

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
Infotehnoloogia teaduskond
Arvutisüsteemide instituut

Jürgen Soom 142613IASB

**TUDENGIVORMELI CAN LIIDESSEL
PÕHINEV NÄIDIKUTE PLOKI
ARENDAMINE**

Bakalaureusetöö

Juhendaja: Mairo Leier
Doktorikraad

Tallinn 2017

Autorideklaratsioon

Kinnitan, et olen koostanud antud lõputöö iseseisvalt ning seda ei ole kellegi teise poolt varem kaitsmisele esitatud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on töös viidatud.

Autor: Jürgen Soom

19.05.2017

Annotatsioon

Meeskond FS Team Tallinn on oma 11 aastase ajaloo jooksul ehitatud erinevaid tüüpi vormeleid nii sisepõlemismootoritega kui ka elektrimootoritega. Viimasel neljal hooajal on ehitatud elektrimootoriga vormeleid. Igal hooajal on tehtud vormeli arengus suuri hüppeid, tuginedes meeskonna filosoofiale, mis seisneb selles, et disainida ja toota võimalikult palju detaile ise. Ka sellel hooajal valmiv elektrivormel FEST17 ei jää sellest filosoofiast puutumata.

Lõputöö eesmärgiks on arendada tudengivormeli jaoks CAN liidesel põhinev näidikuteplokk. Töös on kirjeldatud nii tarkvara kui ka riistvara arendust ning töötavat süsteemi tervikuna.

Töö tulemuseks oli meeskonna ajaloos esimene isetehtud näidikuteplokk, mille ülesandeks on võtta vastu CAN-võrgus liikuvaid sõnumeid, neid töödelda ning lõpuks ekraanile kuvada.

Lõputöö on kirjutatud eesti keeles ning sisaldab teksti 50 leheküljel, 6 peatükki, 18 joonist, 3 tabelit.

Abstract

CAN bus based dashboard development for Formula Student

Team FS Team Tallinn during its 11 year history has been building different types of formulas, with internal combustion engines and electric motors. For the last 4 seasons team has built formulas with electric motors. Each season, there have been huge jumps in formula development, relying on team's philosophy, which means to design and produce as many details as possible by ourself. This season FEST17 will not remain untouched by this philosophy.

The main goal of this thesis is to develop a dashboard system based on CAN bus for the FEST17. The thesis will present how hardware and software solutions were developed for this project.

Result of this thesis was team's first self-made dashboard. Center of this thesis is a board, whose main goal is to receive messages from CAN, process and finally show them on the screen.

The thesis is in estonian and contains 50 pages of text, 6 chapters, 18 figures, 3 tables.

Lühendite ja mõistete sõnastik

CAN	<i>Controller Area Network</i>
CAD	<i>Computer-aided design</i> , raalprojekteerimine
ECU	<i>Electronics Control Unit</i> , elektroonika juhtplokk
FEST17	<i>Formula Estonia 17</i> , vormel, mida ehitatakse 2017. aasta hooaja tarbeks
FSTT	Formula Student Team Tallinn
F1	<i>Formula One</i>
GPIO	<i>General-Purpose Input/Output</i>
IMD	Insulation monitoring device
LCD	<i>Liquid-Crystal-Display</i> , vedelkristall ekraan
LDO	<i>Low-Dropout Regulator</i>
LED	<i>Light Emitting Diode</i> , valgudiod
LQFP	<i>Low Profile Quad Flat Package</i>
MCU	<i>Microcontroller Unit</i> , mikrokontroller
OLED	<i>Organic Light-Emitting Diode</i> , orgaaniline valgusdiod
PCB	<i>Printed Circuit Board</i> , trükkplaat
SOIC	<i>Small Outline Integrated Curcuit</i>
SPI	<i>Serial Periphieral Interface</i>
SWD	<i>Serial Wire Debug</i>
UART	<i>Universal Asynchronous Receiver/Transmitter</i>
UFBGA	<i>Ultra Fine Ball Grind Package</i>

Sisukord

1 Sissejuhatus	11
2 Näidikuteploki olulisus.....	12
2.1 Võimalikud lahendused	13
2.1.1 Analoogsed seadmete kasutus motosportimaailmas.....	13
2.1.2 Võimalikud lahendused FEST17 tarbeks	14
2.2 Elektrivormeli elektroonika ülesehitus.....	16
2.3 Eeldused.....	17
2.3.1 Töötingimused.....	17
3 Elektroonika	19
3.1.1 Näidikuteplokk ja toide	19
3.1.2 Komponentide valik	19
3.1.3 Skeem	22
3.1.4 Trükkplaadi disain	26
3.2 Mehaanika	27
3.2.1 Tootmistehnika ja materjali valik.....	27
3.2.2 Näidikuteploki korpus ning kinnitus	29
3.2.3 Disain.....	30
4 Tarkvara.....	31
4.1 Süsteemi algoritm	31
4.2 CAN protokoll	32
4.3 Kasutajaliides.....	34
5 Testimine	35
5.1 Riistvara testimine	35
5.2 Tarkvara testimine	36
6 Erinevad probleemid.....	37
6.1 Ekraan.....	37
6.2 CAN-transiiver	37

6.3 Korpuse	37
6.4 Trükkplaat	38
6.4.1 Esimene versioon	38
6.4.2 Teine versioon	38
7 Kokkuvõte	39
8 Summary	40
Kasutatud kirjandus	41
Lisa 1: Trükkplaadi ülemine kiht	43
Lisa 2: Trükkplaadi teine kiht	43
Lisa 3: Trükkplaadi kolmas kiht	44
Lisa 4: Trükkplaadi alumine kiht	44
Lisa 5: Kasutatud komponentide nimekiri	45
Lisa 6: Väljavõtte kasutatava ekraani andmelehest	46
Lisa 7: Mikrokontrolleri STM32F405RG ploki skeem	47
Lisa 8: Väljavõtte ASX 202 pistiku andmelehest	48
Lisa 9: Kasutajaliidese näide	48
Lisa 10: ADM3053 soovituslik paigutamine	49
Lisa 11: Näidikuteploki korpuse CAD mudel	50

Jooniste loetelu

Joonis 1. Sauberi vormeli näidikuteplokk koos rooliga [1].....	13
Joonis 2. Vormeli elektroonika juhtskeem	17
Joonis 3. Veekahjustused trükkplaadil [3].....	18
Joonis 4. Vibratsioonid mõõdetud F1 auto roolilt [4]	18
Joonis 5. Toiteskeemid, mõõtepunktid ja indikaator valgusdiodid	24
Joonis 6. Isoleeritud CAN liides.....	25
Joonis 7. Ühendused vormeli ja ekraaniga	25
Joonis 8. Trükkplaadi pealt vaade 3D formaadis	26
Joonis 9. Trükkplaat altvaade 3D formaadis	26
Joonis 10. Laserpaagutuse (i.k. Selective Laser Sintering) tööpõhimõtte skeem [14]....	28
Joonis 11. Korpuse alumine osa	29
Joonis 12. Korpuse ülemine osa	29
Joonis 13. Näidikuteploki korpus elektrivormeli kere küljes	30
Joonis 14. Süsteemi algoritm.....	31
Joonis 15. Süsteem ilma CAN-võrguta ja CAN-võrguga [15].....	32
Joonis 16. CAN standard kaader [16].....	33
Joonis 17. CAN laiendatud kaader [17].....	33
Joonis 18. Ekraanitõmmis loogikaanalüsaatori keskkonnast	36

Tabelite loetelu

Tabel 1. Peamised põhjused, miks vormel jääb seisma.....	12
Tabel 2. Võimalike lahenduste võrdus FEST17 jaoks	14
Tabel 3. Korpusesse minevate detailide mõõtmed	30

Eessõna

Käesolev lõputöö on valminud koostöös Formula Student Team Tallinnaga. Töös esitatud lahendus on mõeldud 2017. aastal valmivale tudengivormelile FEST17. Olen äärmiselt tänulik kogu FS Team Tallinn meeskonnale, kes on olnud suureks abiks ja toeks mitmete projekteerimise käigus tekkinud probleemide lahendamisel.

Autor soovib avaldada erilist tänu meeskonnaliikmetele Martin Ploomile ja Aleksandr Stennikovile.

1 Sissejuhatus

Bakalaureusetöö eesmärgiks on projekteerida 2017. aastal valmivale vormelautole FEST17 näidikuteplakk, mis suudaks kuvada juhile reaajas erinevaid sõiduki parameetreid. Eelkõige on vaja juhil näha informatsiooni akukasti temperatuuri, pinge, voolu ning mootori kontrolleri poolt saadetud väärtuste kohta.

Siiamaani on Formula Student Team Tallinn kasutanud näidikuteplakina ostutoodet, milleks on Motec C125 tüüpi näidikuteplakk. Seade suudab juhile näidata kõiki vajalikke elektrivormeli parameetreid ning samal ajal ka neid logida. Ostutoote miinuseks on iga-aastased tõusvad litsentsitasud.

Samas konkurentide poolt turul pakutavad näidikuteplakid ei suuda ära lahendada kõiki meeskonna poolt esitatud nõudmisi. Seega võttis FS Team Tallinna meeskond vastu otsuse projekteerida oma näidikuteplakk, mis vastaks kõigile meeskonna vajadustele ja nõudmistele.

Ülesande teostus koosneb kolmest osast. Mehaanilises osas on vaja disainida korpus, mis suudaks endas hoida kogu näidikuteplaki elektroonikat ning kaitsta seadet väliste tegurite eest. Nende alla kuuluvad vesi, niiskus, vibratsioonid ja väikesed lendavad prahi tükid. Elektroonika peamiseks väljakutseks on disainida võimalikult väikeste mõõtmetega trükkplaat ning samas arvestada teatud komponentide õige paigutusega. Tarkvaras osas on vaja lahendada suhtlus vormeli ja näidikuteplaki vahel, kasutades selleks mitut suhtlusprotokollit. Lisaks sellele leida lahendus, kuidas panna omavahel suhtlema mikrokontroller ja ekraan.

2 Näidikuteploki olulisus

Näidikuteplokk ei ole ainult tähtis elektrivormeli piloodile, vaid on ka tähtis kõigile neile, kes on seotud vormeli elektroonika ja vedrustuse testimisega. Pidevalt on vaja jälgida, millised sõnumid, mis sisaldavad erinevaid sõiduki parameetreid, CAN-võrgus ringi liiguvad. Võistlussõidu ajal on äärmiselt oluline, et piloot näeks reaajas akukasti kogupinget, elementide temperatuure, aku mahtuvust. See on eriti kriitiline kestvussõidu ajal, et juht saaks valida võimalikult optimaalse sõidutehnika, lõpetamaks etapp edukalt. Alati on kasulikum ära sõita kogu etapp aeglasemalt, kui katkestada, kuna sõidu katkestamine annab automaatselt 0 punkti. Lisaks erinevatele akukasti parameetritele, peab vormeli piloot saama võimalikult kiiresti tagasisidet mootori kontrolleri töö kohta. Juhul kui kontrolleri töös on tekkinud mõni viga, peab juht sellele võimalikult kiiresti reageerima.

Tudengivormeliga sõitmise puhul on väga tihti probleemiks juhi liiga agressiivne sõidustiil. Seda saab ennetada, kui näidikuteplokk teavitab juhti õigeaegselt vormeli olukorrast.

Tabelis 1 on toodud välja peamised põhjused, mis võivad põhjustada vormeli seiskumise.

Tabel 1. Peamised põhjused, miks vormel jääb seisma

Juhtum	Tagajärg
Vähemalt ühe akupaki elemendi temperatuur ületab 65°C piiri	Elektrivormel jääb seisma, kuni kõik akuelemendid on maha jahtunud
Akupaki kogupinge lange alla 392 V	Elektrivormel jääb seisma, kuni kõik akuelemendid on uuesti ära laetud
Akuelemendi pinge langeb alla 3,4 V	Elektrivormel jääb seisma, kuni kõik akuelemendid on uuesti laetud
Sõidu ajal tekib kontrolleri töös tõrge	Elektrivormeli juhitavus on tõsiselt häiritud, mille tõttu tuleb vormel koheselt peatada.

2.1 Võimalikud lahendused

2.1.1 Analoogsed seadmete kasutus motospordimaailmas

Näidikuteplokk kasutatakse nii tavalistes linnasõidukites, olgu selleks mootorratas või liinibuss kui ka motospordis. Algsed näidikuteplokkid olid analoogsed, kuid tänapäeval on enamik läinud digitaalseks. Näidikuteploki hinna määrab enamasti ära tema töökindlus ja lisavõimalused. Näiteks on näidikuteploki ehitatud sisse logimisseade, mis suudab salvestada sõiduki sensorite väärtusi terve sõidu vältel, et neid hiljem saaks analüüsida. Näitena võib välja tuua näidikuteploki, mida kasutatakse maailma võidusõidu tippklassis F1. Sauberi meeskond kasutab näidikuteploki, mida on kujutatud joonisel 1, mis on ehitatud vormeli rooli sisse. Näidikuteploki mudeliks on PCU-8D, mis on välja arendatud McLaren Applied Technologies poolt ning kasutab vormeliga suhtlemiseks CAN-võrku.



Joonis 1. Sauberi vormeli näidikuteplokk koos rooliga [1].

PCU-8D peamised karakteristikud [2]

- CAN-võrgu andmevahetuskiirus 1 Mb/s
- Toitepinge 8 kuni 16 V
- 4,3 tolline LCD ekraan
- Mass: 230 g
- 480 x 272 resolutsioon


2.1.2 Võimalikud lahendused FEST17 tarbeks



Kuna näidikuteploki arendamine, testimine ja integreerimine nõuab palju ajalist ressursi, otsiti algselt analoogseid valmiseadmeid, mis suudaksid täita ära kõik Motec C125 funktsioonid, kuid oleksid soodsamad. Meeskonna peamised nõuded analoogse ostutoote otsimisel olid:

- Töötab CAN-võrgus
- Tööpinge 24 V
- Ekraan oleks päiksevalguse käes loetav
- Hind oleks alla 1000 euro

Eelpool seatud tingimuste põhjal valiti välja järgnevad näidikuteplokid, mida on kirjeldatud tabelis 2.

Tabel 2. Võimalike lahenduste võrdus FEST17 jaoks

Tootja	Mudeli nimi	Hind	Kommentaar	Pilt
Motec	D153	1433 eurot	FS meeskonnale pakutakse veel eraldi soodustust, kuid hind jääb ikkagi üle 1000 euro.	

AIM	G-Dash	326 eurot	Hind sobib, korralik dokumentatsioon, aga ekraan ei ole päiksevalguse käes loetav.	
Race Technology	DASH2 Display Unit	682 eurot	Hind on mõistlik, aga vajab eraldi pingeregulaatorit	

Esimene valik on tootja Motec poolt, kellega varasem kokkupuude on juba olemas. Eelnevatel hooaegadel on meeskond kasutanud nende C125 näidikuteploki ja logeri süsteemi FEST15 ja FEST16 peal. Seadmel on olemas korralik tarkvara, mille kasutamisega ei ole esinenud suuremaid probleeme. Samuti ei pea looma Motec D153 jaoks eraldi pingeregulaatoreid, kuna andmelehele tuginedes saab näidikuteplakk 24 V sisendpingega kenasti hakkama. Ainuke negatiivne pool D153 juures on tema hind, mis ületab 1000 euro piiri, isegi siis kui sealt saab tudengivormeli soodustusega veel 200 eurot alla. Lisaks CAN sisendile saab seadme külge ühendada ka 8 analoogsisendit. Ekraani katab matt viimistlus, mis lihtsustab ekraani lugemist päikese käes.

Teiseks variandiks oli seade, firma AIM poolt, kelle tooted on motosportimaailmas üpris tuntud. Võrreldes Moteci poolt pakutava lahendusega, on AIMi näidikuteplakk palju lihtsama ehitusega. Esiteks ei kasutata värvilist LCD ekraani, vaid on mindud mustvalge ekraani kasuks. Kahjuks on ekraan läikiva viimistlusega, mis vähendab ekraani loetavust päiksevalguse käes. Lisaks sellele sisaldab AIMi kodulehel olev andmeleht väga vähe informatsiooni näidikuteploki kohta ning detailsema andmelehe saamiseks tuleb pöörduda otse tootja poole. Tootja poolt saadud andmelehed ja juhendid on äärmiselt informatiivsed, mis annab suure eelise valiku tegemisel. See lubab hõlpsamini lahendada tekkivaid probleeme. Vaatamata tema lihtsusele on AIM-i näidikuteplakk ligi 150 grammi raskem võrreldes Motec D153 seadmega, mille mass on ainult 200 grammi.

Viimaseks variandiks on seade firma Race Technology poolt, kes ei ole nii tuntud kui Motec või AIM, kuid nendega suheldes jäi positiivne mulje. Võrreldes AIM ja Moteci võimalustega, on Race Technology toote lisavõimalused suhteliselt piiratud. Esiteks on

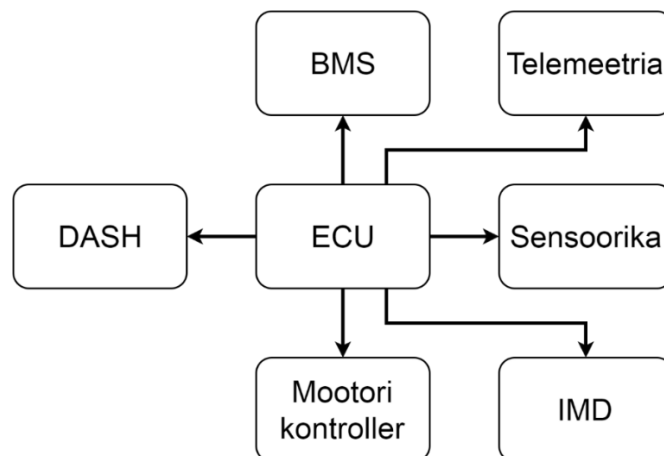
seadmel ainult 4 analoogsisendit, mida on poole vähem kui Moteci ja AIMi poolt pakutavatel lahendustel. Teiseks peab seadmele looma veel eraldi pingeregulaatori, mis suudab muundada 12 V 24 V-ks, mis on oluline kriteerium valiku tegemisel.

Kolme variandi võrdlemisel selgus, et vormeli meeskonna jaoks, sellest valikust sobivat lahendust ei leidunud. Selle tõttu võetigi eesmärgiks koostada nõutud funktsionaalsusega näidikuteplokk, mida hiljem saab vajadusel täiendada.

2.2 Elektrivormeli elektroonika ülesehitus

Tudengivormeli elektroonika koosneb erinevatest seadmetest, mis moodustavad ühtse süsteemi nagu on näidatud joonisel 2. Igal seadmel on eraldi ülesanne, mida ta peab täitma. Seadmete omavaheline suhtlus toimub läbi CAN-võrgu.

Vormeli ajuks on *Electronics Controll Unit* (ECU), mille ülesandeks on juhtida teisi seadmeid, peale rehvi temperatuuri mõõtmise seadme, mis on muust süsteemist eraldatud, kuna ta ei kasuta suhtluseks CAN-võrku. ECU peamisteks ülesanneteks on seadmete sisse- ja väljalülitamine, andmete vastuvõtmine, töötlus ja edasisaatmine. Lisaks sellele on ECU-s ka vormeli juhtimissüsteem, mis teeb koostööd mootori kontrolleriaga. ECU-le lisaks on väga kriitiline süsteem *Battery Management System* (BMS), mis vastutab akude laadimise, akukasti monitoorimise ja regeneratiivse pidurdamise eest. Regeneratiivne pidurdamine laeb pidurdamise ajal tekkinud energia abil vormeli aku elemente, mis pikendab sõidu kestvust. *Insulation monitoring device* (IMD) kontrollib kõrgepinge sisselülitamisel, kas autos on lahtiseid juhtmeid või ühendusi. Antud süsteemi kontroll toimub iga viie minuti tagant. Sellise olukorra tekkimisel lülitab seade välja kõrgepinge terves autos ning ei lase uuesti kõrgepinget sisse lülitada enne kui probleem on kõrvaldatud. Telemeetria seadme ülesanne on sõidu ajal edastada andmeid meeskonna boksi, et meeskonna liikmed saaksid näha reaajas, kuidas auto käitub ning vajadusel anda vormeli piloodile juhised. Andmete saatmine toimub läbi Xbees, mis lubab saata andmeid kuni pooleteise kilomeetri kaugusele. Sensorika seade vastutab autos olevate sensoritelt tulevate andmete kogumise, töötlemise ning ECU-sse edasisaatmise eest.



Joonis 2. Vormeli elektroonika juhtskeem

2.3 Eeldused

2.3.1 Töötingimused

Võistlusautol paiknev näidikuteplokk peab töötama välistes tingimustes. Seadme projekteerimisel tuleb arvestada, milline on seadme töökeskkond ning millistele punktidele peab keskenduma. Peamised tegurid, mida tuleb arvestada näidikuteploki disainimise on järgmised:

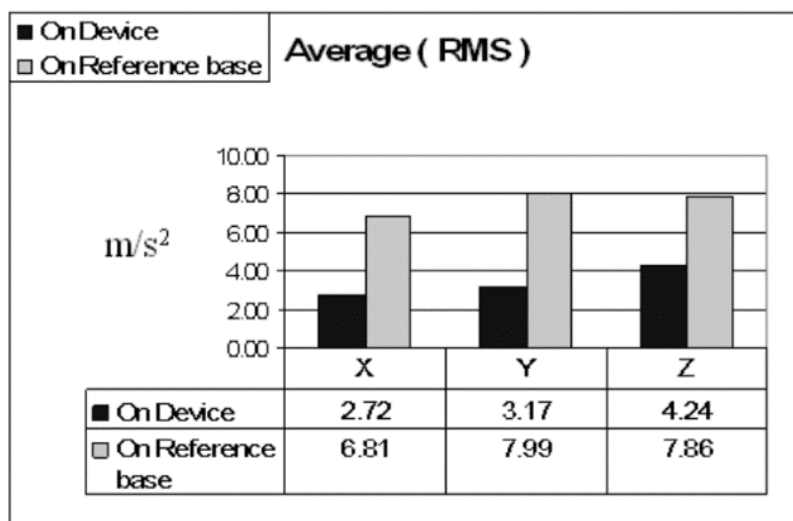
- Temperatuur – Kõrged temperatuurid mõjutavad elektroonika komponentide tööd ning lühendavad nende eluiga, kuna elektroonika paikneb kinnises korpuses ja õhu sissepääs on peaaegu olematu.
- Niiskus ja vesi – Elektroonika peab olema kaitstud vee ja niiskuse eest, mis võivad põhjustada häired seadme töös või hoopis muuta selle kasutuskõlbmatuks.
- Löögid ja vibratsioon – Sõidu ajal võib tekkida olukordi, kus tänu kokkupõrgetele, raja ebatasasustele või pinnaga kokkupuutumisel ei suuda vormeli vedrustus kõiki lööke enda peale võtta ja sellest mingi osa võib kanduda mööda sõiduki kere näidikuteploki peale.

Kõige suuremateks probleemideks on siinkohal löögid, vibratsioonid, niiskus ja vesi. Niiskuse ja vee pääsemine elektroonikaplaadi juurde peab olema täielikult välistatud. Esiteks elektroonika kokkupuutumisel veega, võib see endaga kaasa tuua erinevate voluuhelate lühistumisi, mis omakorda võivad muuta kogu näidikuteploki elektroonika ajutiselt või jäädavalt kasutuskõlbmatuks. Kergemal juhul põletab lühis läbi ainult mõne komponendi, mille tagajärjel tuleb kahjustatud komponent välja vahetada. Lisaks sellele

võib pikaajaline niiskusega kokkupuutumine kaasa tuua trükkplaadile pöördumatuid kahjustusi, nagu on näidatud joonisel 3.



Joonis 3. Veekahjustused trükkplaadil [3]



Joonis 4. Vibratsioonid mõõdetud F1 auto roolilt [4]

Peale niiskuse ja vee on suur veatekke põhjustaja löögid ja vibratsioonid. Peamine probleem seisneb selles, et löögid ja vibratsioonid põhjustavad pingeid komponentides või voluradades, mis võivad kergesti puruneda, eriti kui volurajad on väga peenikesed. Tudengivormeli reeglites on ära määratud, et kõik elektroonika detailid peavad pidama vastu autole mõjuvatele püsttelg suunalistele kiirendustele kuni 10 G, aga tudengivormelis selliseid kiirendusi ei teki ning joonisel 4 on näidatud

3 Elektroonika

Lõputöö eesmärgiks oli arendada välja süsteem, mis suudaks võtta vastu vormelil olevas CAN-võrgus liikuvaid sõnumeid, teisendada sõnumites olevad andmed sobivale kujule ning lõpuks kuvada sõnumi sisu ekraanile.

3.1.1 Näidikuteplakk ja toide

Näidikuteplaki keskseks komponendiks on mikrokontroller, mis on ühendatud järgnevate komponentidega:

- 20×4 maatriks OLED ekraan
- CAN-transiiveriga

Lisaks sellele paiknevad trükkplaadil pingeregulaatorid, mille ülesanneteks on muundada vormelist tulevat 24 V sisendpinget 5 V-ks või 3,3 V-ks, mis on vajalik seadme komponentide tööks. Kõik komponendid, mida näidikuteplakk kasutab on välja toodud lisas 5.

3.1.2 Komponentide valik

Mikrokontrolleriks oli algselt valitud Atmel ATmega2560, mida võib leida Arduino Mega arendusplaadi pealt. Mikrokontrolleri valiku tegemisel mängis suurt rolli meeskonna varasem kogemus, mille tõttu valiti mikrokontrolleriks hoopis STM32 F4. Vähendamaks tarkvara arendusele kuluvat aega, kasutavad kõik tudengivormelis isearendatud seadmed STM32 F4 seeria mikrokontrollereid, mis võimaldab teekide jagamist. Lisaks aitab varasem, samade mikrokontrollerite, kasutamise kogemus ära hoida vigu, mis võivad tekkida trükkplaadi disainimisel. Valituks sai 64 väljaviiguga STM32F405RGT6W, mis on turul üks odavamaid ning kättesaadavamaid F4 mudeleid, millel on olemas kõik vajalikud liidesed.

STM32F405RG peamised karakteristikud [5]

- Maksimaalne taktsagedus: 168 Mhz
- Liidesed: CAN, I2C, SPI, UART, USART, USB
- Korpuse tüüp: LQFP
- Maksimaalne I/O viikude arv: 51
- Viikude arv: 64
- Välmälu: 1024 kB
- Muutmälu: 192 kB
- Toitepinge: 1,8 – 3,6V

CAN-transiiveri valimisel oli põhiorõhuks töökindlus, et auto poolt tekitatud elektromagnetilised mürad segaksid võimalikult vähe transiiveri tööd. Selle tõttu otsiti transiivereid, millel oleksid isoleeritud signaal ja toide. Eelmistel aastatel oli kasutusel MCP2551 tüüpi transiivereid, aga nende kasutamisega oli palju probleeme. Probleemide peamiseks põhjustajaks oli auto poolt tekitatud kõrgepinge. Uueks valikuks osutus ADM3053 CAN-transiiver, kuna komponent suutis täita meeskonna poolt esitatud nõudmised. Ainuke komponendil olev puudus on tema 5V tööpinge,. Kuna enamus vormelis kasutavaid komponente töötavad 3,3 V pingel peal, siis selleks tuli luua eraldi pingeregulaator, mis suudab muundada 24 V 5 V-ks. Kui transiiver töötaks 3,3 V peal, tarbiks komponent vähem voolu ning ei oleks vaja luua eraldi pingeregulaatoreid 5 V jaoks, mis omakorda vähendaks seadme mõõtmeid, tootmise hinda ja keerukust.

ADM3053 peamised karakteristikud [6]

- Andmevahetuskiirus: 1 Mb/s
- Toitepinge: 5 V
- Korpuse tüüp: SOIC-20
- Ülekuumenemise eest kaitsev väljalülitus
- Isoleeritud signaal ja toide

Ekraani valikul oli põhiorõhk mõõtmetel ja nähtavusel. Algselt prooviti kõige tavalisemat 16×2 maatriks LCD ekraani, aga vormeli pilootide arvates jäi ekraan liiga väikeseks ning päiksevalguse käes ekraani lugemine oli keeruline. Järgmine variant oli proovida 20×4 maatriks LCD ekraane, mille suurusega piloodid jäid rahule, aga ekraani loetavus oli veel endiselt halb. Peamine probleem oli päiksevalguses, mis otse ekraanile paistes, muudab

ekraani vaevu loetavaks. Selle probleemi lahendamiseks mõeldi välja mitu lahenduse varianti. Esimene lahendus, mida pakuti meeskonna poolt välja, oli katta ekraan peegelduse vastase kilega, aga tulemus ei olnud piisavalt hea. Teine lahendus oli katta ekraan lakiga, mis vähendaks peegeldusi, aga ka see ei andnud häid tulemusi, sest laki kiht ei jäänud piisavalt ühtlane. Lõpuks otsustati proovida OLED ekraane, mis saavad väga hästi hakkama päiksevalgusega. Lõpuks valiti ekraaniks Newhaven Display mudel NHD-0420CW-AY3. Ekraani on võimalik juhtida läbi *Paralleel*, SPI või I²C kaudu. Alguses osutus valituks versioon, mille *pinheader*-i asemel oli lintkaabel, aga see variant ei sobinud, kuna tootja oli valinud lintkaabli sammuks 0,7 mm, millele ei leitud sobivat pistikut. Kui proovida joota lintkaabel otse trükkplaadi peale, kardeti et isegi kõige väiksema vibratsiooni või löögi tagajärjel võib lintkaabel jootest lahti tulla ning lõhkuda ära mõne trükkplaadi peal oleva jootekoha. Ekraan kasutab juhtimiseks US2066 seeria kontrolleri, mis ei ole nii populaarne kui SSD1325 või HD44780, kuid ekraani dokumentatsioon on täiesti piisav, et selle põhjal saaks vajaliku teegi valmis kirjutada.

Ekraani peamised karakteristikud [7]

- Toitepinge: 5 V
- Paneel: OLED
- Juhtimine: Paralleel, SPI, I²C

Väljavõtte ekraani andmelehest on eraldi välja toodud lisa 6.

Pingeregulaatorite valikul mängis kõige enam rolli efektiivsus ja täpsus, mille tulemusel valiti välja mudelid LM2675 ja LP2985-33DBVR. Mõlemad mudelid on *switching* tüübi regulaatorid. Nende peamiseks eeliseks lineaarregulaatorite ees on väike soojuse eraldus. Kuna elektroonika hakkab paiknema korpuses, kuhu värske õhu ligipääs on väga piiratud, mängib väike soojuse eraldus suurt rolli, kuna ta ei tõsta oluliselt korpuse sees olevat temperatuuri [8]. Lisaks sellele tuli pingeregulaatorite valimisel panna tähele maksimaalset voolu, mida pingeregulaatorid on suutelised väljastama. Kuna ainuke seade, mis tarbis 3,3 V oli mikrokontroller ja STM32CubeMX-ga tehtud arvutuste järgi tarbib mikrokontroller maksimaalselt 50 mA, mille pärast oli 0,15 A väljalaskega mudel täiesti piisav. 5 V pingega tuli rohkem kalkuleerida, kuna peamisteks tarbijateks olid OLED ekraan ja CAN-transiiver. Arvutuste tulemuste kohaselt peaks kogu süsteem tarbima maksimaalselt 100 mA.

LM2675 peamised karakteristikud [9]

- Efektiivsus: 96%
- Korpuse tüüp: SOIC-8
- Maksimaalne vool: 1 A
- Väljundpinge: 5 V

LP2985-33DBVR peamised karakteristikud [10]

- Korpuse tüüp: SOT23-5
- Väljundpinge: 3,3 V
- Maksimaalne vool: 0.15 A

Pistik valiti välja meeskonna juhtimestaja poolt, kellel on suur kogemus õigete pistikute valimisel. Lõpuks valiti välja *racing* tüüpi pistik, kuna neid kasutatakse väga palju motosportis ning on äärmiselt vastupidavad. Valituks sai ASX202-05PN-HE pistik, mille peamised tugevused on tema vastupanuvõime löökidele ja keskkonna mõjudele, mille alla kuuluvad niiskus, mustus ning vesi.

ASX-202-05PN-HE peamised karakteristikud [11]

- Kontaktide arv: 5
- Pimesi sobitamine
- PCB võimalus
- Töövahemik (temperatuur): -55 – 170 °C
- *Positive locking coupling* mehhanism

Pistiku andmeleht on eraldi välja toodud lisas 8.

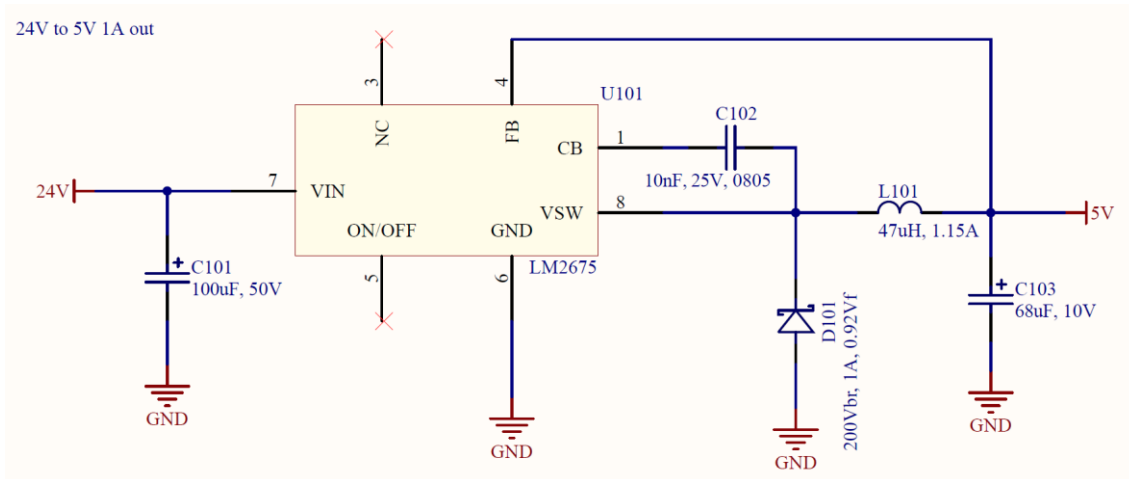
3.1.3 Skeem

Näidikuteploki elektriskeemid on joonistatud programmiga nimega Altium Designer, mida vormeli meeskonna elektroonikud on mitu aastat järjest kasutatud. Programm lubab samas keskkonnas joonistada nii elektriskeeme kui ka projekteerida trükkplaate ning väljastada ka trükkplaadi CAD mudelit. Näidikuteploki elektriskeemid on jaotatud nelja kategooriasse: mikrokontroller ning tema juurde käivad ühendused, toiteskeemid, kommunikatsiooniskeemid ning trükkplaadi ühendused vormeli ja ekraaniga.

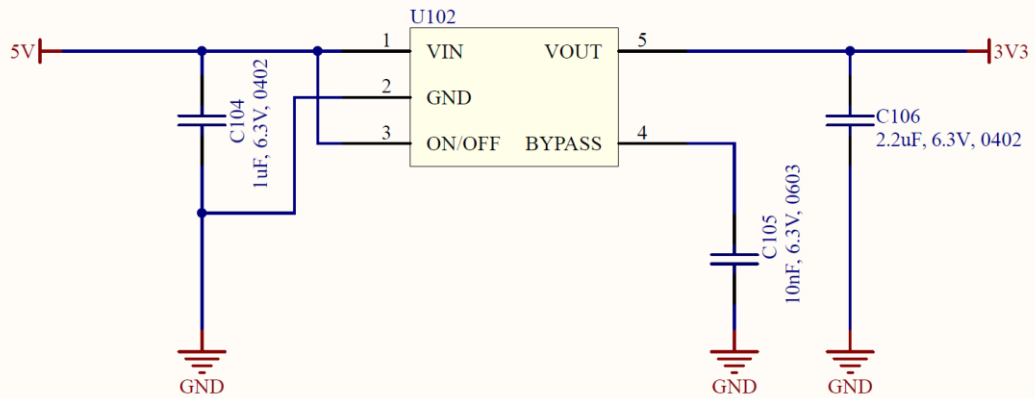
Mikrokontrolleri ploki skeemil, mis on välja toodud lisas 7, on mikrokontrollerist paremal näha toitesilumise kondensaatoreid, mille väärtused valiti vastavalt tootja

andmelehes leitud soovitudele. Mikrokontrollerist vasakule jäävad SWD-ühendused, mida kasutatakse mikrokontrolleri programmeerimiseks. Mikrokontrollerist alla jääb ossilaatori skeem, millega antakse mikrokontrollerile väline 8 MHz-ne taktsagedus.

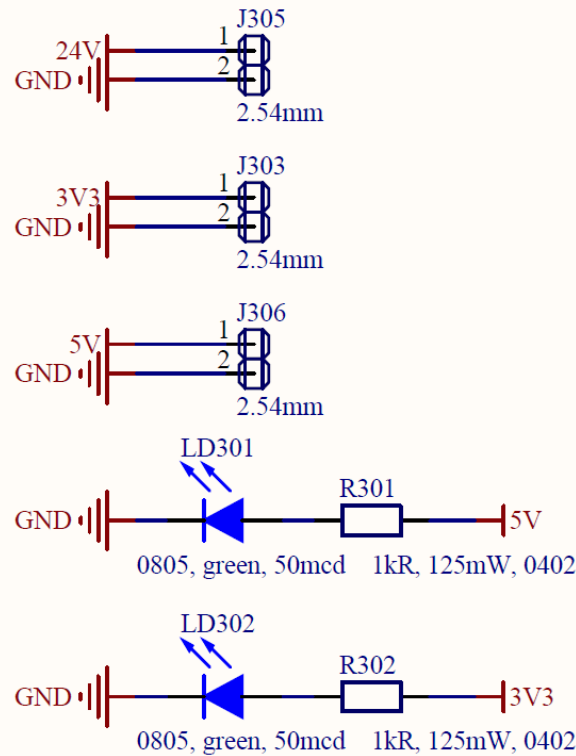
Toiteskeemid on jagatud kaheks, mida on näidatud joonisel 5. Ülemisel skeemil toimub 24 V muundamine 5 V-ks ja alumisel skeemil toimub 5 V muundamine 3,3 V-ks.. Mikrokontroller kasutab 3,3V pinget, aga ekraan ja CAN-transiiver töötavad 5 V pinge peal, mille tõttu tuli projekteerida kaks erinevat pingeregulaatorit. Elektrivormeli pinged saab jagada kaheks: kõrgepinge, mis jääb vahemikku 450 – 590 V ja madalpinge, mis on 24 V. Et saada kõrgepingest madalpinge on vormeli jaoks spetsiaalselt disainitud eraldi toiteplokk madalpinge. Kuna 24 V on komponentide töö jaoks liiga kõrge, peab kõige pealt pingeregulaatoriga muundama 24 V 5 V-ks ja 5 V omakorda 3,3 V-ks. Kõik LM2675 ja LP2985 juurde käivad komponendid said valitud, kasutades selleks tootja poolt soovitatud komponentide hulgast. Lisaks neile on toiteallikate juurde lisatud kaks valgusdiodi, mis näitavad, kas pingeregulaatorid töötavad ning kas trükkplaat saab toidet multimeetrit kasutamata. J305, J303 ja J306 on trükkplaadi mõõtepunktid, et testida pingeregulaatorite tööd.



5V to 3.3V 250mA out



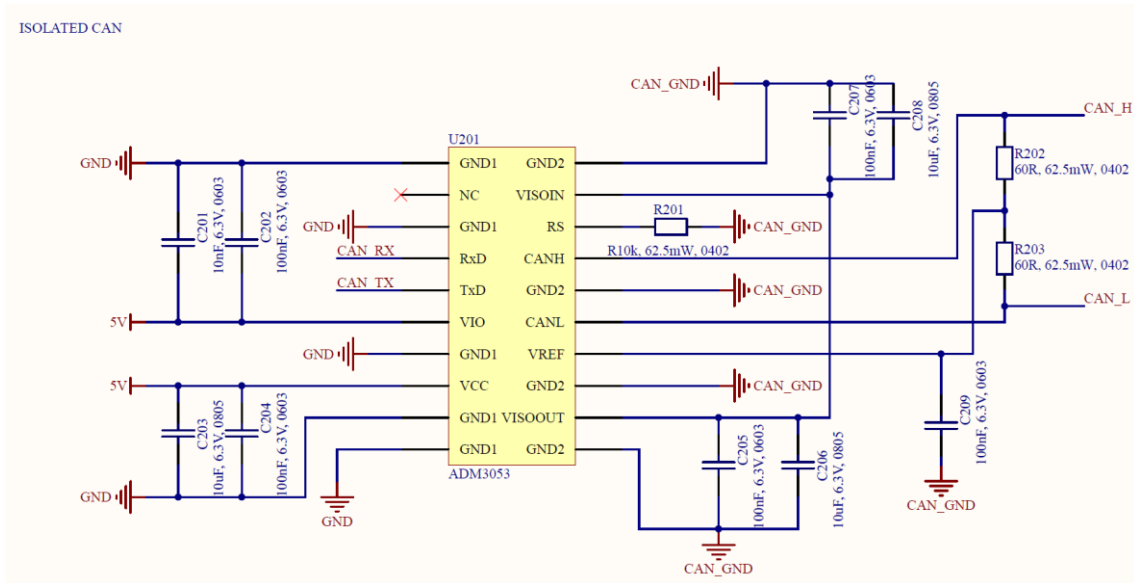
MEASUREMENT POINTS & DEBUG LED



Joonis 5. Toiteskeemid, mõõtepunktid ja indikaator valgusdiodid

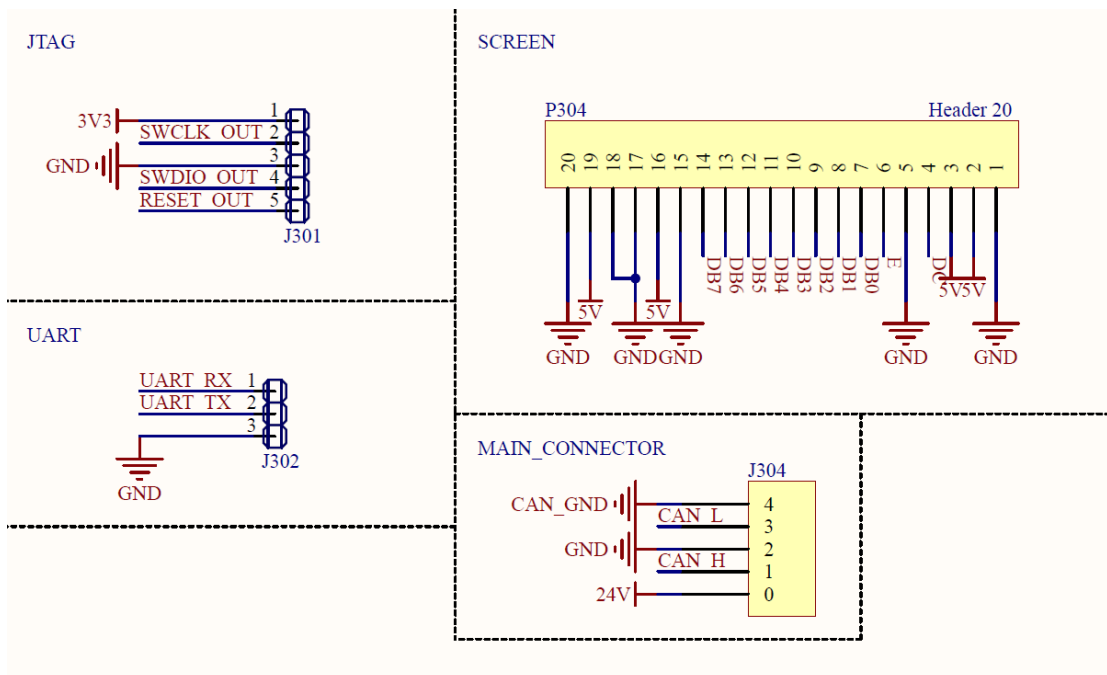
Kommunikatsiooniskeemi põhiosaks on ADM3053 CAN-transiiver, mida on näidatud joonisel 6. Jooniselt on näha, et CAN HIGH ja CAN LOW vahele on pandud jadamisi kaks 60 oomist takistist R202 ja R203, mis on vajalikud CAN-võrgu tööks ning sõnumite vastuvõtmiseks. Sellele lisaks on tavalisele maandusele lisatud ka CAN-võrgu maandus, mis vähendab auto poolt tekitatud müra hulka ja parandab transiiveri tööd. Kuna CAN-

transiiver töötab 5 V peal, tuli selleks luua eraldi pingeregulaator, mis suudab muundada 24 V 5 V peale.



Joonis 6. Isoleeritud CAN liides

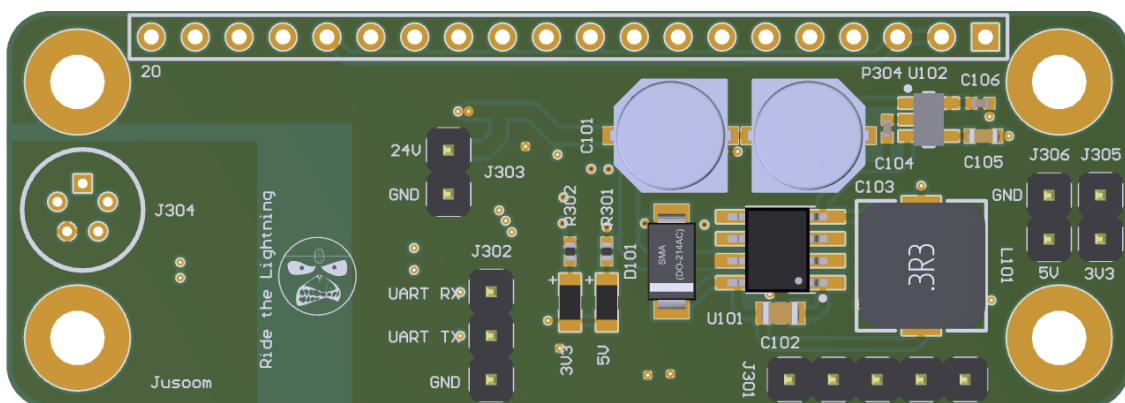
Ühendused vormeli ja ekraani vahel on jaotatud kaheks osaks. Alloleval skeemi (vt. joonist 7), vasakul pool on näidatud ühendusi, mida kasutatakse seadme programmeerimiseks. Skeemi paremal pool asub trükkplaadi ja ekraani vaheline pistik, milleks on 20 viiguline *pinheader*. Kõige all on kujutatud ASX-202-05PN-HE pistikut, millega luuakse ühendus seadme ja vormeli vahel, mille abil antakse sisse CAN-võrk ja sisendpinge.



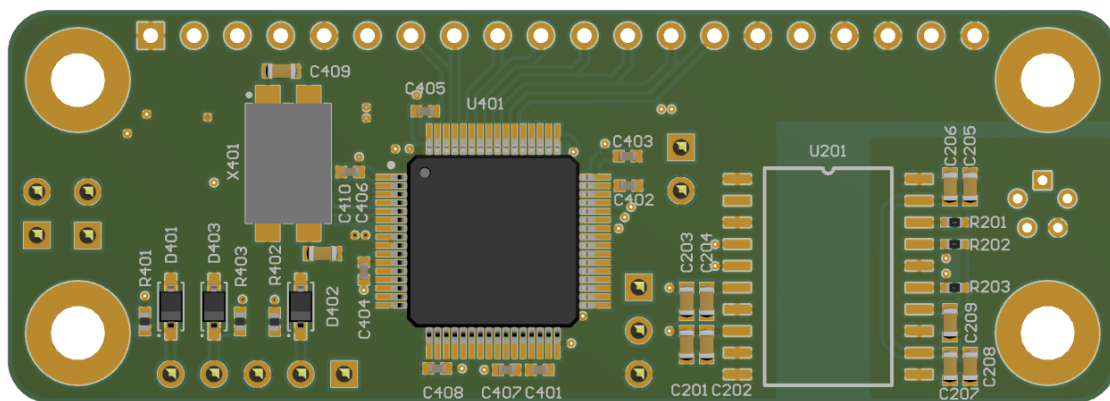
Joonis 7. Ühendused vormeli ja ekraaniga

3.1.4 Trükkplaadi disain

Trükkplaadi disain oli ajaliselt kõige mahukam tegevus, kuna trükkplaat tuli disainida nii, et tema mõõtmed oleksid võimalikult väikesed, mis omakorda tähendab väiksemat korpust. Lisaks sellele tuli arvestada piirangutega, mis olid seotud mõnede komponentide paigutamisega trükkplaadil. Ette oli teada, et meeskonna kõik trükkplaadid toodetakse neljakihilistena. Tulemuseks on trükkplaat, mille füüsilised mõõtmed on 60×20 mm. Kõik komponendid tuli paigutada võimalikult kompaktselt ning komponentide korpuste suurused sai valitud võimalikult väikesed, et kõik vajalikud nõuded oleksid täidetud. Trükkplaadi radade laiused valiti vastavalt pingetele, mis radadest läbi liiguvad. Mida kõrgem oli pinge, et seda laiem rada tuli vedada. Kõik rajad, millest liigub läbi 3,3 V, projekteeriti laiusel 0,254 mm. Kõik 5 V ja 24 V voolurajad projekteeriti vastavalt 0,4 mm ja 0,75 mm laiusel. Komponentide paigutamisel lähtuti kõigepealt mikrokontrolleri ja CAN-transiiveri asukohast, mida on näidatud joonisel 8 ja 9.



Joonis 8. Trükkplaadi pealt vaade 3D formaadis



Joonis 9. Trükkplaat altvaade 3D formaadis

Kuna CAN-transiiver on mürade suhtes äärmiselt tundlik on tootja soovitanud oma andmelehes jätta komponendi all oleva trükkplaadi pinna ning sellele järgnevad kihid isoleerituks. Soovituslik paigutus on eraldi välja toodud lisas 10. Kondensaatorid, mis olid seotud mikrokontrolleriga, tuli paigutada nii, et maanduse ja toite vaheline tee oleks võimalikult lühike, et minimaliseerida tekkivaid mürasid. Lisaks varasemale kogemusele, ei tohi induktiivelementi paigutada mikrokontrolleri alla, kuna see tekitab häireid tema töös, mille tõttu ei suuda arvuti mikrokontrollerit ära tunda. Kõik neli trükkplaadi kihti on eraldi toodud välja lisades 2, 3, 4 ja 5.

3.2 Mehaanika

Töö mehaanika osas tuli disainida näidikuteplokile korpus, mille sees hakkab olema kogu elektroonika ning mõelda ka välja piisavalt korralik kinnitusmeetod, mille abil saab korpuse kindlalt kinnitada sõiduki külge. Korpuse konstruktsiooni loomisel tuli arvestada järgnevaid tegureid:

- Piisavalt kerge
- Visuaalselt viisakas välimus
- Odav tootmiskulu
- Kaitse niiskuse ja vee eest
- Pidama vastu vibratsioonidele ja löökidele
- Ei tohi juhtida elektrit

3.2.1 Tootmistehnika ja materjali valik

Kuna nii Formula Studentis kui ka võidusõidumaailmas on sõiduki mass äärmiselt kriitiline tegur, kasutab FSTT meeskond vormeli ehitamisel võimalikult palju kergeid materjale: süsinikkiudu, alumiiniumi, plastikut ning võimalusel ka titaani. Nii korpuse CAD joonised kui ka mudel on toodetud programm SOLID EDGE [12] abil, mille kasutamisega on varasem kogemus juba olemas. Alguses oli plaanis kasutada tarkvara nimega CATIA, mida kasutab peaaegu kogu vormeli komposiidi meeskond, aga selle õppimisele ei tahtnud raisata liigset ajalist ressursi.

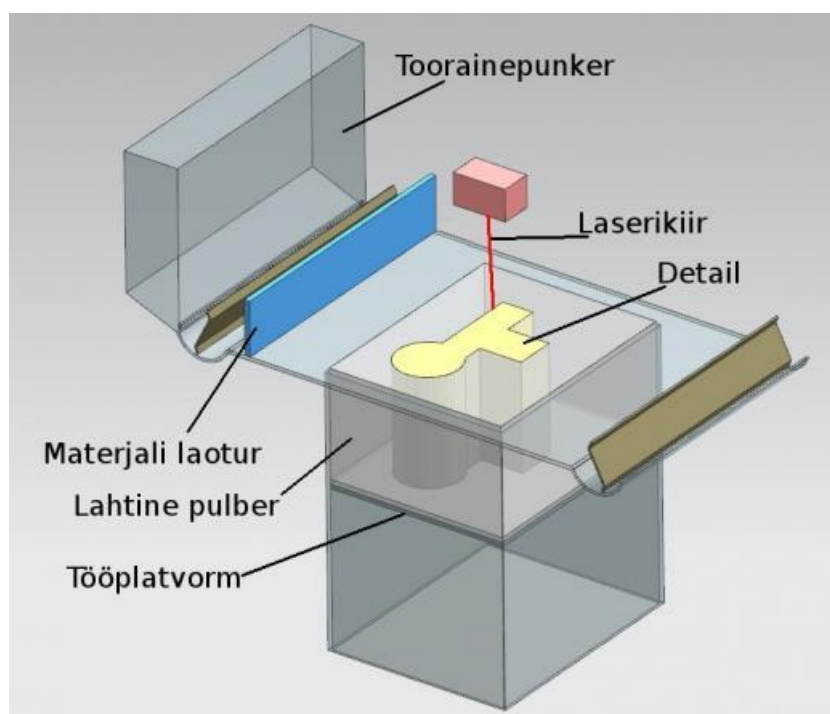
Esimene variant oli korpus toota metallist, aga kuna metallil on omadus juhtida voolu, siis on metallide kasutamine turvalisuse huvides täielikult välistatud. Teiseks variandiks oleks olnud kasutada vaiguga immutatud süsiniku. Süsinik ei juhi voolu, aga süsinikust

corpuse tootmine eeldab kõigepealt vormide valmistamist, mis võtab palju aega ning on kallis, mille tõttu välistati ka see variant.

Korpuse tootmiseks oli kaks võimalust: toota korpus ekstruuderpeaga 3D-printimisega või laserpaagutusega. Alguses toodeti corpuse esimene versioon 3D-printimise teel, aga corpuse kvaliteet ja täpsus ei olnud piisavalt head. Lisaks sellele ei jäänud corpuse viimistlus piisavalt korralik, mille tõttu toodeti corpuse teine versioon laserpaagutusega. Joonisel 10 on täpsemalt kujutatud, kuidas laserpaagutusega tootmine täpsemalt toimib. Laserpaagutusega tootmise eeliseks on täpsus, mille tõttu ei pea väga suure tolerantsiga arvestama. Sellele lisaks jääb corpuse viimistlus palju ilusam [13],[14]. Ainukesed negatiivsed küljed laserpaagutusega tootmisel on corpuse mass, mis kokkuvõttes tuli viis grammi raskem kui esimene versioon ning korpus konstruktsioon ei jäänud nii jäik kui 3D-printimisega.

Tabel 3. Laserpaagutatava materjali Nylon12 omadused [13]

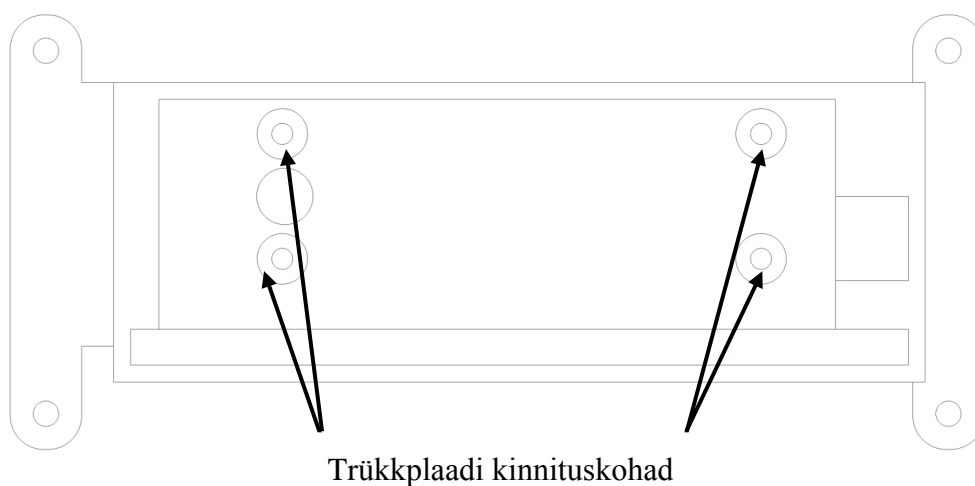
Omadus	Väärtus
Tõmbetugevus	46 MPa
Katkevenivus	15%
Maksimaalne temperatuuritaluvus	Kuni 177 °C
Tihedus	0,95 g/cm ³



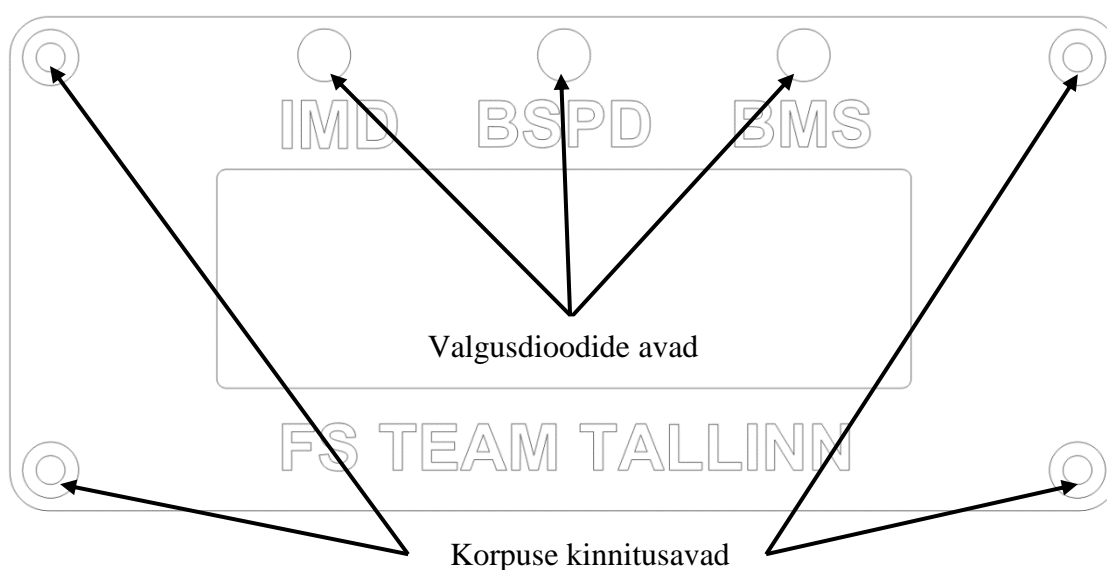
Joonis 10. Laserpaagutuse (i.k. Selective Laser Sintering) tööpõhimõtte skeem [14]

3.2.2 Näidikuteploki korpus ning kinnitus

Näidikuteploki korpus on jaotatud kaheks osaks: alumine osa, mida on näidatud joonisel 11, kuhu paigutatakse näidikuteploki trükkplaat ja ekraan ning ülemine osa, mida on näidatud joonisel 12, mis kaitseb ekraani ja elektroonikat niiskuse ja vee eest. Lisaks sellele on korpuse ülemisse ossa paigutatud kolm valgusdiodi, mis lähevad põlema, kui peaks olema probleeme *Insulation monitoring device*, *Battery management system* või *Brake System Plausibility Device*-ga (BSPD). Mõlemad korpuse osad tõmmatakse kokku, nelja M3 polti. Need avad käituvad ühtlasi ka kui kinnitusavadena, mille abil monteeritakse näidikuteploki korpus vormeli kere külge, nagu on kujutatud joonisel 13. Kogu korpuse CAD mudel on eraldi toodud välja lisas 11.



Joonis 111. Korpuse alumine osa



Joonis 122. Korpuse ülemine osa



Joonis 133. Näidikuteploki korpus elektrivormeli kere küljes

3.2.3 Disain

Tänu laserpaagutusele olid tootmisvõimalused praktiliselt piiramatud, kuna tootmise tolerants on ainult 0,02 mm, mis lubab toota väga väikeseid detaile. Kuna laserpaagutusega jäävad korpuse seinad suhteliselt tugevad, projekteeriti seinad 2 mm paksusega. Et muuta korpus veekindlaks, oli välja mõeldud mitu lahendust. Esimene lahendus hõlmas endast eraldi tihendirada, mis oleks paigutatud korpuse ülemise osa alla, kuhu pannakse tihendiriba ning kui korpuse kinnitatakse vastu auto keret, loob see veekindla ühenduse. Ainus probleem selle lahendusega oli korpuse suuremad mõõtmed. Teine lahendus oli panna korpuse ülemise osa põhja ja auto kere vahele silikooni, mis osutus paremaks lahenduseks, kuna siis saab korpuse mõõtmed jätta samaks ning kinnituskoha avad jääksid samasse kohta. Korpuse disainimisel tuli arvestada ekraani ja trükkplaadi mõõtmetega, mis on eraldi välja toodud tabelis 3. Ekraani ava veekindlaks muutmise on lahendatud 1 mm paksuse pleksiklaasiga, mis ühtlasi kaitseb ka ekraani väiksemate lendavate kivide ja muu prahi eest.

Tabel 3. Korpusesse minevate detailide mõõtmed

Nimetus	Mõõtmed
Trükkplaat	60mm × 20mm
Ekraan	92mm × 31,5mm

4 Tarkvara

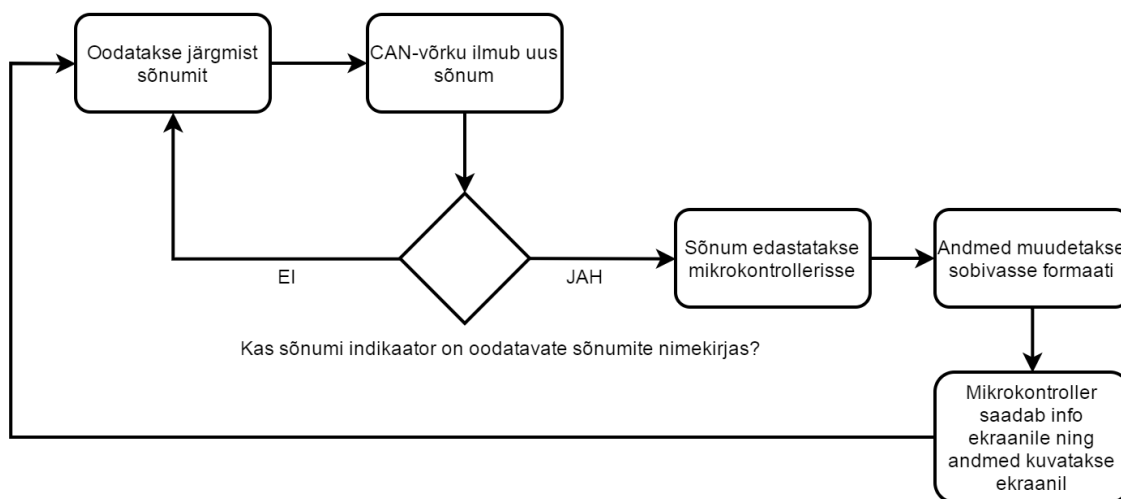
Näidikuteploki elektroonika kasutab järgnevaid tarkvaralisi teek:

- CAN liidese teek
- Paralleel teek ekraani juhtimiseks
- UART protokoll teek
- GPIO teek

Tarkvara kirjutamiseks kasutati Keil arenduskeskkonda koos STM32CubeMX-ga, mis on spetsiaalselt loodud tarkvara ARM mikrokontrollerite programmeerimise jaoks, mille abil saab mõned teegid valmis genereerida. Näiteks sätestada, milliseid GPIO viike mikrokontroller hakkab kasutama ning millistes olekutes peavad GPIO viigud olema. Lisaks sellele saab STM32CubeMX abil arvutada välja kui palju STM32F405RG teatud olekutes voolu tarbib.

4.1 Süsteemi algoritm

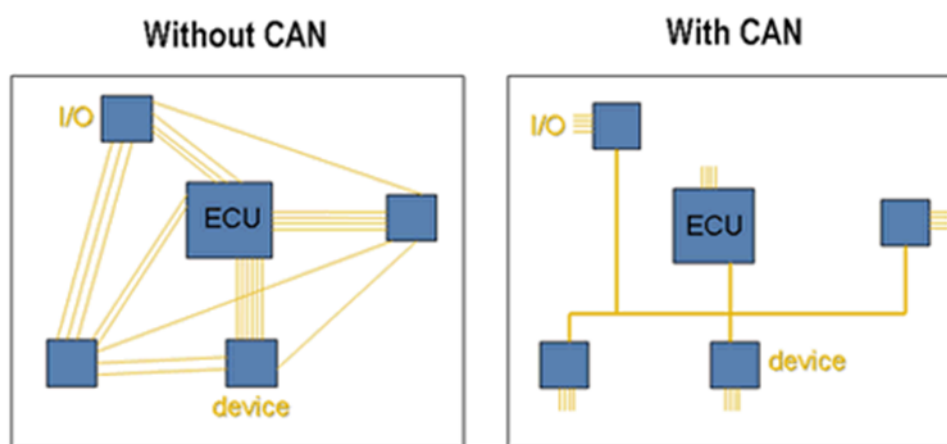
Süsteemi algoritmi muutmine koodiks nõudis vähe ajalist ressursi. Eesmärgiks oli saada võimalikult kiire süsteem, kuna kogu ülejäänud auto kasutab CAN-võrgu edastuskiiruseks 1 Mbps. Mida kiiremini suudab CAN-võrk sõnumeid saata, seda rohkem sõnumeid suudab näidikuteplakk vastu võtta. Joonisel 14 on näidatud süsteemi algoritmi, mille ülesehitus on lihtsasti arusaadav. Sellele lisaks on teada kõik CAN-võrgus liikuvate sõnumite identifikaatorid. Kui vajalik sõnum püütakse kinni, hakkab mikrokontroller sõnumi sisu töötlemata. Peale sõnumi töötlust kuvatakse sõnumi sisu ekraanile.



Joonis 14. Süsteemi algoritm

4.2 CAN protokoll

Tänapäeval kasutab enamus sõidukeid CAN-võrku, mis inglise keeles tähendab *Controller Area Network*, mis algselt arendati välja Boschi poolt 1985. aastal. Joonisel 15 on kujutatud, et enne CAN-võrku oli auto elektroonika ja sensorid ühendatud omavahel punktist punkti süsteemi abil. Mida rohkem hakkasid autotootjad autodesse elektroonikat lisama, seda kallimaks ja keerulisemaks läks tootmine ning autod muutusid aina raskemaks, kuna juhtmekimpe tuli aina juurde. See oli peamine põhjus CAN-võrgu välja arendamiseks. Lõpptulemuseks on odavam tootmine, elektrisüsteemi lihtsus võrreldes punktist punkti süsteemiga ning ka sõiduki kergem kaal. Tänu suurepärasele võimalustele sai CAN-võrgust 1993. aastal autotööstuse standard [15].

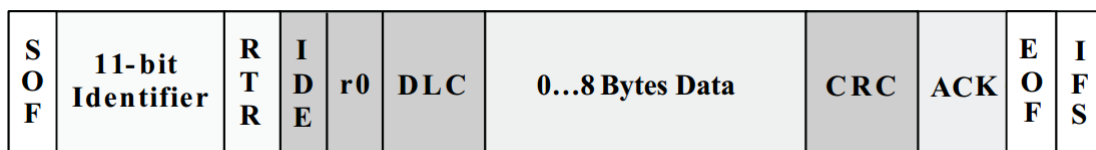


Joonis 15. Süsteem ilma CAN-võrguta ja CAN-võrguga [15]

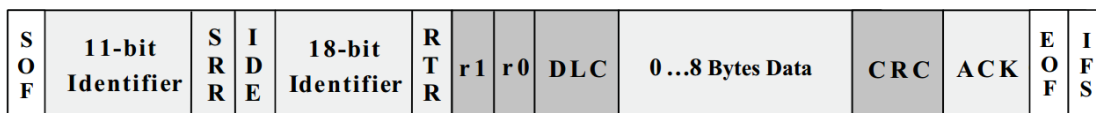
Igal CAN-võrgus oleval seadmel on CAN-transiiver. Kõik CAN-võrgus olevad seadmed näevad kõiki võrgus liikuvaid sõnumeid, aga transiiver suudab eristada, millised sõnumid on talle tähtsad ja millised mitte. Lisaks sellele on igal sõnumil tähtsuse järjekord, mis tähendab et tähtsamad sõnumid saadetakse enne laiali kui madalama tähtsusega sõnumid. Tudengivormeli jaoks arendatav näidikuteplakk kasutab standardse pikkusega CAN pakette. Joonisel 16 on näidatud standartset CAN paketti, mida tuntakse ka kaadrina. Pakett jaguneb järgnevateks osadeks:

- *Start of frame (SOF)* – sõnumi alguse määrab ära SOF bitt. Lisaks sellele kasutatakse seda bitti võrgus olevate sõlmede sünkroniseerimiseks.
- *Identifier* – Standartne 11 bittine indikaator määrab ära sõnumi tähtsuse. Mida madalam on 11 bitist koosneb kahekoodi väärtus, seda kõrgem on sõnumi tähtsus.

- *Remote transmission request* (RTR) – bitt, millega määratakse ära, kas tegemist on andmekaadriga või mitte
- *Identifier extention* (IDE) – bitt, mis lubab eristada, kas tegemist tavalise või laiendatud kaadriga
- r0 – reserveeritud bitt
- *Data length code* (DLC) – koosneb 4 bitist, näitab ära mitu baiti infot on andmeväljas
- *Data field* – andmeväli, kuhu mahub kuni 8 baiti ehk 64 bitti andmeid
- *Cyclic redundancy check* (CRC) – 16 bittist koosnev väli, mis sisaldab kontrollsummat (mitu bitti edastati), et tuvastada vigaseid kaadreid
- *ACK slot* – kontrollib, kas kaader jõudis kohale
- *End of Frame* (EOF) – 7 bitti suurune väli, mis määrab ära sõnumi lõpu.
- *Interframe space* (IFS) – 7 bittine väli, mis sisaldab nõutud aega, mille jooksul peab kontroller sõnumi liigutama vastuvõetud kaadri õigesse asendisse



Joonis 16. CAN standard kaader [16]



Joonis 17. CAN laiendatud kaader [17]

Joonisel 17 on kujutatud CAN laiendatud kaadrit, mis on sarnane standardsele kaadrile, aga millele on lisatud järgmised osad:

- *Substitute remote request* (SRR) – bitt, mille ülesanne on asendada RTR bitt, kui on tegemist laiendatud formaadiga
- r1 – reserveeritud bitt

4.3 Kasutajaliides

Näidikuteploki kasutajaliides on kirjutatud C programmeerimiskeeles. Põhirõhk kasutajaliidese projekteerimisel oli lihtsusel, sest sõitmise ajal on juhil ekraani väga raske näha, mille tõttu kuvatakse sinna ainult kõige tähtsamad parameetrid, võimalikult lihtsal kujul. Iga parameetri ette on kuvatud tähis, mille kohta etteantud parameeter käib. Tähis „*Voltage*“ näitab akukasti üldpinget, „*Temp*“ näitab akukasti temperatuuri, „*Battery left*“ näitab akude mahtuvust ning „*Lap*“ ringi aega. Süsteemi käivitamisel kuvatakse need parameetrid kohe ekraanile ning jäävad sinna seniks kuni süsteem lülitatakse välja või tuleb mootori kontrollist mõni veateade. Juhul kui kuvatakse mootori kontrolleri veateadet, siis kuvatakse see ekraani keskele koos vastava veakoodiga ja jääb sinna seniks vilkuma, kuni probleem on kõrvaldatud. Pilt kasutajaliideseest on esitatud lisa 9.

5 Testimine

5.1 Riistvara testimine

Riistvara testimist alustati pingeregulaatorite testimisega ning enne nende testimist ja valideerimist teisi komponente trükkplaadi peale ei joodetud. Kõigepealt joodeti trükkplaadile kõik komponendid, mis olid vajalikud 24 V muundamisel 5 V-ks. Kui komponendid said joodetud, ühendati seade välise toiteploki külge, millega rakendati plaadile 24 V. Esimesel ja teisel trükkplaadi versioonil olid testimiseks lisatud spetsiaalsed mõõtepunktid. 5 V mõõtepunkti mõõtmisel näitas multimeeter tulemuseks 4,96 V, mis on aktsepteeritav tulemus. Peale seda joodeti peale kõik 3,3 V-ks muundamiseks vajalikud komponendid ning peale jootmiseks ühendati trükkplaat uuesti toiteploki külge ning mõõdeti pinget mõõtepunktis. Mõõtmise tulemuseks oli 3,29 V, mis ka on aktsepteeritav.

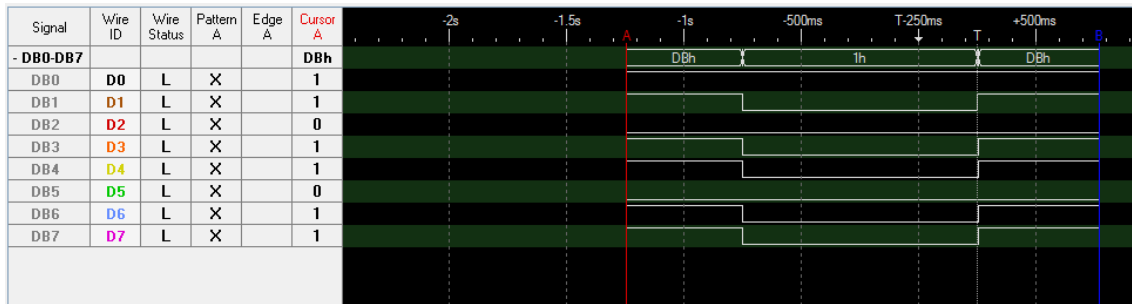
Kui kõik pingeregulaatorid olid testitud, joodeti trükkplaadile mikrokontroller ning kõik temaga kaasnevad komponendid. Kõige raskem oli joota mikrokontrollerit, kuna vahemaa jalgade vahel on väga väike ning sageli sattusid mikrokontrolleri jalad omavahel kokku. Lisaks sellele raskendas komponentide jootmist komponentide väikesed mõõtmed. Ilma luubita oli neid raske näha. Üleliigne tina eemaldati tinasuka abil, mis tõmbab kuumutamisel liigse tina enda sisse.

Peale komponentide jootmist, rakendati trükkplaadile uuesti toide läbi välise toiteploki peale ning plaat ühendati *Joint Test Action Group* (JTAG) abil STM32F4 Discovery arendusplaadi *Serial Wire Debug* (SWD) pistiku külge, et näha kas arvuti tunneb mikrokontrolleri ära või mitte. Algul tekkis sellega veidi probleeme, kuna kogemata olid joodetud JTAG-i pistiku diodid valet pidi peale, mille tõttu ei tundnud arvuti mikrokontrollerit ära. Peale vea parandamist, tundis arvuti mikrokontrolleri kohe ära ning sai alustada mikrokontrolleri testimisega. Igale kasutatava GPIO viigu testimiseks muudeti viigu väärtus kõrgeks ning vaadatu kas selle juures olev LED läheb põlema või mitte.

Viimasena joodeti trükkplaadi peale CAN-transiiver. Selle testimiseks kasutati spetsiaalset seadet, millega suutis lugeda, kas CAN-võrgust saadi kätte õige sõnum või tuleb sealt vigane kaader. Sellele lisaks jälgiti samal ajal UARTi, veendumaks, kas sõnum edastati või mitte.

5.2 Tarkvara testimine

Tarkvara testimiseks kasutati Logicporti loogikaanalüsaatorit. Joonisel 18 on näidatud loogikaanalüsaatori töökeskkonda, kus vasakul on iga sisendi väärtus eraldi välja toodud, millised sisendid on kõrged ja millised on madalad. Parem pool on kujutatud sõnumite sisu, mida on esitatud kuuteistkümnendkoodis.



Joonis 18. Ekraanitõmmis loogikaanalüsaatori keskkonnast

6 Erinevad probleemid

6.1 Ekraan

Võrreldes kõigi teiste probleemidega oli ekraani tööle saamisega ja programmeerimisega kõige rohkem probleeme. Peamiseks probleemi põhjuseks oli varasema kogemuse puudumine teegi kirjutamisel. Sellele aitasid veel kaasa asjaolu, et kontrollid, mis juhivad ekraani tööd, ei olnud niivõrd populaarne kui HD44780 või SSD1325 seeria kontrollid, mille tõttu ei olnud Internetis piisavalt näidiskoodi, mille järgi oleks võinud teegi kirjutamist alustada.

6.2 CAN-transiiver

Testimise käigus suudeti kuuma õhuga jootmisel kõrvetada läbi CAN-transiiver, kui seda prooviti maha joota näidikuteploki trükkplaadi pealt, et joota see sensorika seadme peale. Kuna seadmete testimise ajal ei olnud piisavalt vabu CAN-transiivereid sensorika plaadi jaoks. Lisaks sellele eirati täielikult tootja soovitusi, et peale jootmist ei tohi CAN-transiiverit enam maha joota. Maha jootmisel kasutati temperatuuri 390 °C, mis oli jootmiseks liiga kõrge temperatuur. Tootja andmelehel on kirjas, et ei soovitata kasutada jootmiseks temperatuure, mis on üle 300 °C.

6.3 Korpused

Korpused tootmisel ilmnid probleemid, mille peamiseks põhjusteks olid tootjaga kommunikatsiooni puudumine ja projekteerimisel tekkinud mõõtevad. Korpused esimest versiooni ei toodetud laserpaagutamise, vaid 3D printimise teel, mis ei jätnud head lõppviimistlust. Teine suur probleem oli valgusdioode avade suurused, mis said disainimise käigus loodud poole väiksemad ning ülevaatusel enne tootmisesse saatmist jäid need märkamata.

6.4 Trükkplaat

6.4.1 Esimene versioon

Trükkplaadi esimesel versioonil esines vähe vigu. Ainuke viga oli seotud ekraani ja trükkplaati ühendava pistikuga, mille *pinout* oli paigutatud peale valet pidi.

6.4.2 Teine versioon

Teise versiooniga sai kõrvaldatud kõik esimese versiooniga ilmnenu probleemid.

7 Kokkuvõte

Käesoleva bakalaureusetöö raames sai tudengivormelile FEST17 projekteeritud esimese omaehitatud näidikuteploki süsteem, mis suudab võtta vastu CAN-võrgus liikuvaid sõnumeid, neid töödelda ning lõpuks ka ekraanile kuvada. Esimene lahendus pidi olema võimalikult lihtne, et saavutada maksimaalne töökindlus ning saada seade valmis võistluste ajaks.

Mehaanikas osas oli suurimaks takistuseks korpuse disainimine, et kogu näidikuteploki elektroonika oleks niiskuse ja vee eest kaitstud. Lisaks sellele peab korpus pidama vastu vibratsioonidele ning löökidele, mis võivad tulla ebatasaselt rajalt ning olla samal ajal võimalikult kerge. Laserpaagutust kasutades sai toodetud korpus, mis suutis ära täita kõik etteantud nõuded, mis olid nõuetes paika pandud.

Kõige rohkem võttis aega elektroonika väljatöötamine ning disainimine, kuna CAN-transiiveri paigutamiseks pidi arvestama mitmeid tootja poolt antud soovitusi, et minimaliseerida pingeregulaatoritest tulevaid mürasid ning saada trükkplaadi mõõtmed võimalikult väikeseks, et tootmine oleks võimalikult odav ilma et, kvaliteet ja töökindlus kannataksid.

Tarkvaralise lahenduse koostamisel sai taaskasutada eelmistest aastatest juba valmisolevaid ning töötavaid teke, mis ei vaja erilisi muudatusi, et nad uuema elektroonika peal tööle hakkasid. Luua oli ainult vaja teek, mille abil saaksid mikrokontroller ja ekraan omavahel suhelda.

Autori hinnangul on projekteeritud süsteem oluline edasiminekuks FEST17 jätkuvas arendustöös ning FEST18 näidikuteplokk tuleb juba keerulisem ning sisaldab endas ka logimissüsteemi, mis suudab CAN-võrgust tulevat infot salvestada ning saata kogu salvestatud info edasi arvutisse.

8 Summary

Main objective of this bachelors thesis was to design the first dashboard system for FEST17, which is capable of receiving messages from CAN bus, process them and finally to show them on the display. First version goal was to be as simple and reliable as possible and get it working for the competition.

The biggest obstacle in mechanics was the designing a chassis, so that the electronics would be protected from the moisture and water. In addition, the chassis has to withstand against shocks and vibrations that might come from a uneven track and at the same time to be as light as possible. That was achieved via Selective Laser Sintering, which allowed to achieve all the given requirements.

In electronics, most of the time went to drawing schematics and designing PCB, because placement of CAN transceiver had number of specified requirements by the manufacturer to minimize incoming interferences from the voltage regulators and other components and get the PCB dimensions as small as possible, so that the production would be as inexpensive as possible, without any quality deterioration.

During the software development, number of prewritten libraries from previous years, were used, which did not requier any major modifications, to get them working on newer hardware. Only library that was needed to be written, was for the display so that it could communicate with the microcontroller.

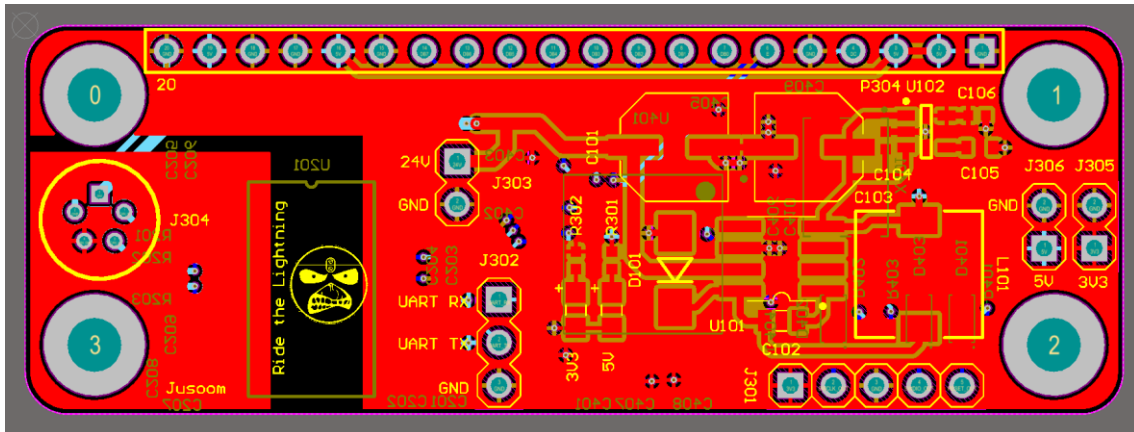
Thesis author thinks that the designed system is an important step forward in the ongoing development work on the FEST17 and that the FEST18 dashboard system will have its own logging system, which can store information from CAN bus and send it to a computer

Kasutatud kirjandus

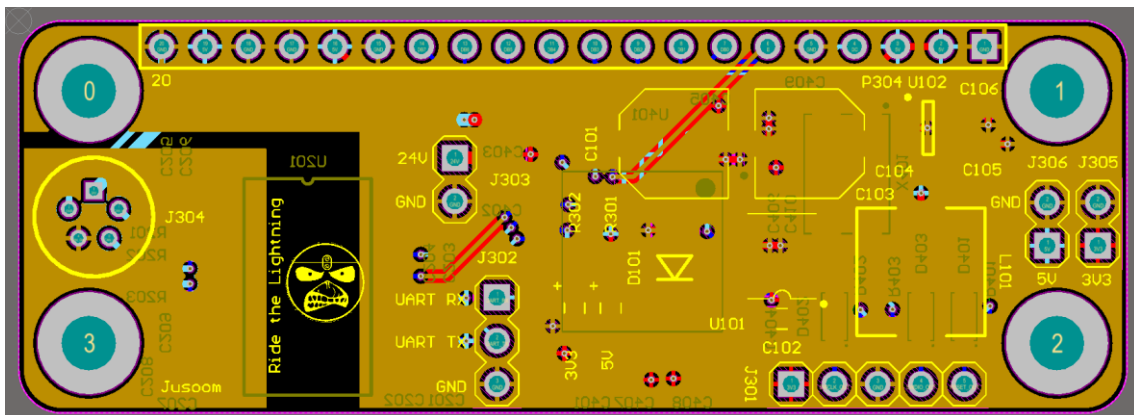
- [1] Dashboard on F1 [WWW] <https://www.wired.com/2014/05/formula-1-steering-wheels/> (19.05.2017)
- [2] Display Module PCU-8D [WWW] <http://www.mclaren.com/appliedtechnologies/products/item/display-unit-pcu-8d/> (19.05.2017)
- [3] Cleaning water damaged circuits [WWW] http://www.westaby.net/cleaning_images/before%20.JPG (19.05.2017)
- [4] Vibrations Measurements of Formula One Car Electronic Devices [WWW] <http://www.imeko.org/publications/tc4-2008/IMEKO-TC4-2008-210.pdf> (19.05.2017)
- [5] STM32F405RGT6W [WWW] <http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/datasheet/ef/92/76/6d/bb/c2/4f/f7/DM00037051.pdf/files/DM00037051.pdf/jcr:content/translations/en.DM00037051.pdf> (19.05.2017)
- [6] ADM 3053 [WWW] <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/datasheets/ADM3053.pdf> (19.05.2017)
- [7] NHD-024CW-AY3 [WWW] <http://www.newhavendisplay.com/specs/NHD-0420CW-AY3.pdf> (19.05.2017)
- [8] Linear Regulator Design Guide for LDOs [WWW] <http://www.ti.com/lit/an/slva118a/slva118a.pdf> (19.05.2017)
- [9] LM2675 [WWW] http://www.farnell.com/datasheets/2019281.pdf?_ga=1.121484616.193074558.1482178248 (19.05.2017)
- [10] LP2985 [WWW] <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lp2985-18.pdf> (19.05.2017)
- [11] ASX-202-05PN-HE [WWW] <http://www.te.com/usa-en/products/connectors/intersection/deutsch-asx-series-connectors.html?tab=pgp-product> (19.05.2017)
- [12] Solid Edge [WWW] <https://www.plm.automation.siemens.com/en/products/solid-edge/> (19.05.2017)

- [13] SLS Prototype Materials [WWW]
<https://www.stratasysdirect.com/materials/laser-sintering/> (19.05.2017)
- [14] Laserpaagutus [WWW]
https://www.ttu.ee/public/m/Mehaanikateaduskond/Instituudid/masinaehituse-instituut/RapidLab/.thumbnails/1_520x442.jpg (19.05.2017)
- [15] With and Without CAN [WWW] <http://www.ni.com/white-paper/2732/en/>
(19.05.2017)
- [16] Introduction to the Controller Area Network (CAN) [WWW]
<http://www.ti.com/lit/an/sloa101a/sloa101a.pdf> (19.05.2017)
- [17] Introduction to the Controller Area Network (CAN) [WWW]
<http://www.ti.com/lit/an/sloa101a/sloa101a.pdf> (19.05.2017)

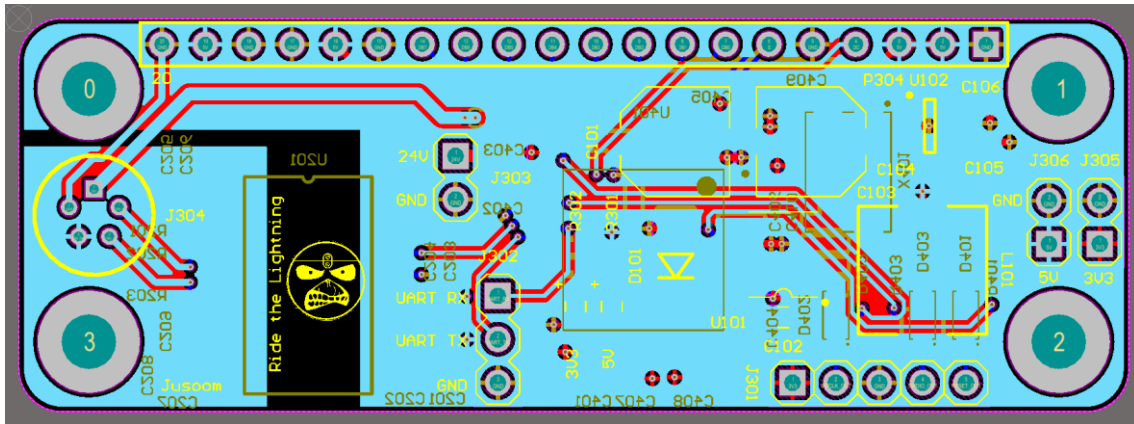
Lisa 1: Trükkplaadi ülemine kiht



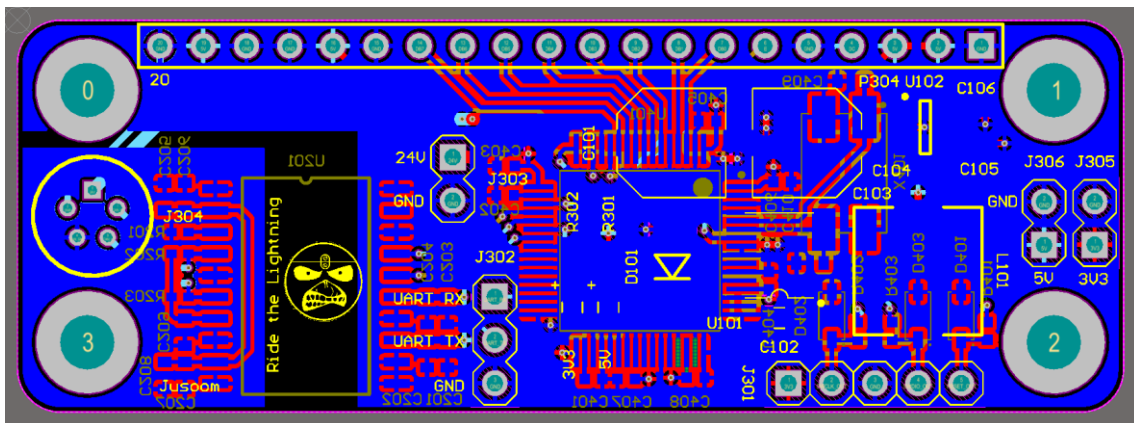
Lisa 2: Trükkplaadi teine kiht



Lisa 3: Trükkplaadi kolmas kiht



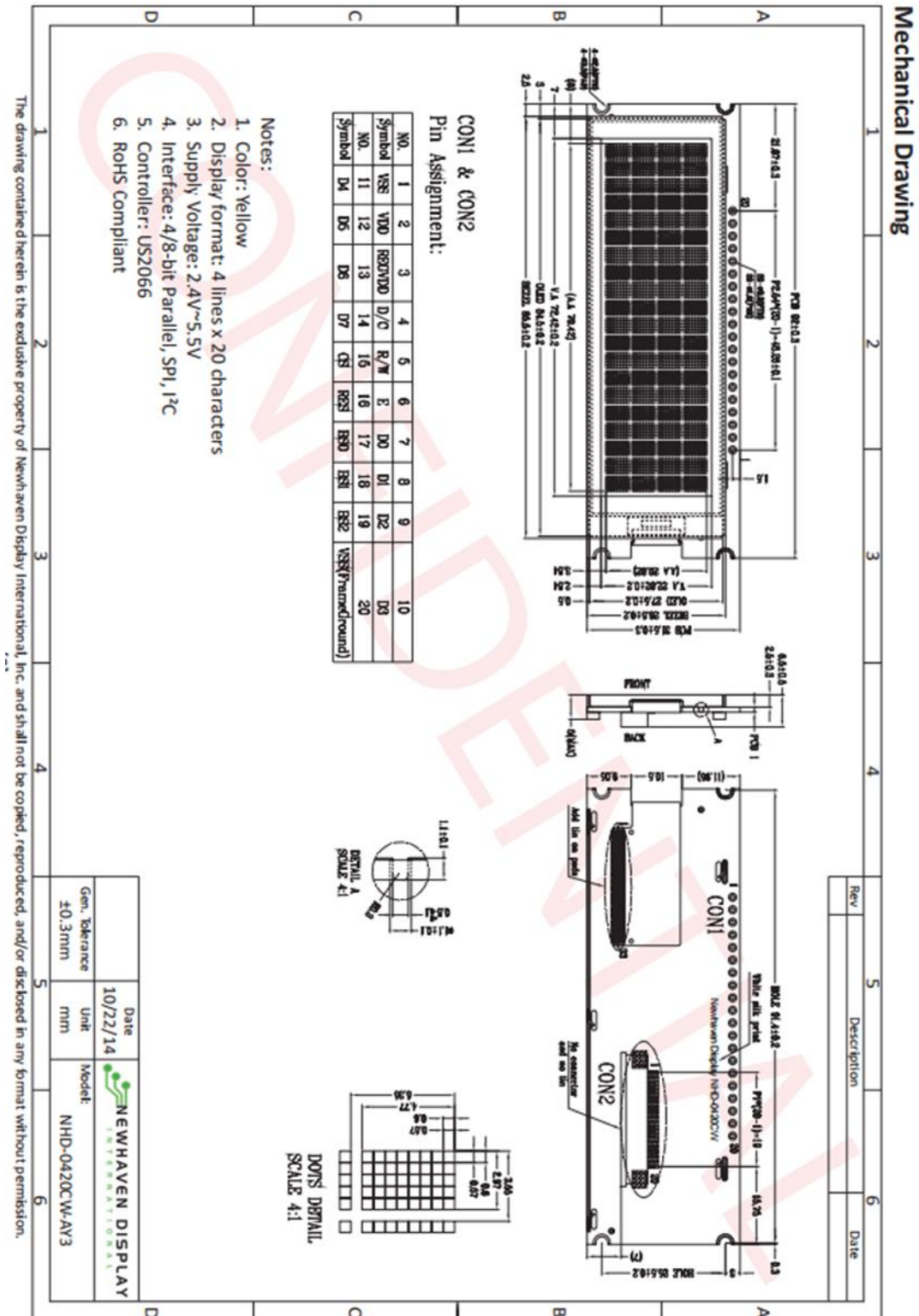
Lisa 4: Trükkplaadi alumine kiht



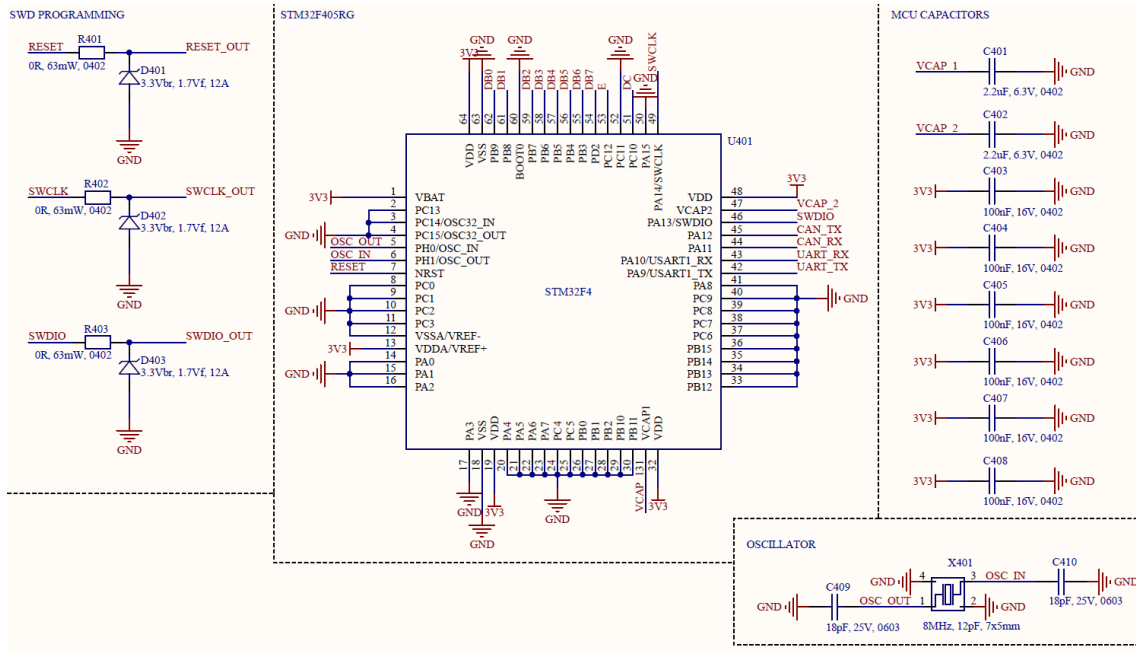
Lisa 5: Kasutatud komponentide nimekiri

Comment	Footprint	Type	Quantity
100uF, 50V	6.3x5.8mm capacitor smd	Capacitor polarized	1
10nF, 25V, 0805	2012 [0805] CAP	Capacitor	1
68uF, 10V	6.3x5.8mm capacitor smd	Capacitor polarized	1
1uF, 6.3V, 0402	CAPC1005X05N (0402)	Capacitor	1
10nF, 6.3V, 0603	1608 [0603] CAP	Capacitor	2
2.2uF, 6.3V, 0402	CAPC1005X05N (0402)	Capacitor	3
100nF, 6.3V, 0603	1608 [0603] CAP	Capacitor	5
10uF, 6.3V, 0805	1608 [0603] CAP	Capacitor	3
100nF, 16V, 0402	CAPC1005X05N (0402)	Capacitor	6
18pF, 25V, 0603	1608 [0603] CAP	Capacitor	2
200Vbr, 1A, 0.92Vf	DO214AC (SMA)	Diode Shottky	1
3.3Vbr, 1.7Vf, 12A	SOD-323	TVS/Zener diode	3
47uH, 1.15A	WE-PD-M	Inductor	1
R10k, 62.5mW, 0402	1005 [0402] RES	Resistor	1
60R, 62.5mW, 0402	1005 [0402] RES	Resistor	2
1kR, 125mW, 0402	RESC1005X05N (0402)	Resistor	2
0R, 63mW, 0402	RESC1005X05N (0402)	Resistor	3
LM2675	SOIC-8	Component_1	1
LM2985	TI-DDC5_N	Component_1	1
STM32F4 64-pin	LQFP64	STM32F4 64-pin	1
8MHz, 12pF, 7x5mm	7x5mm 4-pin crystal	Crystal 4-pin	1

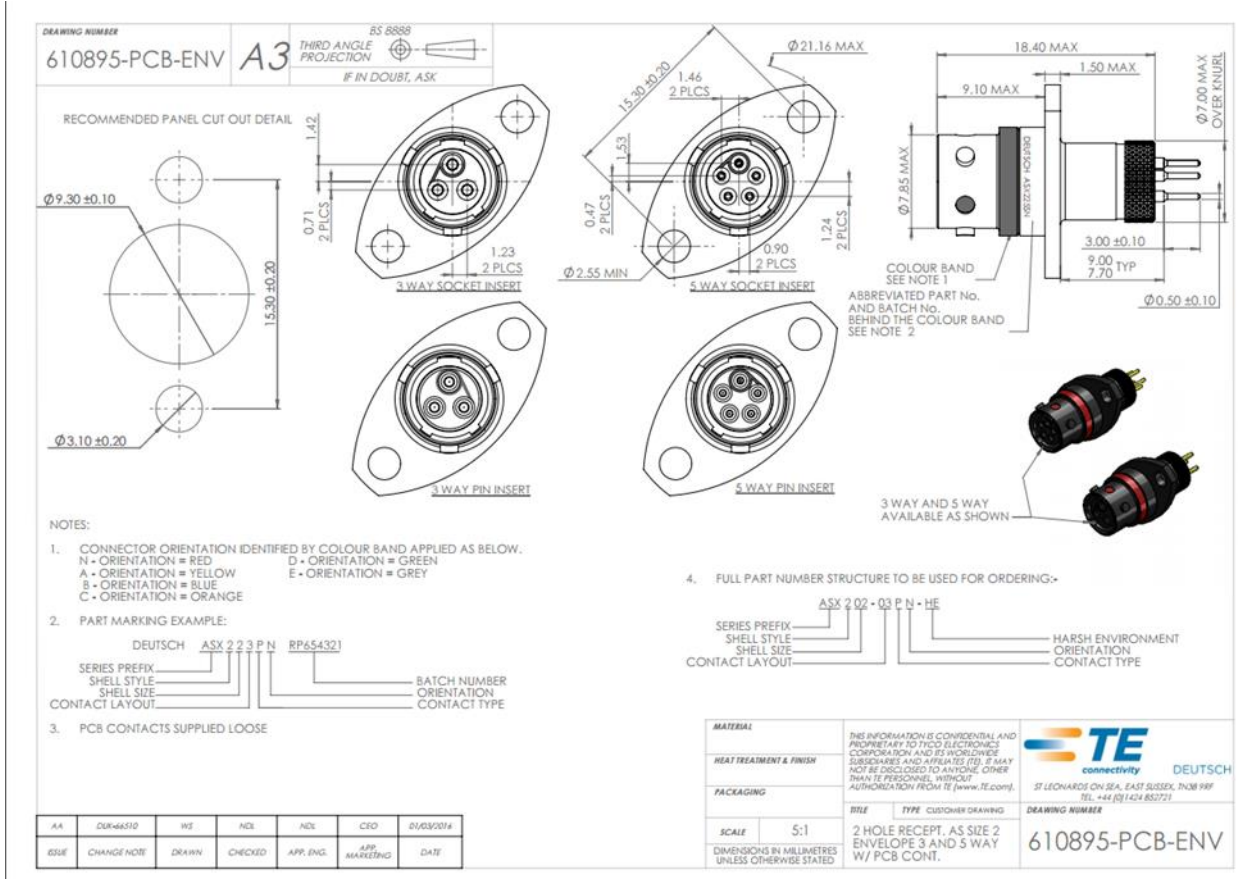
Lisa 6: Väljavõte kasutatava ekraani andmelehest



Lisa 7: Mikrokontrolleri STM32F405RG ploki skeem



Lisa 8: Väljavõte ASX 202 pistiku andmelehest



Lisa 9: Kasutajaliidese näide



Lisa 10: ADM3053 soovituslik paigutamine

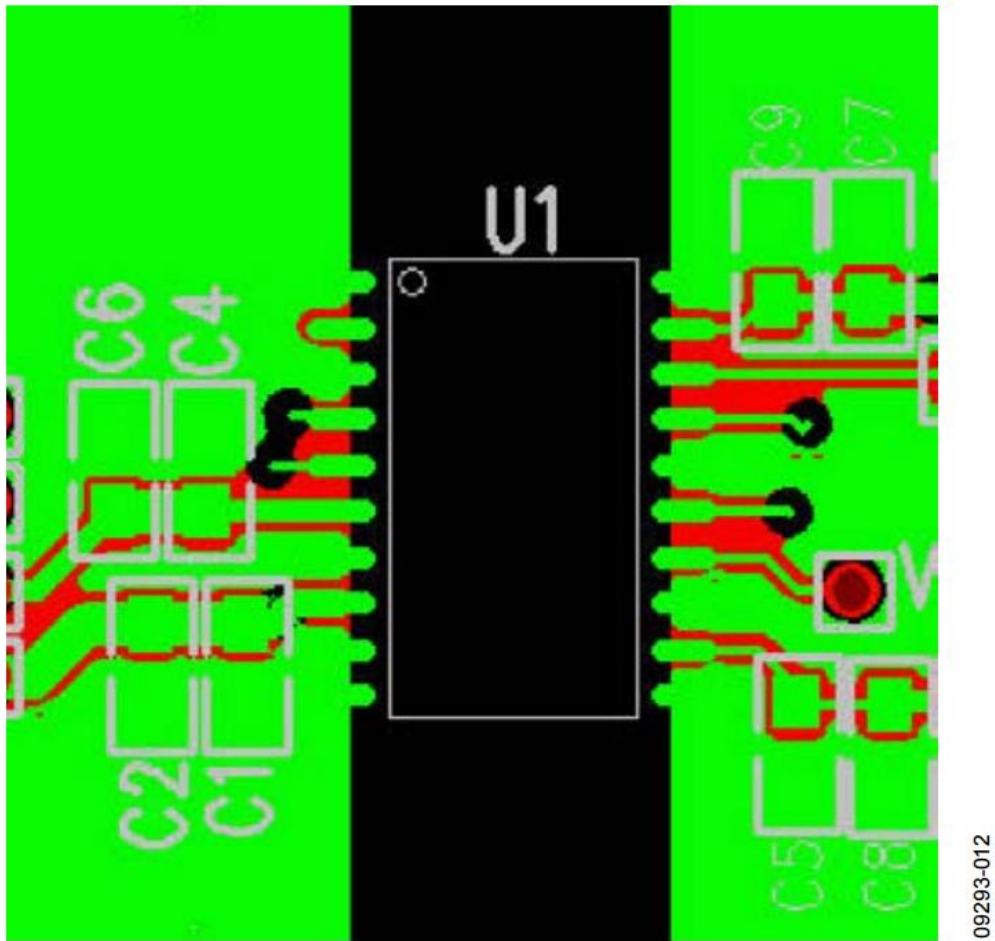


Figure 28. Recommended PCB Layout

Lisa 11: Näidikuteploki korpuse CAD mudel

