



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
MEHAANIKATEADUSKOND

Mehhatroonikainstituut
Mehhatroonikasüsteemide õppetool

MHK40LT

Martin Ploom

**Elektrivormeli FEST16 akude laadimissüsteemi
edasiarendus**

Bakalaureusetöö

Autor taotleb tehnikateaduste
Bakalaureuse akadeemilist kraadi

Tallinn 2016

AUTORIDEKLARATSIOON

Deklareerin, et käesolev lõputöö on minu iseseiva töö tulemus. Esitatud materjalide põhjal ei ole varem akadeemilist kraadi taotletud.

Töös kasutatud kõik testite autorite materjalid on varustatud vastavate viidetega.

Töö valmis Maido Hiimaa juhendamisel

„...“ 201...a

Töö autor

..... allkiri

Töö vastab bakalaureusetööle esitavatele nõuetele.

„...“ 201...a

Juhendaja

..... allkiri

Lubatud kaitsmisele

„...“ 201...a

..... allkiri

TTÜ Mehhatroonikainstituut

Mehhatroonikasüsteemide õppetool

BAKALAUREUSETÖÖ ÜLESANNE

2016 aasta kevadsemester

Üliõpilane: Martin Ploom, 121149MAHB

Õppekava: MAHB 02/09

Spetsialiseerumine: Mehhatroonika

Juhendaja: Mairo Hiiemaa, teadur

Konsultandid:

BAKALAUREUSETÖÖ TEEMA:

(eesti keeles) **Elektrivormeli FEST16 akude laadimissüsteemi edasiarendus**

(inglise keeles) **Further Development of Battery Charging System for Electric Formula Car FEST16**

Lõputöös lahendatavad ülesanded ja nende täitmise ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Täitmise tähtaeg
1.	Olemasoleva laadimissüsteemi analüüs, uute vajalike funktsioonide kaardistamine ja lähtemäärangu loomine	04.03.2016
2.	Uute vajalike elektroonikamoodulite väljatöötamine	11.03.2016
3.	Rakenduse loomine akude laadimisprotsessi ja seisukorra jälgimiseks ning juhtarvuti ja akuhaldussüsteemi vaheline andmevahetus.	25.03.2016
4.	Laadija käru edasiarendused	08.04.2016
5.	Testimine	29.04.2016

Lahendatavad insenertehnilised ja majanduslikud probleemid:

Töö eesmärgiks on elektrivormeli laadimissüsteemi edasiarendus olemasolevate toiteplokkide baasil. Arenduse käigus tuleb tagada ühilduvus nii eelnevatele kui ka tulevastele vormelitele. Laadimisprotsessi ja akude seisukorra jälgimine on nõutud, et laadimisel ei vigastataks aku elemente.

Töö keel: eesti

Kaitsmistaotlus esitada dekanaati hiljemalt 16.05.2016 Töö esitamise tähtaeg 20.05.2016

Üliõpilane Martin Ploom allkiri kuupäev

Juhendaja Mairo Hiiemaa allkiri kuupäev

SISUKORD

EESSÕNA.....	6
LÜHENDID	7
SISSEJUHATUS.....	8
1 PROJEKTI HINNAKALKULATSIOON.....	9
2 ELEKTER JA ELEKTROONIKA.....	10
2.1 Laadija juhtmestik.....	10
2.1.1 Olemasolevate lahenduste analüüs.....	10
2.1.2 Juhtmestiku komponentide valik.....	11
2.1.3 Elektriskeem.....	13
2.2 Ohutusplakk.....	16
2.2.1 Komponentide valik.....	17
2.2.2 Skeem.....	18
2.2.3 Trükkplaadi disain	20
3 TARKVARA.....	22
3.1 Eelneva tarkvaraga tutvumine	22
3.2 UART suhtlus akuhaldussüsteemi ülema ning arvuti vahel.....	22
3.3 Tarkvara arendamine.....	23
4 MEHAANIKA	27
4.1 Eelneva lahenduse analüüs	27
4.2 Komponentide ja tootmistehnoloogia valik.....	27
4.3 Korpuse disain	28
KOKKUVÕTE.....	31
SUMMARY	32
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	33
LISAD.....	36

Lisa 1: Laadija peahela elektriskeem.....	36
Lisa 2: Laadija juhtimisahela elektriskeem.....	37
Lisa 3: Ohutusploki pealmine kiht.....	38
Lisa 4: Ohutusploki teine kiht	38
Lisa 5: Ohutusploki kolmas kiht.....	39
Lisa 6: Ohutusploki alumine kiht	39

EESSÕNA

Käesolev lõputöö on valminud koostöös Formula Student Team Tallinnaga. Töö autor on tänulik kogu meeskonnale, kes on olnud abiks antud töö valmimise käigus tekkinud väljakutsetele.

Autor tahab avaldada tänu meeskonna liikmetele Rainer Lepik ja Aleksandr Stennikov ning Alar Ollermale Harju Elektrist elektrialaste konsultatsioonide eest.

LÜHENDID

AIR – aku isolatsiooni relee, i.k. *Accumulator Isolation Relay*

BMS – akuhaldussüsteem, i.k. *Battery Management System*

ECU – elektroonika juhtplokk, i.k. *Electronics Control Unit*

FEST14 – 2014. hooaja tarbeks valmistatud vormelauto, i.k. *Formula Estonia 14*

FEST15 – 2015. hooaja tarbeks valmistatud vormelauto, i.k. *Formula Estonia 15*

FEST16 – 2016. hooaja tarbeks valmistatud vormelauto, i.k. *Formula Estonia 16*

IMD – isolatsiooni jälgimise seade, i.k. *Insulation Monitoring Device*

LED – valgusdiod, i.k. *Light-Emitting Diode*

MOSFET – isoleeritud paisuga väljatransistor, i.k. *Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect-Transistor*

UART – i.k. *Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*

VAC – vahelduvvoolu pinge i.k. *Volts of Alternating Current*

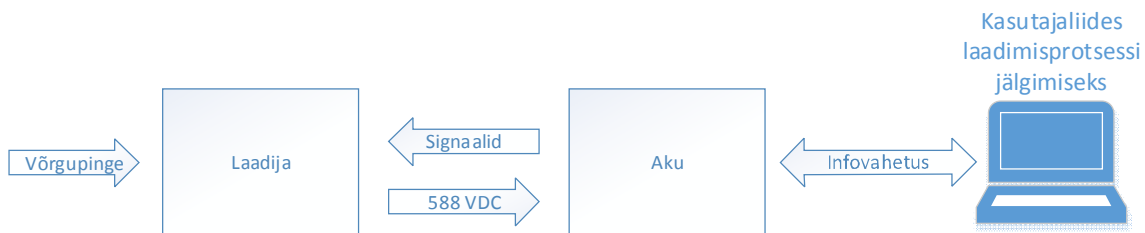
VDC – alalisvoolu pinge i.k. *Volts of Direct Current*

SISSEJUHATUS

Tudengi vormeli sari on tootearendusvõistlus, mis toob kokku maailma tugevaimad tehnikaülikoolid. Võistlustel tipus püsimiseks tuleb pidevalt edasi areneda ning mõelda välja nutikaid tehnilisi lahendusi. Sellest lähtudes vaadatakse iga aasta üle eelnevate aastate lahendused ning luuakse just uue vormeli spetsiifikale mõeldes uus lahendus.

Siiamaani on laadija olnud viimase hetke projekt. Seetõttu puudub korralik dokumentatsioon hetke laadija kohta ning ühes korpuses on koos FEST14 ja FEST15 laadimisloogikad, kuigi nende vormelautode laadimine on väga erinev alustades akude pingetest ning lõpetades nende kontrollahelatega.

Töö eesmärgiks on luua vormelautole FEST16 aku laadija koos vastava dokumentatsiooniga. Laadija arendamisel on keskendunud kasutajasõbralikkusele ning lihtsusele, et võistlustel oleks kõik meeskonna liikmed võimelised akut laadima juhul, kui on kellegi teadmisi parajasti mõne väljakutse lahendamisel vaja. Laadija ühendused laadimisel on näha all oleval joonisel (sele 1).



Sele 1. Laadimisprotsessi eri moodulite omavahelised ühendused

Vormeli akude laadijale on võistlussarja korraldajate poolt reeglitega seatud spetsiifilisi nõudeid [1]. Seetõttu ei ole võimalik turult osta valmistoodangut. Tuleb osta vajalikud seadmed ning seejärel ise toimiv terviklik süsteem kokku panna, lähtudes auto spetsiifikast ning võistlusreeglistikust.

Mehaanika valdkonnas keskendutakse laadija kärule funktsionaalsuste lisamisele, et võistlusosalal oleks võimalikult mugav kõike laadimiseks vajalikku kaasas kanda. Lisaks vaadatakse üle ka kättesaadavate seadmete jahutus. Elektroonikas luuakse uus kohtkilp koos dokumentatsiooniga ning optimeeritakse ohutusplokk, mis vastutab aku lahti ühendamise eest ülejäänud süsteemist vea olukorras. Tarkvaraliselt luuakse täiesti uus laadimisprotsessi jälgimise kasutajaliides, mida saaks kasutada ka järgnevatel aastatel vormelitel laadimiseks.

1 PROJEKTI HINNAKALKULATSIOON

Antud aastal ei olnud eelarves laadija jaoks eraldi suuri kulutusi määratud. Seetõttu kasutatakse võimalikult palju komponente eelneva laadija pealt. Praegune laadija projekteeritakse selliselt, et antud laadija sobiks ka järgneva aastaks ning järgneva aasta eelarvest oleks võimalik taastada FEST14 ja FEST15 laadija.

Eelneva laadija pealt võetakse terviklikult üle kogu pidurdussüsteem ning toiteplokid, kuna need on kõige kallimad ja keerulisemad lahendused. Uue laadija ehitamine nõuab sel juhul ainult odavamate materjalide ning seadmete soetamist ning nende hinnad on toodud all olevas tabelis 1.

Märkus. Tabelist puuduvad sponsorkorras saadud materjalide ja seadmete hinnad

Tabel 1. Laadija kulud

	Kogus (tk)	Hind (€)	Summa (€)
Võtmega lülitid	2	7,24	14,48
230 VAC lüliti	1	9,60	9,60
Ohulüliti	1	14,20	14,20
Vineer 6 mm	1	48,00	48,00
Vineer 12 mm	1	39,60	39,60
Kohtkilp	1	60,00	60,00
Kontaktor	1	8,90	8,90
Rikkevoolukaitse	1	24,00	24,00
10 A liigkoormuskaitse	1	16,20	16,20
6 A liigkoormuskaitse	1	17,50	17,50
Releed	2	6,00	12,00
Sahtli siinid	2	12,50	25,00
Kinnitusvahendid ja ettenägematud kulud			100,00
		KOKKU	389,48

Ennenägematute kulude lahtri summa võeti igaks juhuks korraliku puhvriga, kuna ehitamise käigus võib ilmned kulud, mida kogememata tõttu ei osatud ette näha.

2 ELEKTER JA ELEKTROONIKA

Laadija elektrisüsteemide puhul oli eesmärgiks üle vaadata eelnevate aastate lahendus. Seda lihtsustada ja luua korralik, turvaline, jätkusuutlik süsteem, mida saab järgnevatel laadijatel põhjaks kasutada ning mis oleks samuti eelnevate aastate vormelitega ühilduv.

Käru juhtmestiku puhul otsustati disainida uus kilp, kus oleks ainult FEST16 jaoks mõeldud seadmed sees, et ei oleks üleliigseid seadmeid, mis teeks antud süsteemi keerulisemaks ja raskemini jälgitavaks. Ohutusploki puhul oli vajalik funktsionaalsus juba olemas ning keskenduti ainult optimeerimisele.

2.1 Laadija juhtmestik

2.1.1 Olemasolevate lahenduste analüüs

FEST15 laadijas on kasutusel üks reguleeritav 500 VDC toiteplokk, mis on jadamisi ühendatud kahe 48 VDC toiteploki, et saavutada laadimiseks vajalik 588 VDC (tabel 2). Kasutusel on mitu toiteplokki, sest varasemalt oli auto akupaki pinge 400 VDC, mille laadimiseks piisas reguleeritavast 500 VDC toiteplokkist. Eelneval aastal mindi aga üle 588 VDC akupakile, mistõttu soetati lisaks kaks 48 VDC toiteplokki, et saavutada vajalik pinge laadimiseks.

Tabel 2. Laadijas olevate toiteplokkide parameetrid [2], [3]

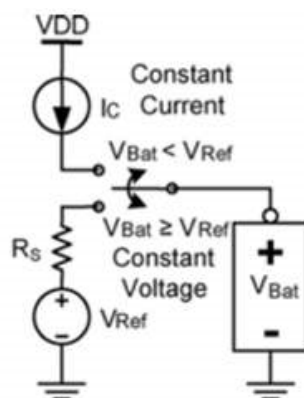
	CP-T 48/20.0	PS 8500-30 3U
Tootja	ABB	EA
Sisendpinge [VAC]	3 x 400-500	3x340-460
Sagedus [Hz]	47...63	50/60
Väljundpinge [VDC]	47...56	0...500
Väljundvool [A]	20	0...30
Väljundvõimsus [W]	960	0...5000
Efektiivsus [%]	93	95,5
Töötemp [°C]	-25 ... +70	0 ... +50

Varasematel aastatel on laadija olnud viimase hetke projekt, mida on hästi näha igasuguse dokumentatsiooni puudumises kui ka laadija kohtkilbi juhtmestikus, kus on nii FEST14 kui ka FEST15 loogikaskeemid segamini ühes korpuses.

2.1.2 Juhtmestiku komponentide valik

Tagamaks ohutu laadija kasutuse on eelkõige vaja komponente, mis katkestaksid kogu ahela, kui ahela parameetrid väljuvad lubatud vahemikust.

Toiteploki valikul peeti silmas Li-Ion elementide laadimise eripära. Pingete ning temperatuuride jälgimise eest vastutab BMS ning antud lõputöös seda poolt ei puudutata. Li-Ion akud tuleb laadida täis 99 %. Vastasel juhul elementide mahutavus väheneb 9 % ning võistlusautole on 9 % väga olulise tähtsusega. Tänapäeval kasutatakse laialdaselt konstantse voolu/konstantse pinge võimekusega laadijaid Li-Ion akude laadimisel (sele 2). Akud laetakse alguses kiirelt konstantse vooluga pea aegu täis ning lõpp laetakse konstantse pingega aeglaselt täis, et saavutada maksimaalne akude laetus [4].



Sele 2. Li-Ion akude laadija skeem [4]

Seni on meeskond kasutanud EA toiteplokki, millel on olemas vajalikud režiimid Li-Ion akude laadimiseks, kuid kuna maksimaalsest väljastatavast pingest jääb väheks, siis valiti kõrgema väljundpingega toiteplokk, millel oleks ka rohkem võimsust, sest akupakk kannatab suuremat laadimisvoolu kui 10 A [5]. Testperioodil on suureks abiks, kui akud saab võimalikult kiiresti täis laetud. Kõige paremini sobis meie vajadustele EA PS 8750-40 3U.

Toiteploki parameetrid [6]

- Väljundpinge 0 ... 750 VDC

- Väljundvool 0 ... 40 A
- Väljundvõimsus 0 ... 10 000 W

Sel aastal tuli siiski jääda 500 VDC ja kahe 48 VDC toiteploki juurde, kuna laadija projekti jaoks ei olnud eelarves nii suurt väljaminekut planeeritud. Antud lahendused tuleks käiku võtta järgneval aastal ning praegused toiteplokkid jätta FEST14 laadimiseks, mis vajab 400 VDC.

Toiteplokkide liigkoormuskaitse valikul arvestati toiteplokkide poolt maksimaalselt tarbitavaid voole ühe liini peal. EA toiteploki väljundvõimsus on 5000 W ja efektiivsus on 95,5 % ning nende põhjal saab leida sisendahelas tarbitava võimsuse $P_{in} = P_{out} / \eta$, mis teeb ligikaudu 5236 W. Võttes arvesse aku maksimaalset pinget ning ABB toiteplokkide pingeid, saame EA toiteploki väljundpingeks 492 VDC. Siit omakorda on lihtne leida väljundahela maksimaalne vool teades maksimaalset võimsust ning kasutades valemit $I = P / U$, mis annab ligikaudu 10,1 A. Teades EA toiteploki voolu, saame leida ABB toiteploki väljundvõimsuse, kuna nad on jadamisi ühendatud, milleks tuleb ligikaudu 485 W. ABB toiteploki efektiivsus on 93%, seega on tema sisendvõimsus ligikaudu 522 W. Kogu kolmefaasilise sisendahela võimsus kokku on 6280 W ning ühe faasi võimsuseks on ligikaudu 2094 W. Toiteplokkide puhul on kasutatud kolmnurkühendusi. Faasi vool on seega ligikaudu 5,3 A. Toiteliinides liikuva voolu leiab rakendades valemit $I_l = I_f \cdot \sqrt{3}$, mis annab liinivooluks ligikaudu 9,1 A. Selle põhjal sai valitud ABB liigkoormuskaitse S203-B10.

S203-B10 parameetrid [7]

- Nimivool 10 A
- Pooluste arv 3
- Rakendustunnusjoon B

Pistikupesade liigkoormuskaitse valikul võeti arvesse meeskonna soovi, et laadijal oleks võimalikult palju pistikupesi. Seega, valiti koormuskaitse arvestades alles jäänud tarbimata maksimaalset võimalikku voolu liinide peal. Kuna kasutusel on 16 A või 32 A tööstusvool, siis valiti väiksema voolu põhjal pistikupesade liigkoormuskaitseks S203-B6.

S203-B6 parameetrid [8]

- Nimivool 6 A
- Pooluste arv 3
- Rakendustunnusjoon B

Pistikupesade rikkevoolukaitse valikul võeti arvesse, et inimesele võib teatud tingimuste kokkulangemisel olla eluohtlik juba 50 mA elektrivool, mis võib esile kutsuda südamelihaste tõmblemise, mille tulemusel vereringe lakkab. Inimeste ja loomade kaitseks kasutatakse enamjaolt 30 mA juures rakenduvat rikkevoolukaitset, mille rakendumisaeg ei ületa 20 ... 30 ms [9].

Rikkevoolukaitse F204 A-25/0,03 peamised parameetrid [10]

- Lahutusvõime : 25 A
- Rakendumisvool: 30 mA
- Pooluste arv: 4

24 VDC toiteplokki kontrollahelate jaoks pole selle aasta laadijasse vaja, kuna kasutatakse akukastis olevat pingemuundurit, mis muundab auto akupinge 24 V peale.

Releed said valitud tööpingega 24 VDC ning DIN relsile kinnituvad [11], [12].

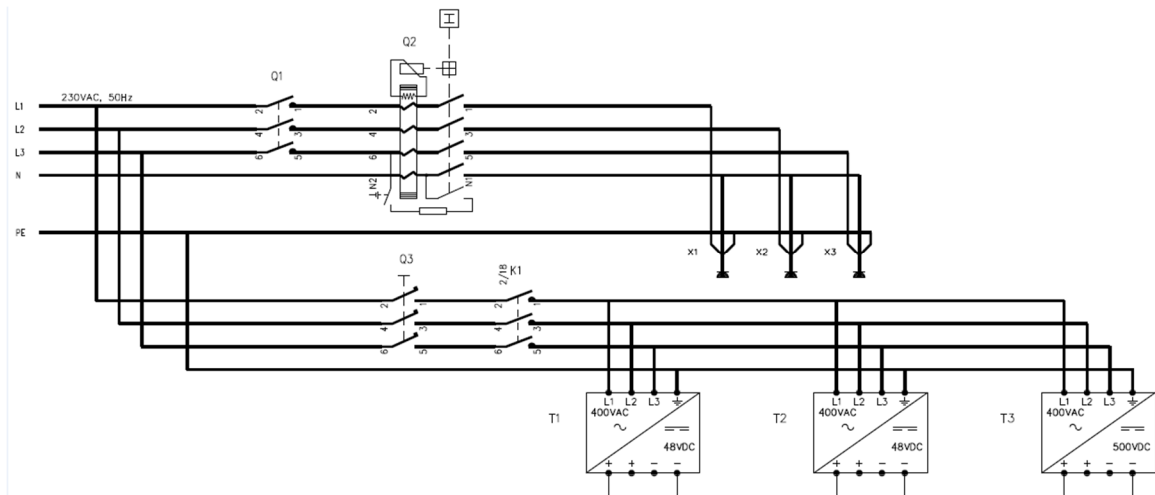
Kohtkilbi valik tehakse poes, kui kõik kilbi sisse minevad komponendid on ostetud ning arvestatakse, et juhtmestiku jaoks jääks piisavalt ruumi ja õhk saaks vabalt liikuda. Kohtkilp valitakse plastmassist, et oleks lihtsam seadmeid kinnitada ning plastmass ei juhi elektrit, mis on ohutuse seisukohalt jälle tähtis.

2.1.3 Elektriskeem

Jõuahela elektriskeemid loodi programmiga CADS Planner, mida kasutavad ka Eesti juhtivad elektriseadmete tootjad [13]. Uue skeemi loomisel lähtuti sellest, et luua täiesti uus skeem uude korpusesse, mis oleks võimalikult minimalistlik, turvaline ning oleks ka kasutatav järgnevate aastate vormelite peal.

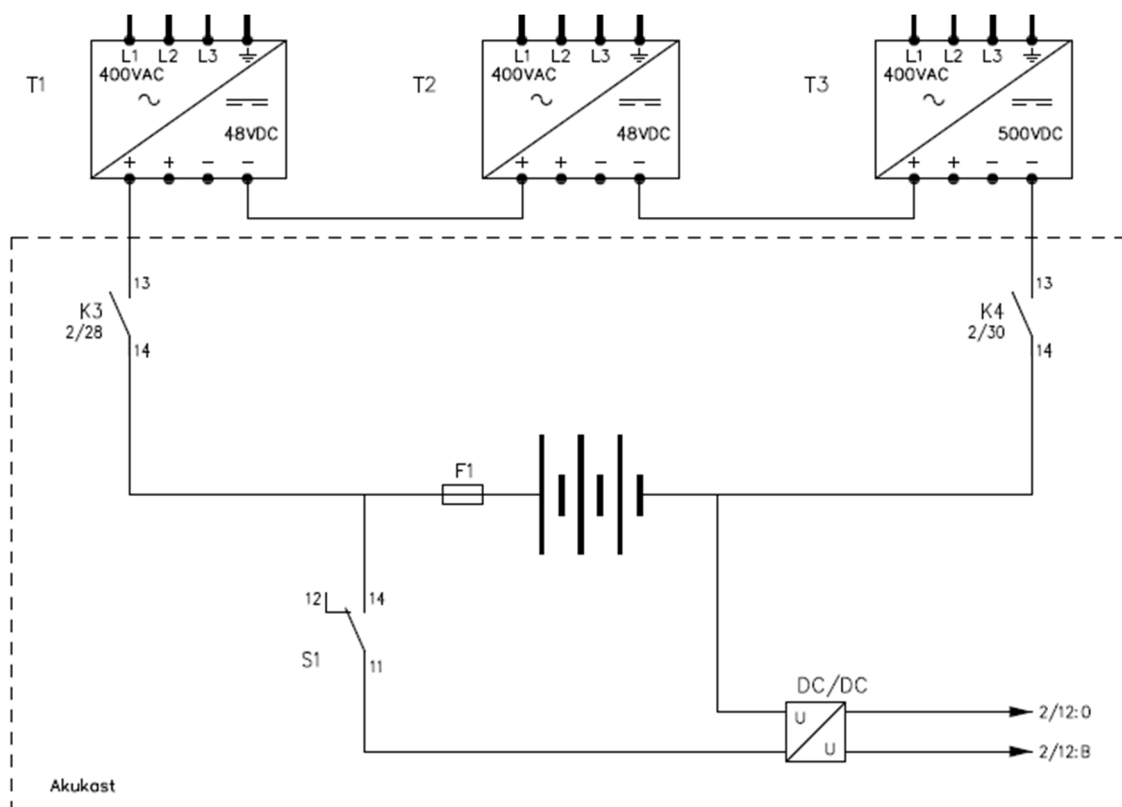
Märkus. Skeemidel olevad ühendused, mis on tehtud punktiirjoonega kasti sisse on akukasti ühendused ning pole töö autori poolt tehtud.

Peaahela skeemil on näha toiteplokkide ning aku omavaheline ühendus. Üleval olev horisontaalalabel on pistikupesade jaoks, millele on kaitseks ette pandud liigkoormuskaitse ning rikkevoolukaitse. All olev horisontaalalabel on toiteplokkide jaoks ning seal on samuti liigkoormuskaitse koos kontaktoriga, mis lülitab toiteplokkide toiteahela sisse, kui juhtimisahelas vastavat lülitit vajutatakse (sele 3).



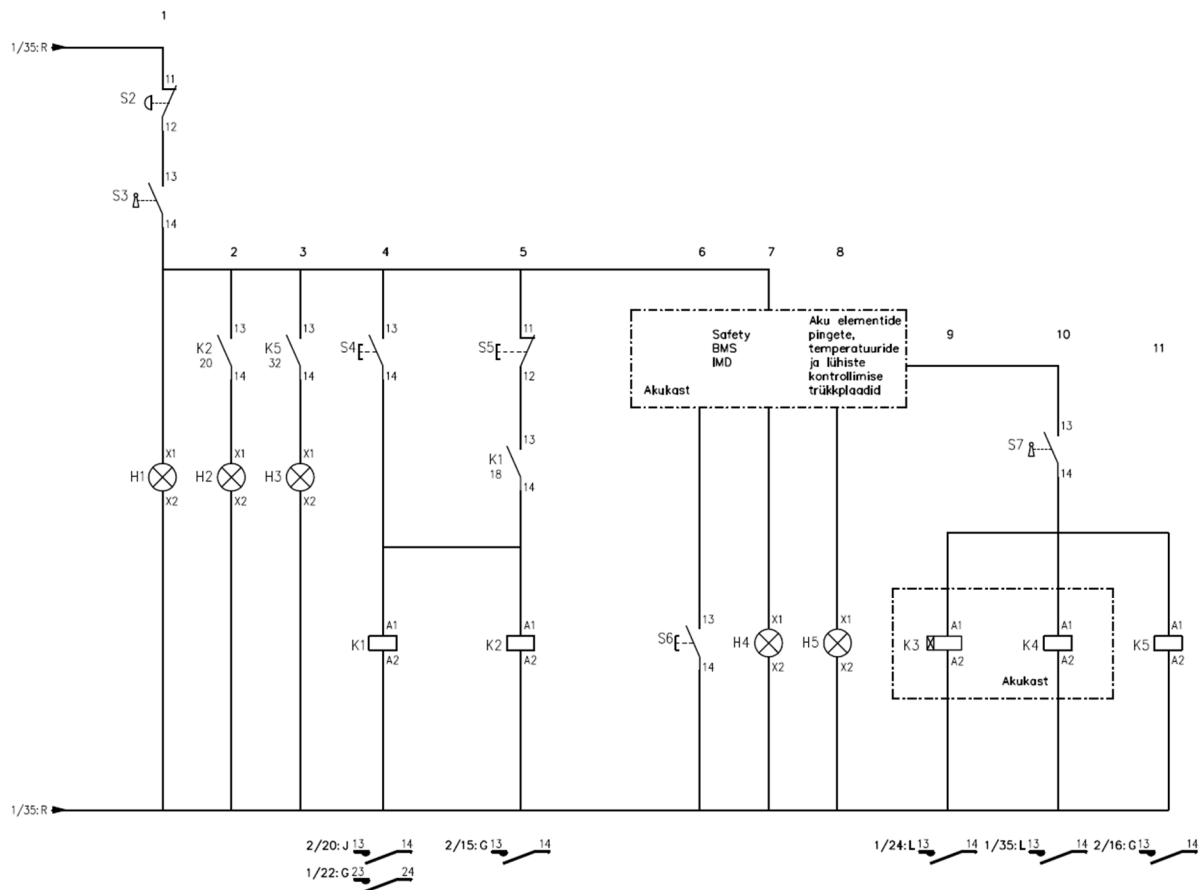
Sele 3. Toiteplokkide ja pistikupesade kaitseseadmed

Aku mõlemat poolust toiteplokkidest eraldavad AIRid ning lisaks on aku pluss poolusele pandud veel sulavkaitse. Aku külge on ühendatud meeskonna enda poolt disainitud pingemuundur, mis muundab autos oleva 588 VDC elektroonikaseadmetele vajalikuks 24 VDC (sele 4).



Sele 4. Toiteplokkide ja aku omavaheline ühendus laadijas

Juhtimisahela skeemil on üleval vasakul näha ohulülilitit ning 24 VDC ahela pealülilit, mida saab ainult võtmega sisse lülitada. Kõik eri potentsiaalidega ahelad on varustatud oma indikaatoriga, mis läheb põlema, kui antud ahel on pingestatud. 230 VAC ahela lülitamiseks kasutatakse mäluga skeemi, mis on ahelates 4 ja 5 näha. Juhtimisahelasse kuuluvad ka akukastis asetsevad ohutuse, BMS ja IMD trükkplaadid, mis tagavad 588 VDC ahela välja lülitamise mittelubatud olukorras. Paremal viimases ahelas on näha, et 588 VDC ahel on samuti võtmega lülitatav (sele 5).



Sele 5. Laadija juhtimisahela skeem

Täismõõdus elektriskeemid on välja toodud lisades 1 ja 2.

2.2 Ohutusplokk

Laadimise ajal peavad BMS ja IMD olema suutelised laadimist katkestama juhul, kui nad tuvastavad lubamatu olukorra. Selle eest hoolitseb autos ohutusplokk, kuhu koonduvad kokku kõik kontrollsignaalid ning vea olukorras katkestab autos kõrgepinge ahela. Eelneval aastal olid autos ja laadijas eraldi trükkplaadid. Laadijas olev trükkplaat oli lihtsustatud versioon autos olevast ohutusplokkist, sest see asus eraldi elektroonika karbis, mis jäi laadimise ajaks autosse. Sel aastal sai trükkplaat pandud akukasti ning seetõttu piisas ühest trükkplaadist. Laadimise käigus kasutatakse ohutusplokkist ainult laadimiseks vajalikke ahelaid. Reeglites on ette määratud, et ohutusplokk ei tohi olla programmeeritav ning kogu kontroll on realiseeritud riistvaraliselt [1].

2.2.1 Komponentide valik

Selle aasta plaadil oli eesmärgiks optimeerimine, seetõttu said kõik releed välja vahetatud mikroskeemide vastu, kuna nende mõõtmed, voolutarve ja lülitusaeg olid väiksemad kui releedel ning releedel on lisaks vaja ka tagasilöögi diodi kõrvale, mis võtab omakorda ruumi. Diodid on kaitseks skeemile pingepiikide eest, kui relee mähises vool katkestatakse [14].

Bistabiilsete releede asemel võeti kasutusele TI CD4027BPW JK trigerid, kus on 2 trigerit ühe korpuse sees. JK triger sai valitud oma mälu võimekuse poolest.

CD4027BPW parameetrid [15]

- Toitepinge 3 – 18 V
- Korpus TSSOP (i.k. *thin-shrink small outline package*)
- Reageerimisaeg 45 ns

Monostabiilse 555 loenduri kondensaatori tühjaks laadimise relee sai välja vahetatud MOSFETi vastu. Valimisel oli kõige tähtsam võimalikult madal lävipinge ning sellest lähtuvalt sai valitud Vishay SI2329DS-T1-GE3, mille lävipinge on -350 mV. Antud lävipinge puhul laadub kondensaator veel piisavalt tühja, et kui skeem uuesti tööle panna, siis ta viivitab plaadi tööle minemist 3,5 s. Hilistus on vajalik kuna BMS ja IMD vajavad käivitumiseks aega ning nende väljundsignaalid ei ole veel lõppasendisse jõudnud.

SI2329DS-T1-GE3 peamised karakteristikud [16]:

- Lävipinge -350 mV
- Neelu läte pinge -8 V
- Paisu läte pinge ± 5 V

Ohutusahela relee sai välja vahetatud p-kanaliga jõu MOSFETi vastu, sest AIR releed peavad olema ühendatud otse maha ning releede lülitushetkel liiguvad suured voolud ahelas. Siia sai valitud võimalikult väikse takistusega ning suure voolutaluvusega MOSFET, et kannatada relee sisse lülitamisest tulenevat voolupiiki.

SUD50P06-15L-E3 parameetrid [17]

- Maksimaalne pidev vool -50 A
- Neelu läte pinge -60 V

- Takistus 0,012 Ω
- Lävipinge -3 V
- Paisu läte pinge ± 20 V

Tagasilöögi diodi valikul peeti silmas võimalikult kiiret lülitusaega ning kõrget pinge ja voolutaluvust.

GF1G parameetrid [18]

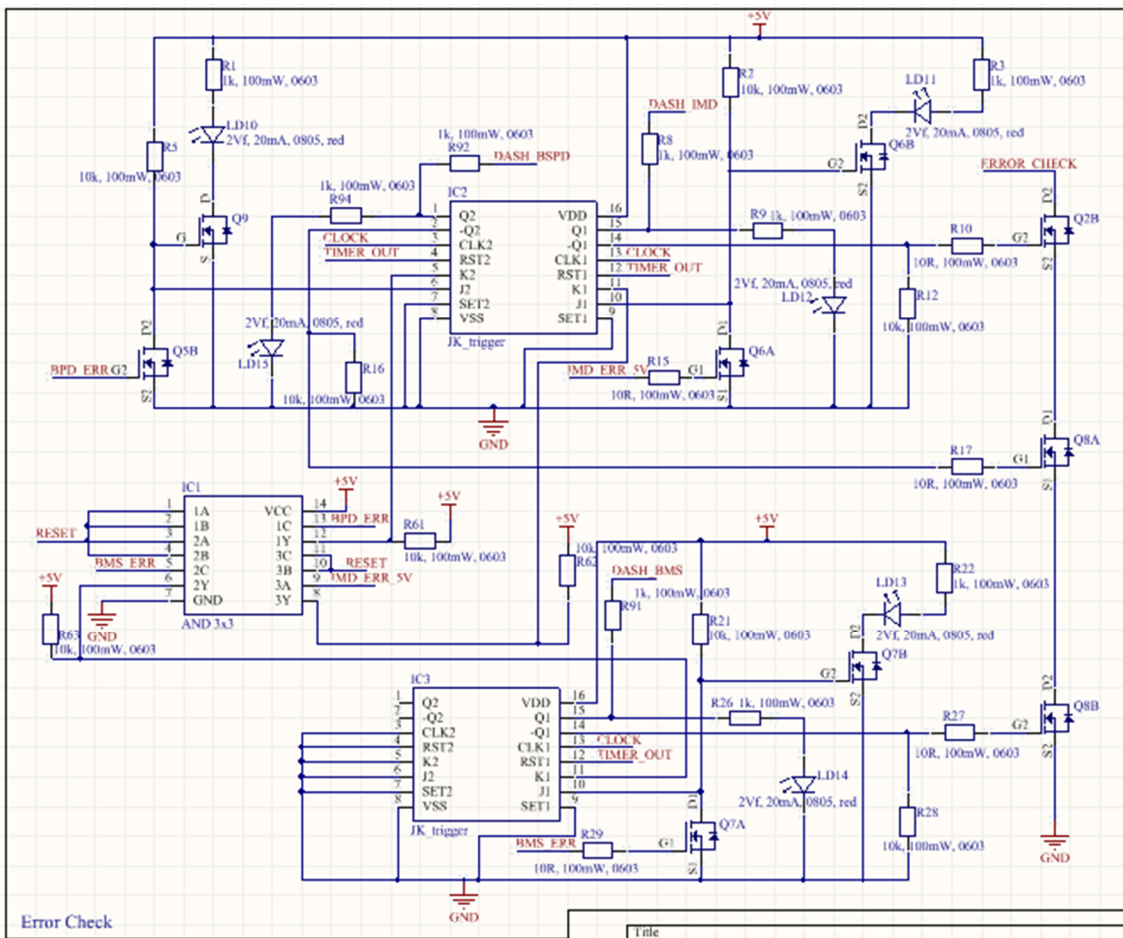
- Päri pingelang 1.1 V
- Voolupiik 30 A
- Vastu pinge 400 V
- Reageerimisaeg 2 μ s

Loogikalülituse MOSFETid said kõik vahetatud MOSFETide vastu, kus on kaks MOSFETi ühe korpuse sees. SOT363 jalajälg on 40 % väiksem, kui kaks eraldi SOT23 korpuses olevat väljatransistori, mis olid kasutusel eelneva aasta ohutusploki [19].

2.2.2 Skeem

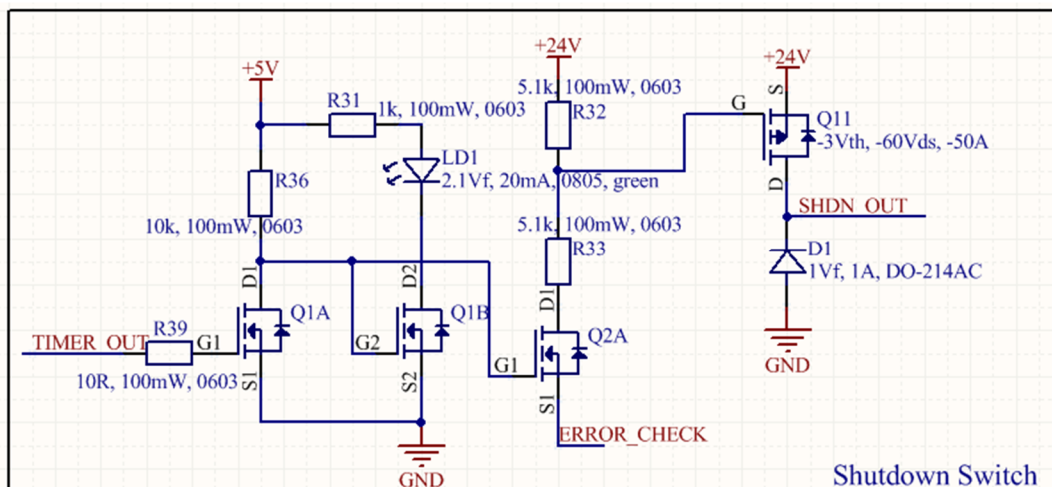
Ohutusploki skeem sai koostatud programmiga Altium Designer. Skeem on grupeeritud funktsioonide kaupa plokkidesse, et oleks lihtsam skeemi lugeda.

Väljakutseks osutus reeglites nõutud mälu funktsiooni rakendamine mikroskeemidel [1]. Eelnevalt oli mälu realiseeritud bistabiilsete releedega, mis taastati algolekusse restart nupuga. Mikrokiipidel sai mälu lahendatud JK trigerite abil. Selleks, et oleks tagatud töökindlus, siis kõik on korras, kui kontrollahelast tuleb kõrge signaal. Kõrge signaal juhib MOSFETi, seega kui signaal ära kaob, tõmmatakse JK trigeri J sisend kõrgeks ning inverteeritud väljund läheb madalale nivoole ja AIR lülituse kontrollahela MOSFET sulgub. K sisend saab kõrgeks minna ainult siis, kui on restart nupp alla vajutatud ning viga ei ole enam aktiivne, mis lülitab inverteeritud väljundi \bar{Q} kõrgele nivoole. K sisendi lülitus on realiseeritud AND loogikat kasutades (sele 6). JK triger vajab ka taktsignaali ning see sai tehtud 555 taimeriga, mis töötab bistabiilses režiimis sagedusega 1 kHz. Taktsagedus on ära määratud takistite ja kondensaatoriga, mis arvutati kasutades Internetis olevaid kalkulaatoreid [20].



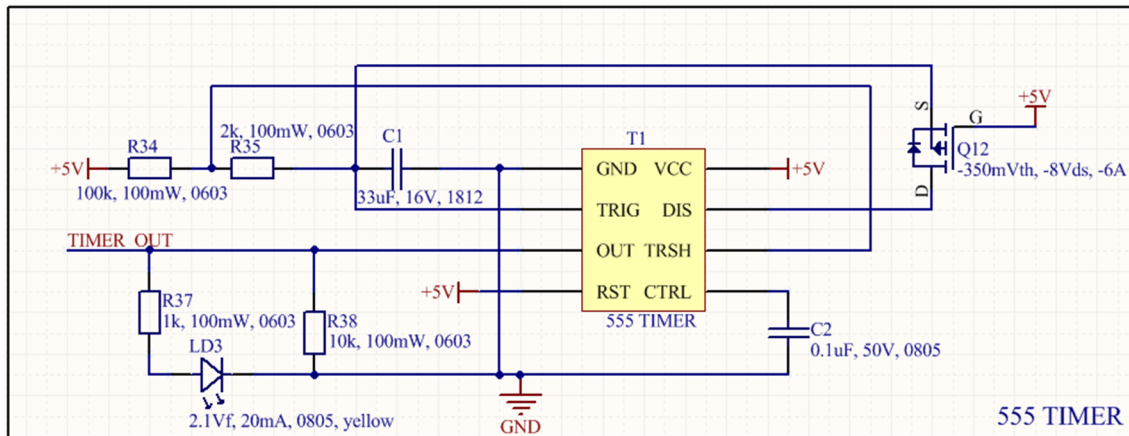
Sele 6. Ohutusploki AIRe lülitava MOSFETi mäluja kontrollahel

AIRe juhtiv MOSFETi läte sai ühendatud 24 VDC peale, sest ta on p-kanaliga. Kuna MOSFETi neelu paisu maksimaalne lubatud potentsiaalide vahe on 20 VDC, siis paisu juhtimiseks on takistitest tehtud pingejagur, mis lülitab paisu 24 VDC ja 12 VDC vahel. MOSFETi kaitseks on AIRidega paralleelselt ühendatud kaitsedioid (sele 7).



Sele 7. AIRe lülitava jõu MOSFETi skeem

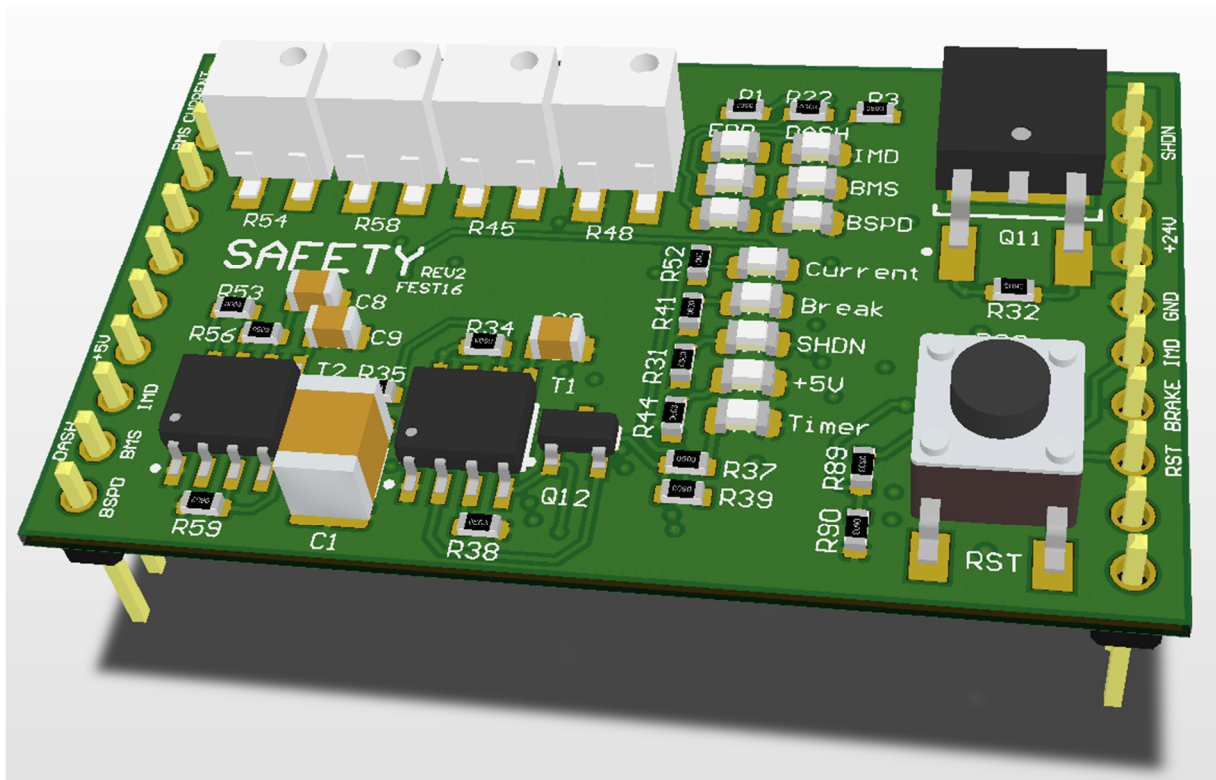
555 loenduri relee välja vahetamine pakkus kõige rohkem väljakutset, sest kui relee säilitab klemmide vahel ühenduse ka mitte pingestatud ahelas, siis mikroskeemid ilma toiteta enam ei tööta. See väljakutse sai lahendatud p-kanaliga MOSFETi abil. P-kanaliga MOSFET juhib voolu juhul, kui paisu pinge on madalam kui lätte pinge ning skeemi välja lülitades jääb tänu kondensaatorile lätte pinge kõrgeks samal ajal kui paisu pinge läheb madalale nivoole, mis omakorda jätab kanali avatuks ja seeläbi saab kondensaator ennast tühjaks laadida kuni lävipingeni (sele 8).



Sele 8. Monostabiilse 555 loenduri skeem

2.2.3 Trükkplaadi disain

Trükkplaadi disaini puhul oli eesmärgiks saavutada võimalikult väike plaat, et hoida autos ruumi kokku. Kõik suured komponendid said paigutatud plaadi pealmisele kihile. Trükkplaat asetseb piikribadega ECU peal ning kahe plaadi vahele jäeti võimalikult väikesed ja vähe soojust eraldavad komponendid. Kõik plaadi tööseisundi kohta infot andvad LEDid on trükkplaadi pealmisel kihil. Rajad, mida läbivad suured voolud, tehti võimalikult lühikesed ning laiad, et vähendada pingelange vastavates ahelates. Selleks paigutati AIRe lülitav MOSFET kohe piikriba kõrvale ning teisele poole plaati samale kohale paigutati kaitsedioid. Lisaks on pealmisel kihil ka kruviga seadistatavad potentsiomeetrid ja restart nupp, et nendele oleks lihtne ligi pääseda (sele 9).



Sele 9. Ohutusploki 3D vaade pealt poolt

Plaat sai tehtud neljakihilisena, sest kõik vormeli trükkplaadid on 4 kihilised ning paneelis tootes peavad kõik plaadid olema sama kihtide arvuga. See tegi radade vedamise mõnevõrra lihtsamaks ning osad signaalid on veetud keskmistel kihtidel. Tasakaalustamiseks trükkplaadi topograafiat on kõik kihid kaetud vasepolügonidega ning jälgitud, et radadest ei tekiks kinnist kontuuri, kuhu jääks suured katmata alad. Disainimisel võeti arvesse ka Brandner PCB OÜ tootmisvõimekust ning nende poolseid soovitusi trükkplaadi disainimisel [21]. Kokkuvõttes õnnestus plaadi mõõtmed tuua 80 x 50 mm pealt 45 x 30 mm peale võrreldes eelmise aastaga. Plaat toodetakse kokku 2 tk, et võistlustel rikke korral saaks esmajoones plaadi ära vahetada ning seejärel plaadil vigu parandada ilma, et auto peaks selle pärast seisma. Trükkplaadi kihid on esitatud lisades 3, 4, 5, 6.

3 TARKVARA

3.1 Eelneva tarkvaraga tutvumine

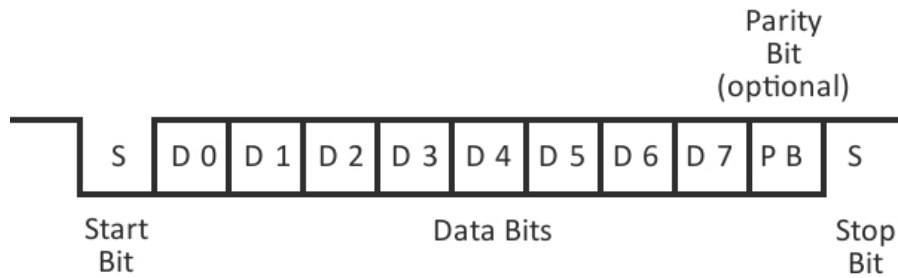
FEST14 laadimisel on kasutusel olnud National Instruments'i LabVIEW tarkvara. LabVIEW kasutab graafilist programmeerimise süntaksit, kus plokk skeemidest vajalik loogika kokku pannakse [22]. Kogu BMSst tulev info kuvati graafikutena ning samuti oli võimalik LabVIEW-st väljundeid lülitada läbi LabVIEW lülitus ploki.

FEST15 akude infot jälgiti programmi Putty kaudu, kus tuli käsurealt saata käsk BMSle, mis siis küsitud info vastu saatis. Antud lahenduse puudusteks on pidev vajadus infot küsida, et näha uusi tulemusi ning info jälgimine on keeruline, kui kokku on 140 rööpahela pinget ja 49 temperatuuri [23]. Seega on tükk tööd, et sealt maksimum ja miinimum üles leida ning hoomata üldist laadimisprotsessi.

3.2 UART suhtlus akuhaldussüsteemi ülema ning arvuti vahel

UART suhtlusprotokoll sai valitud, kuna akuhaldussüsteemi ülemaal olid vajalikud väljaviigud juba olemas. UART on laialdaselt toetatud, lubab kahepoolset suhtlust ning on piisava andmeedastuskiirusega, kuna kuvada on vaja ainult 140 pinget ning 50 temperatuuri. Ühendamiseks kasutatakse USB-RS232 konverteerimiskaableid, kus on mikroskeem, mis võimaldab arvuti USB pesa kaudu UART signaali lugeda [24].

UART on andmevahetusprotokoll, mis võimaldab täielikku kahepoolset suhtlust. Vastuvõtu liini kaudu võetakse infot vastu ning edastusliini kaudu saadetakse infot välja. UART andmeedastus algab algusbitiga, mis tähendab, et saatja tõmbab enda TX liini madala nivoo peale. Seejärel saadetakse 5-8 andme bitti, millele järgneb valikuline paarsus bitt, millega on võimalik kontrollida ega info vahepeal kahjustada pole saanud. Andmeedastus lõppeb ühe või kahe stopp bitiga, kus TX liin tõmmatakse kõrgele jälle (sele 10). Rahuolekus on liin kõrgel nivool, mis on jäänud telegraafi aegadest, et tuvastada olukord, kus liin on viga saanud [25].



Sele 10. UART suhtluse protokoll [25]

Protokolli toimimiseks peavad saatja ja vastuvõtja kokku leppima järgnevates punktides [25]:

- Mitu andme biti saadetakse iga paketiga
- Info edastus kiirus
- Kas paarsusbiti kasutatakse ning kas see on kõrgel või madalal nivool
- Mitu stopp biti saadetakse paketi lõpus

Suhtluse kiiruseks valiti maksimum kiirus ehk 115 200 Bd, et graafilised muudatused oleks võimalikult sujuvad. Paketis edastatava info bittide arvuks valiti 7, kuna kasutatakse ASCII koodi ja seega pole rohkem info bitte vaja. Paarsusbiti ei kasutata, kuna signaali juhtmed on lühikesed ja seni pole märgata olnud, et oleks info edastused vigu esinenud. Juhul kui lähebki pakett kaduma, siis antud juhul on info ainult visuaalseks jälgimiseks ning midagi halba sellest ei juhtu. Stopp bittide arvuks võetakse üks.

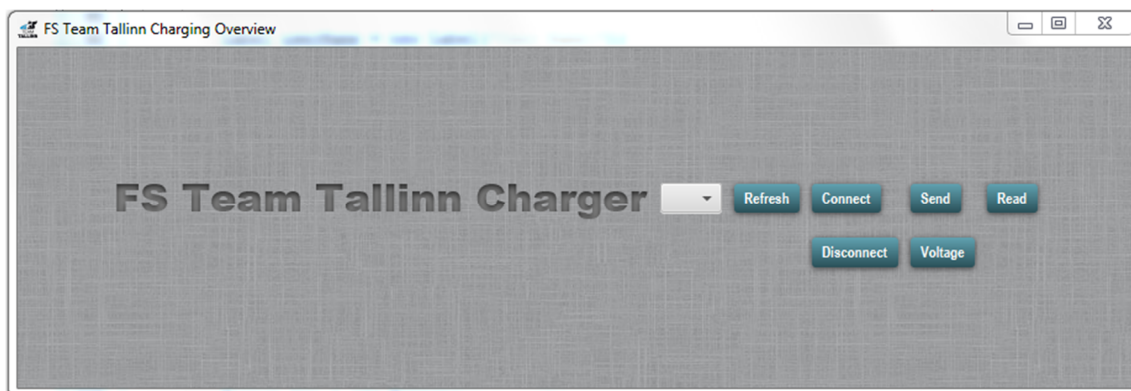
Arvuti ning akuhaldussüsteemi ülema vahelise suhtluse õigsuse tagamiseks on UART peale loodud ka lihtne protokolli kiht. Antud lahendus on kasutusele võetud kriitilise info, nagu balansseerimiskäsu, saatmise tarbeks. Saades info kätte, saadab vastuvõtja omaltpoolt sõnumi „OK“ ning kui saatja on selle sõnumi kätte saanud, siis saadab omaltpoolt vastu „OK ACK“ tähistamiseks, et sai sõnumi kätte ning antud paketi edastus on edukalt õnnestunud [26].

3.3 Tarkvara arendamine

Tarkvara arenduskeeleks valiti Java ning keskkonnaks NetBeans IDE, mis ongi loodud Java graafiliste liideste loomiseks. Antud valik sai tehtud seetõttu, et varasemalt on arendatud meeskonna poolt telemeetria samal baasil ja mõistlik on hoida ühtset stiili. Graafilise lahenduse loomiseks kasutati lisaks Scene Builder 2.0, mis on ainuke tarkvara JavaFX jaoks, mis

võimaldab graafika plokkide aknasse lohistada ning genereerib seejärel ise FXML koodi. Scene Builder on lihtsasti ühildatav NetBeans-iga, seega on kasutajaliidest mugav arendada. Kogu äri loogika kirjutatakse Java klassi, graafiline asjade paigutus konsoliaknas tehakse FXML failis ning kõigi objektide kujundus viimistletakse CSS failis, et oleks mugav orienteeruda ja lihtne hallata kogu projekti. Java kasuks räägib veel asjaolu, et see on laialdaselt levinud ning seetõttu on Internetis infot ning näidis koodilõike, mida kasutada. Lisaks läbis töö autor eelneval semestril Java kursused ning antud projekt oli hea variant kinnistada õpitud.

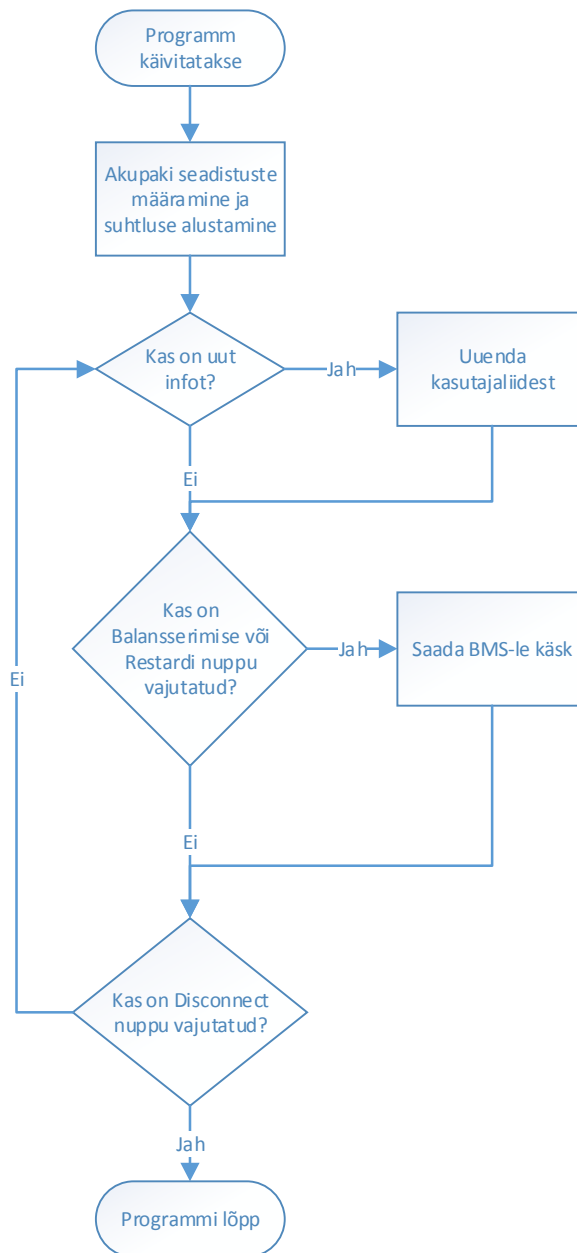
Java kaubamärgi omaja Sun ei toeta enam jada suhtlust Windowsile, seega sai Internetist alla tõmmatud RXTX teek, kus on vajalikud meetodid COM pordi valikuks, sellega ühenduse loomiseks, sõnumite saatmiseks, vastuvõtmiseks ja ühenduse katkestamiseks [27]. Esimese asjana saigi ette võetud antud teegi tööle saamine. Kasutades kahte USB-RS232 kaablit, tekitati arvutile COM port ning tarkvaras kuvati võimalikud COM pordid rippmenüüsse. Pärast COM pordi valimist ning ühenduse loomist prooviti ühe pordi kaudu Javast infot välja saata ning seejärel teisest pordist seda lugeda kasutades RealTerm tarkvara. Järgmise sammuna saadeti RealTerm konsolist infot välja ning loeti see Javas sisse. Kui kõik need meetodid olid valideeritud jäi veel lisada COM pordi sulgemise nupp ning seejärel olid kõik teegi vajalikud meetodid valideeritud (sele 11).



Sele 11. Java test konsoliaken testimaks Internetist alla tõmmatud RXTX teeki

Ühenduse loomise alguses saadab arvutis olev tarkvara teate, et BMS on ühendatud laadijaga ning seejärel hakkab BMS pidevalt elementide pingeid ning temperatuure saatma, mis kuvatakse progress ribadena kasutajaliidises (sele 12). Java ja akuhaldussüsteemi ülema vahelise suhtluse jaoks kogutakse kogu info ühte stringi ning saadetakse UART kaudu arvutis olevasse kasutajaliidisesse, kus see tekstitöötluse kaudu jälle ümber töödeldakse ning vastavatele muutujatele omad väärtused antakse. Kõik sõnumid algavad sidekriipsuga „-“,

millele järgneb sõnumi sisu ning sõnumid lõpetatakse uue rea (i.k. *Line Feed*) ja kursori tagastus (i.k. *Carriage Return*) sümbolitega.



Sele 12. Laadimisprotsessi plokkiagramm

Laadimise läbi viimiseks on kasutajaliidesesse lisatud ka ohutus- ja laadimisjuhendid iga aasta vormeli kohta selleks, et laadimine ei sõltuks alati ühest inimesest. FEST16 kasutaja liidesesse kuvatakse 140 laadimisriba, mis on grupeeritud 10 mooduliks nagu nad autos paigutuvad. Iga laadimisriba juures on pinge ja temperatuuri hetkeväärtus numbriliselt lisaks, et oleks konkreetne arvuline väärtus, mida jälgida. Lisaks on üks üldine laadimisriba, kus kuvatakse aku

hetke pinget võrreldes seda lubatud vahemikuga ning kuvatakse see protsendiliselt. Maksimaalne temperatuur ja pinge kuvatakse punasega ning minimaalne temperatuur ja pinge sinisega. Graafikaaknas on veel teksti aken, kus kuvatakse kõik tehtud käsud koos ajatempliga ning akuhaldusülemalt tulnud veateated. Graafikaaknas on balansseerimise nupp, koos indikaatoriga, mis näitab, kas balansserimine on sisse lülitatud või mitte, nupp akuhaldussüsteemi ülema vigade kustutamiseks ning nupp ühenduse loomiseks ja katkestamiseks.

4 MEHAANIKA

4.1 Eelneva lahenduse analüüs

Eelneva aasta käru toodeti vineerplaatidest ning liideti omavahel tappide ja metallnurkadega kokku. Põhi ning kaas tehti 12 mm ning seinad 6.5 mm paksusest plaadist. Suur toiteplokk oli toetatud rataste kinnituspoltide peale ning ABB väiksemad toiteplokkid DIN relsiga seintele. Elektroonika juhtloogika kohtkilp asetses suure toiteploki peal vabalt. Surnud mehe pidur oli lahendatud metallist toruga, mis tõmmati vedrudega vastu rattaid. Käepide oli ühenduses toruga trossi vahendusel ning rakendades käepidet, eemaldus pulk ratastest ning käru sai vabalt liikuda. Jahutus oli realiseeritud vaba õhu liikumisega, mille tarvis olid laadija ees ja tagaosas suured avad.

4.2 Komponentide ja tootmistehnoloogia valik

Käru korpuse valmistamisel otsustati kasutada lehtmaterjale ning nende hulgast kaaluti süsinikkomposiitmaterjali, metalli ning puitu. Tingitud olukorrast, et kärus on kuni 588 VDC ning 400 VAC said elektrit juhtivad materjalid kõrvale heidetud ning otsustati kasutada puitu.

Võistlustel on laadimiseks eraldi ala telkide all, kus on vormelite akude laadimine lubatud. Vaatamata sellele võib transpordi käigus laadija käru sattuda vihma kätte, seega peaks käru korpus olema ilmastikukindel. Hind mängib ka olulist rolli ning siinkohal tuleb vaadata materjali ning materjali töötlemise hindu. Antud kriteeriumitele vastas kõige paremini eelneval hooajal laadija käru ehitusel end tõestanud veekindel vineerplaat. Vineerplaatide tugevusanalüüsi on keeruline teha, kuid autor lähtub sellest, et eelneval aastal lahendus toimis ning sel aastal on akukast ligikaudu 15 kg kergem.

Käru seinte tootmistehnoloogia on valikuteks freesimine, laser- ning vesilõikus. Laser-, ning vesilõikuse kasuks räägib nurgaraadiuste puudumine, kuid laserlõikus ei saa nii paksu veekindlat vineeri lõigata. Tavaolukorras kasutaks seinte välja lõikamiseks vesilõikust, kuid kuna ühel meeskonnaliikmel on freespink olemas ning seetõttu on freesimine meeskonnale tasuta, siis otsustati freesimise kasuks. Alles jäänud sisemised raadiused saab viiliga hiljem ise eemaldada. Vineerplaadid liidetakse omavahel kokku tappliitega. Töökindluse tagamiseks kinnitatakse plaadid nurkadest ka raudvinklitega.

Ventilaatorite valikul peeti silmas, et vaja on liigutada palju õhku ning rõhk antud olukorras ei ole vajalik. Seetõttu otsustati tsentrifuug ja aksiaal ventilaatorite vahel valides aksiaal ventilaatori kasuks, mis on ideaalsed just õhu ühest kohast teise liigutamiseks ning jahutuseks kinnistes ruumides. Lisaks vajavad aksiaalventilaatorid töötamiseks vähe võimsust ja on odavamad [28]. Ventilaatori valikul pöörati tähelepanu ka laagrile, mida koostamisel kasutatud on. Kuullaagrid on töökindlamad kui liugelaagrid kestes 50 % kauem kui liugelaagrid, mis enam 70 °C juures enam ei tööta. Seetõttu on insenerilahendustes jahutuseesmärkidel kasutusel kuullaagritega ventilaatorid [29] (tabel 3).

Tabel 3. Valitud jahutusventilaatorite parameetrid [30], [31]

	4715FS-23T-B50-D00	3C-230HB-T
Tootja	NMB Technologies	Bisonic
Tööpinge [VAC]	230	230
Gabariitmõõdud [mm]	119 x 119 x 38	80 x 80 x 38
Tootlikkus [m ³ /min]	3,1	0,99
Töötemperatuur [°C]	-10 ... +70	-30 ... +75

Lehtkummi valikul vaadati lehtkummi valiku kriteeriumi tabelist, milline lehtkumm on kesktlābi kõige paremate omadustega ning selle põhjal valiti CR lehtkumm. Paksuseks valiti 8 mm, mis on piisavalt paks, et pärast kontuuride sisse freesimist jääks tööriistad paika ning säiliks piisav pehmendus, et nad transpordi käigus kolisema ei hakkaks [32].

Sahtli liuguriteks valiti pehmelt sulguvad teleskoopliugurid. Pehmelt sulguvad said valitud seetõttu, et transpordi ajal ei hakkaks sahtel edasi-tagasi liikuma, sest pehmelt sulguv mehhanism hoiab sahtlit paigal.

4.3 Korpuse disain

Disainimist alustati suurima toiteploki järgi, mis paigutati kõige alla. Selleks, et toiteplokk ei toetus rataste poltide peale sai külgeinte vahele tappidega pandud kaks vineerist tuge, mis toetaks toiteplokki. Toiteploki järgi valiti ka laadija kasti laius ja sügavus jättes taha piisavalt ruumi juhtmete ühendamiseks. Seejärel paigutati kasti taha ossa mõlemale küljeseinale ABB laadijad, et hoida juhtmed võimalikult lühikesed. Kõrguse osas jäeti toiteplokkide vahele 60 mm, kuna ABB toiteplokkide juhtmeühendused on tehtud toiteplokkide all. ABB

toiteplokkide ümber jäeti andmelehes soovitatult 25 mm ruumi õhu liikumiseks igas suunas [2]. ABB toiteplokkide ette jäi piisav ruum kohtkilbi jaoks ning juhtmete vedamise koha pealt on antud koht samuti sobiv, kuna asub kõikide ühenduste keskel. Juhtnupud ning indikaatoritud said paigutatud käru esipaneelile, kus on samuti EA toiteploki ekraan. Sel viisil on kõik laadimisega seotud kontroll ja visuaalne info ühte kohta koondatud.

Toiteplokkide peale sai projekteeritud sahtel. Sahtel on kahe sektsiooniga ning hoiustab endas laadimise jälgimiseks vajalikku arvutit ning kõiki tööriistu, mida laadimise teostamiseks vaja võib minna. Sahtel on vajalik, kuna laadimisala on võistlustel eraldi kohas ning tööriistade maha unustamine ning kaasa kandmine on tülikas. Selleks et tööriistad ei koliseks, oleks parem ülevaade olukorrast ning kaitsta arvutit vibratsiooni eest on sahtli põhja paigutatud lehtkumm, kuhu on kõigi asjade kontuurjooned sisse freesitud. Sahtli arvuti sektsioonile tuleb peale ka kate, mida on võimalik kasutada töötasapinnana laadimise ajal. Sahtel kinnitatakse vaikselt sulgivate siinidega vältimaks soovimatut lahti tulemist ning loksumist transpordi käigus.

Laadija kasti kaas tehakse see aasta samuti 12 mm vineerplaadist, et oleks tagatud piisav tugevus kui on akukasti kontuurjooned kaane sisse freesitud, et vältida akukasti liikumist transportimisel. Sahtli tõttu tõusis kogu käru kõrgus 10 cm võrra, mis tõstis akukasti tasapinda kõrgemale muutes selle ergonomilisemaks.

Surnud mehe piduri lahendus jääb samaks, mis eelneval aastal. Vana käru pealt võetakse kogu süsteem koos ratastega uue käru peale, kuna pole ühtegi seadet, mida vana käruga enam transportida ning uue pidurisüsteemi tootmine oleks liialt ajakulukas (sele 13). Uus pidurisüsteem tuleb toota uuel hooajal, kui soetatakse kõrgema väljundpingega toiteplokk. Sel juhul lähevad FEST14 laadimiseseadmed vanasse kärusse ning FEST15 ja FEST16 laadimiseks kasutatakse antud töös projekteeritud laadijat.



Sele 13. Laadija käru CAD mudel

Käru sunnitud konvektsioon tekitatakse ventilaatoritega. Sel viisil on kontrollitud kust kaudu õhk liigub ning samuti saab nii vajalikesse kohtadesse filtrid panna, et hoida käru sees olev keskkond tolmuvaba. Tolmu sadestumisel halveneb soojuse hajumine pinnalt, ning seadmete temperatuurid hakkavad tõusma. Õhk võetakse sisse laadija eest ning juhatakse välja tagant. Ventilaator paigutatakse laadija taha, kuna ees ei ole selle jaoks piisavalt ruumi. Ees aitab õhu liikumisele kaasa kohtkilbis olev väiksem ventilaator, mis paigutatakse samuti nii, et ta suunaks õhu liikumise käru eest taha. Kui kuumades suvepäevadel jääb sellest väheks, siis on võimalik panna kuiva jääd õhu sisse võtu avade ette, mis aitab paremini jahutada.

KOKKUVÕTE

Käesoleva bakalaureusetöö tulemusena on üle vaadatud ning läbi analüüsitud eelnevate vormelautode laadijad ning välja arendatud terviklik laadija vormelautole FEST16. Laadija arendamisel keskenduti lihtsusele, ohutusele, töökindlusele ning jätkusuutlikkusele.

Elektroonika osa pakkus kõige enam väljakutseid. Ohutusplakk oli autori esimene kokkupuude trükkplaatidega, seega tuli selgeks teha endale trükkplaadi disainimise põhimõtted. Töö käigus sai tutvutud ka põhjalikumalt MOSFETide ehituse ning tööpõhimõtetega, sest kõik lülitused trükkplaadil on lahendatud nendega. Eesmärk optimeerida ohutusplakki õnnestus. Trükkplaadil ei ole enam ühtegi releed ja plaadi mõõtmed vähenesid ligikaudu 40 %. Toiteplokkide juhtmestiku projekteerimine käigus sai vormelauto FEST16 laadija juhtmestik muudetud palju lihtsamaks.

Tarkvaraliselt tuli üle minna täiesti uuele platvormile, milleks on Java. Selleks tuli tööle saada trükkplaadi ning arvuti vaheline suhtlus ning paika panna sõnumite edastamise reeglid. Seejärel loodi kontseptsioon, kuidas kasutajaliides peaks välja nägema, et seal oleks kõik laadimisega seotud vajalik info kuvatud. Töö autor usub, et antud süsteemi on võrdlemisi lihtne väikeste täienduste näol kasutada ka uute elektrivormelite laadimise jälgimiseks.

Mehaanikas vaadati üle käru senine disain ning täiendati seda sealt, kust vaja oli. Üheks uuenduseks oli sahtli lisamine kärule, et võistlustel laadimisalale minnes oleks kõiki vajalikke tööriistu võimalikult mugav kaasas kanda ning oleks ülevaade, kas kõik vajalikud asjad on olemas. Teiseks vaadati üle kogu käru jahutus ning mindi üle sundjahutusele. Selleks suleti kõik käru avad ning tekitati ventilaatoritega kontrollitud õhuringlus.

Järgneval aastal peaks FSTT tegema ühe suurema investeeringu, et minna üle ühele toiteplokkile. See lihtsustaks antud süsteemi veelgi, muudaks seda töökindlamaks, lihtsamini jälgitavaks ning annaks meeskonnale ajavõitu laadimise arvelt, kuna elementide lubatud laadimisvoolud on kordades suuremad, kui hetkel toiteplokkid võimaldavad.

Töö autor arvab, et antud projekti käigus sai seni viimasele hetkele jäetud laadijate lahendused üle vaadatud ning vajalikud muudatused tehtud, et luua hea alusplatvorm järgnevateks aastateks. Seeläbi tekkis FEST16 laadija kohta korralik dokumentatsioon, mida saab uuel hooajal laadija eest vastutav isik teemasse sissejuhatuseks uurida ning seejärel antud projekti edasi arendada.

SUMMARY

This bachelor thesis resulted in analysing the previous versions of the battery chargers for electric formula cars and then developing a whole solution for FEST16. The main aspects that were focused upon in developing the charger were simplicity, safety, reliability and sustainability.

Electronics were the most challenging part of the whole thesis. The Safety board was author's first PCB to design so there were a lot of design rules to follow and understand. During the development author also had to get the understanding of how MOSFETs work as all the signal switching on PCB were done using MOSFETs. The goal to optimize the PCB was successful and the size of the PCB was reduced 40 % from the last year's design. The connections for the power supplies were made a lot more simple than they were.

The software got a whole new platform to work on, which is Java. To do so, the first challenge was to get the Java application and the BMS master communicate with each. Next step was to set down rules how messages are sent. After that the basic concept how the user interface should look like was set down. The author believes that the software will be fairly easy to adapt to be suitable for new formula cars.

Mechanical part of the thesis analysed current design and made improvement where needed. One new thing was a drawer for the charger. One can hold all the tools needed for charging process in it and transport them without any problems. This also helps to keep track if all tools are present or some of them are missing. Secondly the ventilation of the charger was redesigned and forced ventilation was taken into use. To do so all holes in charger were closed and controlled air flow was created using ventilators.

Next year FSTT should make a bigger investment regarding the power supply and use only one in the charger. It would make the system even simpler, more reliable and observable and would win some time regarding charging as the elements are capable of taking more charging current than we are currently using.

The author evaluates that during the thesis work a good platform was made for the next year's formula cars to come. The project should no longer have the problems it used to have due to being left till the very last moment. There is a proper documentation regarding the charger which can be studied and then further developed by the new person who is going to be responsible for the charging system years to come.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

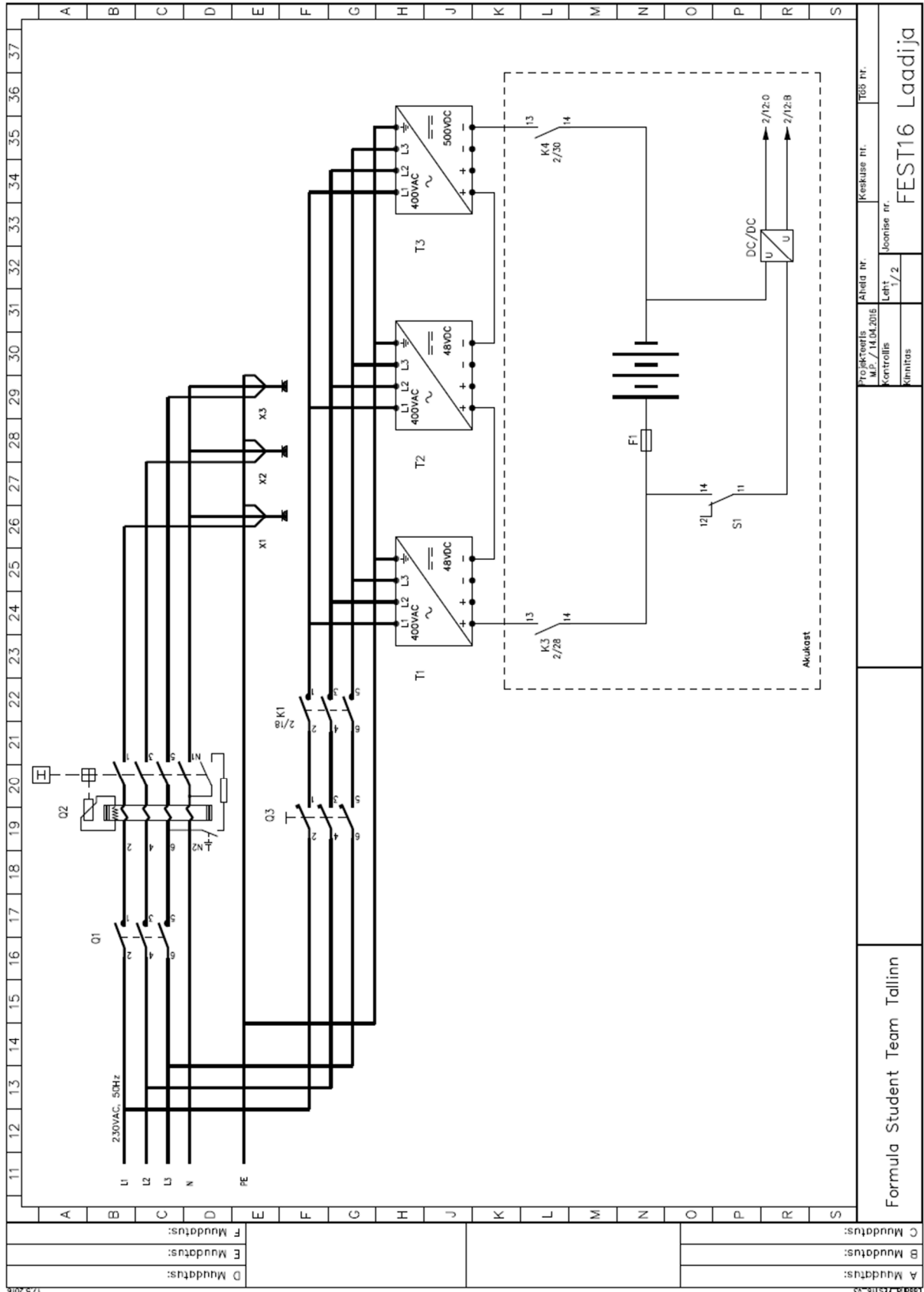
- [1] Institution of Mechanical Engineers [WWW]
<http://formulastudent.imeche.org/docs/default-source/default-document-library/2016-fsae-rules.pdf?sfvrsn=0> (10 05 2016).
- [2] Power supply CP-T 48/20.0 [WWW]
<https://library.e.abb.com/public/7175927f766744b5c1257e3b0041f999/2CDC114073D0201.pdf> (10 03 2015).
- [3] PS 8000 3U High Power Supply Series [WWW]
<http://www.farnell.com/datasheets/614239.pdf> (10 03 2015).
- [4] A Designer's Guide to Lithium Battery Charging [WWW]
<http://www.digikey.com/en/articles/techzone/2012/sep/a-designers-guide-to-lithium-battery-charging> (15 04 2016).
- [5] ePower EXP UltraPerformance [WWW] <https://www.eflight.ch/pi/ePower-EXP-UltraPerformance.html> (10 03 2016).
- [6] Heavy Duty Laboratory DC Power Supplies [WWW]
<http://www.farnell.com/datasheets/1907680.pdf> (01 04 2016).
- [7] Miniature circuit breakers - MCBs [WWW] <http://new.abb.com/low-voltage/products/system-pro-m/miniature-circuit-breakers> (15 05 2016).
- [8] Detailed information for: S203-B6 [WWW]
<http://new.abb.com/products/ABB2CDS253001R0065> (15 05 2016).
- [9] Rikkevoolukaitset [WWW]
<https://et.wikipedia.org/wiki/Rikkevoolukaitset%C3%BCliti> (15 05 2016).
- [10] Fehlerstrom-Schutzschalter [WWW] <http://new.abb.com/low-voltage/de/produkte/installationsgeraete/fehlerstrom-schutzeinrichtungen/fi-schalter> (15 05 2016).

- [11] Relee Finder 2CO 8A 24VDC 40.52 [WWW]
<http://www.harjuelekter.ee/et/product/17245> (16 05 2016).
- [12] Relee Finder Pesa 2CO 10A [WWW] <http://www.harjuelekter.ee/et/product/17249>
 (16 05 2016).
- [13] CADs Planner [WWW] <http://www.cads.ee/news.cfm> (12 05 2016).
- [14] Flyback diode [WWW] https://en.wikipedia.org/wiki/Flyback_diode (10 05 2016).
- [15] CMOS Dual J-K Master-Slave Flip-Flop [WWW]
<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/cd4027b-mil.pdf> (16 05 2016).
- [16] P-Channel 8 V (D-S) MOSFET [WWW]
<http://www.vishay.com/docs/67690/si2329ds.pdf> (16 05 2016).
- [17] P-Channel 60 V (D-S), 175 °C MOSFET [WWW]
<http://www.vishay.com/docs/72250/72250.pdf> (16 05 2016).
- [18] Surface Mount Glass Passivated Rectifier [WWW]
<http://www.vishay.com/docs/88617/gfl.pdf> (16 05 2016).
- [19] PMGD780SN [WWW]
http://cache.nxp.com/documents/data_sheet/PMGD780SN.pdf?pspll=1 (16 05 2016).
- [20] 555 Astable Circuit Calculator [WWW] <http://www.ohmslawcalculator.com/555-astable-calculator> (16 05 2016).
- [21] Production Capabilities [WWW] <https://www.brandner.ee/eng/74/83> (16 05 2016).
- [22] LabView System Design Software [WWW] <http://www.ni.com/labview/> (16 05 2016).
- [23] Jansons, Kristjan, Akuhaldussüsteem elektriautole FEST15, TTÜ, 2015.
- [24] USB RS232 Cables [WWW] <http://www.ftdichip.com/Products/Cables/USBRS232.htm>
 (16 05 2016).

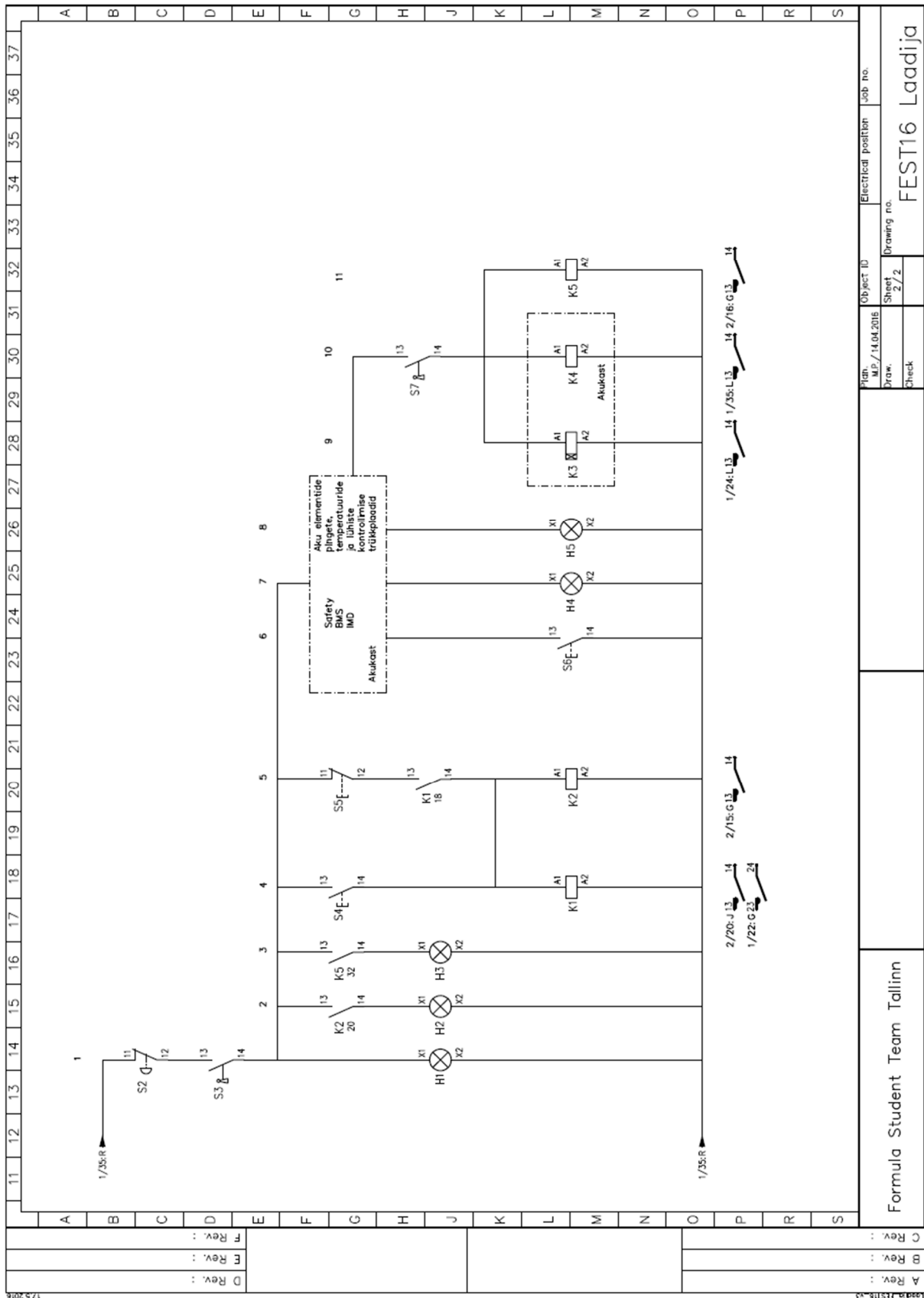
- [25] A Web Developer's Guide to Communication Protocols (SPI, I2C, UART, GPIO) [WWW] <https://tessel.io/blog/108840925797/a-web-developers-guide-to-communication-protocols> (16 05 2016).
- [26] RS232 in Java for Windows [WWW] <http://www.kuligowski.pl/java/rs232-in-java-for-windows,1> (10 05 2016).
- [27] Installing RXTX for Serial Communication with Java [WWW] <https://blog.henrypoon.com/blog/2010/12/25/installing-rxtx-for-serial-communication-with-java/> (10 05 2016).
- [28] Axial Vs. Centrifugal Fans [WWW] <http://www.pelonistechologies.com/blog/axial-vs.-centrifugal-fans>. (16 05 2016).
- [29] Choosing a Fan That Best Fits Your Application - NMB [WWW] www.nmbtc.com/fans/white-papers/fans_choosing_a_fan/ (10 05 2016).
- [30] Bi-Sonic Tech Corp AC Cooling Fan 3C [WWW] <http://www.farnell.com/datasheets/6979.pdf> (16 05 2016).
- [31] NMB AC Axial Fans [WWW] <http://www.farnell.com/datasheets/27444.pdf> (16 05 2016).
- [32] Lehtkummid | Kumex [WWW] <http://www.kumex.ee/lehtkummid/> (16 05 2016).

LISAD

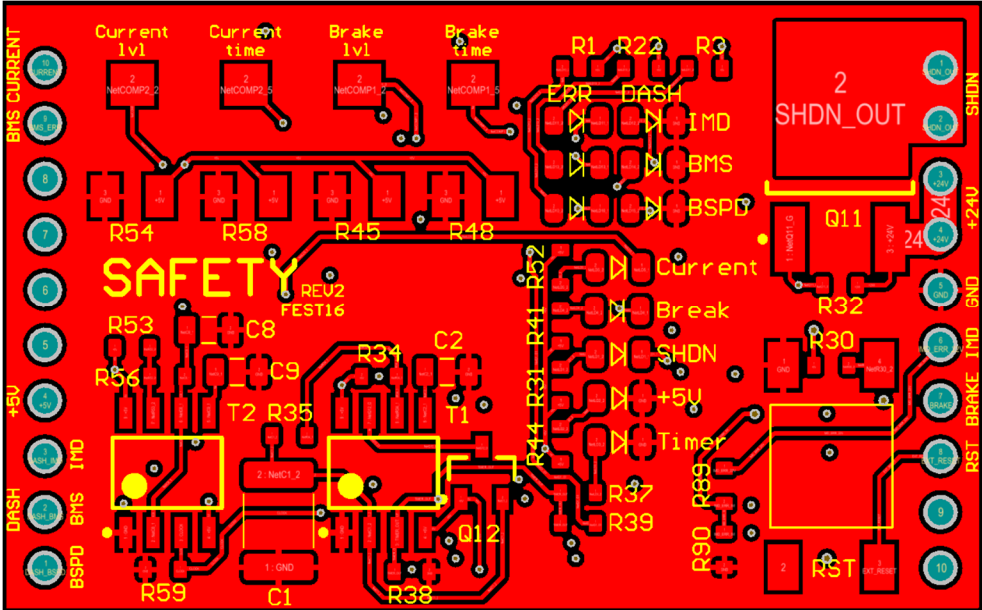
Lisa 1: Laadija peahela elektriskeem



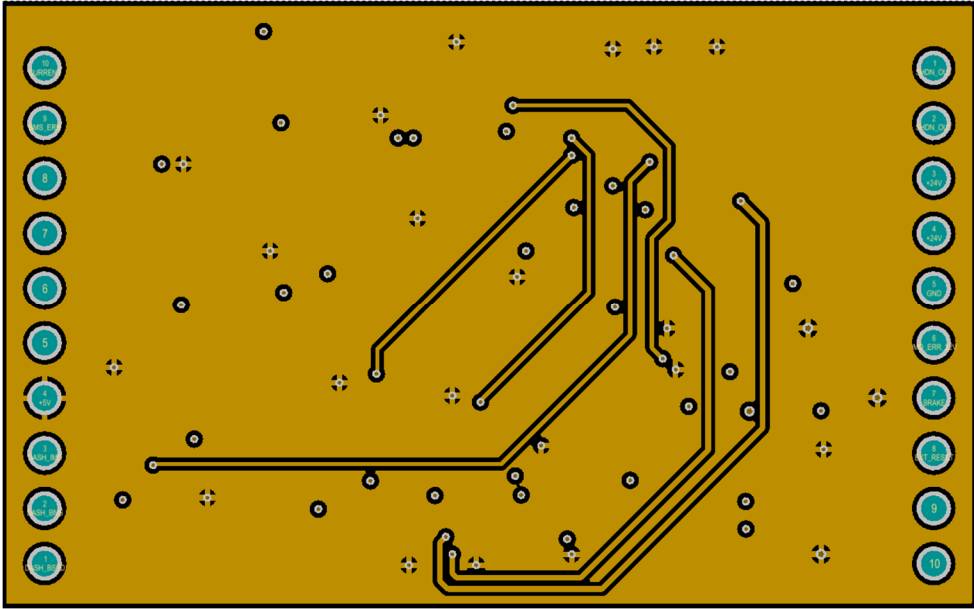
Lisa 2: Laadija juhtimisahela elektriskeem



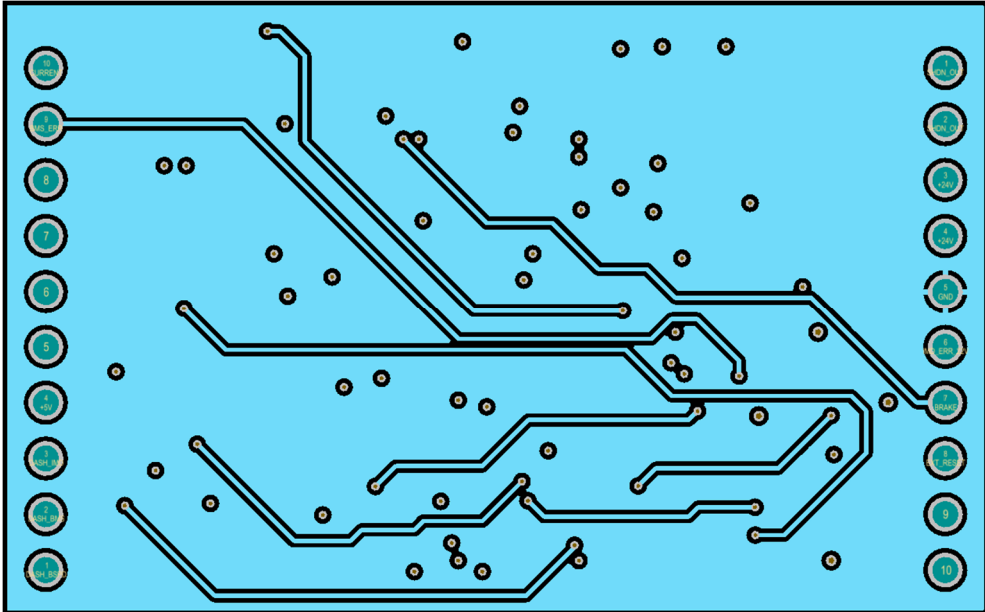
Lisa 3: Ohutusploki pealne kiht



Lisa 4: Ohutusploki teine kiht



Lisa 5: Ohutusploki kolmas kiht



Lisa 6: Ohutusploki alumine kiht

