutult raamile sai täidetud, samuti sai lahti kirjutatud ohutusnõudeid, et edaspidi kellegi tervisele ohtu ei kujutaks, kui järgmistele projektidele hakatakse sama juhtmestikku koostama.

SUMMARY

The aim of the work is to create an electrical wiring system for a converted Yamaha YZF R6 motorcycle. The gasoline engine has been removed and replaced with an electric motor and battery. The conversion must also comply with legislation, detailing what and how modifications can be made. The work outlines the necessary laws and points to be followed for the conversion. After the conversion, the vehicle needs to be legalized and registered with the Road Administration. The required documents, actions, and financial costs are provided. Since the battery voltage is classified as high voltage in automotive technology, the work also discusses safety and potential hazards when dealing with high voltage, the hazard stakes at the current level and its possible consequences. Instructions for de-energizing in case of an emergency are also provided, explaining how to make high voltage safe and disconnect the bike.

All the components are ordered separately: the motor and control module from one set and the battery from another. Calculations have been made to ensure the wires are able to resist voltage pressure, as the components are not the EU territory products. The work includes the specifications and operating principles of the components. A simple schematic diagram of the control system is provided. To understand the operating principles, numerous images are included for visualization so that even someone without an engineering background can understand how the components work. During the work, an electrical diagram with wire colors and cross-sections has been created, which previously was completely missing. A wiring harness was created, and new moisture-resistant connectors were installed. A fuse was added to the wiring harness before the DC converter to prevent the entire system from short-circuiting in case of a short circuit. To increase the reliability of the wiring harness, double insulation was applied to protect it against external influences.

The work includes a fault table with an error code explanations for the control module, as well as how the control module indicates when a fault is detected. A general installation guide for the frame was created, so it would be possible to build more similar projects on different frames. Therefore, it was not practical to create a guide only for the R6 frame but rather a more general one. Specific rules and standards for securing the wires are provided, and the wires are secured according to those standards and clearly outlined in the guide. The wire path on the frame is marked with orange color for clarity. The tools needed for modifying the wiring harness are described, along with all necessary components to adapt the wiring harness to the respective frame.

The author has also provided the cost of the components and an estimated work time for such a project. The most time-consuming task is attaching the connectors to the wiring harness.

KASUTATUD ALLIKAD

- [1] LISUN INSTRUMENTS LIMITED, [Võrgumaterjal]. Available: <https://et.lisungroup.com/uudised/tehnoloogiauudised/lekkevool-ja-lekkevool-elektris%C3%BCsteemides-lekkevoolu-testijad.html>. [Kasutatud 20 11 2024].
- [2] Transpordiamet, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.transpordiamet.ee/riiklik-uksiksoiduki-kinnitus>. [Kasutatud 20 11 2024].
- [3] Majandus- ja kommunikatsiooniministeerium, 08 07 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/131072015008?leiaKehtiv>. [Kasutatud 20 11 2024].
- [4] D. Raja, „Circuit Digest,” 29 11 2019. [Võrgumaterjal]. Available: <https://circuitdigest.com/tutorial/three-phase-inverter-circuit-diagram-120-degree-and-180-degree-conduction-mode>. [Kasutatud 04 12 24].
- [5] S. O. W. Writer : Nancy, „SmartPropel,” 05 12 2024. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.smartpropel.com/nickel-cobolt-manganese-lithium-battery-vs-lithium-iron-phosphate-battery-this-is-the-most-comprehensive-interpretation/>. [Kasutatud 26 12 2022].
- [6] IC Components Limited, „IC Components Limited,” 05 12 2024. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.ic-components.ee/blog/how-rectifiers-work-types-of-rectifiers-and-their-uses.jsp>. [Kasutatud 30 01 2024].
- [7] Järva tarbijate ühistu, „Tööriistamarket,” 10 12 2024. [Võrgumaterjal]. Available: <https://tööriistamarket.ee/et/tarvikud-ja-varuosad/tarvikud-agregaadid-ja-traktorid/elektritarvikud/soidukijuhtmete-liitmikud.html>.
- [8] Pärnumaa kutsehariduskeskus, 11 12 2024. [Võrgumaterjal]. Available: <https://sites.google.com/hariduskeskus.ee/elektriauto/t%C3%B6%C3%B6hutus-elektriautoga-t%C3%B6%C3%B6tamisel>.
- [9] Yeepin GmbH, „Amazon,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.amazon.de/-/en/Converter-24V-72V-Performance-Voltage-Regulator/dp/B07PG94ZJZ>. [Kasutatud 30 12 2024].
- [10] QSmotor, „cnqsmotor,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.cnqsmotor.com/product/motorcycle-hub-motor-qs-motor-12000w-17x6-0inch-273-e-motorcycle-hub-motor/>. [Kasutatud 31 12 2024].
- [11] Dejan, „how to mechatronics,” [Võrgumaterjal]. Available: https://howtomechatronics.com/how-it-works/how-brushless-motor-and-esc-work/?utm_content=cmp-true. [Kasutatud 31 12 2024].
- [12] S. Keeping, „Digikey,” 25 03 2014. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.digikey.ee/en/articles/the-advantages-of-pulse-frequency-modulation-for-dc>

dc-switching-voltage-converters. [Kasutatud 01 01 2025].

- [13] SAE internationals, 10 1981. [Võrgumaterjal]. Available: <https://archive.org/details/gov.law.sae.j1292.1981/page/n1/mode/2up?view=theater>. [Kasutatud 02 01 2025].
- [14] TE Connectivity, „Te Connectivity,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://datasheet.octopart.com/W6S-DEUTSCH-datasheet-164842252.pdf>. [Kasutatud 03 01 2025].
- [15] Dormikor OÜ, „Oomipood,” [Võrgumaterjal]. Available: https://www.oomipood.ee/product/vtnct_isoleerimata_st_pistiku_tangid. [Kasutatud 04 01 2025].
- [16] Hebei Nanfeng Automobile Equipment (Group) Co., Ltd, Hebei Nanfeng Automobile Equipment (Group) Co., Ltd, 08 07 2024. [Võrgumaterjal]. Available: <https://ee.parkingpreheater.com/news/introduction-to-permanent-magnet-synchronous-m-79008546.html>. [Kasutatud 18 11 2024].

LISADE LOETELU

Lisa 1. Seadused	34
------------------------	----

Lisa 1. Seadused

Vastu võetud 03.06.2011 nr 37 RT I, 08.06.2011, 2 jõustumine 01.07.2011 [3]

§ 9. Nõuded üksikkorras valmistatud sõidukile ja selle kinnitus

(1) Üksikkorras on lubatud valmistada M₁, N₁, O₁, O₂ ja L kategooria sõidukeid.

(2) Üksikkorras valmistatud sõiduk peab vastama kehtivatele tehnonõuetele. Sõiduki välimus peab erinema tehases valmistatud sõiduki välimusest.

(3) Üksikkorras valmistatud M₁ ja N₁ kategooria sõidukil peab olema omavalmistatud kere või raam. Pidurisüsteem ja rool peavad olema tehases seeriaviisiliselt valmistatud autolt. Vähemalt järgmised osad ja seadmed peavad olema EÜ- või E-tüübikinnitatud:

- 1) esiklaas;
- 2) turvavööd;
- 3) rehvid;
- 4) valgustus- ja valgussignalisatsiooniseadmed;
- 5) tahavaatepeegel.

(4) Üksikkorras valmistatud L kategooria sõiduki pidurisüsteem peab olema tehases seeriaviisiliselt valmistatud sõidukilt. Vähemalt järgmised osad ja seadmed peavad olema EÜ- või E-tüübikinnitatud:

- 1) rehvid;
- 2) valgustus- ja valgussignalisatsiooniseadmed.

(5) Üksikkorras valmistatud O₁ ja O₂ kategooria sõidukil peavad vähemalt järgmised osad ja seadmed olema EÜ- või E-tüübikinnitatud:

- 1) haakeseade;
- 2) rehvid;
- 3) valgustus- ja valgussignalisatsiooniseadmed.

(6) Valmistaja peab üksikkorras sõiduki valmistamiseks esitama Transpordiametile avalduse ja Transpordiameti poolt nõutavad dokumendid. Üksikkorras valmistatud sõiduk tuleb kehtivatele tehnonõuetele vastavuse kontrollimiseks esitada Transpordiameti poolt määratud tehnilisele teenistusele või eksperdile. Katsetuste läbimise korral väljastab Transpordiamet üksiksõiduki kinnituse.

§ 10. Nõuded sõiduki ümberehituseks ja selle kinnitus

(1) Ümberehitatud sõiduk peab vastama kehtivatele tehnonõuetele. Nõudeid rakendatakse lähtuvalt sõiduki esmaregistreerimise ajast.

(2) Sõiduki omanik peab sõiduki ümberehitamiseks esitama Transpordiametile sellekohase avalduse, sõiduki registreerimistunnistuse ja ümberehituse olemust näitavad dokumendid.

[[RT I, 23.08.2019, 3](#) - jõust. 26.08.2019]

(3) Transpordiamet või tema poolt tunnustatud ekspert kontrollib pärast ümberehituse teostamist ümberehituseks loa saanud sõiduki vastavust kehtivatele tehnonõuetele. Enne

sõiduki ümberehitamist võib Transpordiamet nõuda ümberehitajalt sõiduki valmistajatehase sellekohast luba ja ka valmistajatehase firmamärgi kasutamise nõusolekut.

(4) Kui kontrollimise tulemusena tehakse kindlaks, et ümberehitatud sõiduk vastab nõuetele, vormistatakse § 5 lõike 1 punktis 2 nimetatud sõidukile ümberehitus.

(5) Ümberehituseks ei loeta:

1) agregaatide, osade, seadmete ja süsteemide vahetamist, kui need kuuluvad samale sõidukitüübi versioonile;

2) sõidukile lisaseadmete ja varustuse lisamist (nt kliimaseade, lisapidurituled, allasõidutõkked), kui sellega ei muutu sõiduki tüübikinnitusega määratud andmed ja kui nende lisamine ei ole vastuolus kehtivate tehnonõuetega.

§ 11. Toodangu järelvalve

(1) Toodangu järelvalvet teostab Transpordiamet.

(2) M, N ja O kategooria sõiduki ja selle toodete toodangu järelvalvel rakendatakse vastavalt kas direktiivis 70/156/EMÜ või 2007/46/EÜ sätestatud menetlust või ÜRO Euroopa Majanduskomisjoni Genfi 1958. a „Ratassõidukile ning sellel kasutatava ja/või sellele paigaldatava varustuse ja osade ühtlustatud tehnonõuete vastuvõtmise ning nende nõuete alusel väljastatud kinnituste vastastikuse tunnustamise kokkuleppes” sätestatud menetlust. L kategooria sõiduki ja selle toodete toodangu järelvalvel rakendatakse direktiivis 2002/24/EÜ sätestatud menetlust.

(3) Toodangu mittevastavuse korral rakendab Transpordiamet käesoleva paragrahvi lõikes 2 toodud menetluse kohased abinõud toodangu vastavuse võimalikult kiireks taastamiseks. Korduva mittevastavuse korral peab Transpordiamet tüübikinnituse tühistama. [3]