



Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

TUDENGIVORMELI FEST18 JUHTMESTUSE

DISAINIMINE, ANALÜÜSIMINE JA VALMISTAMINE

Development, analysis and manufacturing of wiring harness for the
Formula Student car FEST18

BAKALAUREUSETÖÖ

Juhendaja/õppejõud: Tanel Jalakas

Üliõpilane Martin Saar
164382

Õppekava nimetus MAHB 02/13

Tallinn 2019

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt. Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud

“.....” 2019

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

“.....” 201.....

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....”201...

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane:

Martin Saar, 164382

Õppekava, peeriala

MAHB 02/13, Mehhatroonika

Juhendaja(d):

Lõputöö teema:

Tudengivormeli FEST18 juhtmestuse disainimine, analüüsimine ja valmistamine

Development, analysis and manufacturing of wiring harness for the Formula Student car FEST18

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Disainida töökindel ja kvaliteetne juhtmestus vormelile FEST18
2. Vähendada juhtmestiku kaalu võrreldes eelmiste vormelite omaga
3. Analüüsida juhtmete ja nende kaitsmiseks vajalike komponentide parameetreid, et leida optimaalseim lahendus

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Tudengivormeli FEST17 juhtmestiku analüüs	tehtud
2.	FEST18 juhtmestuse 3D mudel	tehtud
3.	Komponentide analüüs ja tellimine	tehtud
4.	Komponentide paigaldus ja nende ühendamine	tehtud
5.	Juhtmestuse paigaldus vormelisse	tehtud
6.	Lõputöö vormistus, printimine ja kokku köitmine	18.05.2019

Töö keel: Eesti keel

Lõputöö esitamise tähtaeg: "21" mai 2019a

Üliõpilane: Martin Saar

.....

"28" märts 2019a

/allkiri/

Juhendaja:

.....

"28" märts 2019a

/allkiri/

Sisukord

EESÕNA	6
Lühendite ja tähiste loetelu.....	7
SISSEJUHATUS	8
1 Juhtmestuse analüüs ja disain	9
1.1 Eelnevate vormelite skeemide ja ühendustega tutvumine	9
1.2 Optimaalse juhtme läbimõõdu arvutamine	10
1.2.1 Kõrgepinge toitejuhtmed	11
1.2.2 Mootorite kolmefaasilised toitejuhtmed	12
1.2.3 Madalpinge juhtmed	13
1.3 Isoleerimata CAN suhtlus.....	13
1.4 CAD tarkvaraga 3D mudeli loomine	14
2 Komponentide valik	16
2.1 Kõrgepinge komponendid	16
2.1.1 Reeglitest tulenevad nõuded kõrgepinge juhtmestusele	16
2.1.2 TS kondensaatorite tühjaks laadimise skeem	16
2.1.3 TS kondensaatorite täis laadimise skeem (<i>Pre-charge</i>)	18
3 Tootmine.....	22
3.1 Juhtmesein	22
3.2 Shutdown	25
3.3 Komponentide paigutus	26
3.4 Pistikud ja muud ühendused	28
3.5 Ühenduste kontroll	29
3.6 Maandamine	29
3.7 Juhtmestiku paigaldus kerosse	30
3.8 Võrdlus FEST17ga	31
4 toimingud Peale juhtmestiku paigaldust.....	34
4.1 IMD	34
4.2 Kontrolleri kondensaatorite täislaadimine	35
4.3 Kontrolleri kondensaatorite tühjaks laadimine	36
KOKKUVÕTE	37
SUMMARY	38

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU 39

EESÕNA

Lõputöö valmis koostöös MTÜ Tudengi Vormeliga ja Formula Student Team Tallinn meeskonnaga. Projekti arendati Tallinna Tehnika Ülikooli ruumides ning valmistati Tallinna Tehnika Kõrgkooli ruumides. Töö valmimisele kaasa aitamise eest sooviksin tänada Toomas Piirsood ja Martin Ploomi. Sooviksin ka tänu avaldada juhendajale Tanel Jalakas.

Antud töö eesmärgiks on arendada ja valmistada Formula Student Team Tallinna 2018 aasta masinale nimega FEST18 kerge, vastupidav ja läbimõeldud juhtmestik. See sisaldab juhtmete vedamist 3D programmis, nende analüüsimist, juhtmelaua peal vormeli juhtmekimbu valmistamist, korrektuuride tegemist ning hilisemat hooldust.

Võtmesõnad: 3D disain, juhtmelaud, hooldus ja testimine

LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

CAD – i.k. Computer Aided Design

3D – kolme dimensiooniline

CAN – i.k. Controller Area Network

GLV – i.k. Grounded Low Voltage, maandatud madalpinge

TS – i.k. Tractive System, kõrgepinge

TSMP – i.k. Tractive System Measuring Point, kõrgepinge mõõtepunkt

HV – i.k. High Voltage, kõrgepinge

Shutdown – ahel, mis pingestatud olekus võimaldab kõrgepinge lülituste tegemist

AIR – i.k. Accumulator Insulating Relay, akukasti isoleeriv relee

PCB – i.k. Printed Circuit Board, trükkplaat

NC – i.k. Normally closed, tavaolekus suletud

AS – i.k. Autosport

IMD – i.k. Insulation Monitoring Device, isolatsioonitakistust mõõtev seadeldis

EMI – i.k. Electromagnetic Impulse

SISSEJUHATUS

Formula Student, ehk tudengivormeli võistlussari on rahvusvaheline inseneride võistlus, mille käigus arendab iga meeskond oma nägemuste ja teadmiste järgi võistlusmasina. Suvel toimuvad Euroopas, Ameerikas ja Aasias võistlused, kus võisteldakse nii kiiruse kui ka teadmiste valdkonnas. Eesti ainsa meeskonna Team Tallinna aasta jaguneb suures plaanis viieks osaks. Septembrist kuni esimese detsembrini on disaini faas, mille käigus lepitakse lahendustes kokku, ning valmib ka 3D mudel masinast. Detsembrist kuni aprilli alguseni toimub toomine ja vormeli sõitma saamine. Kuni juulini testitakse masinat ning kõrvaldatakse ilmnunud probleeme. Juuli kuni septembri algus ollakse välismaal võistlemas.

Antud töö eesmärgiks on arendada ja valmistada Formula Student Team Tallinna 2018 aasta masinale nimega FEST18 kerge, vastupidav ja läbimõeldud juhtmestik. See sisaldab juhtmete vedamist 3D programmis, nende analüüsimist, juhtmelaua peal vormeli juhtmekimbu valmistamist ning korrektuuride tegemist ning hilisemat hooldust. Kuna tegemist on prototüübi ehitusega, siis on ülesandeks 3D programmi puhul see, et autosse jääks võimalikult palju ruumi ja juhtmestik ei oleks juhil jalus. Tootmisfaasis on peamiseks ülesandeks leida optimaalseim lahendus kaalu ja kvaliteedi suhtele ja komponentide puhul tuleb jälgida hinna ja kaalu seotust.

Lõputöö käigus tehakse selgeks nii kõrgepinge kui ka madalpinge skeemide põhimõtted, lisaks sellele analüüsitakse erinevaid lahendusi nii juhtmete paigutamisele kui ka skeemidele. Peale selle peab juhtmestik vastama reeglitele, mis on kohtunike poolt ette kirjutatud ning aastate jooksul täiustatud. Valmis disainitud ja analüüsitud mudel tuleb ka praktikas valmis teha. See tähendab kõigepealt juhtmestuse mudeli muutmist jooniseks, ning joonise paigutust A0 suuruses paberitele, et saaks seda seinal valmistada. Pärast seinal juhtmekimbu valmimist kinnitatakse see autosse ning pärast pistikute paigaldamist valideeriti uuesti ära kõik ühendused.

Nagu prototüüpimise puhul tuleb probleemide esinemisel neid kiirelt lahendada, sestap kulub suur osa juhtmestuse hooldamisest korrektuuride sisse viimimisele. Näiteks kui keegi soovib testida mingit uut andurit siis tuleb teha ajutised lahendused ning hiljem need ka kõrvaldada. Samuti on ka oht, et informatsiooni mitte levimise tõttu ei saa õigeaks ajaks muudatused sisse viidud ja testimise käigus lühistatakse mõni trükkplaat ära.

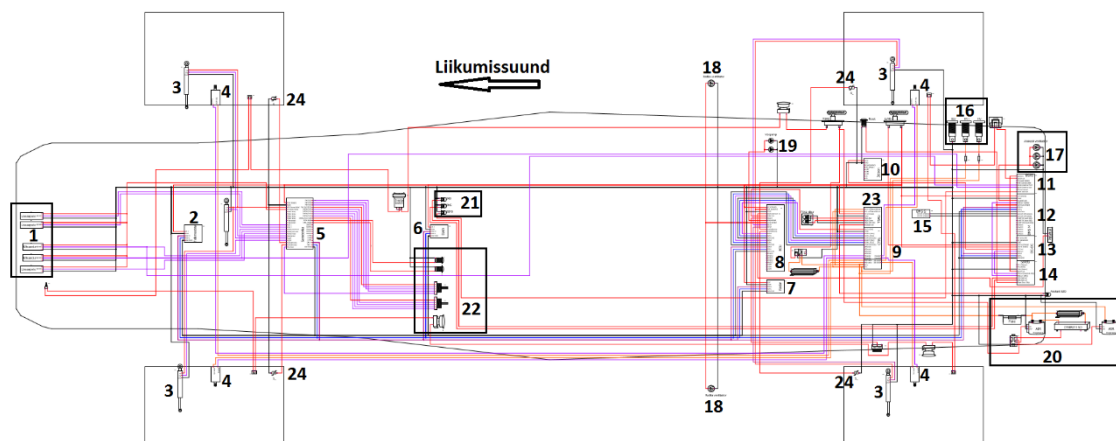
1 JUHTMESTUSE ANALÜÜS JA DISAIN

Juhtmestust tehakse prototüüpmasina FEST18 jaoks. Selle masina ehitamine hakkas aastal 2017 sügisel ning lõppes 2018 aasta suvel just enne võistlustele minekut. Kõigepealt läbiti disainimisfaas, siis valmistatakse virtuaalne mudel vormelist ning püütakse ette näha võimalike probleeme. Peale disainimist alustati tootmisega, mis päädis kahe tähtajaga 1. märts pidi vormel olema ratastel ning 1. aprill sõitma. Samad tähtajad kehtisid ka juhtmestusele, aga kuna sellest sõltuvad ka teised projektid autol, siis oli vajalik, et juhtmekimp oleks vormelis enne tähtaegade saabumist. Põhilised eesmärgid projekteerides 2018. aasta olid järgmised:

- Juhtmestuse kaalu vähendamine
- 3D mudeli täpsemaks viimistlemine
- Isoleerimata CAN suhtluse testimine
- Ebavajalike süsteemide/ juhtmete vähendamine
- Töökindluse areng
- Parem dokumentatsioon

1.1 Eelnevate vormelite skeemide ja ühendustega tutvumine

Selleks, et osata vormelil erinevaid komponente ühendada ja skeeme luua peab teadma, mida on reeglitega nõutud ja kuidas seda kõige vähemate vahenditega täita. Selleks uuriti eelneva hooaja vormelit FEST17 ning kohandati juhtmestikku vastavalt reeglite muudatustele ning täiustati skeeme. Antud meetodil sai tagatud, et kõik probleemid, mis olid, ei esine uuel masinal. Kuna hooaja vahetudes kasvas märgatavalt isetehtud trükkplaatide arv, ning liikuva info hulk mitmekordistus, siis tuli ühendusi juurde.



Joonis 1.1. Ülevaade FEST17 GLV juhtmestikust [1]

1.2 Optimaalse juhtme läbimõõdu arvutamine

Juhtmestuses on üheks olulisemaks punktiks, millest disainimist alustatakse, juhtmete läbimõõtude kindlaks määramine. See tuleb esmalt määrata, kuna sellest sõltub hiljem 3D programmis veetavate juhtmete paigutus, mille määrab ära diameetrist sõltuv painderaadius. Vormelil jagunevad juhtmed viide suuremasse kategooriasse. Igal kategoorial on erinevad nõuded vastavalt tööpõhimõttele, kuid heaks tavaks on saanud, et kasutatakse juhtmeid, mille isolatsioonil vähemalt 600 voldine pingereiting ning talub üle 90 kraadist kuumust.

Iseloomustus	Kasutus	Nominaalne voolutaluvus amprites
10 mm ² silikoonist isolatsiooniga juhe	Inverterite ja akupaki ühendus	92.88
3 x 4 mm ² oranž kaabel	TS mootorite toite juhe, kolm faasi	76
0,5 mm ² punane topelt isolatsiooniga juhe	Trükkplaatide ja muude LV tarbijate toitejuhe, Shutdown	7,5
0,35 mm ² must topelt isolatsiooniga juhe	Maandus	5
0,35 mm ² valge topelt isolatsiooniga juhe	Signaalide edastamine, CAN suhtlus	5

Tabel 1.1 Ülevaade erinevatest juhtmetest vormelil

Antud tabelis on toodud FEST18I kasutust leidnud juhtmed ja kaablid. Iga kategooria juhtme jaoks otsiti kõige optimaalsemat lahendust. Kõrgepinge juhtmestuses on kõige määravamaks parameetrik vool. Kuna vormelis õhk soojeneb ja sellest tingitud takistuse kasvades väheneb märkimisväärselt juhtme isolatsiooni vastupidavus suurtele vooludele, siis arvestati keskkonna temperatuuriks 60 kraadi.

1.2.1 Kõrgepinge toitejuhtmed

Inverterit vooluga varustavad juhtmed pidid olema minimaalse painderaadiusega, kuna nende paiknemine mõjutab oluliselt häiringute levikut. Seega sai otsitud silikoon isolatsiooniga juhtmeid. Leitud juhtmel oli algseks voolupiiriks märgitud andmelehel [Lisa 1] 120 A. Kuna juhe oli varjestamata, siis tuli algselt määratud piirist maha arvutada tegurid, mis mõjutavad soojusülekanne õhule. Esimesena arvestati maha keskkonna temperatuurist tulenev tegur. Temperatuuri korrigeerimised mõjutasid antud juhtme voolu läbilaske võimekust järgmiselt:

$$120 \text{ A} * 0,86 = 103,2 \text{ A}.$$

Ambient temp. [°C]	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115
Reduction factor f _t	1	0,97	0,95	0,93	0,91	0,89	0,86	0,84	0,81	0,79	0,76	0,73	0,70	0,67	0,64	0,61	0,57	0,54

Joonis 1.2 Ümbritseva keskkonna temperatuurist tulenev tegur

Kuna reeglitega oli nõutud, et TS juhtmed peavad olema ka oranži värvi siis mõjutas ka lisatav termokahanev nominaal voolu taluvust. Kuna lisatava termokahaneva paksus oli maksimaalselt 0,2 mm siis ei olnud tegur väga väike. Piisava ohutus marginaaliga valiti selleks 0,9. Lõplikuks voolu reitinguks saadi järgmiselt:

$$103,2 \text{ A} * 0,9 = 92,88 \text{ A}.$$

Kuna juhtmestmisel kasutatakse standardmõõtmetega juhtmeid, siis arvutati välja ka üks mõõde suurema (16 mm²) ja väiksema (6 mm²) väärtused. Nendeks olid vastavalt 123,84 A ja 69,66 A. Seepärast leiti, et 80 A nominaal vooluga osutus sobivaimaks mõõtmeks just 10 mm².

1.2.2 Mootorite kolmefaasilised toitejuhtmed

FS Team Tallinna sõiduk kasutas liikumiseks nelja elektrimootorit, millest kõik vajasis kolmefaasilist toidet. Kolmefaasilise juhtmele leiti sponsor, kes oli nõus toetama meeskonda 20 meetri välja valitud juhtmega. Kuna hind on oluline faktor ostutoodete hulgas, siis antud tootja toodete juurde.

Kuna mootorite tarbimist ei olnud teada, siis tuli see välja arvutada valemi [Joonis 1.3] järgi. Reeglitega on kogu auto võimsus piiratud 80 kW peale, sellest tulenevalt tuli ka inverterist väljub maksimaalne võimsus jagada nelja mootori vahel. Väljundpinge vahemikuks kasutatud kontrollerial oli 160 – 490 V, olenevalt seadistusest.

$$I_{phase} = \frac{\left(\frac{P}{\sqrt{3} * U}\right)}{X} = \frac{\left(\frac{80000}{\sqrt{3} * 160}\right)}{4} = 72.2 (A)$$

$$I_{phase} = \frac{\left(\frac{P}{\sqrt{3} * U}\right)}{X} = \frac{\left(\frac{80000}{\sqrt{3} * 490}\right)}{4} = 23.6 (A)$$

Joonis 1.3. Kolmefaasi voolu arvutused

Kus:

I_{phase} on ühte faasi läbiv vool amprites,

P on maksimaalne võimsus W, mille juures kasutatakse antud juhtmeid,

U on pinge voltides,

X on mootorite arv.

Valemist selgus, et maksimaalne vool on minimaalse pinge juures ning selleks on 72,2 A.

Kuna antud juhtme tootja oli ise juba ära märkinud voolu reitingud 60 kraadi juures siis sai kasutada ette antud väärtusi. Valikus olid standarditest lähtuvalt 2,5 mm², 4 mm² ja 6 mm². Nendele läbimõõtudele vastavateks piirvooludeks olid 50 A, 76 A ja 100 A.

Seepärast valiti läbimõõduks 4 mm². Aastal 2017 kasutati 6 mm² juhete samade voolude juures. Kaaluvõit ainuüksi mootorite toiteühendustest tuli ligikaudu pool kilogrammi.

1560 g- 1072 g = 488 g

1.2.3 Madalpinge juhtmed

GLV juhtmestuses oli kõige olulisemaks märksõnaks vastupidavus, sest kuna vea otsimine mitme kilomeetri pikkusest võrgustikust on aeganõudev. Lisaks kuna tegemist oli prototüübi ehitusega tudengite poolt, siis pidi arvestama sellega, et juhtmed võivad hooaja jooksul kannatada saada. Purunemise vältimiseks valiti topelt isolatsiooniga juhtmed, mis oma olemuselt on raskemad kuid vastupidavamad. Samuti peavad sobima kokku trükkplaatidel olevad pistikud ja juhtmestuse poolsed vastsed. Lähtuvalt PCB-de tarbimistest valiti välja 0,35 mm² ja 0,5 mm² juhtmed. Tänu sellele ühtlustati plaatide pistikute tüüpe niivõrd, et kasutada oli vaja ainult kolme tööriista, pistikute valmistamiseks. Ühtlustamine tõi kaasa selle, et vähem oli vaja varuda asenduskomponente.

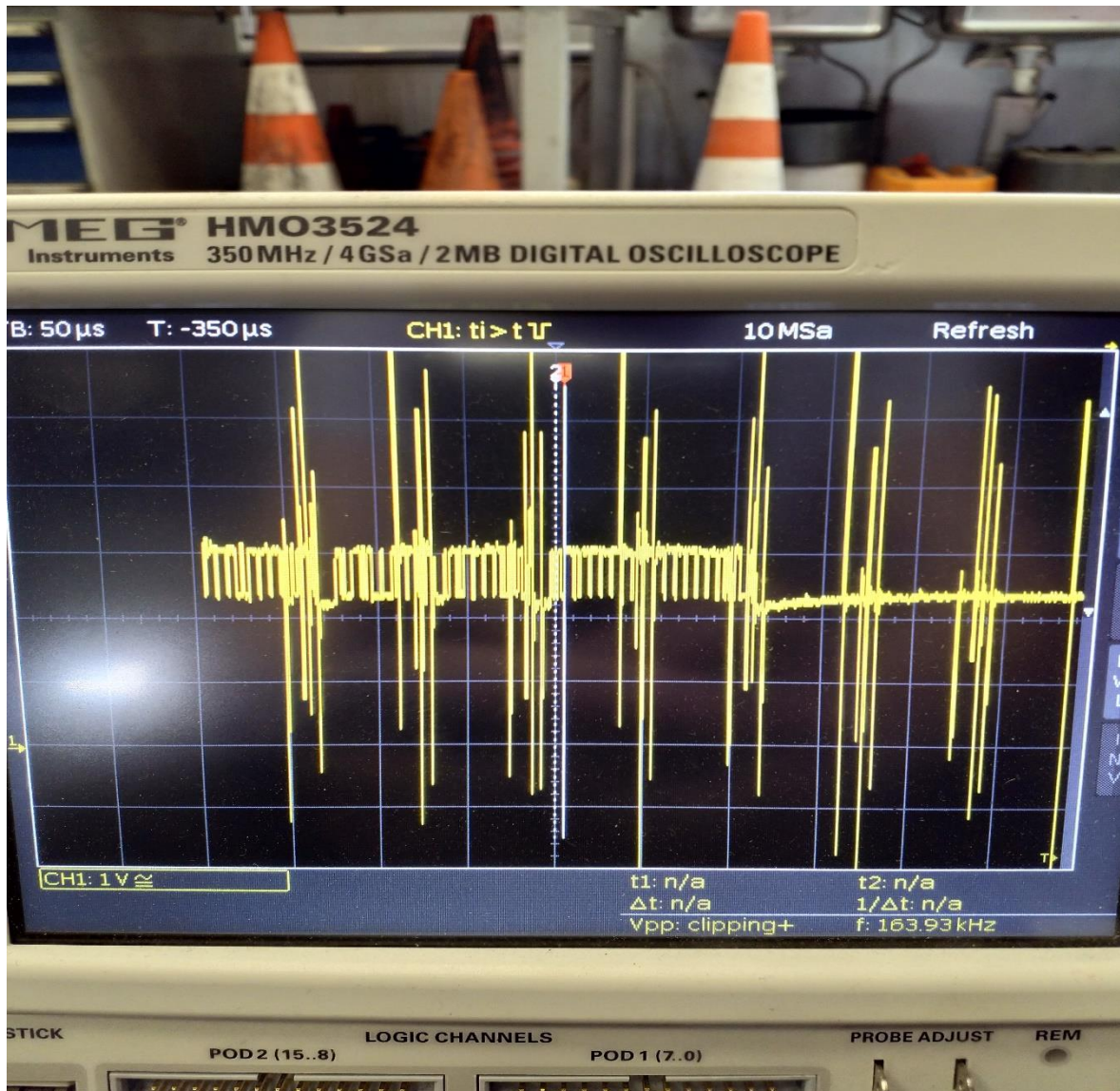
1.3 Isoleerimata CAN suhtlus

Vastupidiselt eelnevale hooajale otsustati kasutada isoleerimata CAN suhtlust. Juhtmestuses tähendab see lihtsalt ühe juhtme ära jätmist ning osalist kaalu võitu. Selleks, et seletada isoleeritud ja isoleerimata suhtluse erinevus tuleb kõigepealt selgitada kuidas CAN suhtlus üldse toimib.

CAN ehk Controller Area Network on erinevate sõidukite suhtlus standardiks. See ühendab omavahel erinevad mikrokontrollerid, mille abil toimub info liikumine mõlemas suunas. CAN suhtluses saadetakse bitt samaaegselt mööda kahte liini. Üks liin on kõrge nivooga ning teine madalaga, sõnumid neid on täpselt samaaegsed aga ainult vastupidised [7]. Selle suhtluse üheks olulisemaks parameetrik on nii öelda nullnivoo olemasolu. Siinil jooksvaid sõnumeid tuvastataksegi just selle nulltasemega võrreldes. Selleks, et suhtlus toimiks korralikult ühendatakse tavaliselt ka erinevate trükkplaatide nullnivood kokku (isoleeritud CAN suhtlus), et sõnumid oleksid hästi tuvastatavad, ning üks CANi kontroller ei saaks teisele liiga teha. Kui seda nivood ära ei ühendata, siis sellist suhtlusviisi nimetataksegi isoleerimata suhtluseks.

Erinevuseks on maandusjuhtme puudumine, ehk siis potentsiaalide erinevusi CAN liini punktides ei ühtlustata. Sellega seoses on oht, et mikrokontrollerite sisendisse jõuab liiga kõrge pinge, mis rikub selle ära. Teine probleem, mis sellega kaasneb on tundlikkuse suurenemine müra suhtes. Seda oli näha ka siis kui vaadeldi suhtluses liikuvaid sõnumeid. Ostsiloskoop vaadates on näha kuidas müra tekitab suhtlusesse pinget muudatusi. Kuna

CAN suhtlus toimib ainult pinge muudatuste tõttu, siis esines probleem, kuna müra muutis sõnumite sisu, ning mikrokontrollerid ei suutnud enam üksteisega suhelda. Antud probleemi täiesti eemaldada ei suudetudki, kuid akukasti ja kontrolleri varjestamisega vähenes müra piisavalt, et vormel suudaks ilma veasignaale tekitamata sõita.



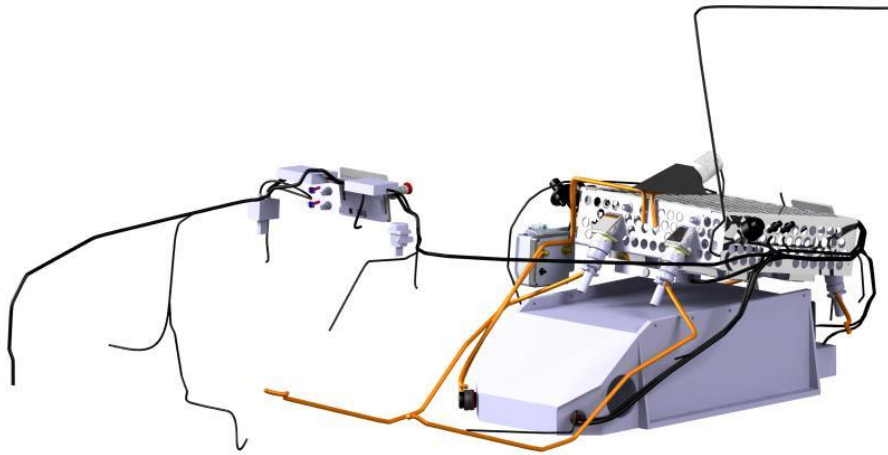
Joonis 1.4 FEST18 CAN suhtlus

1.4 CAD tarkvaraga 3D mudeli loomine

Selleks, et oleks võimalik vormeli juhtmestus enne kere valmimist valmis teha on vaja virtuaalset mudelit vormelist. Iga jupp, mis tegelikkuses masina külge läheb joonistatakse mudelisse sisse, et aimata, kus võib ruumist puudu jääda, või kus on seda liialt. Programmiks, millega seda tehakse on CATIA V5. Antud programmi kasutatakse selle

võimaluste pärast mehaanika valdkonnas, kuid selle vanuse on juhtmete vedamine pikk ja tülikas protsess. Samuti on vajalik, et terve meeskond teeks mudelit samas programmis, sest teistel juhtudel ei ole võimalik, koostada virtuaalset vormelit, mis liigub.

Välja toodud pildil on näha juhtmestust, kus oranžid on kõrgepinge ja mustad madalpinge juhtmed. Nägu näha siis hoiti TS juhtmed minimaalse pikkusega ning eemal müraltundlikest piirkondadest. GLV juhtmekimp seevastu järgis kere kontuure, et hiljem juhtmelaua koostades oleksid pikkused samad, mis valmivas keres. Virtuaalselt valminud mudel oli nii täpne, et juhtmeslaua tehtud painded ja nurgad istusid kokku kerega ilma, et kusagilt oleks jäänud puudu või üle pikkuses.



Joonis 1.5. FEST18 juhtmestuse lõplik väljanägemine CADis

2 KOMPONENTIDE VALIK

Tudengivormelile komponente valides on peamiseks kriteeriumiks kaal ning seejärel hind. Samas peavad need vastama reeglitele ja saama võistluste kohtunike poolt heakskiidetud. Detaili, mis ei ole saanud heakskiitu, ei tohi kasutada vormeli ehitamisel

2.1 Kõrgepinge komponendid

Kõrgepinge komponendid, mis tuli välja valida ja analüüsida olid eelkõige seotud ohutusega. Kõikidele on ka karmid nõuded reeglites, et tagada teoreetiline turvalisus. See tähendab seda, et kui kõik komponendid on kohtunike poolt heaks kiidetud, siis teoreetiliselt peaks olema masin ohutu, kuigi praktikas on just ühendused need kohad, kus vead saavad alguse.

2.1.1 Reeglitest tulenevad nõuded kõrgepinge juhtmestusele

Reeglites on nõutud, et kõik komponendid taluksid vähemalt kolmekordset pinget sellest mis pinge juures neid kasutatakse. Lisaks peavad kõik komponendid taluma nominaalselt seda voolu, mille juures neid kasutatakse. Temperatuuri taluvus akukastis olevatel detailidel vähemalt 90 kraadi ning mujal minimaalselt 60 kraadi. Kõikidel lülititel ja releedel peab olema eluiga, mis tagab vähemalt ühe hooajasse tööea.

2.1.2 TS kondensaatorite tühjaks laadimise skeem

TS kondensaatoritel oleva pinge üleslaadimise skeem ehk inglise keeles *Discharge Circuit* koosnes FS Team Tallinna masinal ühest takistist ja ühest releest. Antud skeemi põhimõtte seisnes selles, et kui mootorite kontrollierilt kõrgepinge toide eemaldada, siis pidi kondensaatoritel säiliva pinge viima ohutule tasemele. Võistluste reeglite kohaselt oli ohutu tase alla 60 VDC ning selle tasemini pidi jõudma alla viie sekundi. Maha laetud pinge muudeti takistis soojuseks, mistõttu tuli takisti ja rele valida vastavalt eralduvale võimsusele. Skeem ise oli ühendatud rööpselt akupaki ja kontrollieriga. Rele pidi olema normaalselt suletud asendis, ehk koheselt voolu katkemise korral ühendas see takisti süsteemi järgi, mille tagajärjel toimubki maha laadimine.

Pinge V_c	554V
-------------	------

Pinge V_0	60
Aeg t	5 sek
Kondensaatorite mahtuvus C	0,0003 F
Takisti takistus R	6800 Ω

Tabel 2.1. Discharge skeemi iseloomustavad parameetrid

Valemid, mida kasutati takistil eralduva võimsuse leidmiseks olid järgnevad.

$$V_c = V_0 * (e^{-t/RC})$$

$$I = (V_0 / R) * (e^{-t/RC})$$

$$P = I^2 * R$$

Kus:

V_c on takistile jääv pinge, peale kindlat ajahetke,

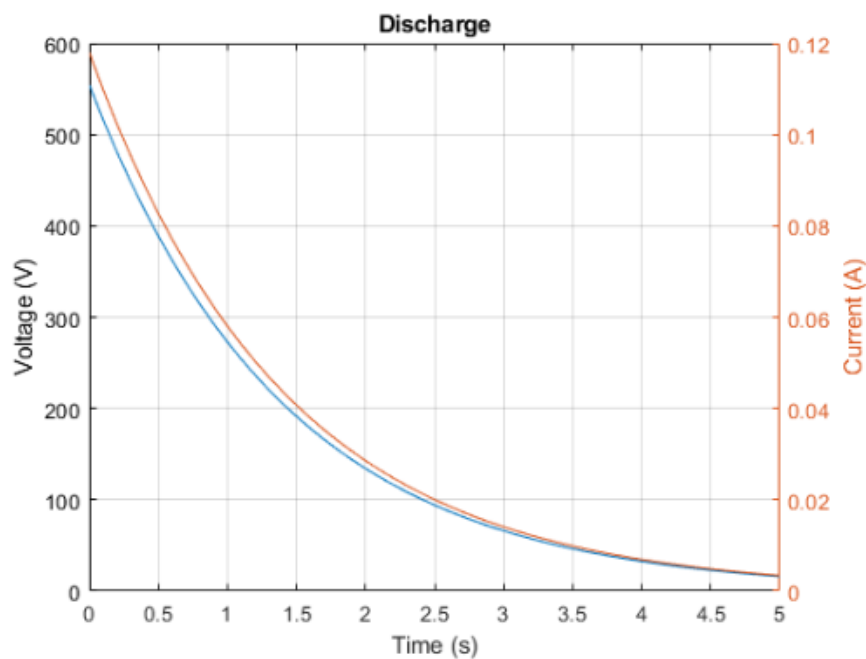
V_0 on pinge, mida hakatakse maha laadima,

t on aeg sekundites kaua tühjaks laadimine aega võtab,

RC on ahela konstant, mis sõltub kondensaatorist ja takistist,

I on vool mis liigub läbi takisti,

P on takistil eralduv võimsus.



Joonis 2.1. Graafik iseloomustamaks tühjaks laadimist

Graafiku X-teljeks on aeg sekundites, parempoolseks Y-teljeks pinge takistil ning vasakpoolne Y-telg on takistit läbiv vool. Arvutustest tuli ilmsiks, et eralduv võimsus on 65,396 W. Seega peavad taluma nii takisti kui ka rele sellest suuremat soojuse eraldumist. Releed valides leiti, et sellise võimsuse lülitamiseks normaalolekus suletud releed ei ole leida. Samuti mängis siin kohal rolli ka hind. Kõige mõistlikumaks osutus rele, mis oli üledimensioneeritud, nimelt on selle lülitusvõimsus kuni 100W. Otsustavaks sai selle rele puhul odav hind võrreldes teiste samalaadsete tootetega.

Samamoodi sai valitud takisti üledimensioneeritud, kui seda teistsugusel põhjusel. Nimelt on takistite andmelehes antud graafikud, mis näitavad temperatuuri ja talutava võimsuse suhet. Kui temperatuur tõuseb juba 60 kraadini ja jahutust takistile ei ole tehtud, siinkohal pole vahet kas passiivne või aktiivne, on võimsuse kadu andmelehe kohaselt ligi 45%. Kuna jahutust vormelis reguleeritakse akukasti järgi ja selle temperatuur võib erineda Discharge takistist. Selle tõttu valiti takisti, mis vähese jahutuse korral oleks ikka piisava suutlikkusega ning üle ei kuumeneks.

Passiivne jahutus tähendab ainult jahutusradiaatori olemasolu. Aktiivne jahutus aga seda, et tehakse tööd jahutamiseks näiteks ventilaatorite või jahutusvedeliku pumpamisega. Antud takisti ühendati termopastat kasutades läbi karbi sein kontrolleri külge. Kontrolleri korpus on aktiivselt jahutatud, tänu sellele kinnitatud jahutuskorpuste, millest jookseb läbi jahutusvedelik.

2.1.3 TS kondensaatorite täis laadimise skeem (*Pre-charge*)

Mootori kontrolleri sisendis olevate kondensaatorite täis laadimiseks on samuti FEST181 eraldi ahel. Antud kondensaatorid on vajalikud selleks, et kõrgepinge ühendamisel kontrollerrisse ei tekiks sädelahendust suure pinge erinevuse tõttu. Samuti kaitseb antud skeem AIRe ning kontrolleri HV plaate. Antud skeem toimib samuti ühe takisti ja releega. Oma tavaolekus on rele avatud ning kõrgepinge akukasti klemmidel on ülejäänud autost eraldatud. Kui *Shutdown* ahel pingestatakse, siis saab ka *Pre-charge* rele oma toite ning lülitab HV + ahelasse takisti kohe akukastis oleva liini peale. See peale laetakse auto poolne potentsiaal 90 % sellest, mis on akukasti hetke pinge. Näiteks 600 V puhul on selleks 540 V, alles kui nõutud tase on saavutatud lülitatakse, järgi HV + liinil olev AIR.

Pinge V_c	498,96 V
-------------	----------

Pinge V_0	0
Aeg t	5 sek
Kondensaatorite mahtuvus C	0,0003 F
Takisti takistus R	6800 Ω

Tabel 2.2. Pre-charge skeemi iseloomustavad parameetrid

$$V_c = V_0 (1 - e^{-t/RC})$$

$$I = (V_0 / R) * (1 - e^{-t/RC})$$

$$P = I^2 * R$$

Kus:

V_c on takistile tekkiv pinge,

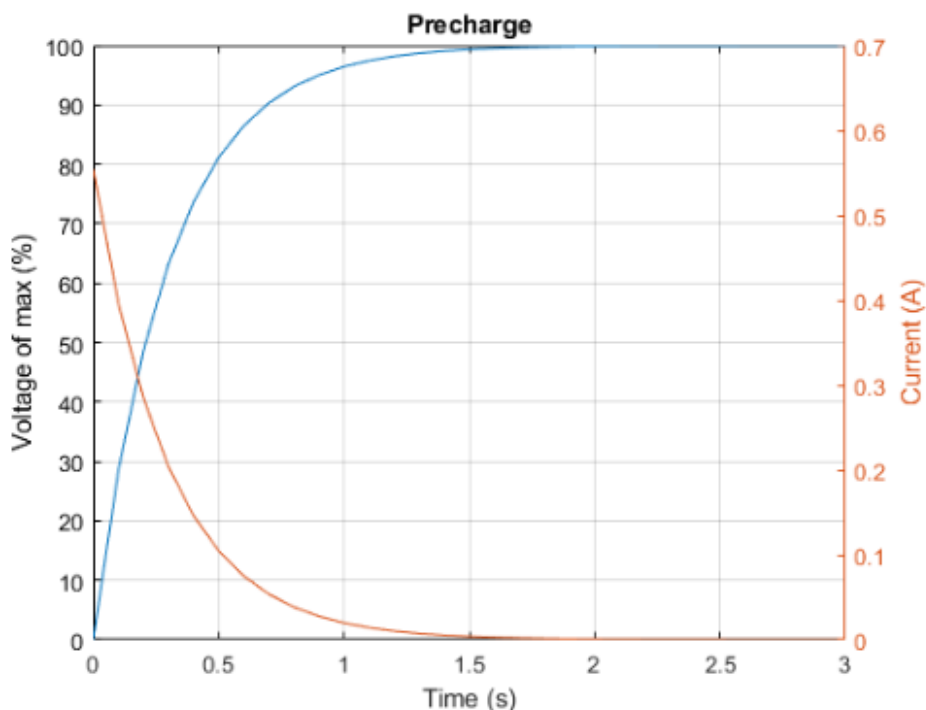
V_0 on pinge, mis tasemelt hakatakse kondensaatoreid ülesse laadima,

t on aeg sekundites kaua tühjaks laadimine aega võtab,

RC on ahela konstant, mis sõltub kondensaatorist ja takistist,

I on vool mis liigub läbi takisti,

P on võimsus, mis eraldub takistil.



Graafiku X-teljeks on aeg sekundites, parempoolseks Y-teljeks pinge takistil ning vasakpoolne Y-telg on takistil läbiv vool. Arvustuste käigus saadi tulemus, et takistusega 6800Ω eraldub takistil 24,993 W. Kuna takistid ja releed on standardiseeritud 25 W, 50 W ja 100W siis pidi valima ligi kahekordselt üledimensioneeritud komponendid. Põhjus, miks ei saa kasutada 25 W reitinguga komponente seisneb selles, et takistil on andmelehes antud tolerantsid milleks antud juhul 5% kummalegi poole. Ehk kui takistus oleks 5% võrra väiksem siis on eralduvaks võimsuseks rohkem kui releel ja takistil lubatud. Samuti võimaldab suurema taluvusega takisti seda, et ei pea kasutama jahutust, mis hoiab omakorda väga palju ruumi akukastis kokku.

Võrdlus eelmise aastaga

Võrreldes aasta varasemaga säästeti ainu üksi elektroonika komponentide pealt üle 500g. See kaal tulenes eelkõige 200 grammi kergematest AIRidest, 170 grammi kergemast kaitsmest[9] ning lihtsustatud Pre-charge ahelast. AIRide kaaluvõit tulenes sellest, et valiti välja väiksemaid voole kannatav komponent ning loobuti releede jälgimissüsteemist. Tänu sellele sai kasutada vaid 160 grammi kaaluvat detaili, mis aga oli kallim kui eelneval aastal. FEST18 peakaitsme sai välja vahetada palju väiksema vastu, kuna eelneva hooaja testimisperioodist pärinenud infost leiti, et kõige pikema ja olulisema võistlusala kestvussõidu keskmine voolu tarve on ligikaudu 68 A. Sellepärast vahetati FEST17 kasutatav

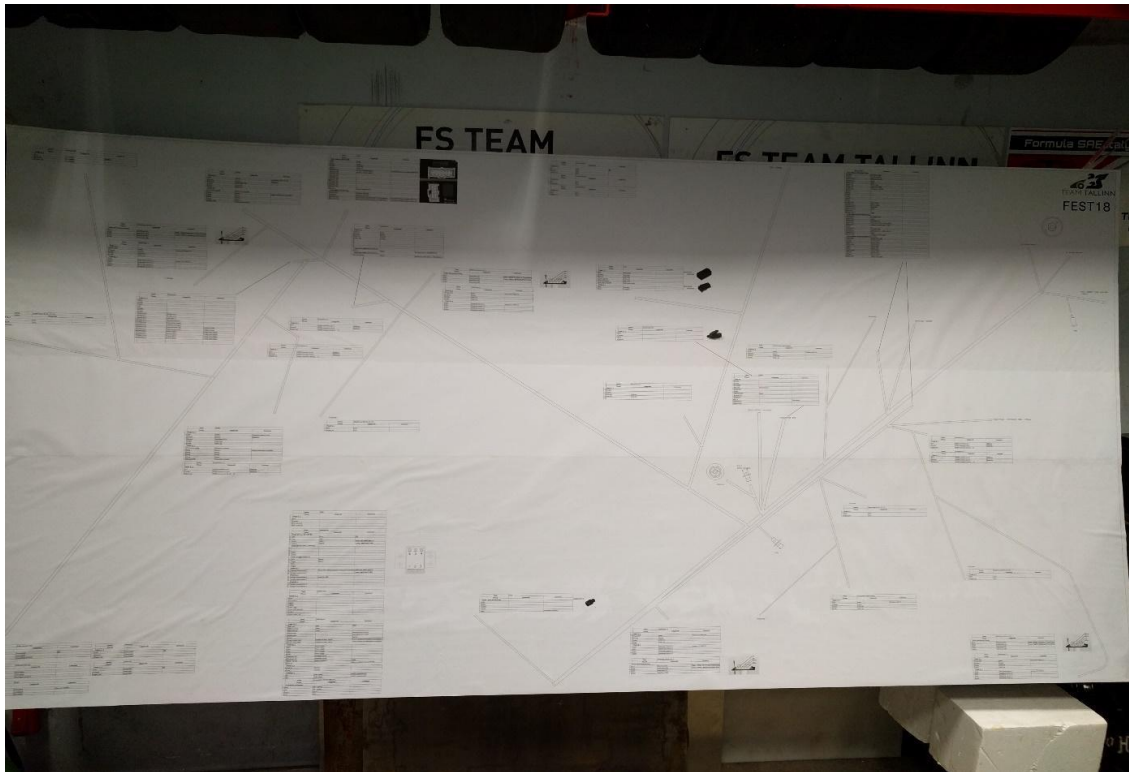
100 A kaitse 80A vastu välja. Vaatamata oma madalale piirvoolule on võimalik kasutada kõrgemaid voole, seda selle pärast, et see on aeglaselt reageeriv kaitse.

3 TOOTMINE

FEST18 juhtmestiku tootmiseks kulus veidi üle kahe kuu, esmalt tehti valmis juhtmelaua terve juhtmekimp ning seejärel paigutati see vormelisse. Tänu eelnevale projekteerimisele ning valmistamisele oli võimalik masinasse juhtmekimp paigutada ainult ühe nädalaga. Tänu sellele, et suudeti vähendada aega, tervelt pooleteise kuu võrra, jättis rohkem aega testimisele ja vigade kõrvaldamisele.

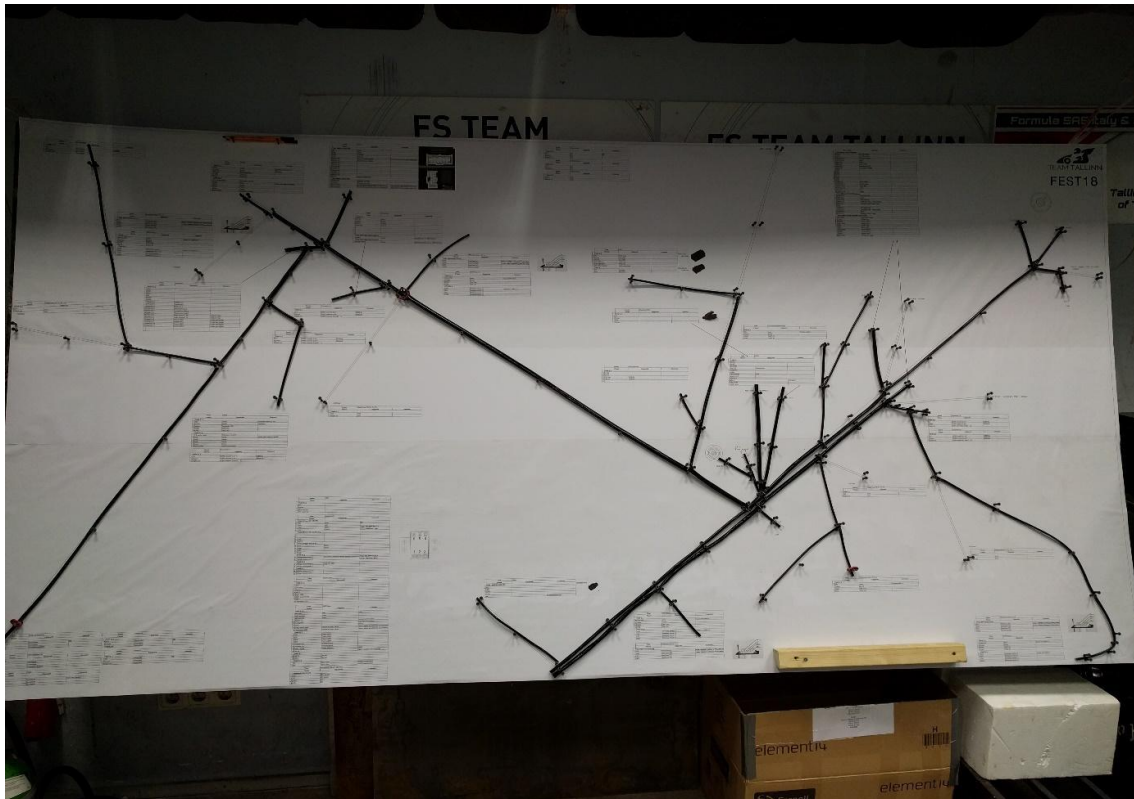
3.1 Juhtmesein

Juhtmekimbu tootmine algas 3D mudeli lamedaks, ehk 2D jooniseks tegemisega. CATIA V5 programmis tehtud mudeli muudeti jooniseks ning seejärel kontrolliti kõikide hargnemiste nurgad ning painded üle. See oli vajalik selleks, et kui programm pöörab ühe haru valele poole, siis pärast tuleb lahti harutada kõik sellega seonduv. Lisaks võimaldas see paigutada juhtmekimpu selliselt, et juhtmete vedamine on mugav ning need ei ristu üksteisega. Kuna autosse kinnitatakse juhtmestust järk-järgult siis hiline viga kulutada mitu tööpäeva paranduste peale. Enne seinalt maha võtmist mõõdeti kõik ühendused ükshaaval üle, et vältida lühiseid ja vale ühendusi.



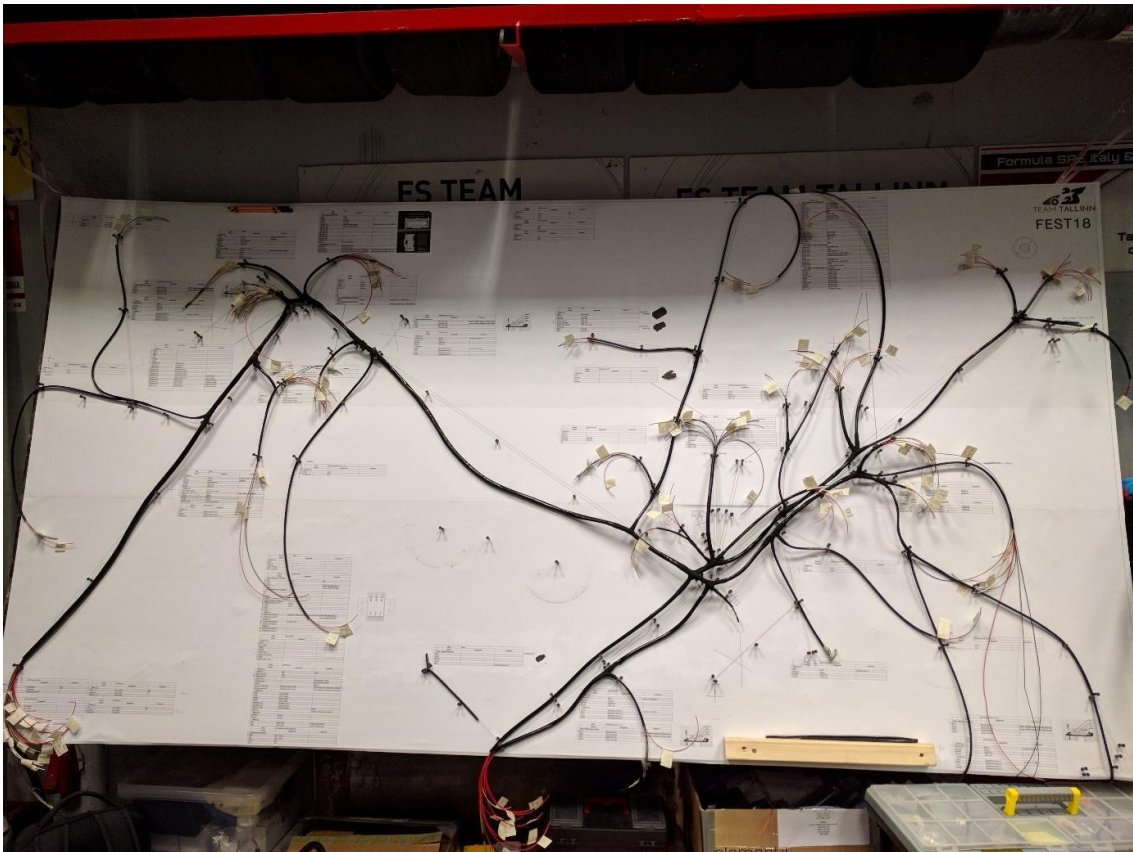
Joonis 3.1. Juhtmelaud

Komplekteerimist alustati termorüüga [Joonis 3.2], kuna see kaitseb juhtmeid löökide, vedelike ja temperatuuri eest. Antud termorüü on punutud klaaskiust ning kaetud silikooniga, mille tõttu on see ka väga paindlik. Miinuseks selle toote puhul avastati, et silikoonist pealispind ei ole väga vastupidav hõõrumisele ning selle pealispind kogub kergesti mustust, mis pikaajaliselt kahjustab termorüüd. Nurgad ja rüüde ühenduskohad teibiti riideteibiga. Sama toodet kasutavad autotööstused üle kogu Euroopa oma juhtmestiku katmiseks. Antud teibil on mitmeid kasulikke omadusi. Kuna selle tekstuur on väga tihe ja alumine pool on kaetud liimiga, siis ei tungi vesi sellest läbi, ehk seda saab kasutada ka pistikute isoleerimiseks. Tänu suurele elastsusele on võimalik sellega teipida juhtmed kindla nurga alla, samas saab vajadusel jätta ruumi liikumiseks.



Joonis 3.2. Termorüü juhtmete le

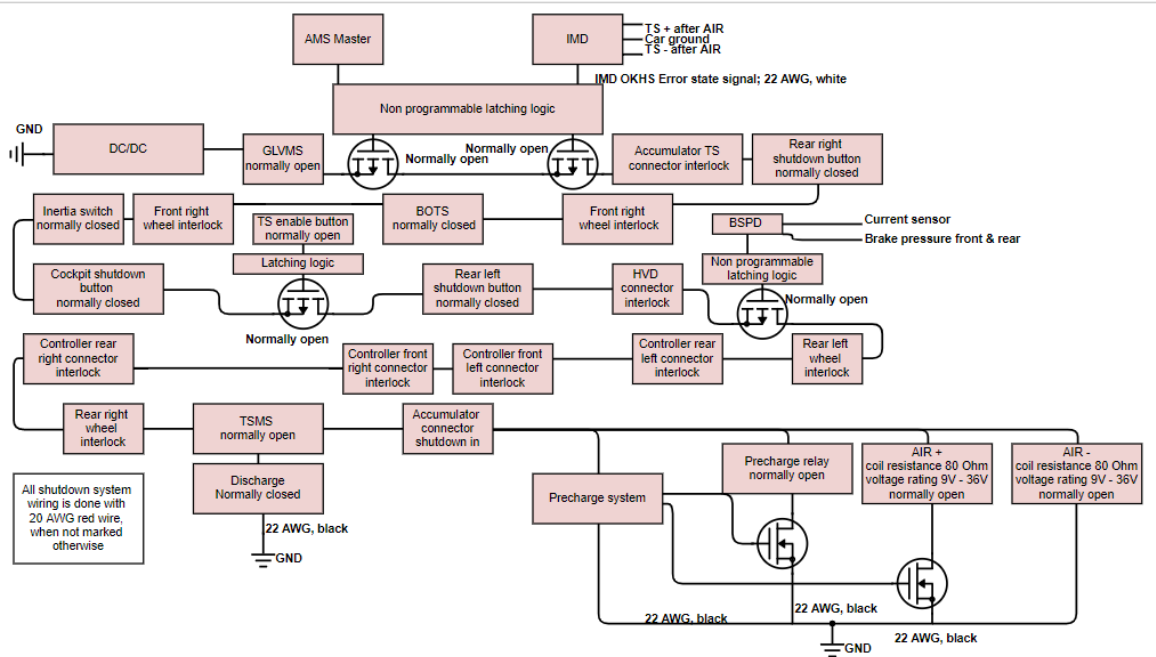
Kui pikkused täpselt paika lõigatud, siis hakati vedama juhtmeid termorüü sisse. Kõikide juhtmete otstesse lõigati maalriteibist tükid, millele kirjutati millist signaali, maandust või toidet antud juhe edasi kannab. Lisaks veeti eraldi termorüüde seest toited ja signaalid, et vähendada müra mõju info edastusele. FEST18 CAN juhtmestus on ise valmistatud, see tähendab, et kaks juhet keerati ümber teineteise ning need tõmmati varjestuse sisse. Kuna aastal 2018 otsustati kasutada isoleerimata CANi siis varjestuse kvaliteet pidi olema väga hea. Kuna trükkplaatide pistikute asetused ja ülesehitused muutusid kuni viimase hetkeni, siis jäeti pistikud seinal külge panemata ning juhtmed samuti natuke pikemad kui esialgu disainitud. Samuti võimaldab autos pistikute paigaldamine, nende nurga alla paigutust, mis tagab selle, et plaat ei jää pinge alla.



Joonis 3.3. Juhtmekimp seinä peal valmis

3.2 Shutdown

Shutdown liin on masinal nii öelda ohutus süsteemiks. Et vormelit tööle saada on vaja et terve see ahel oleks suletud ning ka pingestatud. Sinna ahelasse kuuluvad kõik hädaolukorra lülitid, pistikute interlockid ja ka ohutust tagavate trükkplaatide väljundid. Kui kasvõi ühel lülil selles ahelas esineb viga või on ühendamata siis ei saa vormelit käima panna. See liin jookseb läbi terve masina, ning sellepärast ei tehtagi seda kohe juhtmiseinal valmis, vaid paigaldatakse hiljem, kui ülejäänud juhtmekimp on juba vormelis.



Joonis 3.4 Vormeli shutdown skeem

3.3 Komponentide paigutus

Suur osa kõrgepinge komponentidest asub akukasti eesotsas, kus on eraldatud LV ja HV sektsioonid. HV sektsioonis on kaks AIRi, sulavkaitse, vooluandur, Pre-Charge ahel, paar trükkplaati ning DC/DC pingemuundur. Reeglitele vastavalt peavad releed ja kaitse olema kõigest muust eraldatud tulekindla seinaga. Antud probleemi lahendasime CFRP meetodil tehtud süsinik vaheseinadega, millele liimisime külge mitte põleva trafopaberi. Akukastis ja üldse terves autos kehtib reegel, et läbi õhu peab GLV ja TS vahel olema rohkem kui 30mm. See on vajalik selleks, et vältida nii ülelööke erinevate potentsiaalide vahel kui ka häiringute vähendamiseks.



Joonis 3.5. Akukasti elektroonika seksioon

Ülejäänud komponendid asuvad kontrolleri alla kinnituvas karbikus. Seal sees on Discharge ahel, mõõtepunktide takistid ning kaks turvalisuse eest vastutavat trükkplaati. Kõik ühendused karbiku ja kontrolleri vahel peavad olema kas polt-mutter või siis joodetud ühendused. See on vajalik selleks, et ei oleks võimalik võitluste jooksul eemaldada komponente, mis on hädavajalikud ohutuseks. Karbik on valmistatud laserpaagutamise teel ning kogu pind on lisaks kaetud hiljem kuumakindla värviga, et tagada selle vastupidavus temperatuurile, mida tühjaks laadimise takisti võib tekitada



Joonis 3.6. Karbik Discharge'i ja mõõtepunktide takistitega

3.4 Pistikud ja muud ühendused

FEST18 pistikutevalikul lähtuti sellest, et kõrgepinge pistikud on AS või MIL- standardiga. Kuigi sellise standardi olemasolu tõstab pistiku hinda, siis tagab see standardile vastava kvaliteedi ning ka veekindluse. Samuti on sellistel ühendustel lukustusmehhanism, mis takistab lahti värisemist ja valesti pistiku kokkupanemist.

Kere sisesed pistikud juhtmelt juhtmele, ning paar välist Interlocki on tehtud JST toote seeriasse kuuluvate pistikutega, millel on IP 67 reiting samas kui tükki hind on alla kahe euro. Lisaks on need pistikud väga kerged, mistõttu ei pea neid alati kere külge kinnitama, ehk jätab palju ruumi ja võimalusi paigutamiseks.

Autovälised pistikud on samuti AS standardile vastavad üheltpoolt on see vajalik, et tagada piisav veekindlus ka Rain Testiks. Teisalt on väga oluline, et kui nooremad tiimiliikmed soovivad testida vormelil midagi siis puudub võimalus valeühenduste jaoks. Auto küljel asuvad pistikud on vormelil üheks kõige haavatavamaks kohaks, kuna sealt on ligipääs otse masina madalpinge liinidele ja läbi selle ka pistikutele.

3.5 Ühenduste kontroll

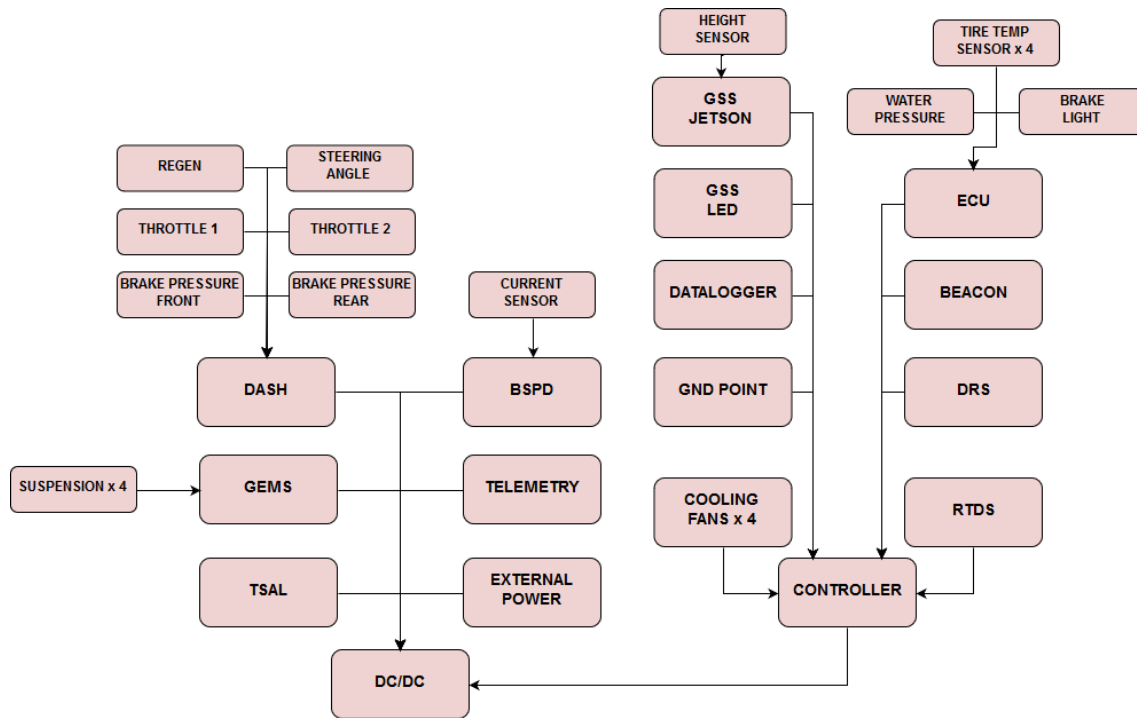
Ühenduste kontroll toimub valmistamise käigus kaks korda, esmalt seinal ning peale pistikute lisamist ka autos. Protsess on vajalik, et välistada halvasti ning valesti tehtud ühendusi. Samuti teostati pidevat kontrolli, mõõtes ühenduste vahelisi takistusi, kui mõni juhe sai kahjustada siis selle purunemisest või peatsest purunemisest andis märku kindlal lõigul selle juhi takistuse kasv. Nii sai ette ennetada olukordi kus sõiduajal mõni ühendus, peale pikka aega kahjustunud olekust, katki läks.

3.6 Maandamine

Reeglitega oli ka nõutud, et kõik kere juhtivad, see tähendab kere ise ning kõik metallist detailid peavad olema maandatud. Kere on tehtud FEST18I süsinikust, kuna see materjal juhib, on reeglite kohastelt vajalik tagada ühendus kere maanduspunkti vähem kui 5Ω takistusega. Metallist detailid, nagu vedrustuse kinnituspunktid pidid olema ühenduses GLVMP vähem kui $0,3\Omega$ takistusega, tehes Kelvini testi.

Kelvini test seisneb selles, et võrreldes tavalise takistuse mõõtmisega, kus kasutatakse kahte juhet, läheb vaja nelja mõõteotsikut. Selline mõõtmisviis on hea selle pärast, et nii isoleeritakse mõõtmistulemusest multimeetri juhtmed ja mõõtetäpsus suureneb. Samas on oht kahjustada pinnakatteid. Näiteks oksüdeerunud pindadel nagu poldi pead võib esineda sädelahendust. Mõõtes süsinikku antud testiga hakkab vaik sulama kõrgeenenud temperatuuri tõttu, mistõttu tuleb hoiduda sellest, et pingestatud mõõteotsik puutuks süsinikku.

GLVMS ehk siis sõiduki maanduspunkt asus kontrolleri korpuse küljes [Joonis 3.7]. Antud lahendus on parim võimalik mitmel põhjusel. Suurim neist oleks see, et kontrolleri korpus on alumiiniumist ning see polditakse kere külge kinni, mis tagab hea ühenduse kerega. Peale selle ei võeta kontrolleri masinast välja, ehk maanduspunkt püsib paigal. Kõik suuremad tarbijad on ühendatud aga otse pingemuundurile, kuhu on ka ühendatud kontrolleri korpus. Sellise ühendamisviisiga välditakse maanduses ebavajalike ringühenduste teket.



Joonis 3.7. Maandusskeem

3.7 Juhtmestiku paigaldus kere

Juhtmestus paigaldatakse vormelisse liimitavate kaabliankrutega, mille küljes olevate juhtmevitsadega tõmmatakse juhtme kere külge kinni. Antud kinnitusviis on üks odavamaid ning väga ajasäästlik. Lisaks sellele, võimaldab antud kinnitamine igal vajalikul hetkel muuta juhtmete asukohta. Eelneval hooajal, ehk FEST17 ehitusel esines probleeme kerega ning oli vaja komplekteeritud juhtmestus eemaldada kerest ning paigaldada uute. Antud tegevuse peale kulus ainult üks ööpäev. Juhtmekimbu paigaldusel kerele tõdeti, et kõik nurgad ja painded olid samade kohtade peal kus ka virtuaalses mudelis, ehk juhtmete asukohad sobis kerega väga hästi kokku. Ainsaks miinuseks oli see, et ei kerele ega ka juhtmestikule ei olnud märgitud punkte, mille järgi saaks need kaks kokku sobitada. Kogu töö tehti ära mõõtes pikkuseid nii 3D programmist kui ka kerest.

Nagu näha pildilt (Joonis 3.8) siis paigaldati juhtmestus kerele enne kui hakati vedrustuse detaile külge panema. See oli vajalik selleks, et saaks keret ringi tõsta ja ka tagurpidi hoida. Kuna kaalusäästmise tõttu tehakse igal järgneval aastal väiksemaid kereid, siis juhtmestuse paigaldus muutub raskemaks, hooajal 2018 oli tiimis ainult üks inimene, kes mahtus kere sees juhtmestust tegema ning seegi oli ebameeldiv.

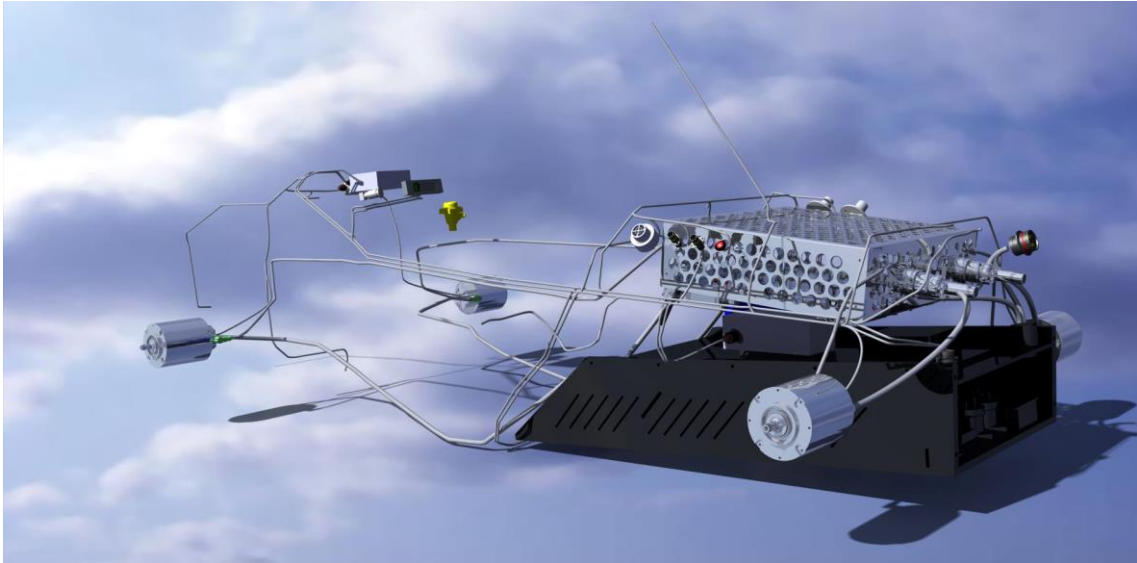


Joonis 3.9 Auto keere koos juhtmestusega

3.8 Võrdlus FEST17ga

Hooegade võrdluses läks FEST18 juhtmestus oluliselt kallimaks kui eelnevatel aastatel, aga seda väga mitmel põhjusel. Suurim põhjus selleks oli uute tööriistade ning juhtmete ost. Keskmiselt maksis üks juhtmerull 80 € ning ühenduste ja pistikute valmistamiseks mõeldud tööriistad umbes 300 € tükk. Mida aastaga veel suudeti saavutada oli kaaluvõit. Rusikareegli järgi mõjutab 400 grammi ühe nelikveolise elektrivormeli kiirendust 0,02 sekundi võrra. Kui võtta arvesse, et terve masin kaalus 15 kilogrammi vähem kui eelneval aastal siis kiirenduses võitsime teoreetiliselt selle arvelt 0,75 sekundit.

Kui võrrelda 3D mudeleid kahehooaja vältel siis on selgelt eristada, et FEST18 oma (Joonis 1.5) on FEST17l vähem detaile küljes, samuti on veetud palju erinevate juhtmetega, ehk ei ole arvestatud, et need satuvad samasse termorüüsse. Samuti on FEST17l väga palju kõrval harusid, mis antennidena koguvad häiringuid ja suunavad selle signaalide ja CAN suhtluse juurde.



Joonis 3.10 Renderdus FEST17 juhtmestusest

Parameeter	FEST17	FEST18
Kaal kilogrammides	2.4	2
Ligikaudne hind eurodes	6489	9963
Vigu hooaja jooksul	Sagedased	Mõningad
Juhtmete purunemised	Sagedased	Mõningad
Valmistamisele kulunud aeg	3,5 kuud	2 kuud

Tabel 3.1 FEST17 ja FEST18 vormelite juhtmestiku võrdlus

Vaadeldes erinevate hooaegade juhtmelaudu on näha, et ühe aastaga mitmekordistus kasutatavate andurite arv. Kuna info lugemiseks ja töötlemiseks on vormeli kaks trükkplaati, üks ees ja teine taga, siis tekkisid suured sõlmpunktid hoopis uutesse kohtadesse. Üks sõlm punkt autol ees trükkplaadi nimetusega sensorika juures, kuna see kogus kõikide eespool asuvate andurite info kokku ja edastas need CANi. Teine samasugune punkt tekkis auto taha plaadi nimega ECU juurde.

Peale selle muutus ka akukasti pistikute asukoht ja meetod kuidas seda masinast välja võetakse. Kuna vormeli aerodünaamika arenedes tekkis vajadus ka masina taha paigaldada survejõudu tekitavad elemendid, siis pidi akukast hakkama välja käima kokpitist, mitte

enam tagaseinast. Sellega seoses pidi liigutama akukasti elektroonika seksiooni koos pistikutega juhi selja taha. Seda tehes muutus juhtmekimp pikemaks kuid häiringud signaalides vähemaks.



Joonis 3.11. FEST17 juhtmestik seinal

4 TOIMINGUD PEALE JUHTMESTIKU PAIGALDUST

4.1 IMD

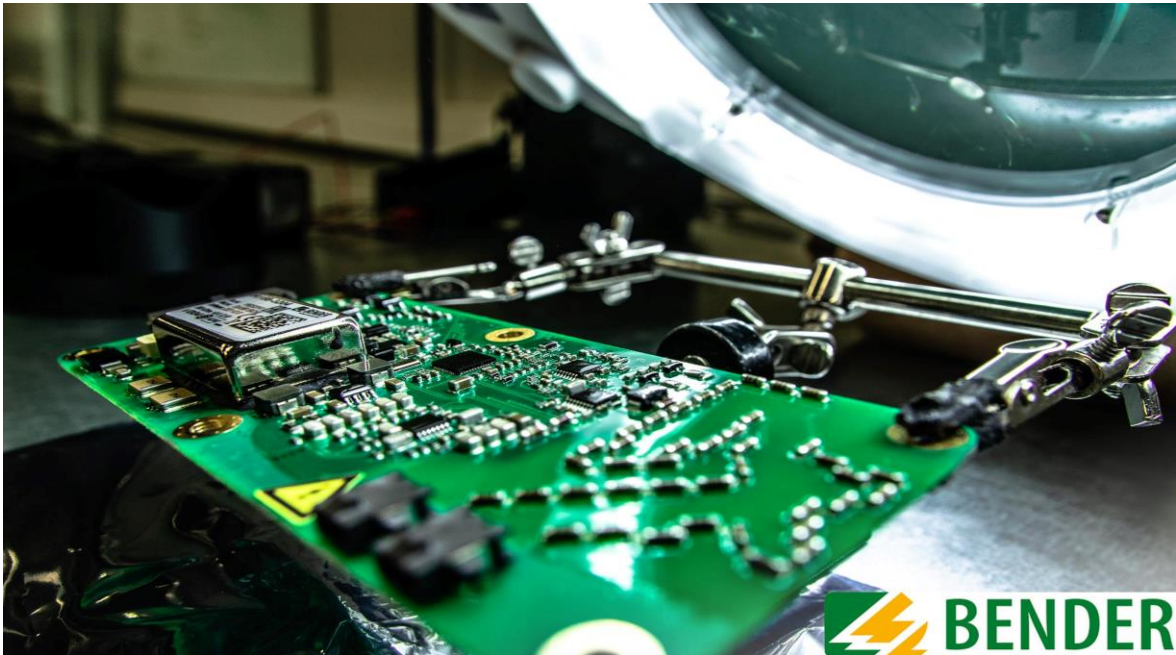
IMD ülesandeks on mõõta pidevalt kõrgepinge ja madalpinge vahelist takistust. IMD mõõtepunktideks on auto kere ning akukastis TS liinid. Kui takistus muutub liiga madalaks kujutab see ohtu inimese tervisele. Juhul kui takistus ongi liiga madal, siis väljastab see veasignaali, mis keelab AIRide järgi ühendamise, ehk masinale ei saa kõrgepinget järgi lülitada. Tulenevalt reeglist FSG 2017. – 2018. a punkt EV 7.4.3 on kohustuslik IMD enda takistuse väärtus 500Ω iga kõrgepinge V kohta. Ehk aastal 2018 oli selleks $277\text{ k}\Omega$.

$$R = 554 * 500 = 277\text{ k}\Omega$$

Kuna IMD mõõdab takistust ja võrdleb seda enda takistusega, siis on selge, et autol esinev GLV ja TS vaheline takistus ei tohi olla alla selle, mis IMDi määratud. Kui mõõta FEST18 seda takistust siis saadi tulemuseks $400\text{ k}\Omega$, mis on piisava varuga, et tagada IMD errori mitte esinemine. Samuti on oluline, et takistus oleks mõlema TS liini puhul sarnane, see tagab kindluse, et ühendused on tehtud õigesti.

Kui tehakse IMD testi tuleb takistust valides arvestada ka mõõtepunktide takistusega, mis on reeglite kohaselt $15\text{ k}\Omega$ mõlemal TS liinil. Kontroll loetakse õnnestunuks juhul kui madalama takistusega lühistamise korral lülitab IMD 30 sekundi jooksul kõrgepinge kontaktorid lahti ning saadab välja ka veateate. Testi mitte õnnestumise korral on kas IMD vigane, pole järgi ühendatud, või on halb ühendus erinevate elektriühenduste vahel.

Kuna masinas esineb teekatte ebatasasuste tõttu palju vibratsioone siis enne igat testi ja sõitu tuleb mõõta isolatsiooni testiga Metrahit 27i takistust. Antud testi käigus mõõdetakse ühenduste vahelist takistust samal ajal kui need on pingestatud 600 VDC . Selline testimine ennetab IMD veasignaale.



Joonis 4.1 IMD [10]

4.2 Kontrolleri kondensaatorite täislaadimine

Disaini faasis analüüsitud ja kindlaks määratud Discharge ja Pre-charge süsteemid, oli vaja ka testida, et saaks kindel olla skeemide ja ühenduste õigsuses. Selleks ühendati vormelil mõõtepunktidesse voltmeeter ning kasutati stopperit aja mõõtmiseks. Voltmeeter ühendati TS + ja – liinile, et saaks teada kontrolleri kondensaatoritel oleva pinge väärtuse igal ajahetkel. Voltmeetril tuli jälgida pinge muutust ajas ning stopperiga sai mõõta, kas tühjaks laadimine töötab piisavalt kiiresti.

Tühjaks laadimine pidi jõudma maksimaalselt akukasti pingelt alla 60 VDC vähem kui 5 sekundiga. Selleks laadisime akukasti täis ja katsetasime järgi. Arvutuste järgi pidi see aega võtma ligikaudu 3,2 sekundit. Kui mõõdeti päris vormeli saadi tulemuseks 3.4 sekundit, mis on aktsepteeritav, kuna sellest ajast ei ole maha lahutatud voltmeetrist ja stopperi seisma panemisest tingitud ajaviidet. Samuti prooviti järgi olukord kui takisti on väga soe, selleks tehti jadamisi kümme sekundit testi. Kõige viimasel testil oli tühjaks laadimise aeg 4.3 sekundit, mis jääb samuti lubatud piiridesse. Sellega tõestati, et kondensaatorite tühjaks laadimine vastab reeglitele.

4.3 Kontrolleri kondensaatorite tühjakslaadimine

Täislaadimise teste tehti täpselt sama palju, see tulenes sellest, et tühjaks laadimiseks oli vaja kondensaatorid ennem pingestada. Pre-charge süsteemile ei ole ette antud aega, kaua see kesta tohib, vaid on nõutud, et kontaktori lülitus toimuks miinimum 90% juures. Selleks kasutati jälle voltmeetrit. Testimisel selgus, et lülitus toimus enne 90% jõudmist. Järelikult oli viga tühjakslaadimise süsteemi kontrollivas trükkplaadis. Peale sellel oleva potentsiomeetri asendi muutmist lahendati probleem. Lülitus toimus 93% juures ning toimis kõigil kordadel.

KOKKUVÕTE

Lõputöö käigus valmis FS Team Tallinna elektrivormelile juhtmestus. Projekt sisaldas endas juhtmekimbu analüüsimist, disainimist 3D keskkonnas, juhtmelaua selle komplekteerimine ning vormelisse paigaldamine. Töö peamisteks eesmärkideks oli juhtmestuse kogukaalu vähendamine, 3D mudeli täpsuse suurendamine ning isoleerimata CAN suhtluse testimine. Kui esimesed kaks eesmärki täideti positiivselt, ehk kaal vähenes ja mudel sai erakordselt täpne, siis plaatide vahelise suhtlusega nii ei läinud. Arvatavad isoleerimata CAN suhtluse eelised puudusid ning tekkis palju probleeme juurde. Kõik probleemid said küll lahendatud, aga vastu võeti otsus, et minnakse tagasi isoleeritud CANi kasutamise juurde.

Kaalu langus oli tingitud suuresti tänu optimaalsemate komponentide valikule. Kui komponentide arvelt võideti ligikaudu 600 grammi, siis umbes 100 grammi pandi juurde kasutades topelt isolatsiooniga juhtmeid. Samuti prooviti aastal 2018. esimest korda ise varjestada HV juhtmeid, kuna varasemalt kasutuses olnud juhtmete paindumisvõime ei olnud piisav. Kahjuks sai valitud liiga jämedakoeline varjestus, mis tegi TS ühendused raskeks ja jämedaks. Uurimistöö lõpus leiti ka juba uus ning peenem varjestus, mida juhtmele peale tõmmata, ning esmased proovid näitavad, et tulemus on parem sellest, mis oodati.

3D mudeli täpsuse parandamine tõstis oluliselt edasise töö kiirust, ning aitas teiste valdkondade tudengitel arvestada sellega, kus juhtmed olema hakkavad. Tänu sellele esines 2017/18 hooajal märkimisväärselt vähem purustusi ning kahjustusi juhtmestusel. Samuti aitas mudel luua paremat ülevaadet eelseisvatest probleemidest vormeli komplekteerimisel.

Järgnevaks hooajaks on juba eesmärgid paika seotud, mis saavutada tuleb. Esmalt tuleb uuesti integreerida isoleeritud CAN, see eemaldab enamus sellel aastal esinenud probleemidest mikrokontrollerite suhtluses. Häiringute kindlama masina tarvis võiks uurida eelnevalt valmistatud CAN juhtme poole, kuna see on ühtlaselt keritud ning varjestatud, mis tagab sellise taseme, mida inimkäsi ei suuda. Edasi tuleb arendada kindlasti TS juhtmeid ja nende koostamist, varjestus juba leiti kergem nüüd tuleb uurida termokahanevaid ning juhtme isolatsioone.

SUMMARY

The purpose of final thesis is to make wiring for the FS Team Tallinn electric formula car. The project included analyzing the wiring harness, designing it in a 3D environment, assembling it on a wiring board, and putting it in the chassis. The main objectives of the work were to reduce the total weight of the wiring, increase the accuracy of the 3D model, and test the uninsulated CAN communication. When the first two goals were achieved positively, as the weight was reduced and the model became exceptionally accurate, it did not happen with the communication between PCBs. The expected advantages of uninsulated CAN communication were lacking and many problems were encountered. Although all the problems were solved, it was decided to go back to the use of isolated CAN.

Weight loss was largely due to the choice of more optimal components. When about 600 grams was gained from components, about 100 grams were added using double insulated wires. Also in 2018, HV cables were attempted to be shielded for the first time by the team, as the previously used wires were not sufficiently flexible. Unfortunately, too thick shielding was chosen that made the TS connections heavy and rough. At the end of the research, a new and finer shielding was already found and the primary samples show that the result is better than expected.

Improving the accuracy of the 3D model significantly increased the speed of further work and helped students in other fields to consider where the wires should be. This resulted in significantly less breakage in wiring in the 2017/18 season. The model also helped create a better overview of the upcoming problems in building the formula car.

For the next season, the goals are already fixed, which must be achieved. First of all it is necessary to re-integrate the isolated CAN, which removes most of the problems that occurred this year in microcontroller communication. For a more EMI proof machine, one might want to look at the pre-fabricated CAN wire as it is evenly wound and shielded to provide a level of quality that the human hand cannot. Furthermore the TS wires and their assembly must be further developed, shielding has already been found, now it is necessary to study the heat shrink and wire isolations.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] Piirsoo, Toomas, Elektrivormeli juhtmestuse projekteerimine ja valmistamine, TTK, 2017
- [2] American Wire Gauge Chart [WWW] https://www.powerstream.com/Wire_Size.htm (15.05.2019)
- [3] Formula Student Germany Rules [WWW] <https://www.formulastudent.de/fsg/rules/> (20.05.2019)
- [4] Electrical inspection (Formula Student Germany) [WWW] https://www.formulastudent.de/fileadmin/user_upload/all/2017/20171021_Academy/Slides/04_E-Inspection__FSG_Academy_20171021_Herzogenaurach.pdf (18.01.2018)
- [5] Must Calculate, „Capacitor charge and discharge calculator,“ [WWW]. <http://mustcalculate.com/electronics/capacitorchargeanddischarge.php?vfrom=547.2&vto=60&vs=&c=0.0003&r=1158&time=0%2C77> (15.03.2018).
- [6] FSAE, „2017-18 Formula SAE® Rules,“ [WWW]. <http://www.fsaeonline.com/content/2017-18%20FSAE%20Rules%209.2.16a.pdf> (15. 03. 2018).
- [7] Texas Instruments, „Controller Area Network Physical Layer Requirements,“ [WWW]. <http://www.ti.com/lit/an/slla270/slla270.pdf> (07.04.2018).
- [8] Farnell, „FlexLite™,“ [WWW]. http://www.farnell.com/datasheets/1851880.pdf?_ga=1.2875120.199362426.1487087416 (10.11.2017).
- [9] Mersen, „600V DC Class J Photovoltaic Fuses,“ [WWW]. <http://ep-us.mersen.com/fileadmin/catalog/Products/Fuses-Fusegear-and-Fuse-Systems/Special-Purpose-Fuses/Photovoltaic-Fuses/HelioProtection-HP6J-Fuses/ADV-G-Special-Purpose-Fuses-HP6J-600VDC-Class-J-Photovoltaic-Fuses.pdf> (20.05.2018).

[10]IMD

mõõteseadeldis

[WWW]

<https://www.facebook.com/FSTeamTallinn/photos/a.213603008691544/2341730779212079/?type=3&theater> (20.05.19).