

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
Infotehnoloogia teaduskond

Stiven Vesi 163462IVEM

SENSOORIKAPLAAT TUDENGIVORMELILE FEST18

Magistritöö

Juhendaja: Olev Märtens
Doktorikraad

Tallinn 2018

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: Stiven Vesi

18.05.2018

Annotatsioon

Lõputöö on kirjutatud eesti keeles ning sisaldab teksti 65 leheküljel, 5 peatükki, 43 joonist, 2 tabelit. Antud lõputöö võtab kokku kahe hooaja vältel loodud ning edasi arendatud sensorikaplaadi disaini FS Team Tallinn tudengivormelite FEST17 ning FEST18 tarbeks. Sensorikaplaadide eesmärgiks on filtreeritud ning kvaliteetse info kogumine sõiduki ninas asuvatelt anduritelt ning nende edastamine töödeldud kujul sõiduki juhtajuni. Sensorikaplaadilt tulevad andmed on kriitilise tähtsusega sõiduki toimimiseks. Samuti omavad plaadil olevad andurid olulist rolli mitte ainult sõiduki liikumisel, vaid ka tema juhtimissüsteemi edukaks käitamiseks, mis võimaldab juhil hoida sõiduki üle kontrolli ka suuritel kiirustel ning kriitilistes olukordades.

Abstract

Sensorics board for formula student racecar FEST18

The thesis is in estonian and contains 65 pages of text, 5 chapters, 43 figures, 2 tables. It includes information about the design and improvements to the sensorics board specially designed for FS Team Tallinn latest racing cars FEST17 and FEST18. The mission of the sensorics board is to collect and filter all the necessary data from the front of the car and transmit it to the main ECU. The data coming from the sensorics board is essential in order to move the car. Apart from moving the car sensorics board also measures angular velocity in the nose of the car in order to give feedback to the control system of the car, which will help the driver to maintain control over its machine at high speeds and critical situations.

Lühendite ja mõistete sõnastik

FESTxx – 20xx hooajaks valmistatud tudengivormel

FS – Formula Student

ECU – Engine control unit

CAN – Control area network

SMD – Surface-mount-device

PWM - impulslaiusmodulatsiooni

SISUKORD

Autorideklaratsioon	2
Annotatsioon.....	3
Abstract.....	4
Sensorics board for formula student racecar FEST18	4
Lühendite ja mõistete sõnastik	5
Jooniste loetelu	9
Tabelite loetelu	11
SISSEJUHATUS	12
1 VARASEMAD LAHENDUSED	13
1.1 Ostutooted.....	13
1.2 FEST17 sensorikaplaad	14
1.2.1 Ülevaade	14
1.2.2 Mikrokontrolleri valik	14
1.2.3 Skeemi disain.....	17
1.2.4 Analoogosa disain	17
1.2.5 Digitaalosa disain	18
1.2.6 CAN-suhtluse disain.....	19
1.2.7 Süsteemi toide	20
1.2.8 Mikrokontroller	22
1.2.9 Väljundid	22
1.2.10 Kiirendusandur	23
1.2.11 Trükkplaadi disain	25
1.2.12 Andurite lugemid.....	26
1.2.13 Kiirendusandur	26
2 FEST18 SENSOORIKAPLAAT.....	31
2.1 Sensorite ülevaade	31
2.2 Muutused analoogosas.....	32
2.3 Muutused digitaalosas	33
2.4 Muutused CAN-BUS suhtluses	34
2.5 Muutused toiteahela disainis	35
2.6 Mikrokontroller	37

2.7 Väljundid	38
2.8 Pistikud ja kaitsed.....	39
2.9 Kiirendusandurid	40
2.10 Trükkplaadi disain	41
2.10.1 Sisendite kaitse	41
2.10.2 Radade laius.....	42
2.10.3 Passiivkomponentide paigutus	44
2.10.4 Kristalli paigutus	47
2.10.5 Kiirendusandurite paigutus.....	48
2.10.6 Toiteahel	50
2.10.7 Polügoonid.....	51
3 PROGRAMMEERIMINE.....	53
3.1 Teegid	53
3.2 I2C	54
3.3 CAN-BUS.....	56
3.4 Sündmuse taimer	57
3.5 Koodi üldine ülesehitus	58
4 KORPUS	59
5 KIIRENDUSANDURI LUGEM.....	61
KOKKUVÕTE	64
SUMMARY	65
Viidete loetelu	66
Lisa 1: Kasutatud komponentide nimekiri.....	68
Lisa 2: Sensorikaplaadi ülemine kiht	69
Lisa 3: Sensorikaplaadi teine kiht.....	70
Lisa 3: Sensorikaplaadi kolmas kiht.....	71
Lisa 4: Sensorikaplaadi alumine kiht	72

EESSÕNA

Antud lõputöö sai valitud vajadusest täita aina kasvavaid elektroonilisi nõudmisi veelgi kiirema ning edukama tudengivormeli ehituseks. Kuna andureid ning neist tingituna ka juhtmeid tuli iga aastaga aina juurde siis osutus sensorikaplaad mõistlikuks lahenduseks sõiduki edasise arengu teel. Kuna varasemalt oli sõidukil kõikide andurite sisselugemiseks ühine juhtaju, siis 2016 aastaks tekkis arusaam, et kõiki andureid otse sõiduki juhtajusse ühendada ei ole enam mõistlik, ning juhtmestikku oleks võimalik hulgaliselt optimeerida, kui sõiduki ninas asuvaid andureid vahendaks eraldi trükkplaat, mis kogu info kokku koguks, ära kalibreeriks ning seejärel juba juba töödelduna juhtajule edastaks. Samuti kuna alates 2015 hooajast on meeskond ehitanud nelikveolise elektrivormelit, mille kõiki rattaid on võimalik sõltumatult juhtida, siis iga aastaga juhtimissüsteemi arenedes kasvas ka vajadus saada tagasisidet sõiduki käitumisest rajal. Selleks said sensorikaplaadile paigutatud ka spetsiaalsed nurkkiirendusandurid, mis aitavad juhtimissüsteemil mõista, kuidas sõiduk rajal käitub ning seeläbi teha olulisi korrigeerimisi aitamaks juhil sõiduki üle paremat kontrolli omada ning seeläbi kiiremini rada läbida. Kogu lõputöö vältel on meeskonnaliikmed olnud suureks abiks kõiksugu tekkinud küsimuste ning probleemide lahendamisel. Lõputöö ise on siiski unikaalne ning minu enda teostatud täies mahus.

Jooniste loetelu

Joonis 1 Motec SDL3	13
Joonis 2 FEST17 analoogskeem.....	17
Joonis 3 madalpääsu filter	18
Joonis 4 FEST17 digitaalskeem	18
Joonis 5 FEST17 CAN-IC skeem.....	19
Joonis 6 isoleeritud CAN kiibi blokk skeem	20
Joonis 7 FEST17 toiteahelad	21
Joonis 8 FEST17 mikrokontrolleri skeem	22
Joonis 9 FEST17 pistikute skeemid	23
Joonis 10 FEST17 Bosch kiirendusandur.....	24
Joonis 11 FEST17 sensorikaplaad.....	25
Joonis 12 FEST17 I2C signaal	27
Joonis 13 GEMS dataloger	28
Joonis 14 FEST17 BMI160 logi.....	28
Joonis 15 FEST16 kiirendusandur.....	29
Joonis 16 FEST18 analoogskeem.....	33
Joonis 17 FEST18 CAN suhtlusskeem.....	34
Joonis 18 FEST18 toiteskeem	36
Joonis 19 FEST18 Mikrokontrolleri skeem	37
Joonis 20 FEST18 DRS juhtimine	38
Joonis 21 FEST18 pistikud.....	39
Joonis 22 FEST18 BMI160 skeem.....	41
Joonis 23 FEST18 sisendite kaitse	42
Joonis 24 Trükkplaadi tootmisdefekt	43
Joonis 25 Saturn PCB	44
Joonis 26 Footprindi suurusvalikud.....	45
Joonis 27 FEST18 0603 takisti korpus	45
Joonis 28 "Hauakivi" defekt	46
Joonis 29 Kristalli paigutus	48

Joonis 30 Kiirendusandurite paigutus.....	49
Joonis 31 Pingeregulaatori tegelik paigutus	50
Joonis 32 Pingeregulaatori soovituslik paigutus	50
Joonis 33 Toitepolügoon	52
Joonis 34 CubeMX konfiguratsioon.....	54
Joonis 35 BMI160 I2C juhend.....	54
Joonis 36 CAN sõnumi saatmine	56
Joonis 37 Sündmuse taimer	57
Joonis 38 Koodi üldine funktsionaalsus	58
Joonis 39 Sensorikaplaadi korpus	59
Joonis 40 Sensorikakorpuse eestvaade	60
Joonis 41 Sensorikaplaadi paigutus autos	60
Joonis 42 Järjestikused kiirenduse mõõtmised FEST17 vs FEST18.....	61
Joonis 43 Nurkkiirenduse võrdlus FEST17 vs FEST18	63

Tabelite loetelu

Tabel 1 FEST17 andurite loetelu.....	15
Tabel 2 FEST18 andurite loetelu.....	31

SISSEJUHATUS

Antud magistritöö eesmärgiks on täiustada tudengivormeli meeskonna Formula Student Team Tallinn uusima nelikveolise elektrivormeli FEST18 sensorikaplaati. Antud trükkplaadi eesmärgiks on koguda kokku andmed kõigilt vormeli ninas asuvatelt anduritelt, teostada esmased teisendused ja arvutused ning edastada töödeldud andmed üle CAN võrgu sõiduki tagaosas asuvale ECU-le, mis saadud andmete põhjal juhiks eraldiseisvalt vormeli nelja mootorit. Lisaks on uuel sensorikaplaadil ka sel aastal 4 güro sensorit, et võimaldada vormelile paremat stabiilsuskontrolli.

Sensorikaplaat võeti vormelis kasutusele aastal 2017, kui jõuti ühisele otsusele, et sõiduki ninast juhtmete vedamine sõiduki tagaosas asuva juhtajuni nõuab tunduvalt pikemaid juhtmeid. Pikemad juhtmed aga vähendavad analoogmõõtmiste täpsust ning lisavad sõidukile kaalu. Säärased tingimused on aga võidusõiduki ehitamisel kriitilise tähtsusega. Andmete edastamine üle digitaalse CAN võrgu seevastu on tunduvalt mürakindlam ning tänu vaid kahele juhtmele tekib võit ka kaalus.

Kuna aastast 2015 on Formula Student Team Tallinn valmistanud nelikveolisi elektrivormeleid, mille iga ratta rummus asub eraldi elektrimootor, mis on ülejäänud kolmest sõltumatu on meeskonnal olnud pidevalt kasvav vajadus sõiduki reaalse liikumissuuna kohta info saamiseks. Niisugune info võimaldab täpsemalt välja arvutada, kui suurt võimsust eri ratastele rakendada, et oleks tagatud sõiduki differentiaali ning ka stabiilsuskontrolli efektiivne toimimine. Seetõttu on ka kõikidel aastatel püütud leida erinevaid viise, kuidas sõiduki kohta rohkem ning täpsemat infot saada ning viimase kahe jooksul on see ka märgatavalt paranenud. 2018 aasta mudeli tarbeks sai eksperimentaalkorras sensorikaplaadile lisatud suisa 4 güro andurit täpsema lugemi saavutamiseks. Kõikide ülalmainitud nõudmiste täitmiseks on tänasel päeval küll saada erinevaid valmis lahendusi, mida enamustest elektroonikakauplustest on võimalik hankida, kuid niisugusel juhul ei ole lahendus optimaalne ning kõikide soovitud nõudmiste täitmiseks tuleks kasutada mitut eri trükkplaati, mis kokkuvõtvalt ei oleks optimaalne.

1 VARASEMAD LAHENDUSED

1.1 Ostutooted

Vajadus lugeda andureid eksisteerib juba esimese tudengivormeli FEST8 valmimisest saati. Esimeste sisepõlemismootoriga mudelite puhul ei olnud küll alati kõik andurid kriitilise tähtsusega sõitmisel, kuid sõiduki seadistamiseks on need juba algusest peale olnud vägagi vajalikud. Viimase sisepõlemismootoriga mudelini kasutati andurite sisselugemiseks ja logimiseks Moteci kuvaekraani SDL3 (Joonis 1).



Joonis 1 Motec SDL3

Tegemist oli valmistooteaga, millel eksisteeris hulk analoog ning digitaalsisendeid. 2013 aastal elektrivormelile üle minnes selgus õige pea, et kuna osasid andureid nagu gaasi, piduripedaali, rooliasend ja paljusid teisi tuleb nii ehk naa sisse lugeda ka elektrivormeli puhul juba omavalmistatud juhtajusse ning üle CAN võrgu edastada mootorite kontrolleritele ning logimiseks vajalikud andmed. Nii ka valmis FEST14 ehitusega esimene omaaretatud sensorikaosa, mis tol korral oli integreeritud juhtajuga ühte. Niisugust ülesehitust kasutati kuni 2016 aasta hooaja lõpuni, kus jõuti otsusele, et nii töökindluse kui ka kaalu eesmärgil ei ole otstarbekas sõiduki ninast iga anduri tarbeks eraldi juhtmeid sõiduki tagaosas asuva juhtajuni

vedada. Sealt saigi alguse otsus alustada sõiduki ninas asuva eraldiseisva sensorikaplaadi arenduseks.

1.2 FEST17 sensorikaplaad

1.2.1 Ülevaade

2017 aastal sai projekteeritud esimene sensorikaplaad FEST17 tarbeks. Kuna 2017 aastal oli palju erinevaid ideid, mida sooviti vähemalt testisõitudel eksperimentaalkorras katsetada sai vastu võetud otsus teha esimene sensorikaplaad võimalikult suure varuga oma sisendite ning väljundite poolest. Samuti olles eelmise aasta FEST16 mudelil katsetanud Boschi toodetud MM5.10 kiirendussensorit stabiilsuskontrolli loomiseks, kuid kuna tulemused ei olnud rahuldavad, tekkis idee ka trükkplaadile eraldi SMD kiirendusandur lisada.

1.2.2 Mikrokontrolleri valik

Kuna meeskonnaga liitub igal aastal palju uusi noori, keda tuleb nullist välja õpetama hakata, siis on meil juba pikemat aega olnud säherdune kokkulepe, et kui vähegi võimalik, siis kasutame kõikidel sõiduki trükkplaatidel ühe kindla tootja ning kui võimalik siis ka sama seeria mikrokontrollereid. Sellisel moel on vanematel olijatel tunduvalt lihtsam ka uusi programmeerimisel aidata, sest ajapikku on välja kujunenud korralikud ning töökindlad teegid erinevate protokollide käitlemiseks, mis teeb elu uutele lihtsamaks ning samuti tõstab ka sõiduki töökindlust testitud tarkvara näol. Seega sai tehtud otsus kasutada ka eelmisel aastal edukalt toimunud STMicroelectronicsi STM32F4 seeria mikrokontrollereid.

Et nüüd õige suuruse ning võimekusega mikrokontroller leida, tuli meeskonnaliikmetega läbi arutada, missuguseid sensoried plaanitakse 2017 hooaja autole külge pookida, ning mis meetodil saab neid lugeda. Pärast pikka arutelu, sai viimaks lukku löödud alljärgnev tabel (Tabel 1.1).

Tabel 1 FEST17 andurite loetelu

Anduri nimi	Anduri tüüp	Anduri pinge	Sisend/väljund
Gaasipedaali asendi andur nr.1	Analoog	3V3	Sisend
Gaasipedaali asendi andur nr.2	Analoog	3V3	Sisend
Esimese pidurisüsteemi rõhk	Analoog	5V	Sisend
Tagumise pidurisüsteemi rõhk	Analoog	5V	Sisend
Rooliasendi andur	Analoog	3V3	Sisend
Ülekande temperatuur 1	Analoog	3V3	Sisend
Ülekande temperatuur 2	Analoog	3V3	Sisend
Pidurpedaali asendi andur	Analoog	3V3	Sisend
EV vedrustusasendi andur	Analoog	3V3	Sisend
EP vedrustusasendi andur	Analoog	3V3	Sisend
Voolavuse andur 1	Analoog	3V3	Sisend
Voolavuse andur 2	Analoog	3V3	Sisend
Jahutusvedeliku temp 1	Analoog	3V3	Sisend
Jahutusvedeliku temp 2	Analoog	3V3	Sisend
Jahutusvedeliku temp 3	Analoog	3V3	Sisend
Jahutusvedeliku temp 4	Analoog	3V3	Sisend
Analoog reserv 1	Analoog	3V3	Sisend

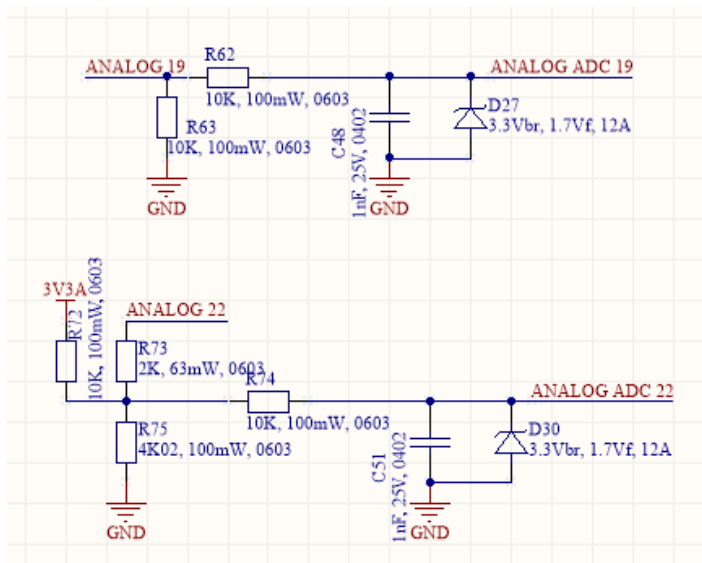
Analoog reserv 2	Analoog	3V3	Sisend
Analoog reserv 3	Analoog	3V3	Sisend
Analoog reserv 4	Analoog	3V3	Sisend
Analoog reserv 5	Analoog	3V3/5V	Sisend
Analoog reserv 6	Analoog	3V3/5V	Sisend
Analoog reserv 7	Analoog	3V3/5V	Sisend
Analoog reserv 8	Analoog	3V3/5V	Sisend
Nupp 1-1	Digitaal	3V3	Sisend
Nupp 1-2	Digitaal	3V3	Sisend
Nupp 1-3	Digitaal	3V3	Sisend
Nupp 1-4	Digitaal	3V3	Sisend
Nupp 2-1	Digitaal	3V3	Sisend
Nupp 2-2	Digitaal	3V3	Sisend
Nupp 2-3	Digitaal	3V3	Sisend
Nupp 2-4	Digitaal	3V3	Sisend
Nupp 3-1	Digitaal	3V3	Sisend
Nupp 3-2	Digitaal	3V3	Sisend
Nupp 3-3	Digitaal	3V3	Sisend
Nupp 3-4	Digitaal	3V3	Sisend
Controlleri nupp	Digitaal	3V3	Sisend
Drive mode nupp	Digitaal	3V3	Sisend
Digitaal reserv	Digitaal	3V3	Sisend

Kokkuvõtvalt selgus, et tarvis läheb 24 analoog ning 15 digitaalsisendit. Lisaks tuli arvestada, et suhtluseks autoga peab mikrokontrolleril olema ka võimekus suhelda CAN-BUS võrguga ning kuna eksperimentaalkorras oli soov plaadile paigutada Boschi BMI160 kiirendusandur, siis antud anduri tarbeks oli tarvis ka I2C suhtlusprotokolli võimekust. Sellest tulenevalt sai tehtud otsus, et kompaktsim F4 seeria mikrokontroller, mis antud nõudmisi oleks võimeline täitma ning mida meie piiratud töövahenditega oleks võimalik ka joota oli 144 jalaga STM32F437.

1.2.3 Skeemi disain

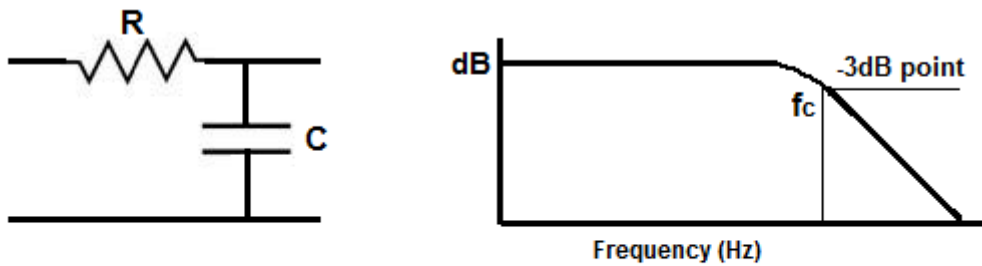
Elektroonika disainiks kasutab kogu meeskond meil ühiselt tarkvara „Altium Designer“. On olemas ka paljusid teisi tarkvarasid elektroonikadisaini teostamiseks, kui arvestades meie vajadusi nii trükkplaadi disaini kui ka hiljem cad mudelite osas on Altium olnud tänaseni meile suurepäraseks valikuks.

1.2.4 Analoogosa disain



Joonis 2 FEST17 analoogskeem

Analoogsignaali sisselugemiseks sai kasutatud klassikalist pingejaguri meetodit (Joonis 2). Kuna oli otsustatud, et ühtki signaali üle 100Hz sageduse lugema ei pea sai lisatud ka suure varuga 15.923 Khz madalpääsufilter. Madalpääsu filtri na toimivad komponendid R62 ning C48. Filtri arvutamiseks sai kasutatud valemit $f_c=1/(2\pi RC)$, kus R tähistab takisti takistust oomides, C kondensaatori mahtuvust faradites ning f_c Signaali äralõikesageduse punkti, kus võimsus on langenud 3dB võrra (Joonis 3).



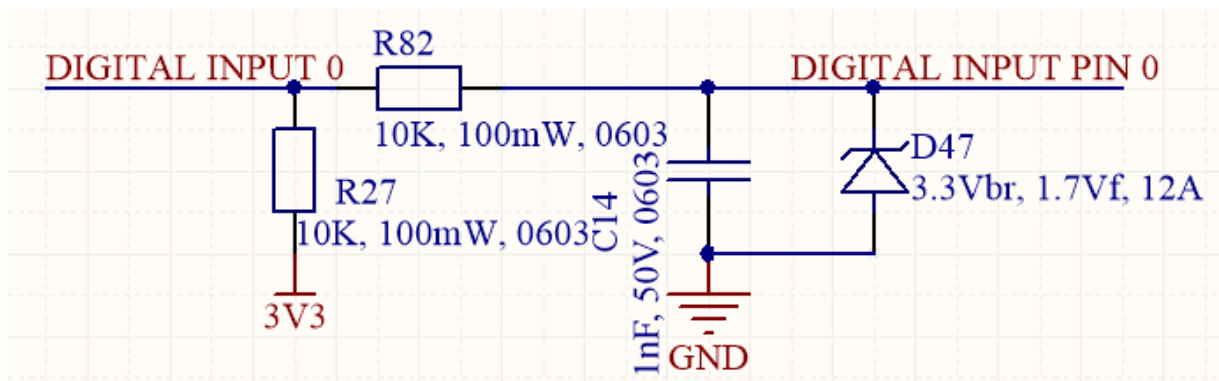
$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

Joonis 3 madalpääsu filter

Ülepinge kaitseks sai lisatud ka kiiretoimeline 3V3 TVS diod. Kuna igaks juhuks sai lisatud ka mõningad reservisendid, mille täpset konfiguratsiooni kasutusel ei olnud teada sai neile lisatud igaks juhuks nii pull-up, pull-down võimekus kui ka lisaks eeltakisti, et vajadusel enam kui 3V3 pingega anduri sisendpinget enne mikrokontrollerisse laskmist alla tuua. Samuti sai igale analoogsisendile lisatud

1.2.5 Digitaalosa disain

Digitaalosa disainis sai kasutatud sarnast disaini analoogile (Joonis 4).

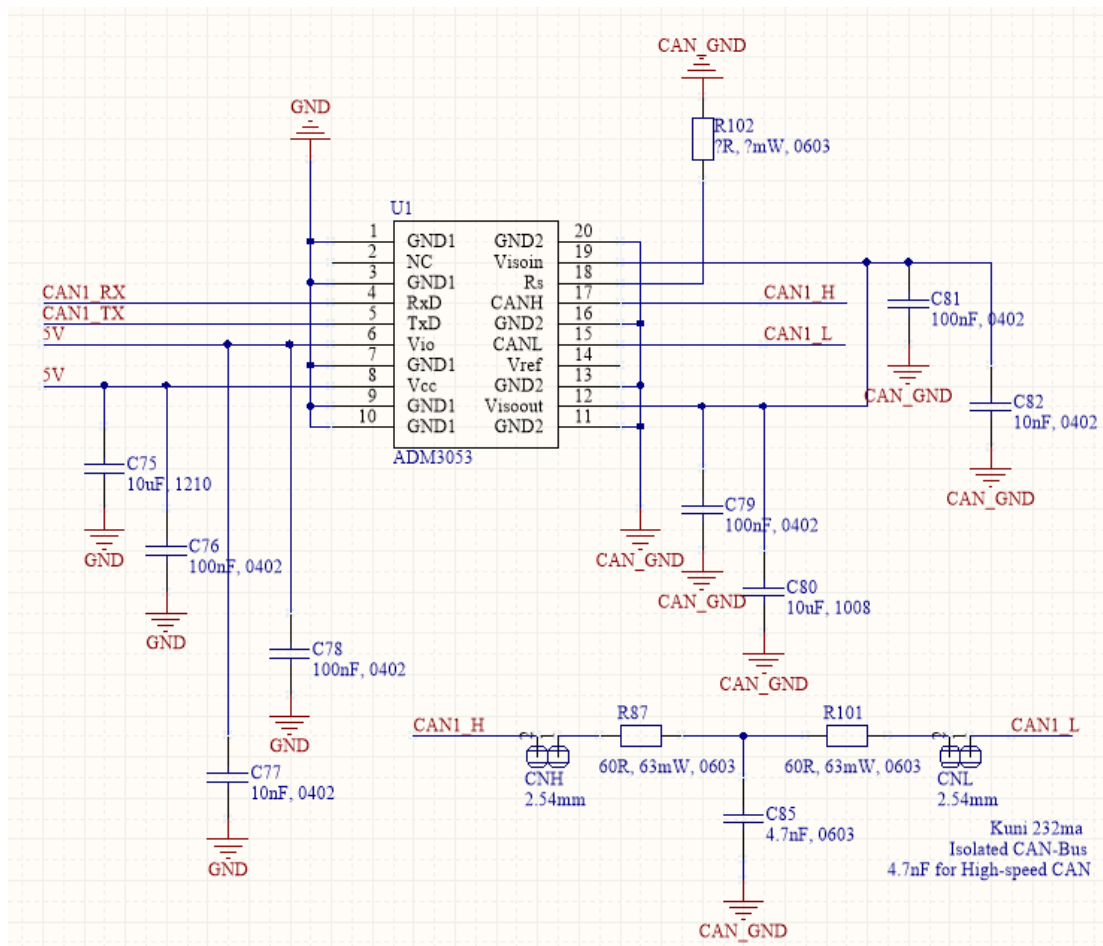


Joonis 4 FEST17 digitaalskeem

Sedapuhku aga sai plaadil kasutatud pull-down loogikat pull-up asemel, kuna sõiduku kerel on massi tunduvalt lihtsam leida kui toidet. Analoogosas paraku ei saanud kasutada sama põhimõtet, kuna reeglitega on nõutud mitme sensori eraldiseisev toide sensorini.

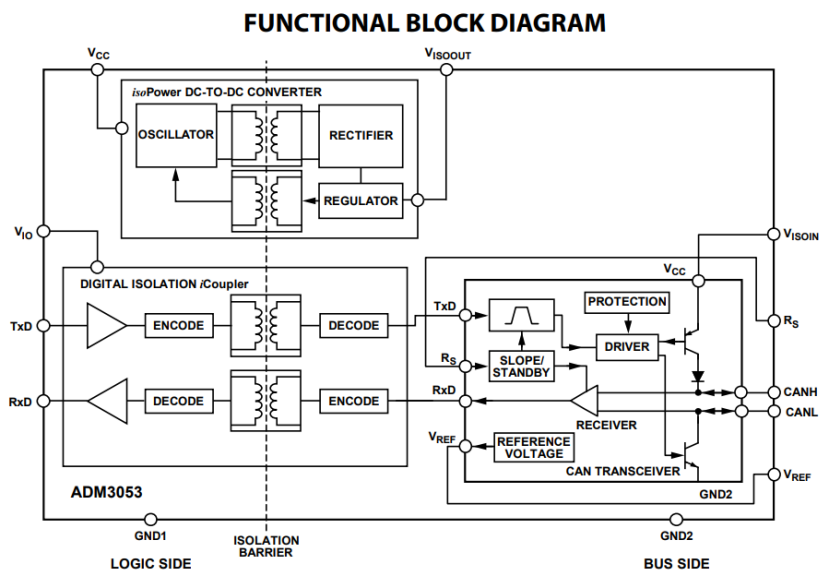
1.2.6 CAN-suhtluse disain

Kuna nelikveolise elektrivormeli ehitusel tekkis esimestel aastatel palju probleeme CAN võrgus tekkiva suure müraga, mis suhtlust segas sai FEST17 juures kasutatud eraldi isoleeritud maandusega CAN võrku ning samuti sai ka transiiver valitud vastavalt sellele (Joonis 5).



Joonis 5 FEST17 CAN-IC skeem

ADM3053 osutus sobivaks CAN transiiveriks, kuna omab sisemist isoleeritud toitesüsteemi, mis aitab veel omakorda vähendada CAN siinil tekkida võivat müra (Joonis 6).

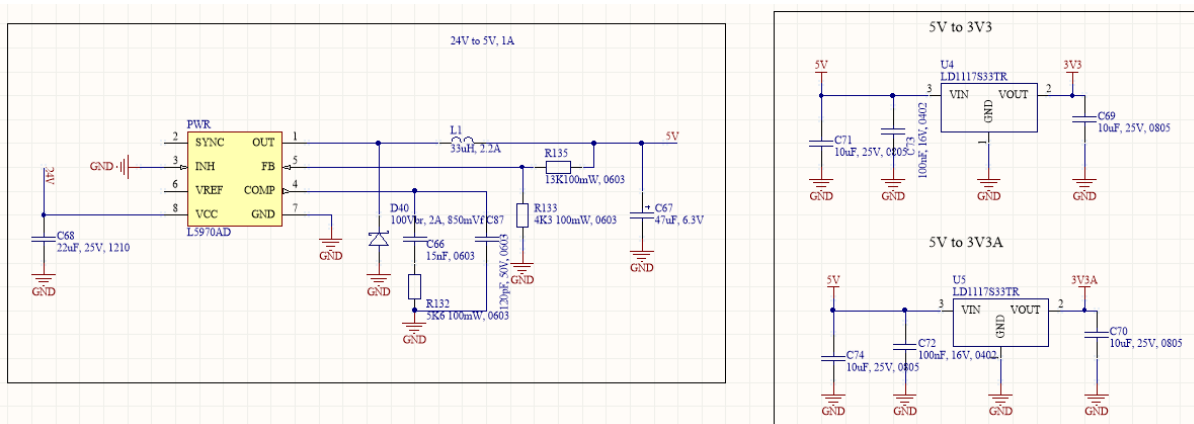


Joonis 6 isoleeritud CAN kiibi blokk skeem

Veel ühe mürakindlust lisava metodina sai tavalise 120 oomise CAN terminaatorikasti asemel lisatud ka CAN split terminaator, mis täna kondensaatorile aitab ka liinil liikuvat müra summutada.

1.2.7 Süsteemi toide

Kuna 2015 aastast saati on FS Team Tallinna vormelitel olnud eraldi DC-DC konverter, mis akupakis olevast kõrgepingest madalpinge teeb siis peavad kõik trükkplaate projekteerivad liikmed oma plaadile lisama pingeregulaatorid, mis 24 voldisest sisendpingest elektroonikakomponentidele sobiva pinget teeksid. Kuna sensorikaplaadil asuv STM mikrokontroller kasutab 3V3 toidet, aga CAN transiiver 5V oli selge, et tuleb kasutada vähemalt kahte pingeregulaatorit. Täpsema ning mürakindlama analoogmõõtmise saamiseks tuli mikrokontrolleri analoogosa teha ka eraldi 3V3A toide (Joonis 7).

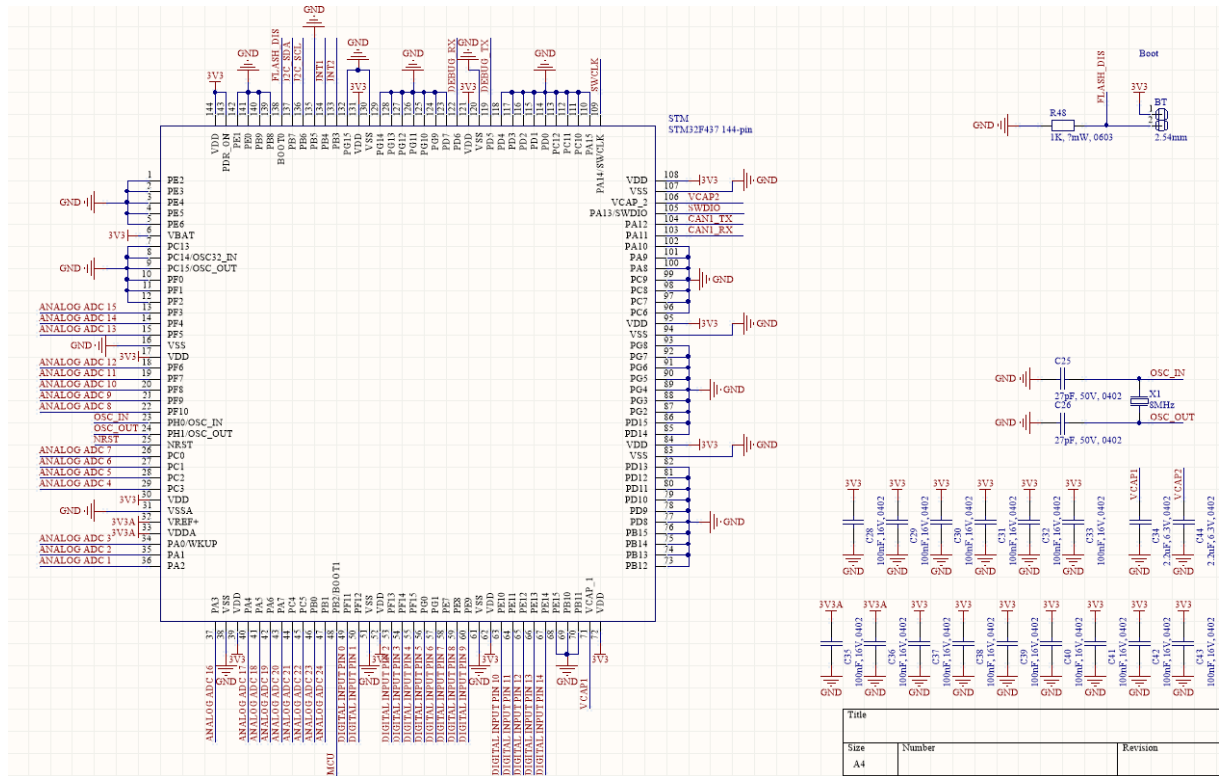


Joonis 7 FEST17 toiteahelad

24V sisendtoitest 5V sai tehtud impulss regulaatoriga, kuna niivõrd suure pingelanguse tõttu läheks LDO tüüpi regulaatorit kasutades väga palju energiat soojuses kaduma. Eriti arvestades, et vormel kannab endaga akupakis kaasas piiratud kogust energiat, mida tuleb kasutada säästlikult. 5V pingest edasi 3V3 ning 3V3A toited said tehtud juba LDO regulaatoritega, kuna 1.7V pingelangu puhul ei ole kaotus efektiivsuses enam niivõrd suur ning eriti analoog toite puhul on LDO regulaatori toide teadupärast stabiilsem, kuna ei lülitu pidevalt kõrgetel sagedustel nagu seda teeb impulss regulaator. Samuti mõeldes trükkplaadi kompaktsusele vajab LDO regulaator oluliselt vähem komponente skeemi koostamisel, mis võimaldab toota kompaktsema trükkplaadi.

1.2.8 Mikrokontroller

Nagu ülal sai mainitud, siis osutus mikrokontrolleri valik 144 jalase STM32F437 kasuks.

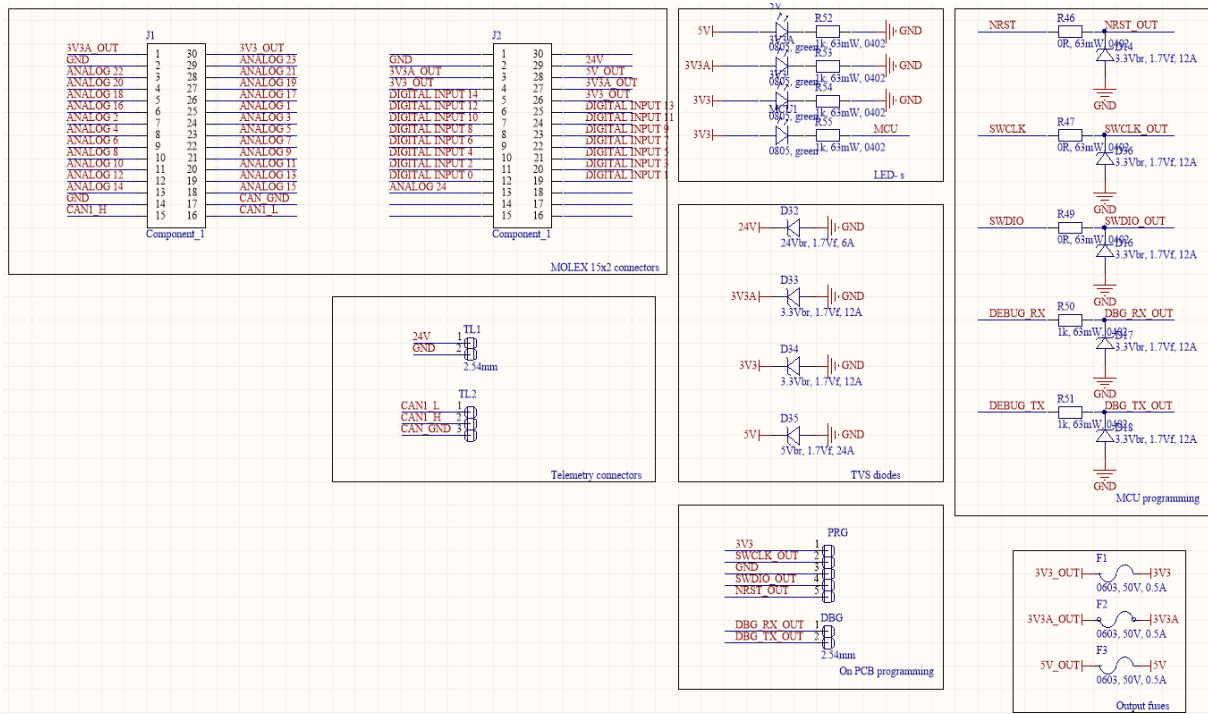


Joonis 8 FEST17 mikrokontrolleri skeem

Joonis 8 pealt võib näha, et ühest küljest on mikrokontrolleril üsna palju jalgu, mis jäid täiesti kasutamata, kuid kuna analoogmõõtmisteks sobivad vaid kindlad jalad, siis ei olnud 2017 aasta disaini kokkuleppeid arvestades paraku paremat valikut. Vastavalt tootjapoolsele andmelehele said lisatud ka toidet stabiliseerivad kondensatorid ning 8 MHz kvartsikivi mikrokontrolleri täpsemaks toimimiseks (Joonis 8). [1]

1.2.9 Väljundid

Trükkplaadist väljuvad rajad läbi Molexi C-grid pistikute. (Joonis 9) C grid sai valitud oma kompaktsuse, töökindluse ning AWG ratingu poolest, mis meie juhtmestajate soovil on FEST17 mudelil 22.



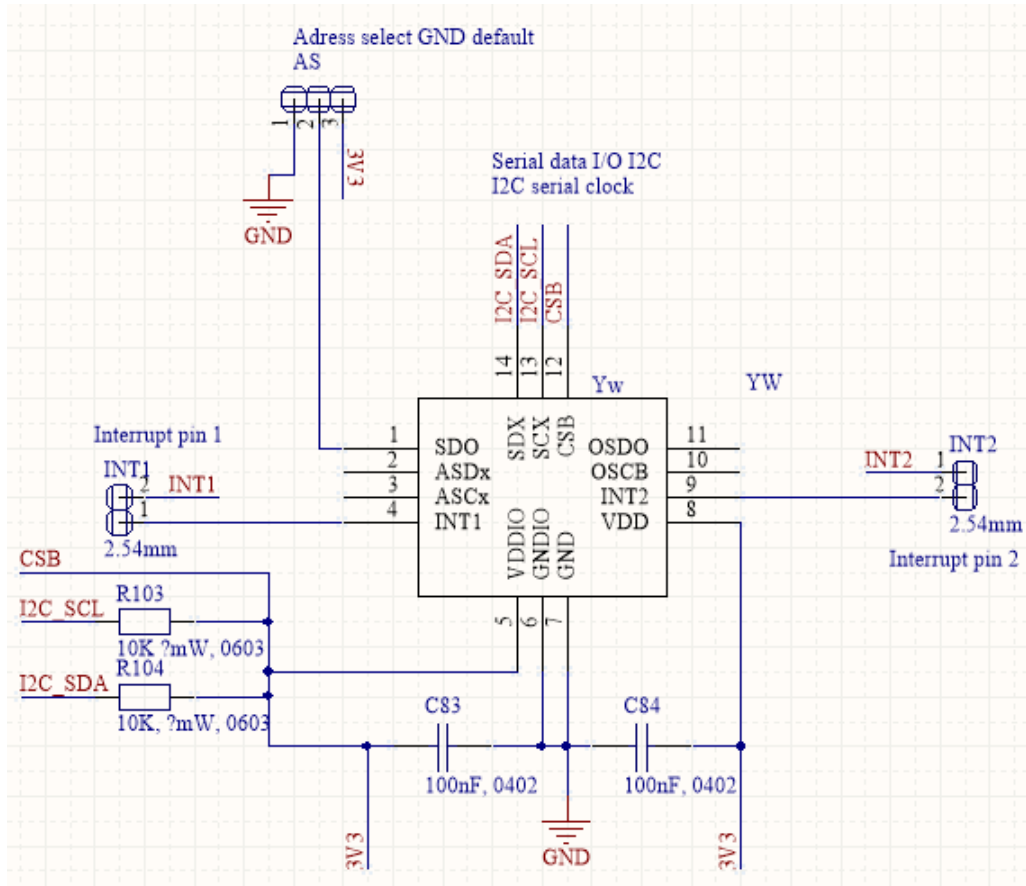
Joonis 9 FEST17 pistikute skeemid

Lisaks sai andurite toidetele lisatud ka igaks juhuks 0.5 amprised kiiretoimelised SMD kaitsmed, programmeerimispistikule samuti ESD kaitseks TVS diodid ning ka väljundpinge piikide silumiseks samuti vastava pingega TVS diodid.

1.2.10 Kiirendusandur

Nagu üleval sai mainitud, siis oli FEST17 mudeli puhul jätkuvalt aina kasvav vajadus maapinnaga mingisugust referentsi saada, et teada, mis suunas auto realselt liigub. Kuna FEST16 mudelil kasutatud ostutoode ei andnud soovitud tulemusi otsustasin trükkplaadile spetsiaalse SMD güroskoobi IC lisada. See annaks kiirenduse mõõtmisel tunduvalt vabamad käed, kuna ostutoode seadis palju piire nii täpsuse, lugemiskiiruse kui ka väljund info formaadi osas. Pärast mõningast uurimist sai tehtud otsus kasutada Boschi BMI 160 kiirendusandurit. Antud anduri kasuks sai otsustatud mitte ainult tema täpsuse vaid ka info põhjal, mida oli saada juhendamaks selle kasutamist. Kuna varasemalt ei olnud keegi meeskonnas niisugust andurit kasutanud ega

programmeerinud, siis tuli kindluse mõttes rõhuda ka sellele, et andur kindlasti tööle hakkaks.



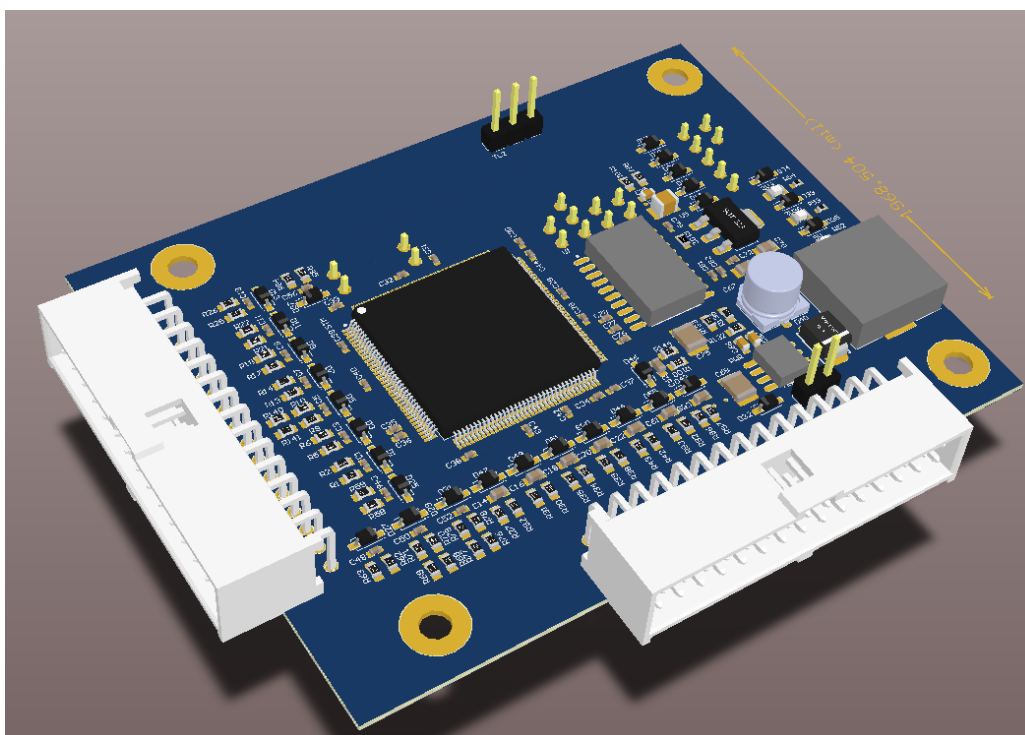
Joonis 10 FEST17 Bosch kiirendusandur

Boschi BMI160 kujutab endast 9 teljelist kiirendusandurit (Joonis 10), mis suudab mõõta nii kiirendust kui ka nurkkiirendust kõigi x, y ja z telje suhtes. Suhtlus käib antud anduril üle I2C või SPI protokolliga. Kuna vaikimisi töötab andur just I2C protokollil alusel ning suudab suhelda kuni 1MHz sagedusel sai otsustatud antud protokolliga kasuks üle SPI. Ülalnäidatud skeem sai koostatud tuginedes tootjapoolsetele soovitudele andmelehes [2] ning igaks juhuks lisatud ka võimalus interrupt ning aadressi valiku väljaviikude väärtusi muuta. FEST18 mudeli disaini ajaks said need lisavõimekused ära kaotatud, kuid esimese prototüübi näol otsustasin igaks juhuks jätta nii suure võimaluse skeemi hilisemaks modifitseerimiseks kui võimalik.

1.2.11 Trükkplaadi disain

Trükkplaadi disainil on meil meeskonnas samuti välja kujunenud mõningased soovituslikud juhtnöörid. Nimelt, kui vähegi on võimalik, teeme kõik oma trükkplaadid nelja kihilised, kuna meile trükkplaate valmistav sponsor Brandner OÜ [3] on andnud meile sponsorkorras ette kindlad aastased limiidid, millest lähtuvalt tuleb meil kõige kavalam tellida korraga üks suur neljakihiline plaat, ning kogu meeskonna trükkplaadid sinna ära paigutada.

Disainima asudes sai rõhku pandud plaadi kompaktsusele, kuid samas arvestatud ka analoogosadega, et nad liigse müra kätte ei satuks. (Joonis 11)



Joonis 11 FEST17 sensorikplaat

Peamisteks müraallikateks antud plaadil on 24V to 5V buck regulaator, mis pidevalt 500Khz sagedusel lülitub, et soovitud pinget hoida. Samuti pingeregulaatori induktiivpool, mis pidevate pinge kõikumistega oma magnetväljaga müra tekitab. Seetõttu sai otsustatud plaat disainida hoides analoog sisendid võimalikult kaugel toitest ning digitaalosa, mida väiksed kõikumised ei häiri paigutasin eraldi pistikuga

pingeregulaatorile lähemale. 2017 aasta plaadil sai paigutatud mikrokontrolleri jalgade kaitseks tvs diodid jalgade vahetusse lähedusse kaitsmaks neid ESD ning ülepinge eest. Diodide kasutamine tasus end ka juba esimesel auto küljes testimisel ära, kuna trükkplaadil olevad pistikud suudeti sassi ajada ning 24V ühele mikrokontrolleri sisendile ühendada. Tänu diodile jäid aga kõik sisendid kenasti terveks ning vahetuse läks vaid üksainus diod. Siit aga sain selgust, et kuna enamuse ajast on sensorikaplaat kinnises ligipääsmatus korpuses, siis nagu praktika näitas on pigem tarvis kaitsta pigem juba sensorikaplaadi sisendpistikut, aga mitte otseselt mikrokontrolleri jalgu. Seega said diodid järgmisel trükkplaadil juba pistiku aga mitte mikrokontrolleri vahetusse lähedusse paigutatud.

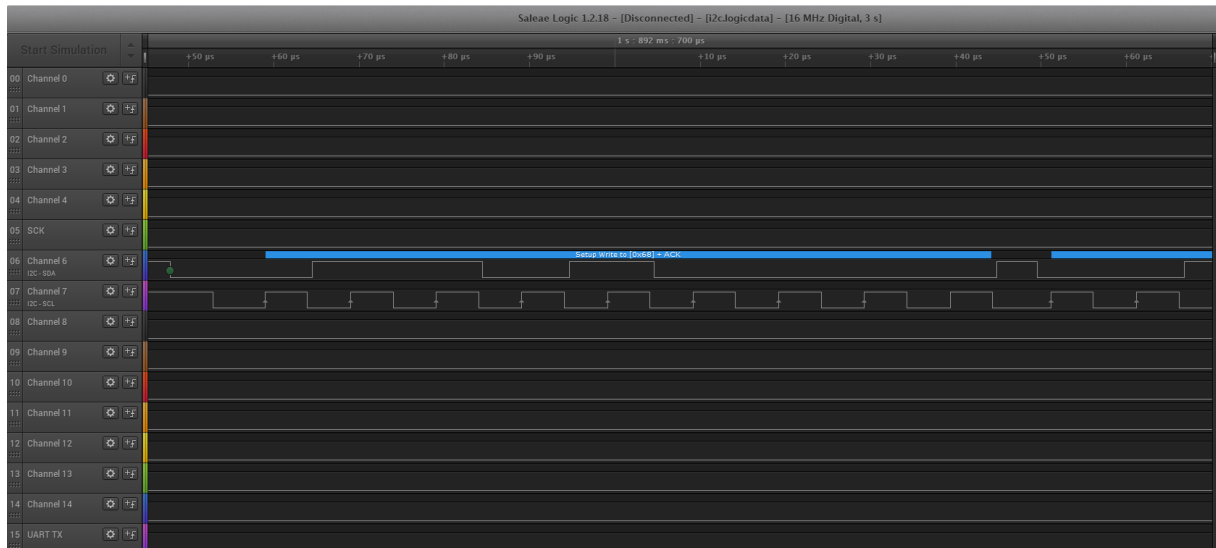
1.2.12 Andurite lugemid

Andurite lugemite mõõtmiseks sai programmeerides kasutada „Atollic“ programmeerimistarkvara, mis lisaks koodi kompileerimisele võimaldas ka breakpointide haaval koodi läbi jooksutada ning igat sisendit eraldi lugeda. Kuna STM32F4 mikrokontrolleril on 12 bitine ADC muundur, siis kõik mõõteväärtused 3V3 süsteemis said olla $3300\text{mV}/4095\text{bitti} = 0.805\text{ mV}$ täpsusega. Lauapeal sai kõiki sisendeid proovitud lugeda konstantse pullupi või pulldown takistiga järjestikuselt 10 korda ning ühegi ADC lugemi väärtus ei kõikunud üle nelja biti. Tulemust ei saa küll lugeda ideaalseks, kuid arvestades, et enamusi andureid nagu gaasipedaali asend, piduripedaal jne ei vaja palju rohkem täpsust, kui 1% siis oli antud ADC lugemi täpsus enam, kui piisav.

1.2.13 Kiirendusandur

Boschi BMI160 kiirendusandur osutus kõige kapriissemaks anduriks, mida tööle saada. Samuti oli tegemist plaadi ainsa digitaalanduriga. Probleemseks tegi asja LGA korpus, mis muutis komponendi jootmise äärmiselt keerukaks ning samuti ka joodiste kvaliteedi kontrolli, mis oli praktiliselt võimatu. Samuti I2C, milles oli väga vähe kogemusi. Esialgu oli probleeme anduriga suhtluse saavutamisel. Tootjapoolne IC aadress 0x68,

mida tuli kutsuda ei õnnestunud esimestel katsetel, kuna kiip ei vastanud kutsele „ACK – Acknowledged“ vastusega. Pärast pikka testimist selgus lõpuks, et tegemist oli ikkagi kehva joodisega ning pärast kiibi mitu korda maha ja peale jootmist õnnestus lõpuks ka suhtlus korda saada. (Joonis 12)



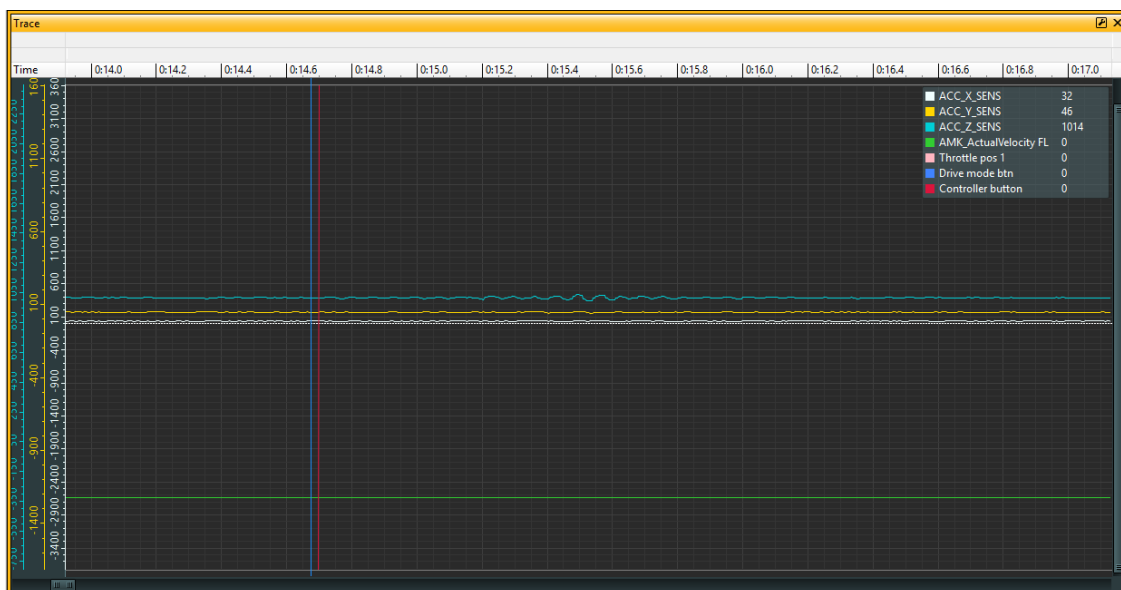
Joonis 12 FEST17 I2C signaal

Antud andurilt sai küsida nii nurk kui tavakiirendus väärtuseid x, y ja z telje suhtes. Antud andurit saab lugeda kilohertsides, kuid kuna mootori kontrollereid oli tol korral võimalik vaid kuni 100Hz sagedusega juhtida sai otsustatud ka andmeid samal sagedusel juhtajule edastada. Võrreldes enamuste anduritega on antud andmeid vaja tunduvalt suurema täpsusega ajule edastada kui seda võimaldab 8 bitti, mistõttu sai neid suurema täpsuse saavutamiseks üle CAN võrgu edastatud 16 bitiste väärtustena. Et antud andurite kohta pädevat infot saada on alates 2017 aastast, mil meeskond otsustas loobuda ostutootena valmistatud ekraanist, millel oli ka sisseehitatud logimisvõimalus olnud kasutusel hoopis väiksem, kergem ning kompaktsem „Gems“ nimelise tootja poolt valmistatud dataloger.



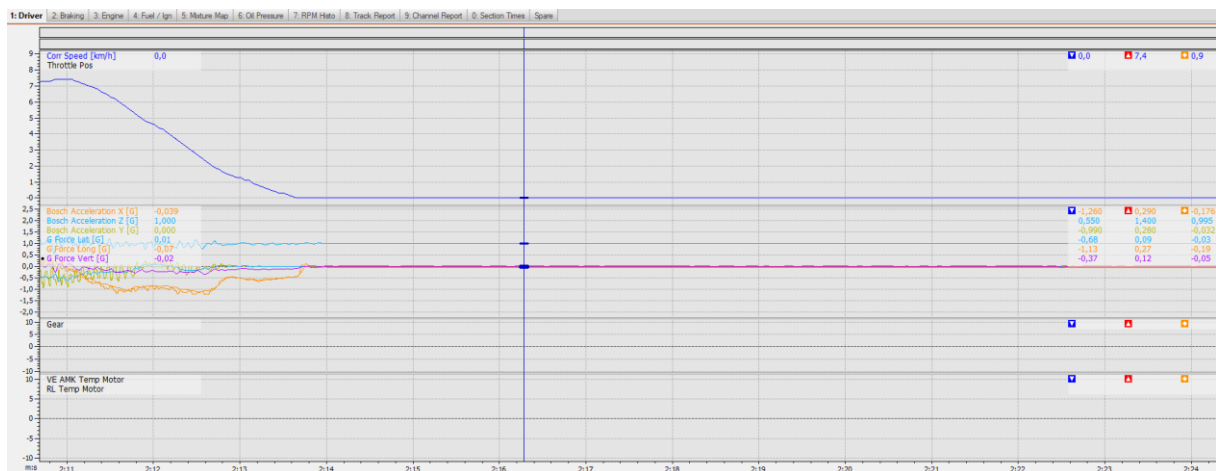
Joonis 13 GEMS dataloger

Antud logeril (Joonis 13) on CAN sisend ning lisaks veel paar analoogsisendit, mis hilisemal FEST18 mudelil läks kasutusse vedrustusandurite tarbeks, kuna vedrustusanduritest kasulike andmete saamine eeldab reaalsuses vähemalt kilohertsist logimissagedust, kuid nelja anduri andmete kandmine CAN võrku niisugustel sagedustel ummistaks võrgu. Igaljuhul kõik meiepoolt valitud andmed, mis liiguvad CAN võrgus salvestuvad ka antud logerile ning neid saab hiljem ajateljel vaadata Gemi enda väljatöötatud tarkvaras.



Joonis 14 FEST17 BMI160 logi

Antud logist (Joonis 14) on näha g-jõud x, y ja z telje suunas. Pildil kujutatud logis on sõiduk paigal, kuid vaatamata sellele on näha mõningast kõikumist. See, et z telg näiteks täpselt 1000 ehk 1.0G ei näita ja x ning y telg nullis pole on täiesti normaalne, kuna sõiduk ei asu praktiliselt kunagi ideaalselt looditud tasapinnal ning ka maa külgetõmbejõud erineb pisut eri paikades ümber maailma. Küll aga on pildilt selgelt näha, et hetkel, mis lülitatakse sisse „Controller_button“, mis kujutab endast nuppu, mis lülitab sisse nelja mootorit juhtivad AMK poolt toodetud kontrollid tekib koheselt süsteemis müra. See on tingitud, kuna kõrgepinge pääseb akupakist edasi kontrollidesse ning vaatamata sellele, et kontrollid ise asub juhi seljataga ning sensorika juhi ees armatuuri taga tekib siiski süsteemis logidest täiesti märgataval hulgal müra, mis võib levida nii läbi juhtmestiku, või õhu magnetväljana. Iseenesest praktika 2017 hooajal näitas, et antud andur oli kiirendusel täiesti piisav juhtimissüsteemi abistamiseks, kuid rajal siiski tekkis olukordi, kus süsteem hakkas üle või alakontrollima ning seeläbi juhi sõitmist teatud tingimustel segama.



Joonis 15 FEST16 kiirendusandur

Siinkohal toon võrdluseks ka 2016 aastal katsetatud Boschi ostutootena hangitud kiirendusanduri (Joonis 15), mille näitused on küll tol hooajal kasutatud Moteci datalogi tõttu kehvem pildilt välja tuua, kuid numbritest on näha, et võrreldes 2017 aasta anduriga, mille näidud kõikusid rahuolekus 0.04-0.05G ühikut, siis 2016 aasta anduril oli 0.07G ühikuni ulatuv pendeldamine täiesti normaalne, millest võib järeldada, et vähemalt müra suhtes oli 2017 aasta lahendus tunduvalt töökindlam. Muidugi ei ole kiirenduse võrdlemine üksinda päris piisav adekvaatse hinnangu andmiseks. Üle tuleks

vaadata ka nurkkiirenduste näidud kurvides, kus seda kõige enam vaja on, kuid sellest juba allpool, kui on ka 2018 aasta disainist ülevaade tehtud.

2 FEST18 SENSOORIKAPLAAT

2.1 Sensorite ülevaade

Ka 2018 aastal on taaskord vormeli ninas suur hulk erinevaid andureid, mida kõike tuleb analoog või digitaalsisendina mõõta. Praktiliselt kõik andurid on kriitilise tähtsusega sõiduki normaalseks funktsioneerimiseks. Osade andurite olemasolu on suisa reeglitega nõutud [2]. 2018 aasta mudelil FEST18 on ninas sensorikaplaadile lugemiseks järgnevad andurid:

Tabel 2 FEST18 andurite loetelu

Anduri nimi	Anduri tüüp	Anduri pinge	Sisend/väljund
Gaasipedaali asendi andur nr.1	Analoog	3V3	Sisend
Gaasipedaali asendi andur nr.2	Analoog	3V3	Sisend
Pidurpedaali asendi andur	Analoog	3V3	Sisend
Esimese pidurisüsteemi rõhk	Analoog	5V	Sisend
Tagumise pidurisüsteemi rõhk	Analoog	5V	Sisend
Rooliasendi andur	Analoog	3V3	Sisend
Ülekande temperatuur 1	Analoog	3V3	Sisend
Ülekande temperatuur 2	Analoog	3V3	Sisend
„Controller“ nupp	Digitaal	3V3	Sisend

„Drive mode“ nupp	Digitaal	3V3	Sisend
„Controller“ LED	Digitaal	3V3	Väljund
„Drive mode“ LED	Digitaal	3V3	Väljund
DRS juhtimine 1	PWM	3V3	Väljund
DRS juhtimine 2	PWM	3V3	Väljund

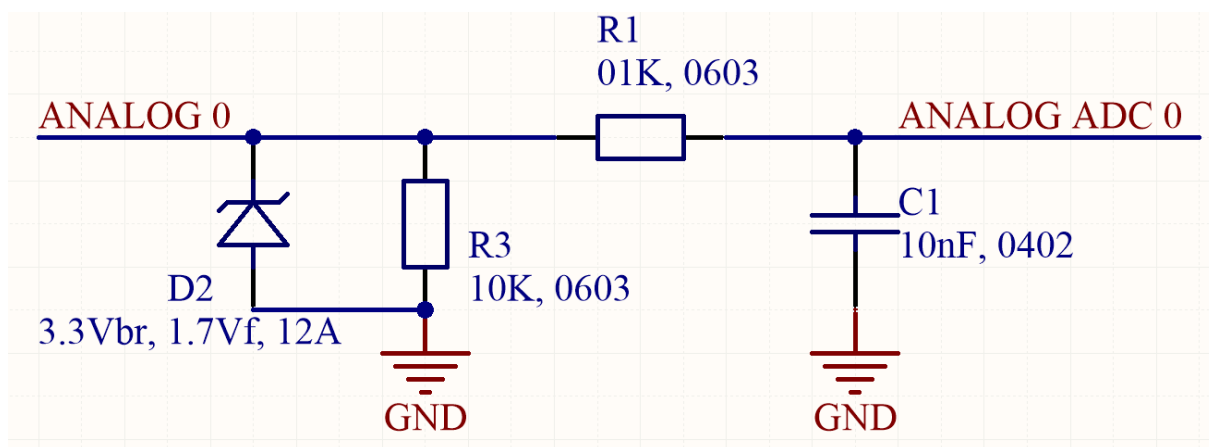
Ülalnäidatud tabelist 2.1 on näha, siis 2018 aastal on andurite tabel hulga lühem, kui 2017 aastal. Kuna 2017 aastaga sensorikaplaadiga õnnestus suure hulga saadud andmetega paljude vormeli osade töökindlust valideerida, siis sellest tulenevalt sai hulganisti andureid 2018 aasta disainis välja jätta. Alles jäid vaid kõige olulisemad andurid, mis on vajalikud, kas masina sõitmiseks ning reeglitega vastavusse viimiseks (gaasi-, piduripedaali andurid jne) või siis sõiduki võistluseelseks peenhäälestamiseks (rooliasendi andur). Tegelikuses jäid vormeli ninas alles ka vedrustusandurid, kuid kuna vedrustusmeeskonna soov oli asendiandureid sel aastal logida juba 100Hz sageduse asemel 1Khz sagedusega, siis leidsime, et ei ole arukas koormata CAN võrku nii suuresageduseliste sõnumitega, mistõttu said vedrustusandurite analoogväljundid otse andmelogerisse ühendatud.

2.2 Muutused analoogosas

Kuna ülal sai mainitud, et eelmise aasta analoogskeemi lugemid kõikusid paari nelja biti võrra konstantses olekus, siis iseenesest otsest vajadust midagi kriitilist skeemi disainis muuta ei olnud. Siiski sai otsustatud veelgi vähendada madalpääsu filtri töövahemikku suurendades analoogskeemi (Joonis 16) kondensaatori mahtuvuse ühelt nanofaradilt kümnele. See alandab cutoff frequency 1.5Khz peale. Tegelikult olles vaadanud logisid selgus, et piloot ei suuda sekundis rohkem kui 6 korda gaasipedaali korrigeerida. Sellest võiks arvestades Nyquisti reeglit [4] filtri enamustel anduritel teoorias tuua alla suisa 60Hz peale. Nii lähedale filtri toomine ei oleks aga reaalsuses mõistlik, sest vaatamata juhi võimekusele suudab juhtimissüsteem 2018 aasta mudelil toimida kuni 100Hz sagedusel, mis tähendab vähemalt 1KHz vajadust. Kuna vaatamata CANi sõnumite

edastamise sagedusele sai arvestatud igaks juhuks ka vajadust võimalusel mikrokontrollerisse mitu lugemist teha ning keskmestada, sai kõikidest tingimustest tulenevalt jäetud varuga sagedus pisut suurem. Kuna hinnaklassi poolest on E24 standardini [5] passiivkomponendid mõistliku hinnaga ning suurtes kogustes kergesti saadavad sai otsustatud just 10nF kondensaatori tarbeks.

Samuti kuna praktika 2017 hooajal näitas, et hirm mikrokontrolleri mõnel jalal ESD löögist kahjustada saada osutus suuremaks kui oht, et juhtmestajad mõne pistiku valesti ühendavad, siis sai otsustatud ka TVS diodid sel hooajal hoopis pistikute mitte mikrokontrolleri jalgade vahetusse lähedusse paigutada.



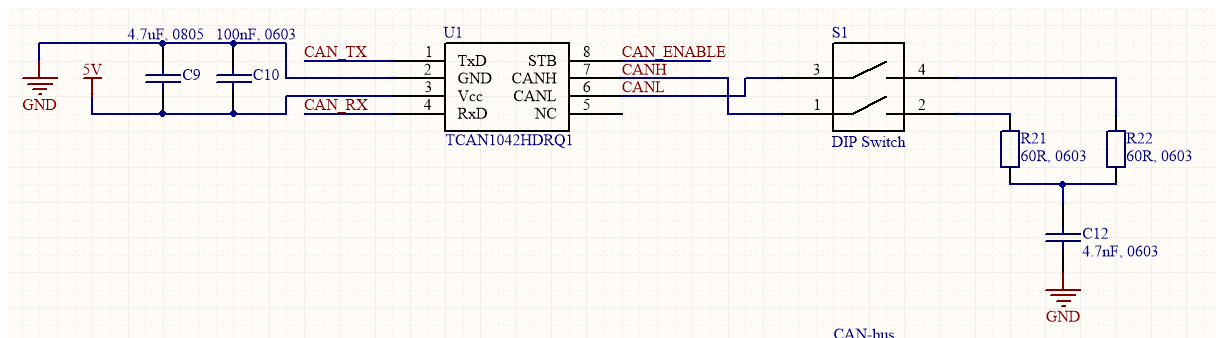
Joonis 16 FEST18 analoogskeem

2.3 Muutused digitaalosas

Digitaalosas sai otsustatud sel aastal eraldi digitaalskeeme mitte teha, kuna väga vähe oli nuppe ning LED indikaatoreid, millega armatuuril peaks tegelema ning kuna pikalt ei olnud päris kindel, kas sellega peaks tegelema sensoorika või kuvaekraani plaat, siis sai otsustatud igaks juhuks lisada samasugused universaalsed skeemid, mida kasutati ka FEST17 sensrooikaplaadil (Joonis 4). Sellised skeemid võtavad küll pisut rohkem ruumi lisakomponentide arvelt, kuid on see eest äärmiselt paindlikud ning toimivad nii sisendite, väljunditena ning seda nii 3V3 kui ka vajadusel läbi pingejaguri kõrgematel pingetel.

2.4 Muutused CAN-BUS suhtluses

Kuna FEST17 ehituse ning testimise käigus sai lõplikult selgeks, et suured anomaalsed häiringud CAN võrgus oli tegelikkuses suures osas tingitud mootorite kontrolleritest tulevast müra-st siis tuli vormelile luua mitu eraldiseisvat CAN võrku, kus müra-rohked kontrollerid oleksid teisi prioriteetseid andmeid kandvatest sõnumitest eraldatud. See aga võimaldas ära kaotada nii eraldi CAN võrgu maanduse kui ka ruuminõudva CAN transiiveri, mida eelneval aastal sai kasutatud.



Joonis 17 FEST18 CAN suhtlusskeem

Seega sai sel aasta otsustatud Texas instrumentsi poolt toodetava CAN transiiveri kasuks (Joonis 17). Antud transiiver on spetsiaalselt disainitud automotiivkasutuseks, mis tähendab, et kiip peaks kenasti taluma nii vibratsioone kui ka temperatuuride kõikumisi, mis vormelis nagu ka igas teises automotiivsõidukis on täiesti tavaliseks nähtuseks. Samuti osutus antud kiibi valiku tegemisel määravaks faktoriks tema sobivus kõrgeteks andmeedastuskiirusteks. Kuna meie kasutame klassikalist CAN võrku tema maksimaalsel 1Mbps kiirusel, siis on ka kiibi disainis arvesse võetud sobivus suurteks andmeedastuskiirusteks meie kasuks.

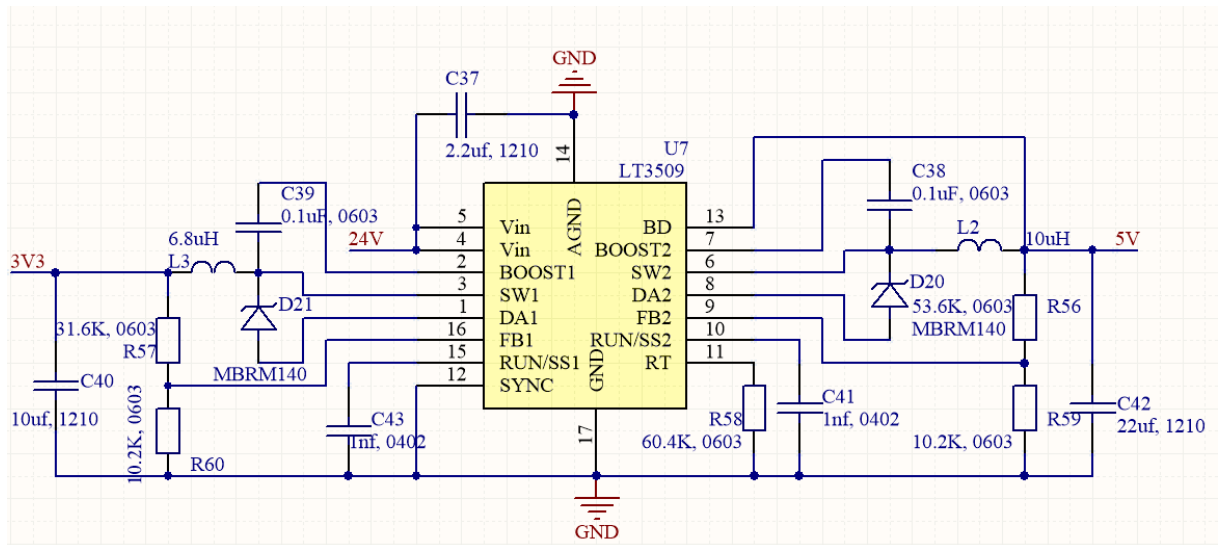
Kuna vormeli CAN võrku on iga aastaga ühendatud aina rohkem ja rohkem seadeid, siis juba eelmisel aastal tekkis testimisel esialgu probleeme välja selgitamisega, milline seade on siini esimese ja milline tagumises otsas, kuna testimise käigus tuli pidevalt mõni moodul vahepeal eemaldada ning aeg-ajalt jällegi tagasi panna, mis tekitas olukordi, kus võrgu terminaatoreid ei olnud piisavalt või nad olid paigutatud siinil valesse kohta ning sellest tingituna tekkisid signaali peegeldumised, mis häirisid võrgus andmeedastuse töökindlust. Varasemalt oli selle tarbeks alati kõigil plaadile lisatud pin headeri paar, kuhu otsa sai vajadusel lisada jumperi, mis siis 120 oomise takistiga skeemi CANH ning CANL liinide vahel ühendas. Keset Rapla kardirada või võistlusel

olles oli aga pidevaks probleemiks, et küll olid need pin headerid kadunud või siis olid ainult vale mõõduga jumperid meil laos olemas või veel mõni kolmas häda, mis pidevalt aega nõudis. Kuna selgus elektroonikapoes sirvides, et saada on ka vaid mõne millimeetri suuruseid DIP-lüliteid [6] siis tekkis idee pin headerid skeemist ära kaotada ning lülitiga asendada. See otsus tegi hilisema testimise käigus elu tunduvalt lihtsamaks. Samuti sai ka seekord taas tavalise 120 oomise terminaatori asemel split terminaatorit kasutatud, vähendamaks müra CAN siinil.

2.5 Muutused toiteahela disainis

Kui eelmisel aastal kasutati mikrokontrolleri üld ning analoogtoiteks eraldi LDO tüüpi pingeregulaatoreid, mille väljundpinge on teadupärast impulss regulaatoriga võrreldes stabiilsem siis tekkis idee FEST18 disainis proovida teistsugust lähenemist. Toiteosa kompaktsemaks muutmiseks õnnestus leida kahe väljundiga seadistatav Linear technology pingeregulaator „LT3509“ (Joonis 18). Valitud regulaator suudab lülituda kuni 2.2 MHz sagedusel ning omab sisemist power switch transistori, mis annab talle äärmiselt madala pingelangu ning kuni 95% suuruse efektiivsuse. Nii suurt efektiivsust senroorikaplaadil antud pingejagurist paraku küll kätte ei saa, kuna 24V kõrgune sisendpinge teeb oma töö ning ka töökindluse mõttes otsustasin mitte kasutada maksimaalselt 2.2MHz, vaid tootjapoolt testitud 700Khz lülitussagedust. Küll aga vaatamata sellele peaks andmelehte uskudes [7] jääma efektiivsus siiski 70% lähedusse, mis niivõrd kõrge sisendpinge juures ei ole üldse paha. Samuti arvestades, et plaadi voolu kogutarve ei ületa reaalsuses halvimal juhul isegi 200mA, siis 30% sellest 3V3 või 5V juures soojusesse lasta on maksimaalselt $200\text{mA} * 0.3 * 24\text{V} = 1.44\text{W}$. Selline soojushulk on niivõrd minimaalne, et ühtegi probleemi see plaadi töös kindlasti ei tekita. Samuti ei ole ka põhjust nii väikse soojushulga puhul muretseda jahutuse pärast arvestades, et trükkplaati kasutatakse välistes tingimustes, kus karmimatel võistlustel Ungaris ei ületa välistemperatuur 35 kraadi. Kvaliteetsele trükkplaadile ning komponentidele ei valmista niisugune temperatuur erilisi probleeme. Kindlasti temperatuurist tingitud takistite väärtuse muutusest võivad pisut nihkuda andurite kalibratsioonid ning samuti ka pingejaguri tagasiside või lülitussagedus

regulatsiooni takisti, kuid ühtki kriitilist olukorda, mis võiks trükkplaadi täielikult rivist välja viia ning vormeli seisata selline temperatuur tekitada ei suuda.

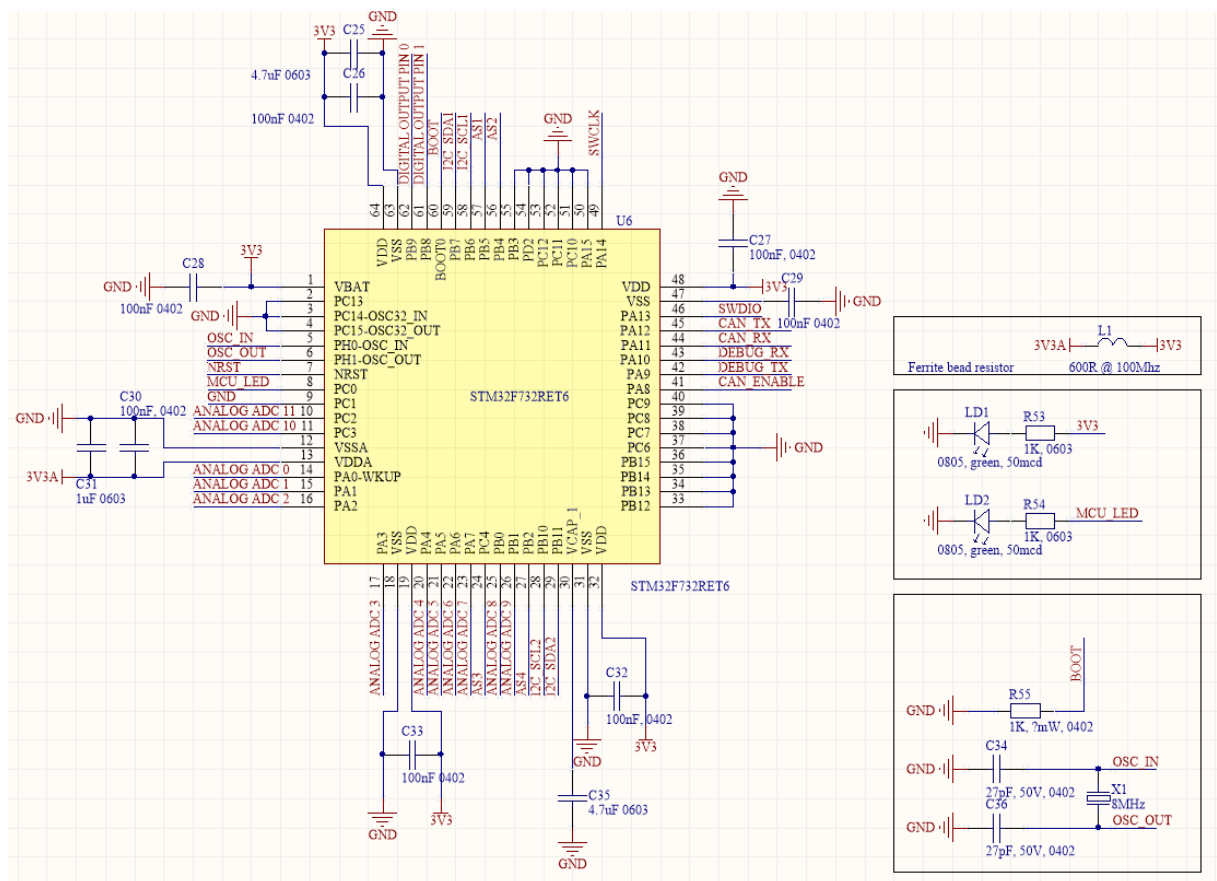


Joonis 18 FEST18 toiteskeem

Komponente sisse joonistama asudes selgus õige pea, et tootjapoolsed soovituslikud induktiivpoolid on äärmiselt suured ning nende kasutamine arvestades, et regulaator ei tööta iial täisvõimsusel oleks täielik ruumi raiskamine. Õnneks oli Lineari andmelehes [7] antud ka valem sobiliku induktiivpooli arvutamiseks. Nii sai reaalselt maksimaalse mõnesaja millimapri suurust voolutarvet arvestades välja arvatud, et näiteks 6*6mm L3 induktiivpooli saab asendada 2x1.6mm induktiivpooliga. Samade mõõtudega L2 induktiivpooli aga 3.2x2.5mm komponendiga. Selle arvelt sai plaadil suure võidu mitte ainult ruumi aga ka müra osas, mis induktiivpoolidelt kõrgetel lülitussagedustel eraldub. Ülejäänud komponendid olid enamasti tagasiside või silumiskondensaatorid, mille arvelt ei olnud suurt võitu müra osas loota. Enamasti sai kasutatud 0603 komponente, kuna neid on käsitsi veel mugav joota. Väga väikse mahtuvusega kondensaatorite puhul kasutasin ka 0402 korpust. Väljundites on eelistatud siiski pigem suurema korpusega kondensaatoreid, et kindlasti tagada väljundites järsu tarbe tekkimisel piisav varu, et säilitada väljundpinge stabiilsus.

2.6 Mikrokontroller

Mikrokontrolleri valikul sai suure edasimineku otsustatud STM32F7 seeria mikrokontrolleri kasuks. Üleminek järgmisele seeriale tuli meeskonnas kollektiivse otsusena. Kuna eelmisel aastal disainitud kuvaekraani sooviti edasi arendada LCD kujule ning ka kiirendusandurite edasiarendus eeldas rohkem I2C väljundeid sai otsustatud, et kogu meeskond läheb sel hooajal üle F7 seeria mikrokontrollerile. Nagu andurite tabelist (Tabel 2) võib näha, siis vähenenud analoogsisendite arv võimaldas kasutada kõike väiksemat 64 jalaga mikrokontrollerit. Samuti on 64 jalasel F7 seeria mikrokontrolleril juba 2 I2C kanalit, mis võimaldas kasutada eelmise aastaga võrreldes juba nelja kiirendusandurit.



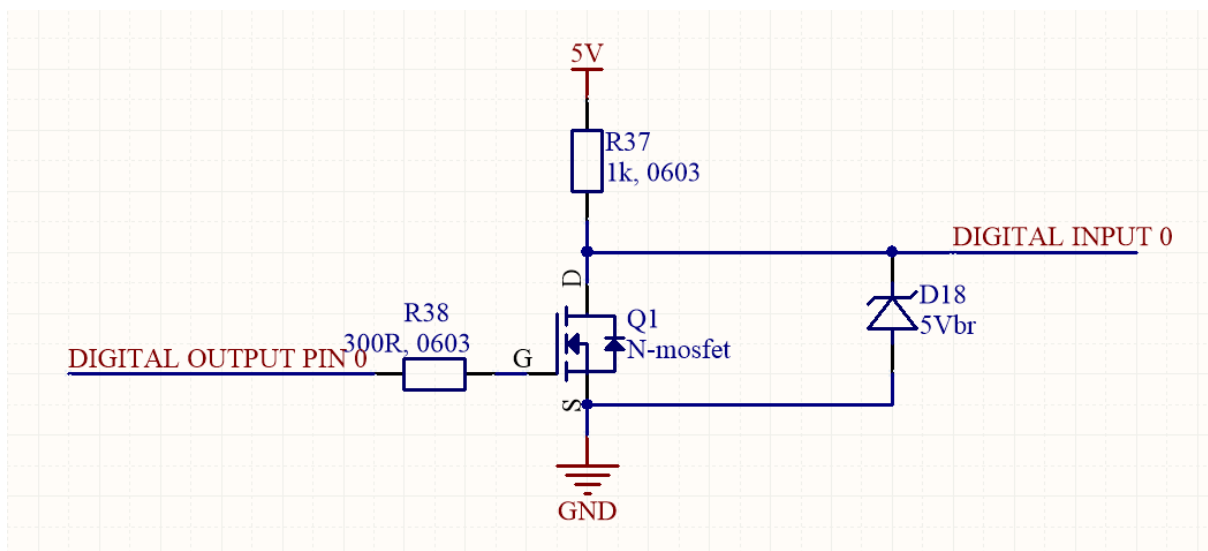
Joonis 19 FEST18 Mikrokontrolleri skeem

Toite stabiliseerimis kondensaatorid said valitud vastavalt mikrokontrolleri tootjapoolsetele soovitudele andmelehes [8]. Lisaks sai mikrokontrolleri analoogtoitele lisatud ferriittakisti, kuna impulss regulaatori puhul on pinges siiski kõrgsageduslikud

häiringud, mida ferriitakistid aitavad siluda [9]. Toite kontrolliks ning koodi silumiseks sai juurde lisatud ka 2 ledi. (Joonis 19)

2.7 Väljundid

Kuna FEST18 ehitusel sai vastu võetud otsus testida ka aktiivset aeropaketti, ehk antitiibu, tuli servomootorite tarbeks kasutada ka mosfet transistore. (Joonis 20) Iseenesest suudab mikrokontroller ka ilma transistorita impulsslaiusmodulatsiooni signaali välja anda, kuid kuna servod, mida soovisime kasutada olid üsna suured ning ükski andmeleht ei andnud täpset infot voolutarbe kohta ei oleks see olnud mõistlik. Samuti kuna savõx SV-1260MG servo [10], mida tahtsime kasutada ei toimi 3V3 pealt oli ainsaks võimaluseks servot 5V toitega lülitada transistor kasutusele võtta.

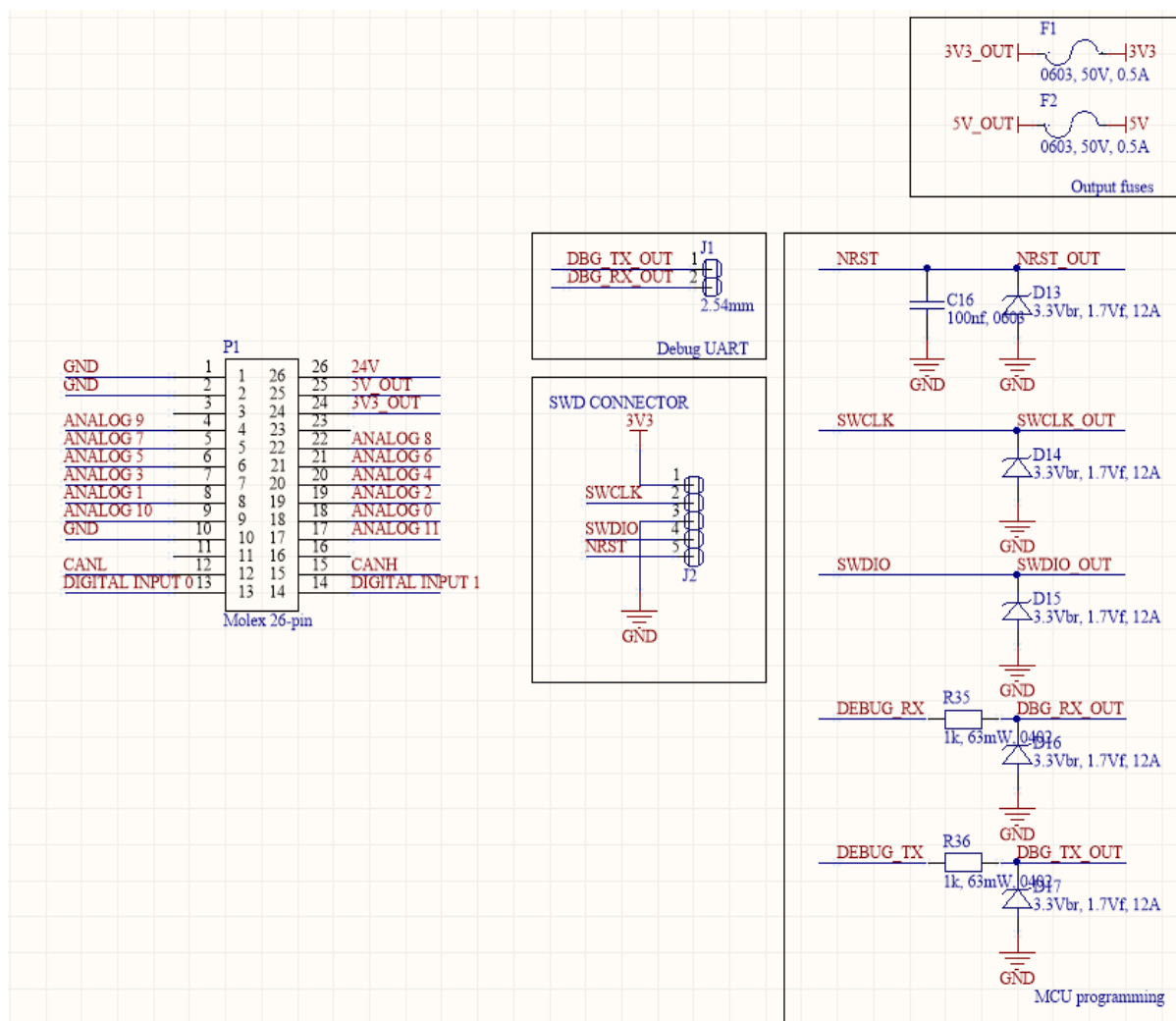


Joonis 20 FEST18 DRS juhtimine

Kuna nagu ülal sai mainitud, täpne servomootori voolutarve oli teadmata siis sai igaks juhuks suure varuga valitud Infineoni N-kanaliga mosfet, mis talub kuni 5 amprit. Ülepinge kaitseks sai lisatud ka TVS diod.

2.8 Pistikud ja kaitsed

Pistikute valikul tuli esmalt arvestada juhtmestajate valitud AWG ratinguga, milleks viimastel aastatel on olnud 22. 2015 aastal sai proovitud ka veelgi peenemaid juhtmeid, kui õige pea sai selgeks, et 22AWG ratingust edasi minnes lähevad juhtmed niivõrd peeneks, et isegi pigistus tööriistadega on neid äärmiselt ebameeldiv kokku pressida ning lisaks sellele tükisid nõnda peened juhtmed äärmiselt lihtsa vaevaga purunema ning seeläbi meeletult peavalu põhjustama. Kaalu võit on küll vormeli ehitusel äärmiselt tähtis, kuid sellest on vähe kasu, kui töökindlus kannatama hakkab.



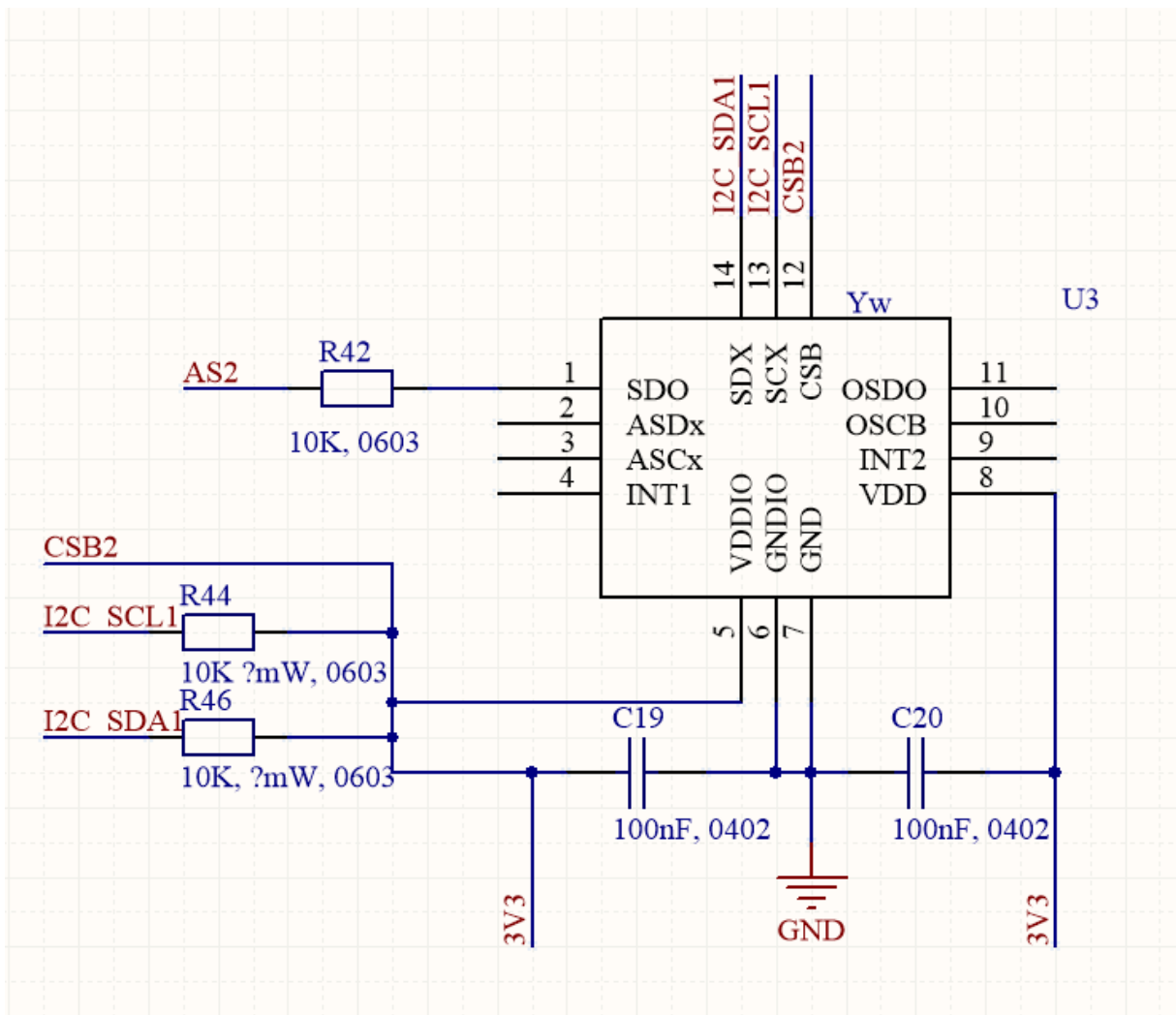
Joonis 21 FEST18 pistikud

Põhipistikuks sai valitud Molexi C-grid seeria pistik (Joonis 21), mida on meeskonnas ka varasematel aastatel kasutatud ning need on end üsna töökindlana tõestanud. Samuti

toodab Molex antud pistikutele kullatud kontakte, mis tagavad väiksema takistuse ning seeläbi täpsema lugemi tänu parasiittakistustest tekkivale pingelangule. Nagu ülal on näha, siis ka programmeerimispistikule sai lisatud igaks juhuks diodid ning NRST signaalile ka tootjapoolt soovitusliku siluva kondensaatori. Lisaks juhuks, kui andureid toitega varustavas juhtemstikus peaks tekkima lühis tuli paigutada nii 3V3 kui ka 5V väljunditele 500mA kaitsmed. Pingeregulaatori mõlema väljundi maksimaalne võimekus on küll tegelikkuses 700mA, aga kuna reaalsuses kogutarve ei tohiks niikuinii sellise piirini kunagi tõusta, siis sai otsustatud ka kaitse valida madalam. Sellisel juhul ei ole ka ohtu, et lühise korral võiks regulaator ise maha põleda. 0603 pakendis kaitset on kordades lihtsam vahetada kui 16 jala ning thermal reliefiga SOIC tüüpi regulaatorit.

2.9 Kiirendusandurid

Kuna eelmisel aastal testitud Boschi BMI160 andur osutus uskumatult töökindlaks, siis tekkis idee lugedes üht artiklit güro andurite lugemite keskmestamisest parema lugemi saamiseks [11]. Idee artiklis oli kaunis lihtne. Kasutada mitut andurit ning nende lugemid seejärel keskmestada. Valitud mikrokontrolleril on iseenesest 3 I2C kanalit. Otsustatud sai siiski selle aasta mudelil kasutada kaht kanalit. Kuna BMI160 anduritel on ka 2 erinevat seadme aadressi, mille vahel saab valida tekkis võimalus juba niigi kasutada kahe kanali peal nelja andurit.



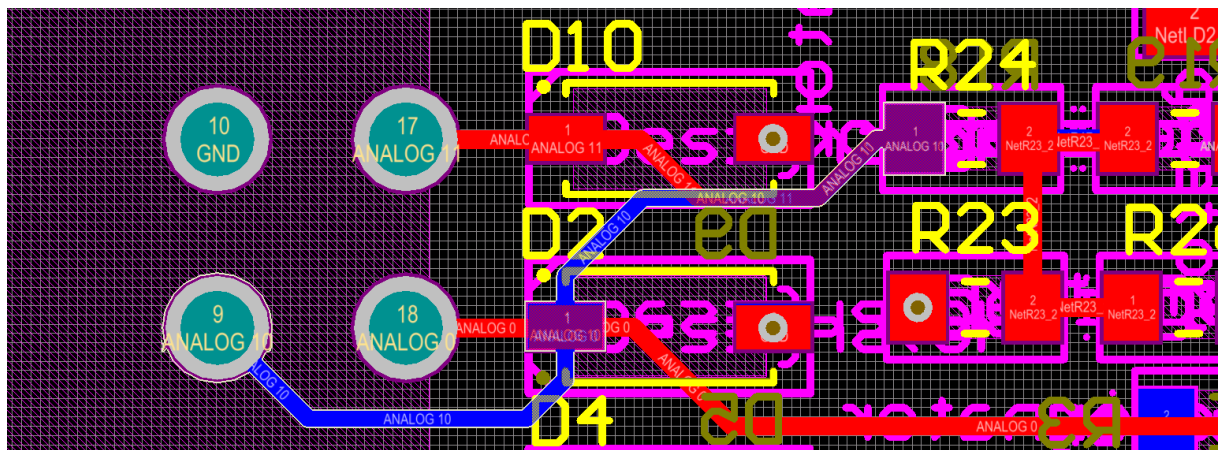
Joonis 22 FEST18 BMI160 skeem

Skeem mida sai otsustatud kasutada (Joonis 22) on võrdlemisi sarnane eelmise aasta omaga. Ainsaks põhiliseks muudatuseks sai „aadressi valiku väljaviik“, mis eelmise mudeli jumperiga valitava võimaluse asemel sai sel mudelil ühendatud läbi 10K takisti mikrokontrolleri GPIO pini külge. Sedasi saab seadme aadressi valida üle tarkvara ning ei pea vajadusel jumpereid ringi tõstma.

2.10 Trükkplaadi disain

2.10.1 Sisendite kaitse

Trükkplaati disainima asudes sai peamist rõhku pandud eelmise aastaga võrreldes võimalikult kompaktselt disaini kuid samas ka mürakindlust adc kanalitele.

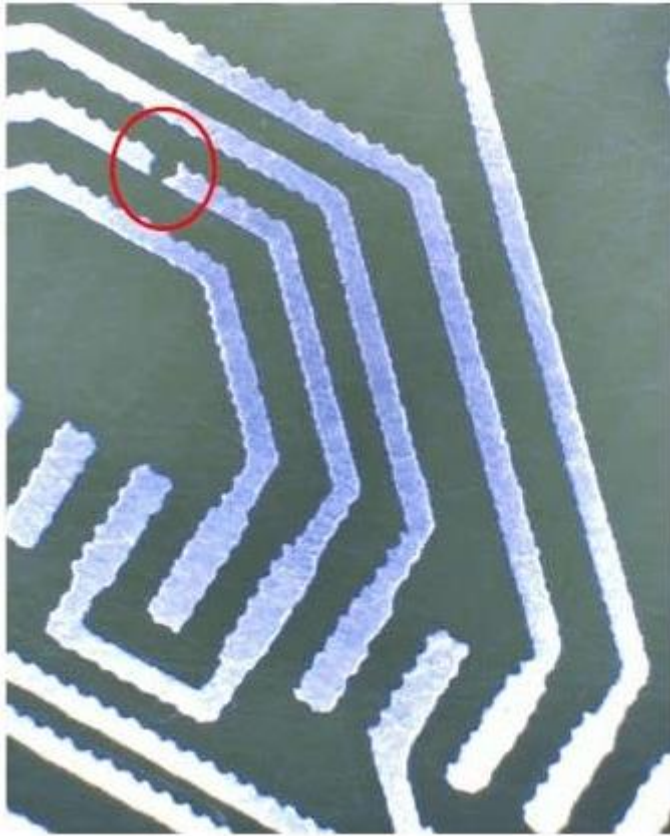


Joonis 23 FEST18 sisendite kaitse

Nagu ülal sai mainitud, siis sel aastal said kõik TVS kaitsedioidid paigaldatud MCU jalgade vahetu läheduse asemel hoopis pistiku vahetusse lähedusse. (Joonis 23) Praktika eelmisel jooajal tõestas, et ülepinge on tõenäolisem tulema pistikust kui elektrostaatikast.

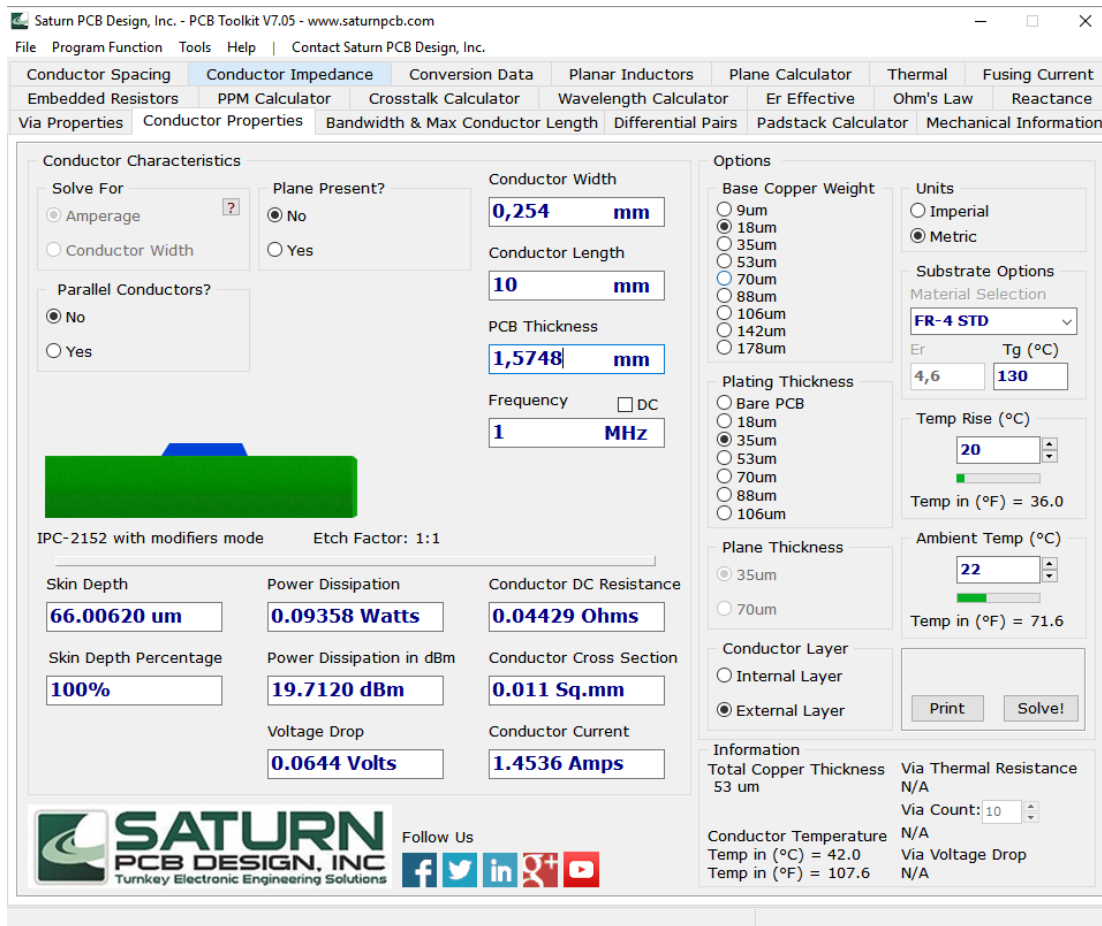
2.10.2 Radade laius

Enamuste radade vedamisel sai kasutatud standardset raja laiust 0.254mm. Antud mõõduga rada on standardsete trükkplaatide disainis saanud heaks tavaks. Alla selle mõõdu hakkab tihtipeale kannatama tootmiskvaliteet, kuna radade söövitamisel suureneb oht, et hävib ka rada ise, või tekib sisse mõni kitsaskoht, mis kannatab oluliselt vähem voolu, kui ülejäänud rada. (Joonis 24)



Joonis 24 Trükkplaadi tootmisdefekt

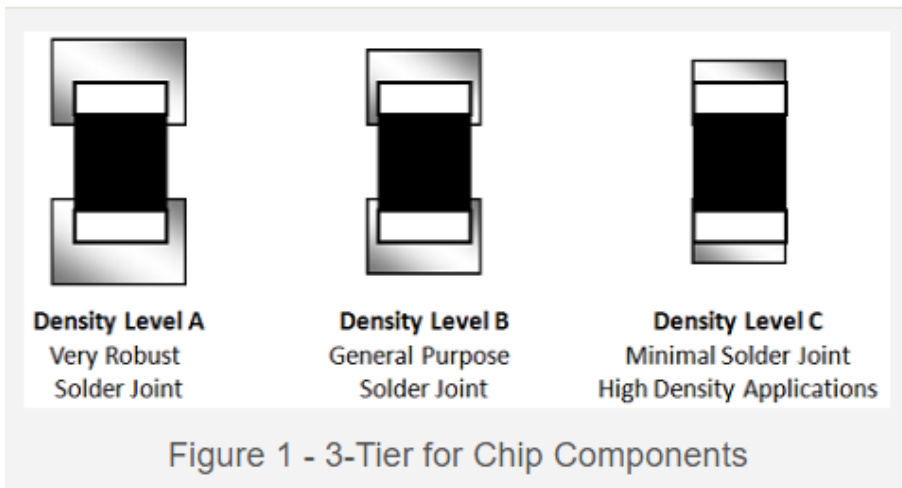
Samuti kasutades trükkplaadi disainiks mõeldud abimeest „Saturn PCB Design“ (Joonis 25) sai välja arvatud, et 0.254mm rada Brandneri tootmistehnika ning 35um vasespaksuse juures kannatab välja 1.45 amprit, mida on niikuinii rohkem, kui pingeregulaator välja suudab anda või 3V3 ja 5V toidetele paigutatud 0.5A kaitsmed välja suudavad kannatada.



Joonis 25 Saturn PCB

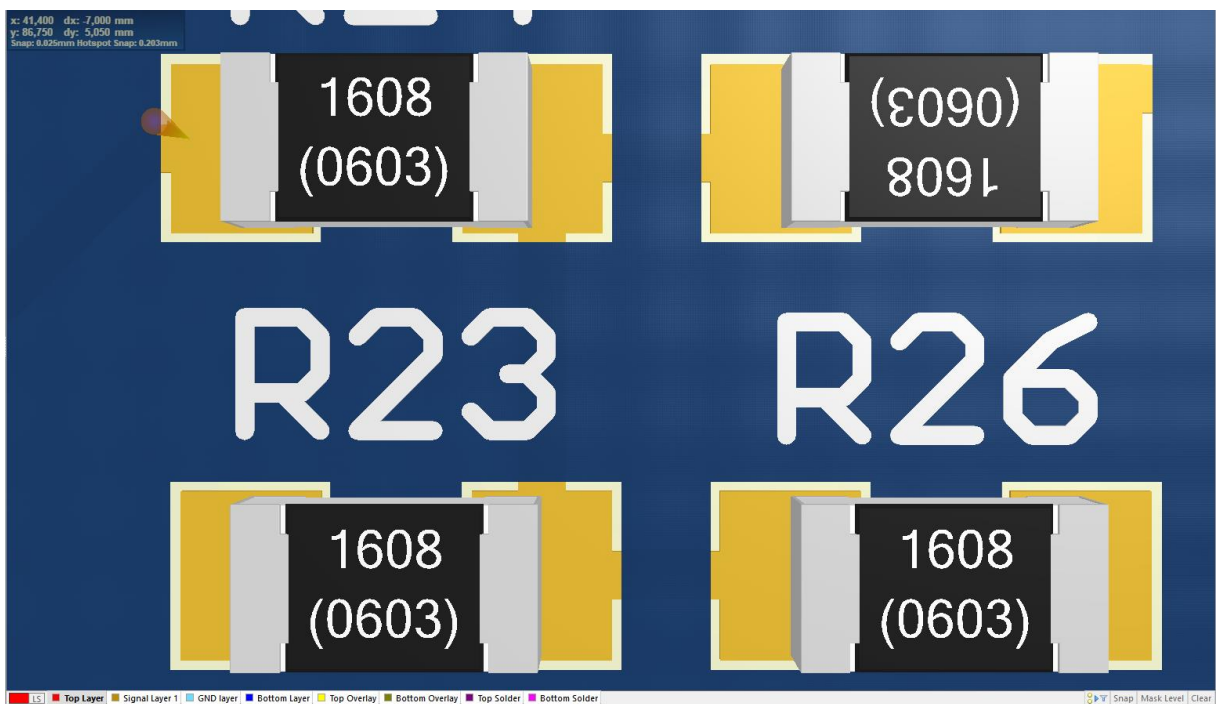
2.10.3 Passiivkomponentide paigutus

Passiivkomponentidele footrpintide loomisel sai otsustatud kasutada kõige väiksemat soovituslikku footprindi suurust võimaldamaks minimaalse paigutusega trükkplaadi disaini.



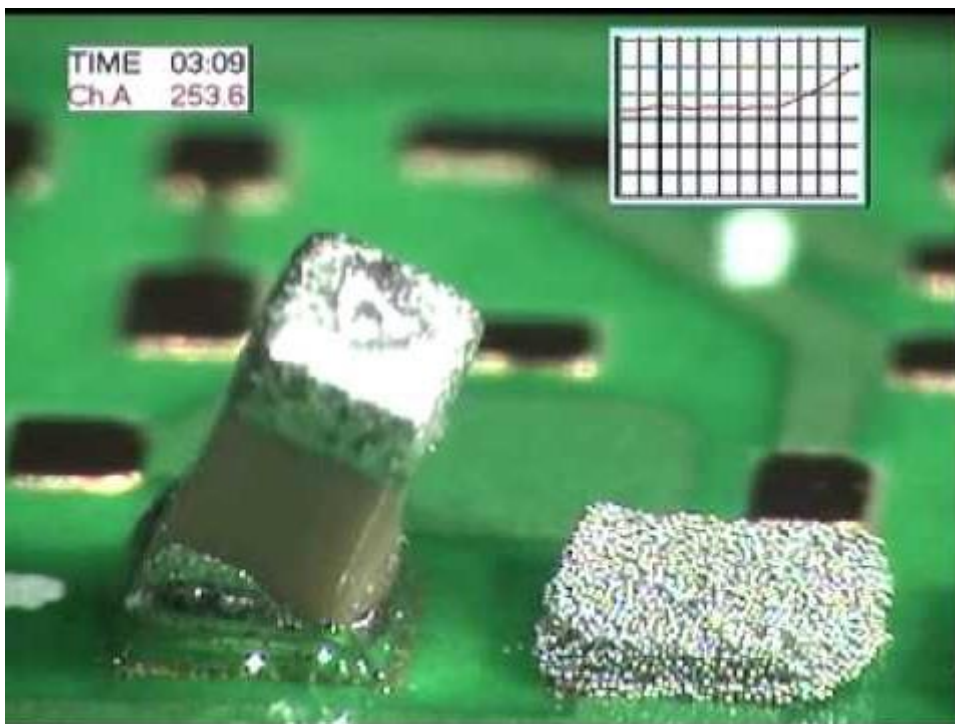
Joonis 26 Footprindi suurusvalikud

Ülal on toodud näide eriensa tihedusega smd komponentide võimalikest vasealade suurustest (Joonis 26). Suurema tiheduse kasuks valitakse tihtipeale, kuna neid on lihtsam käsitsi joota. Kuna meeskonnas on olemas korralik kuuma õhu puhur ning kvaliteetne jootepasta, siis ei olnud põhjust suuremate padide kasuks otsustada, mis omakorda muutis ka radade vedamise kordades lihtsamaks ning võimaldas kompaktsemalt komponente teineteise lähestikku paigutada.



Joonis 27 FEST18 0603 takisti korpus

Ülal on näha passiivide footprindi tolerants (Joonis 27), mis sai valitud antud plaadi disainiks. Hiljem trükkplaati koostades selgus, et valitud tolerantsi oli kenasti ilma suuremate probleemideta võimalik joota. Küll oli mõningasi probleeme 0402 suuruses komponentide jootmisel. Kui ühel padil sulas jootepasta enne, kui teisel, siis tuli vahel ette situatsioone, kus komponent tõusis ühe padi peale vertikaalselt püsti. Käsitsi jootes oli antud probleemi aga lihtne lahendada surudes pintsettidega komponendi tagasi plaadile. Kui mõlemad passiivkomponendi pooled joodise külge võtavad, siis pindpinevus lahendas probleemi [12].



Joonis 28 "Hauakivi" defekt

Väikeste passiivkomponentide jootmisel on tegemist tihti ettetuleva defektiga, mida nimetatakse „Hauakiviks“ (Joonis 28).

2.10.4 Kristalli paigutus

Ossillaatori paigutusel oli reegleid üsna vähe, mida jälgida. 8 MHz on mikrokontrolleri kella sisendiks suhteliselt madal sagedus. Samuti toetab F7 seeria mikrokontroller tunduvalt kõrgemaid kuni 26MHz sagedusi [8]. 8MHz kasuks sai otsustatud, kuna antud sagedus on soovituslik just CAN-BUS võrgu tarbeks [13]. Samuti sai komponentide paigutusel jälgitud STM poolset soovitusist paigutada kondensaatorid ossillaatori vahetusse lähedusse.

Kondensaatorite väärtuse arvutamisel sai kasutatud valemit [14]:

$$CX1 = CX2 = 2(CL - Cstray),$$

kus CL – kristalli mahtuvus

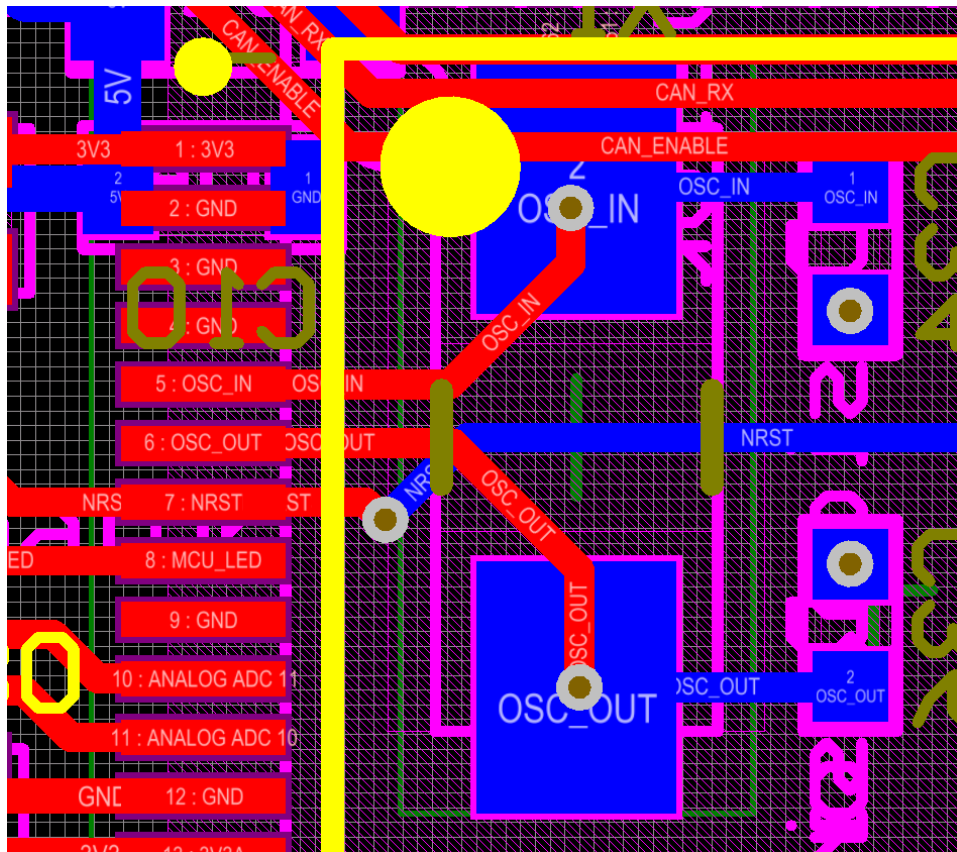
Cstray – ossillaatori skeemis tekkiv mahtuvus, mis jääb enamasti 2-5pF vahemikku.

Arvestatud sai varuga maksimaalset mahtuvust, ehk 5pF.

Seega: $CX = 2(18-5)=26pF.$

Kuna E21 standardile vastavat 26pF kondensaatorit ei eksisteeri sai valitud lähim sobiv variant, ehk 27pF.

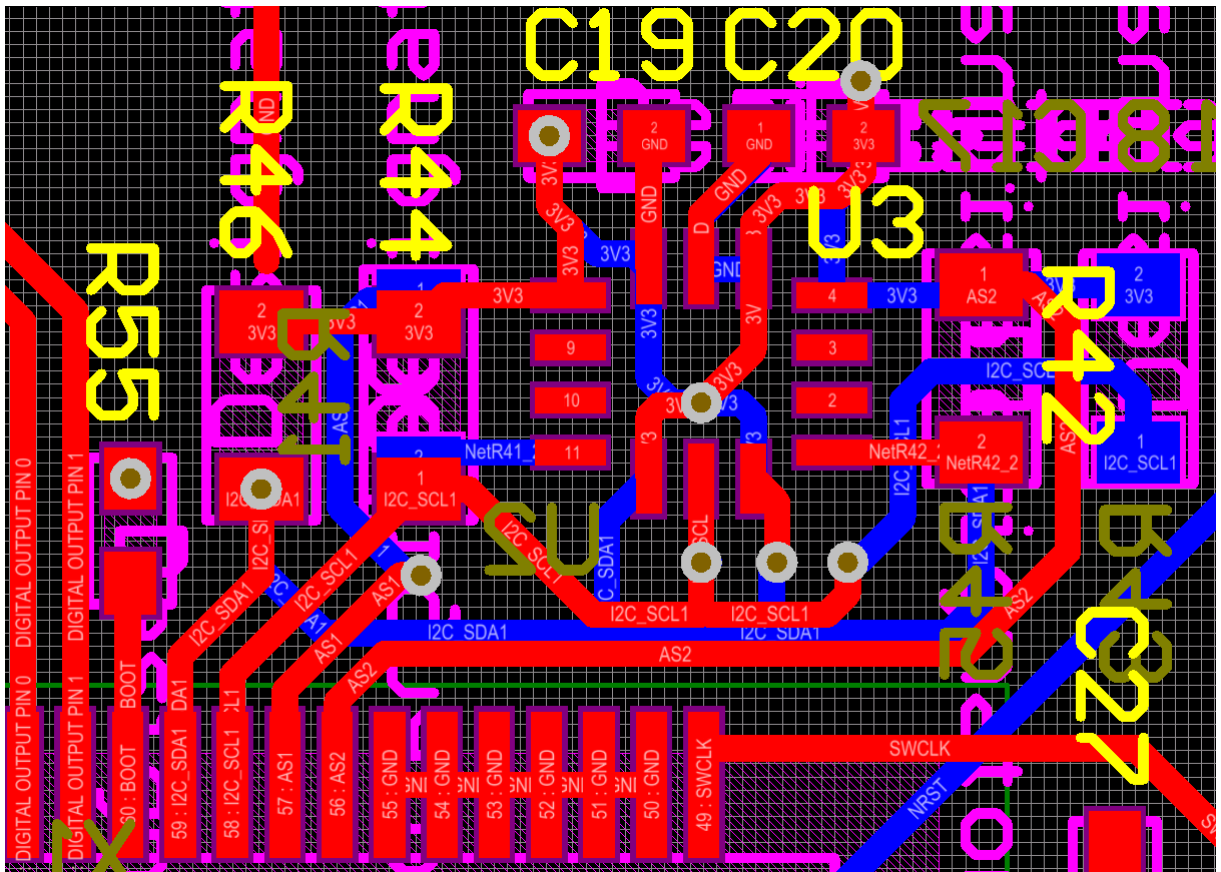
Radade vedamisel sai peetud rõhku, et ei tekiks 90 kraadiseid nurki, kuna täisnurksetes radades tekkiv signaali peegeldus võib häirida ossillaatori signaali. (Joonis 29)



Joonis 29 Kristalli paigutus

2.10.5 Kiirendusandurite paigutus

Kuna kiirendusanduri disainiks erilisi juhtnööre andmelehes [2] ei olnud, siis sai otsustatud kondensaatorid lihtsalt võimalikult lähedale andurile paigutada. Samuti tuli kõik 4 andurit paigutada teineteise suhtes samal tasapinnal kas identselt või täpselt 90 kraadise sammuga. Kuna andur teostab mõõtmised x, y ja z telje suunas, siis oleks näiteks 45 kraadise rotaalse nihkega paigutatud anduri puhul tarvis teiste anduritega võrdse lugemi saamiseks kahe telje lugemi keskmist arvutada, mis vähendaks täpsust. 90 kraadise nihke puhul aga on üsna lihtne telgede nimed ümber defineerida või 180 kraadi puhul miinusega läbi korrutada.



Joonis 30 Kiirendusandurite paigutus

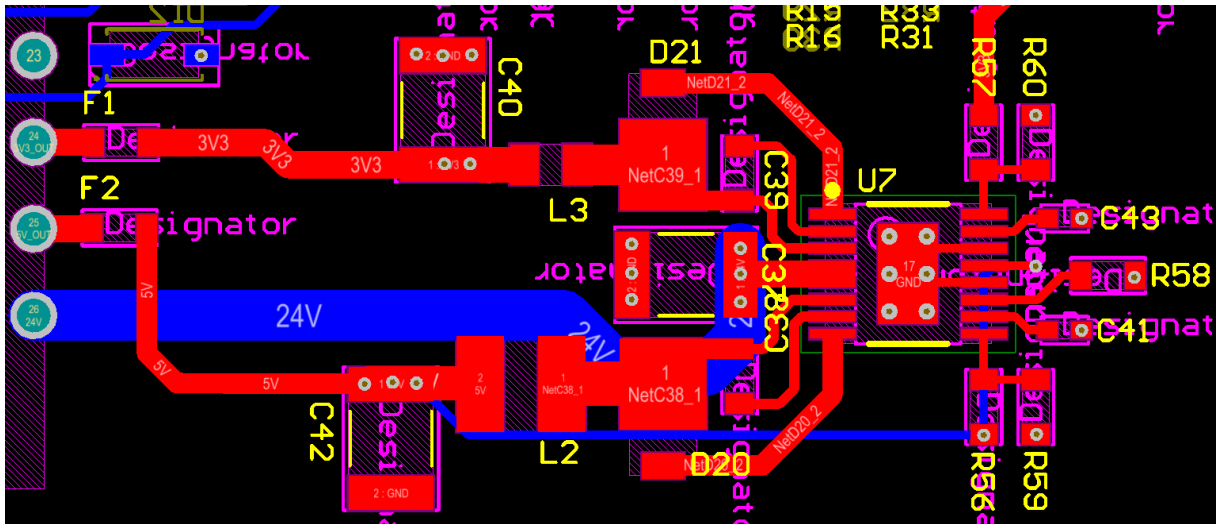
Ruumi kokkuhoidmise mõttes sai andurid paigutatud teineteise alla trükkplaadi üla ja alakihile. Nagu jooniselt on näha (Joonis 30), siis said kitsastes kohtades lisatud viad. Osad suisa padide peale, mis masstootmisel ei ole alati mõistlik, kuna via sisse läheb kaduma osa lisatud jootepastast, mistõttu võib komponendile jääda liiga vähe joodist. Samuti tükivad viadega padidel olevad komponendid jootmisel püsti tõusma (Hauakivi). Kuna tegemist ei ole aga masstootmisega, ning kõik komponendid inspekteeritakse tootja poolt visuaalselt, siis ei olnud vajadust sellega siinkohal arvestada.

Lisaks on jooniselt 30 näha, et kõik mitte kasutusse minevad padid said ühendatud massi, kuna tootjapoolt oli soovituslik neid mitte hõljuma jätta.

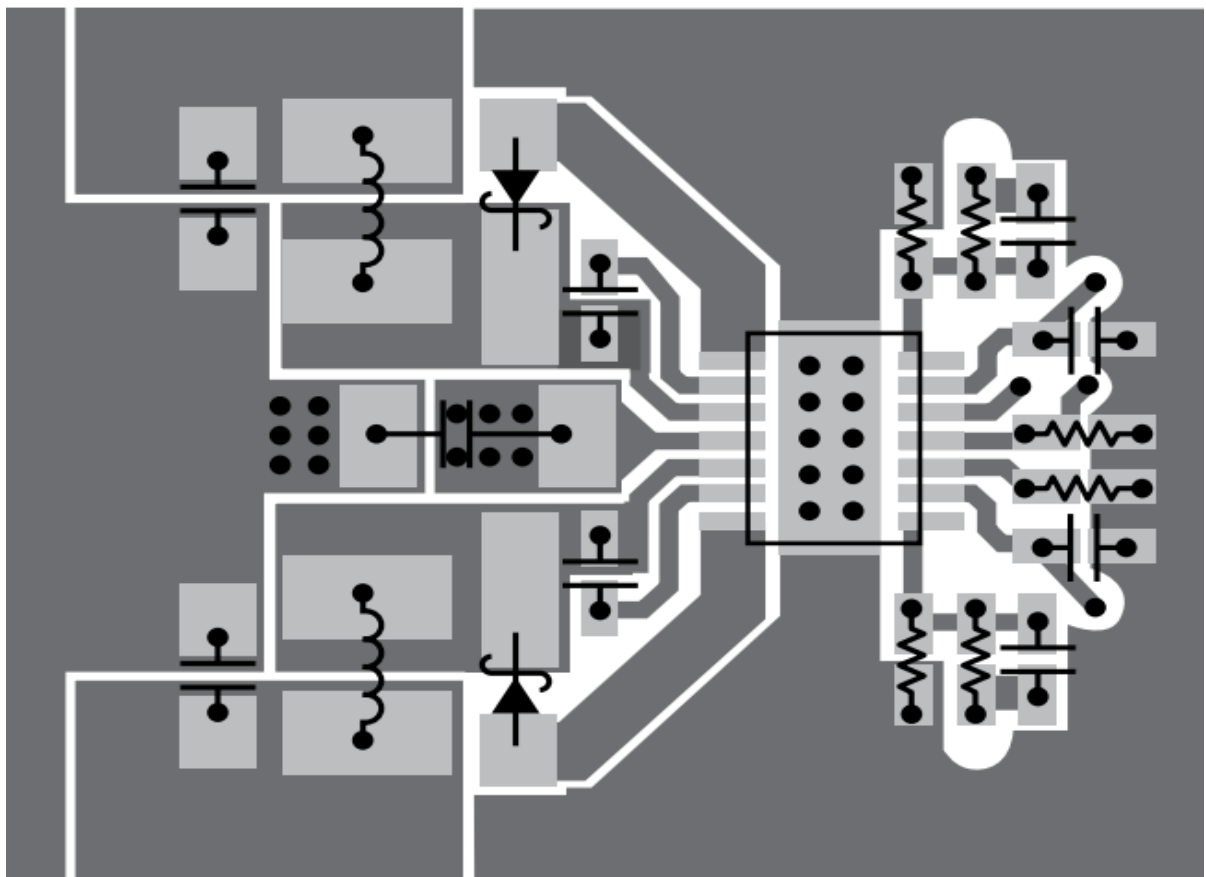
Kõik 4 kiipi said paigutatud eri nurga alla, et lugema hakates saaks infot mitte ainult neljalt eri kiibilt, vaid ka samale suunale kahelt eri teljelt positiivses ja negatiivses suunas lugeda, mis omakorda suurendaks keskmestamise täpsust.

2.10.6 Toiteahel

Toiteahela disainimisel sai paigutuse osas suuresti lähtunud tootjapoolsetest soovitustest (Joonis 31).



Joonis 31 Pingeregulaatori tegelik paigutus

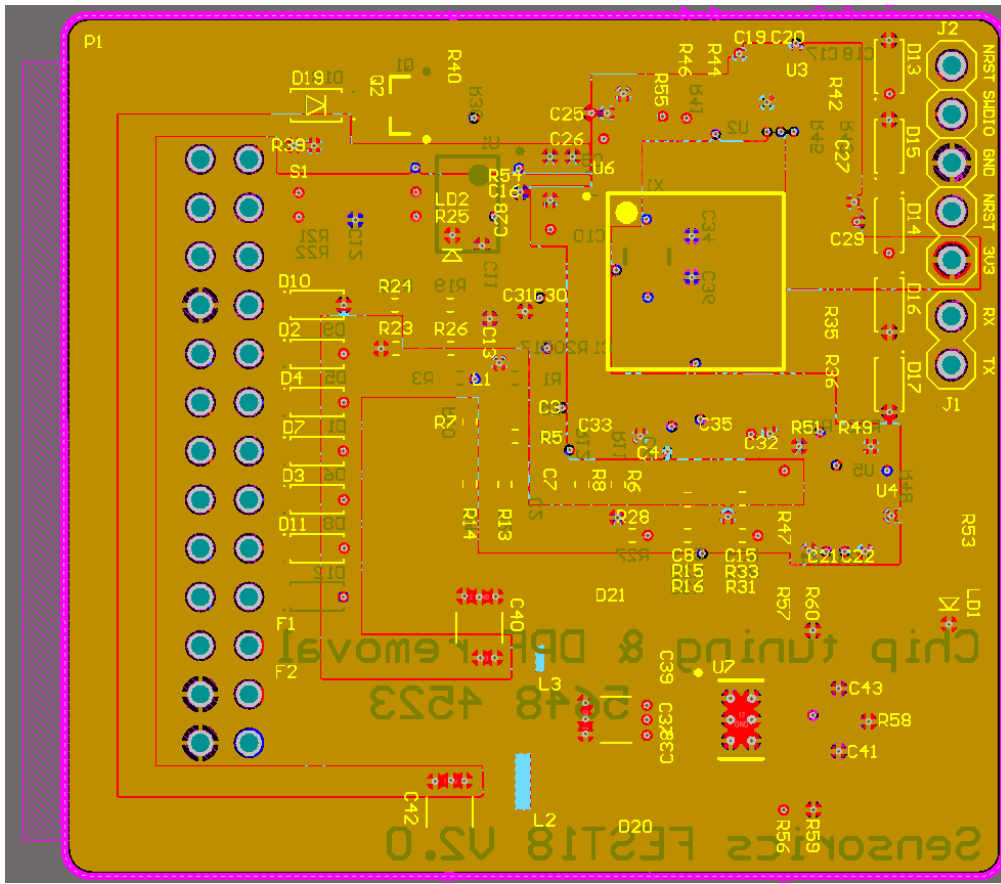


Joonis 32 Pingeregulaatori soovituslik paigutus

Nagu ka piltidelt Joonis 31 ja Joonis 32 võib näha, siis vastavalt teoreetilisele volutarbele välja arvatud induktiivpoolid (L2 ja L3) on tunduvalt väiksemad, kui tootjapoolsel soovituslikul paigutusel (Joonis 32). Selle arvelt tuleb märgatav võit nii kompaktsuse kui ka müra arvelt. Radade vedamisel sai vastavalt mikrokontrolleri jalgadele 0.3mm ka rajad veetud sama laiusega. Suuremate komponentideni jõudes sai rajad varuga suuremad tehtud, et vähendada rajas tekkivat parasiitakistust, mis ka lühise tekkimisel võiks temperatuuri rajas ühtlasemalt hajutada ning maksimaalset vähendada. Teoorias küll mõlemale väljundile paigutatud kiiretoimeline kaitse (F1 ja F2) peaks seadet lühisekorral kaitsma, kuid kuna ajatelje suhtes ideaalset kaitset pole olemas, siis lühise tekimisel peavad rajad siiski lühikese aja vastu pidama, mistõttu saidki pingeregulaatori rajad varuga pisut laiemad tehtud.

2.10.7 Polügoonid

Ühtlasema toite, radade ning müra vähendamiseks said kõik vabad vasealad plaadil kaetud polügoonidega. Brandneriga sponsorkorras on tudengivormelil igal aastal lubatud tellida kokkuleppelise hinna piires 4 kihilisi trükkplaate, mis pani paika ka kihtide arvu. Kõik signaalid sai püütud vedada peamistel kihtidel ning toite jaoks kasutatud sisekihti, et vähendada võimalust toitesüsteemi lühistada. Samuti sai üks sisekiht jäetud täies mahus massi tarbeks, et plaadi kõikidel komponentidel oleks alati väga hea ühendus maandusega. TVS diodide puhul on see näiteks väga oluline, kuna lühise puhul on tähtis, et vool võimalikult kiirelt ning otse maandusesse pääseks. Kui diodi maandus näiteks läbi peenikese vaseraja loogeldes vedada, siis ülepinge korral on oht, et rajal oleva suure parasiitakistuse tõttu ei pääse vool kohe maandusesse või põleb see rada mõne hetkega suisa läbi ning ülejäänud ülepinge lõpuks teeb ikkagi oma töö ning hävitab plaadil mõne tähtsa komponendi.



Joonis 33 Toitepolügoon

Joonis 33 on näha, kuidas 3V3 ning 5V toiteosa on sisemisel polügoonil veetud eraldi laiade vasealadega, kust toide edasi läbi viade vajalike komponentideni pääseb. Kõik ülejäänud vabad alad kõikidel kihtidel on jäetud massiks. Nagu induktiivpoolide L2 ning L3 alt on näha, siis mõlema induktiivpooli alt sai esimesel kahel kihil eemaldatud vask, et induktiivpoolil tekkiv magnetväli ei saaks mõju avaldada enda all asuvatele vasekihtidele ning seeläbi põhjustada häiringut kogu plaadil.

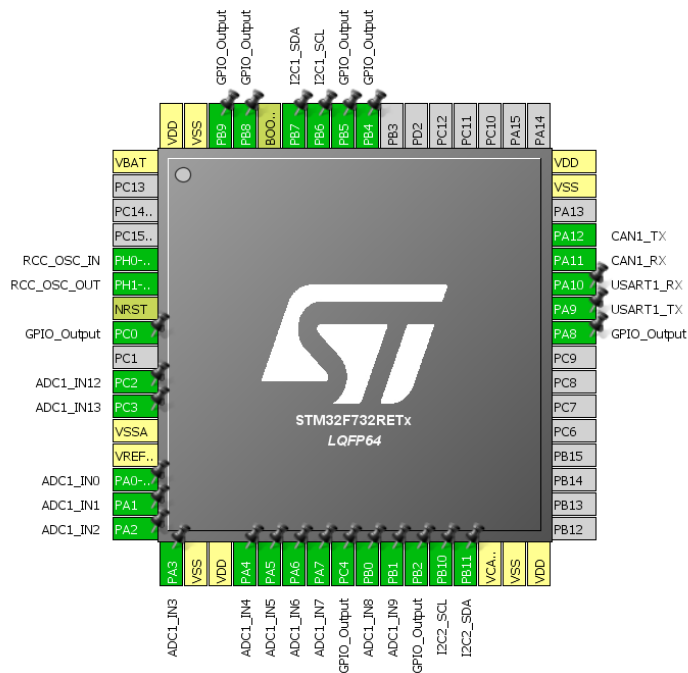
3 PROGRAMMEERIMINE

Programmeerimisel sai kasutatud tarkvara „Atollic truestudio“ koos välise mcu programmeerimist võimaldava programmaatoriga „STM32 Nucleo“. Nucleo puhul ei ole küll tegemist kõige professionaalsema programmaatoriga, mis on saada, ning üle JTAG-ühenduse ei ole ka võimalik piiramatus koguses breakpointe koodi silumisel kasutada, kuid arvestades, et igale meeskonna elektroonikule on üht vaja, siis Nucleo, on parim kompromiss, mida meeskonna eelarve võimaldab.

3.1 Teegid

Varasemalt oli F4 seeria mikrokontrollerite tarbeks meeskonnal aastatega välja töötatud omad teegid kõikide vajalike protokollide ning mikrokontrolleri funktsioonide tarbeks. Kuna F7 seeriale üleminekuga teegid enam ei klappinud tuli kiiresti uus ning töökindel lahendus välja mõelda. Siinkohal otsustasime kasutada STMi poolt viimastel aastatel välja töötatud STM32cubeMX kasuks. CubeMX kujutab endast graafilise liitega tarkvara, kus kasutaja saab valida, mikrokontrolleri, mida soovib kasutada. Seejärel defineerib kõik töösse minevad jalad ning protokollid, millega iga jalg peab suhtlema ning seejärel genereerib cubeMX ise iga protokollide tarbeks toimivad baasteegid, mis jätab kasutajale laias laastus vaid koodi funktsionaalsuse implementeerimise. See

muutis meeskonnale ülemineku F4 seerialt F7 seeriale lihtsamaks (Joonis 34).



Joonis 34 CubeMX konfiguratsioon

3.2 I2C

Boschi kiirendusanduritega suhtlemiseks tuli kasutada I2C protokoll. Mikrokontrolleri käivitumisel tuli esmalt andurid initsialiseerida. Selleks tuli pöörduda tootjapoolt antud kiibi aadressi poole, ning kui kiip tunnistab sõnumi kättesaamist, siis edasi küsida tema staatust, ning seejärel panna paika mõõtevahemikud, edastades kiibile tootjapoolt antud aadressidel kindlad väärtused. Näiteks güroskoobi mõõtevahemik (Joonis 35).

Name	Register (0x43) GYR_RANGE			
Bit	7	6	5	4
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W
Reset Value	0	0	0	0
Content	Reserved			
Bit	3	2	1	0
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W
Reset Value	0	0	0	0
Content	reserved	gyr_range<2:0>		

range[2:0]	Full Scale	Resolution
'000'	±2000°/s	16.4 LSB/°/s ⇔ 61.0 m°/s / LSB
'001'	±1000°/s	32.8 LSB/°/s ⇔ 30.5 m°/s / LSB
'010'	±500°/s	65.6 LSB/°/s ⇔ 15.3 m°/s / LSB
'011'	±250°/s	131.2 LSB/°/s ⇔ 7.6 m°/s / LSB
'100'	±125°/s	262.4 LSB/°/s ⇔ 3.8m°/s / LSB
'101', '110', '111'	reserved	

Joonis 35 BMI160 I2C juhend

Pärast seda aga muutus asi juba lihtsamaks. Edasi tuli mikrokontrolleri poolt andurile edastada lihtsalt 0x04 aadress, mis on alguspunktiks vajalikele andmetele, mida soovitakse lugeda, millepeale andur vastab andmelehel oleva registersi alusel andmetega, alustades aadressist 0x04, kus asuvadki vajalikud andmed. Enne andmete lugemist tuli muidugi ka kindlaks määrata, et mõlemal seadmel on aktiveeritud erinevad aadressid, kuna ühe I2C siini peale sai pandud 2 andurit, siis tuli GPIO juhtimisel kummagile eri aadressid valida.

3.3 CAN-BUS

Can-bus protokolliga oli asi võrdlemisi lihtne. Tuli cubeMX poolt genereeritud teek initialiseerida, ning sealt edasi lihtsalt ADC abil andmed anduritest sisse lugeda, kalibreerimine teostada ning edasi can sõnumipaketiks kokku pakkida ning CAN sõnumite puhvrissse lisada, kust CAN protokolliga teek neid ise juba järjest teele (Joonis 36).

```
CAN_msg msg;
msg.id = 0x400;
msg.ide = IDE_STD;
msg.rtr = RTR_DATA;
msg.len = 8;

msg.data[0] = throttle_pos1;
msg.data[1] = throttle_pos2;
msg.data[2] = brake_pos;
msg.data[3] = buttons_state;
msg.data[4] = steering_pos;
msg.data[5] = steering_pos << 8;
msg.data[6] = brake_pressf;
msg.data[7] = brake_pressr;

can1_transmit(&msg);
}
```

Joonis 36 CAN sõnumi saatmine

Identifikaatorid kõigile võrgus olevatele sõnumitele said eelnevalt meeskonnaga kokkuleppeliselt määratud. CAN identifikaatorite määramisel tuli rõhku panna sõnumite prioriteetsusele. Kuna teadupärast CAN võrgus on eesõigus väikseima identifikaatoriga sõnumil, siis tuli kõige olulisematele sõnumitele ka määrata madalaim identifikaator, et ei juhtuks olukorda, kus masinal esineb mõni kriitiline viga, kuid info ei jõua õigeaegselt kohale, et sõidukit või pilooti ohu eest kaitsta.

3.4 Sündmuse taimer

Täpse ajastuse tarbeks tuli kasutada sündmuse taimerit. Kuna antud mikrokontroller genereerib õigesti ajastatud clocki korral „SysTick_Handler(); “ funktsioonis iga millisekundi järel interrupti, siis sai antud funktsiooni kasutada teise funktsiooni väljakutsumiseks, mis suurendab aja loenduri muutujat ühe võrra ning samaaegselt annaks märku kasutaja poolt soovitud lugemite täitumise korral, et sel juhul saaks mõne funktsiooni välja kutsuda. Näiteks määrata iga CAN paketi saatmissageduse (Joonis 37).

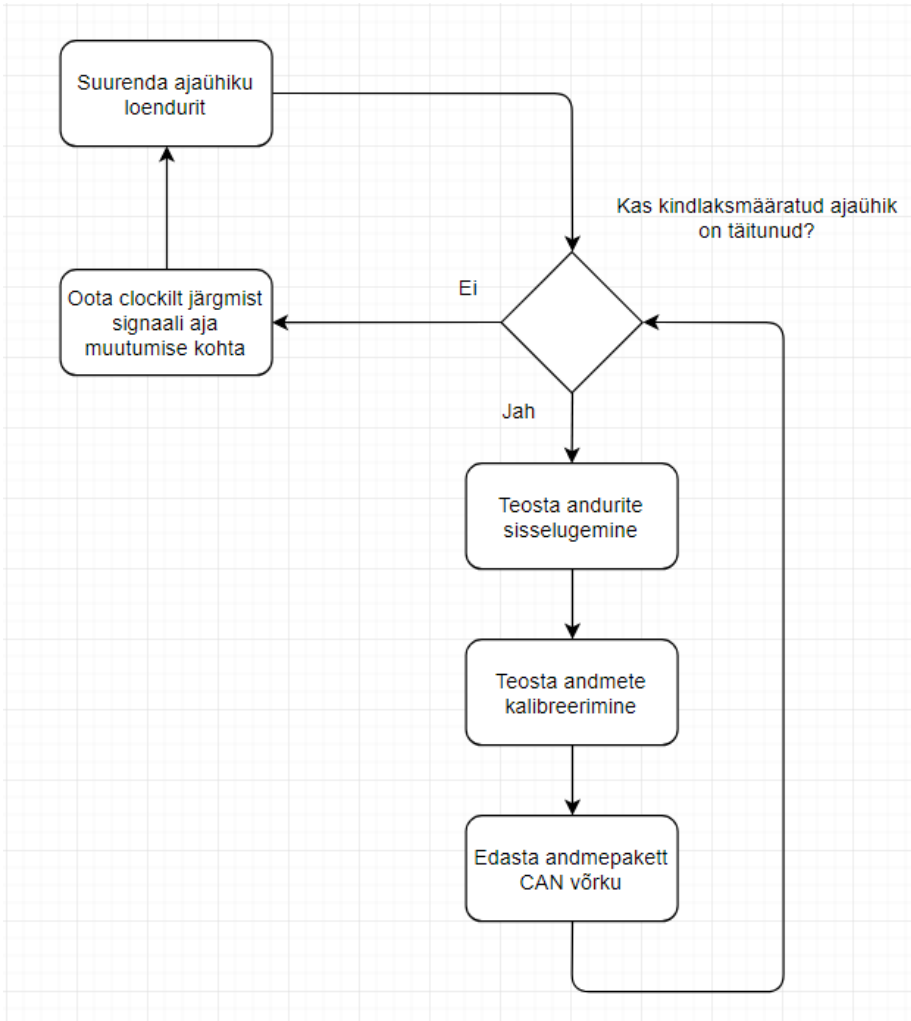
```
217
218
219
220     if(get_event_flag(FLAG_10MS))
221     {
222         adc_process();
223         can_transmit_msg_0x400();
224         update_bosch();
225     }
226
227
```

Joonis 37 Sündmuse taimer

Ülejäänud teegid olid enamuses standardsed, ega vaja lähemat peatumist täpsemaks selgitamiseks.

3.5 Koodi üldine ülesehitus

Pärast kõikide andurite ning protokollide töölesaamist ning initsialiseerimist oli edasine koodi ülesehitus ning tööpõhimõte juba suhteliselt lihtne (Joonis 38).

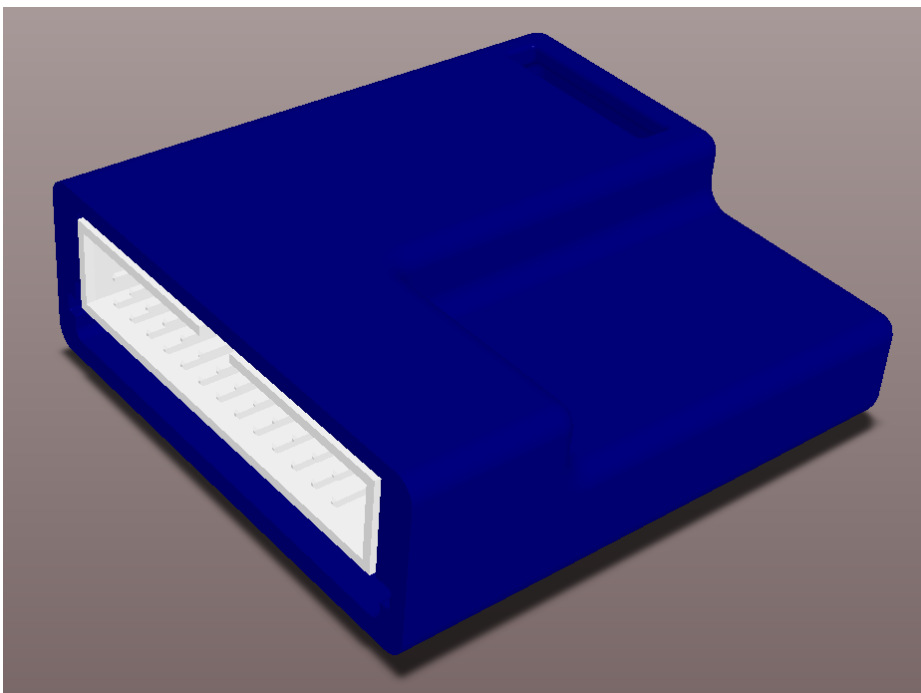


Joonis 38 Koodi üldine funktsionaalsus

Kood ootab erinevate pikkustega ajaühikute täitumist, millele järgneb vastava sagedusega saadetava CAN sõnumi sisuks mõeldud andmete sisselugemine erinevatelt anduritelt. Seejärel tuleb saadud andmed õigetesse formaatidesse teisendada, vastavalt meeskonna loodud CAN protokollile info õigetesse sõnumi andmebaitidesse paigutada ning seejärel teele saata. Moodulid, kes sensorikaplaadilt tulevat infot vajavad oskavad juba ise vastavalt protokollis määratud ID numbritele seda soovivad moodulid iseseisvalt pealt kuulata.

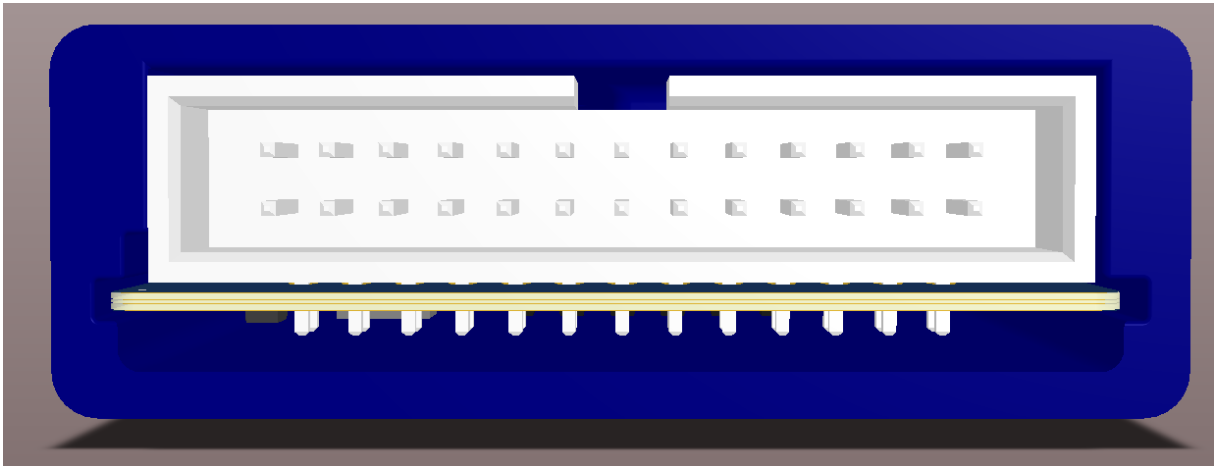
4 KORPUS

Kuna vormelis esineb nii niiskust, vibratsiooni, g-jõude kui ka juhid sõites ei ole võimalised tähele panema, kuhu täpselt nende jalad suurte koormuste all vastu puutuvad, siis tuli kindlasti ka plaadile valmistada korpus, mis plaati niisuguste ohtude eest kaitseks. Korpuste disainimiseks on meeskonnas aastaid kasutatud automatiiv disainiks mõeldud CAD programmi „CATIA“. Eesmärgiks sai võetud luua võimalikult lihtsa disainiga korpus, mis võimaldaks kiirelt trükkplaati autost eemaldada ning tagasi panna juhuks, kui keset võistlusi peaks tekkima vajadus midagi kiirkorras muuta.



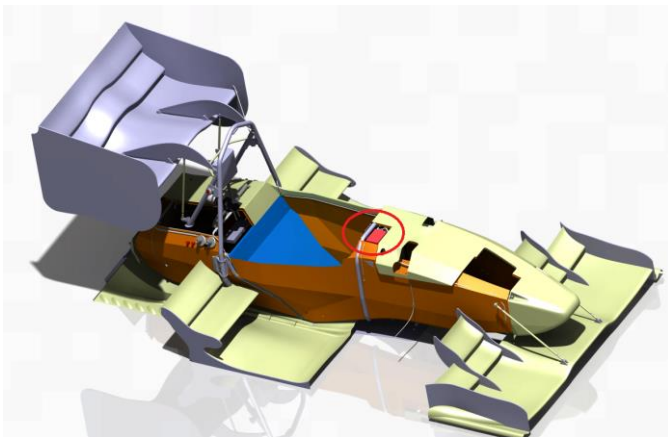
Joonis 39 Sensorikaplaadi korpus

Ülalnäidatud korpus (Joonis 39) sai disainitud sensorikaplaadi tarbeks.



Joonis 40 Sensorikakorpuse eestvaade

Plaadile said projekteeritud sooned, mis fikseerivad plaadi ega lase korpuses logiseda. (Joonis 40). Liigne vaba liikumine korpuses häiriks kiirendusandurite mõõtetäpsust. Liikumise takistamiseks mööda sooni pärast plaadi sisestamist tekkis idee kasutada programmeerimispistikut. Pistiku tarbeks sai tehtud ava, kuhu saab programmeerimise järel kinnitada tühja emase pin-headeri rea, mis takistab plaati mööda sooni sõitmise ajal liikumast.



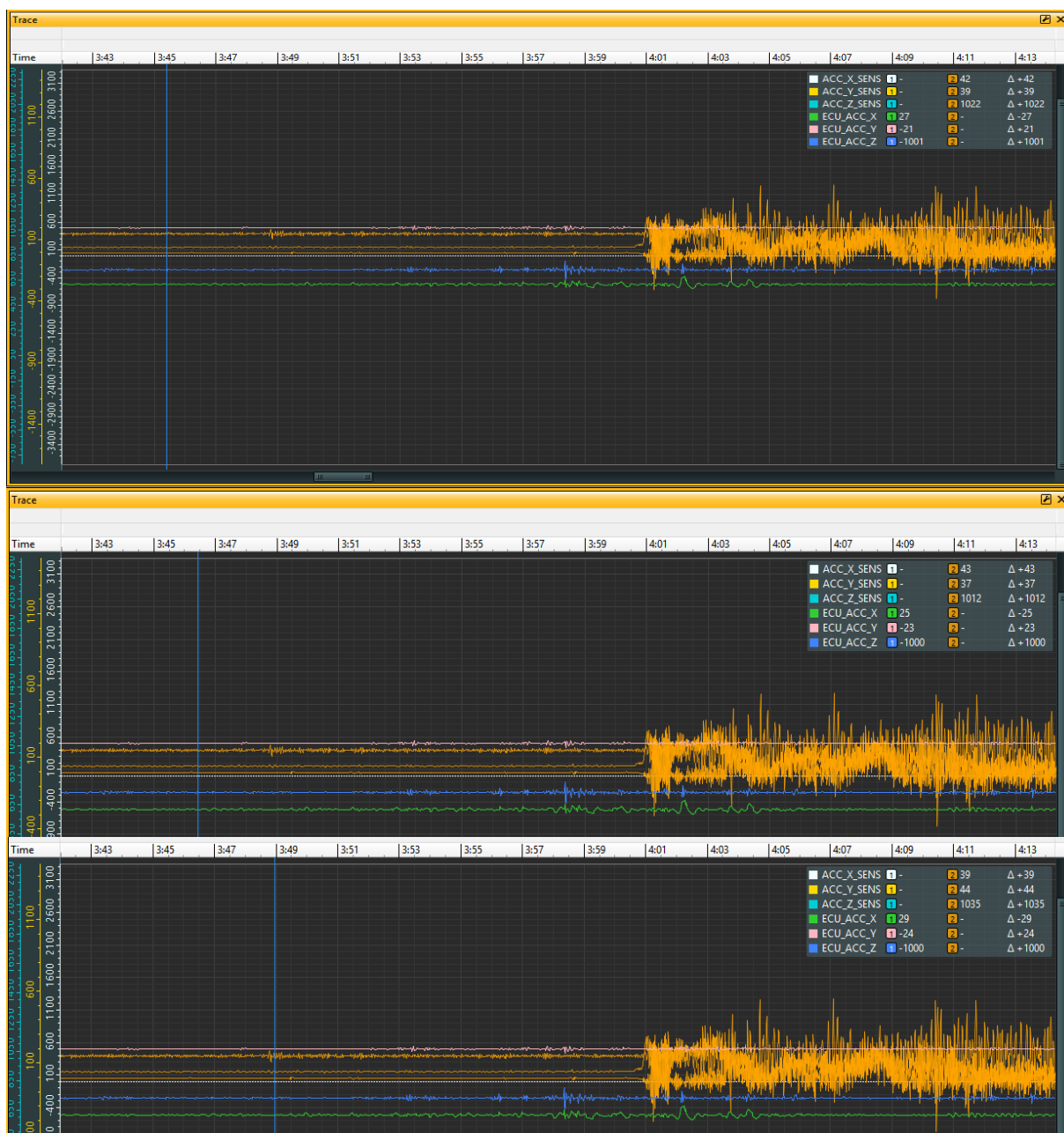
Joonis 41 Sensorikaplaadi paigutus autos

Joonisel 41 on märgitud sensorikaplaadi asukoht vormeli ninas. Kuna kiirendusandurite tõttu on eriti oluline, et plaat oleks maksimaalselt hästi fikseeritud vormeli kere külge, et saada täpne lugem sõiduki reaalsest käitumisest rajal, siis sai korpus monokoki lakke kinnitatud tugeva komposiidiliimiga. Samuti sai korpus toodetud piisavalt väikse tolerantsiga, et plaat mingil juhul vabalt liikuda ei saaks.

5 KIIRENDUSANDURI LUGEM

Kuna uue sensorikaplaadi üheks eesmärgiks oli ka parandada kiirendusanduri kvaliteeti, siis olles tööle saanud kõik 4 andurit, ning vormeliga läbinud mõne testipäeva, saab lõpuks üle vaadata ka uued kiirendusanduri andmed ning teha otsus, kas mitme anduri kasutamine koos keskmestamisega tagab parema kvaliteediga lugemi, kui vaid üks andur.

Kui võrrelda seisvaid sõidukeid, siis on juba esimestelt testisõitudel näha selget paranemist kiirenduslugemite mõõtetäpsustes (Joonis 42).



Joonis 42 Järjestikused kiirenduse mõõtmised FEST17 vs FEST18

Teostades mõõtmise kolmes suvaliselt valitud punktis, on selgelt näha, et mõõtetäpsus kiirendusmõõtmete osas on hulgaliselt paranenud. Kiirendus Z-telje suhtes ehk maa gravitatsioonijõud 9.80665 m/s^2 [15] on sel korral mõõdetud suisa võrreldes eelmise aasta mõne kümnendikuga nüüd juba mõne tuhandiku täpsusega. Ka X ja Y telje suhtes on märgata paranemist mõne kümnendiku võrra, mis on samuti väga hea tulemus arvestades, et päris ideaalse näidu saamine antud telgede suhtes on tavatingimustes äärmiselt keeruline. Nimelt on sõiduk vedrustuse, tasapinna, rehvide ja paljude muude tegurite tõttu alati pisut kaldu, mida andur tuvastab. Küll, aga on mõlemad näidud nüüd lähemal ideaalsele.

Nurkkiirenduste võrdlemiseks tuli otsida mõni sarnane element rajal, mille läbimisel logi võrdluseks võtta. Selleks sobis hästi osa slaalomist, kus juht peab 9 meetrise vahega koonuste vahel slaalomi läbima. Niisuguse elemendi läbimisel on kiirus enamasti üsna konstantne, mis võimaldab hea võrdlusmomendi tuua näiteks sõiduki pööramisel tekkiva nurkkiirenduse „Yaw“ põhjal.



Joonis 43 Nurkkiirenduse võrdlus FEST17 vs FEST18

Kui nüüd võrrelda koonuse läbimisel nurkkiirenduse muutumist ühelt suunalt teisele (Joonis 43), siis on silmaga täiesti selgelt näha, et signaali kuju Fest18 mudeli logil on oluliselt sujuvam, kui eelmise aasta mudeli FEST17 logil. Ka ülejäänud suundades on näha signaali muutumis sujuvamaks, kuid tuvastamaks sõiduki läbilibisemist rajal, mis omab vormeli juhtimise parandamiseks kõige suuremat tähtsust oli peamine siiski parandada just „Yaw“ näitu.

KOKKUVÕTE

Antud magistritöö raames sai läbi kahe hooaja kestnud arendustöö valmis projekteeritud täpne ning töökindel sensorikaplaad tudengivormelite FEST17 ning FEST18 tarbeks.

Arendusprotsessi käigus tuli teostada kõik alates skeemide joonistamisest kuni valmis trükkplaadi programmeerimise, logimise ning testimiseni. Arvesse võtta sõidukis tekkivat võimalikku mehhaanilist ja elektromagneetilist müra. Lisaks tuli disainil arvesse võtta ka paljude teiste meeskonnaliikmete poolt etteantud nõudmisi, millest oles paljuski plaadi disain. Sama tingimus käis ka tudengivormeli sarja poolt etteantud reeglite kohta.

Lisaks sensorikale tuli vormeli veojõukontrolli täpsemaks implementeerimiseks leida ka moodus nurkkiirenduste mõõtmiseks ning antud signaalid saada võimalikult stabiilseks ning sujuvaks. Selleks sai plaadile lisatud spetsiaalsed nurkkiirendusandurid. Projekteerimis ning tootmistsüklile järgneva testimisfaasi käigus selgus, et vastavalt logidest nähtule ei õnnestunud luua mitte vaid toimivat sensorikaplaati, vaid ka läbi kahe hooaja tema lugemite täpsust oluliselt parandada ning samal ajal ka plaadi dimensioone vähendada kaotamata töökindluses. Selle lõputöö jooksul sai omandatud hulgaliselt uusi teadmisi nii elektroonika disaini, vigade otsimise kui ka paljude erinevate suhtlusprotokollide ning mikrokontrolleri erinevate võimaluste kohta.

SUMMARY

The purpose of this Master thesis was to design a precise and reliable sensorics board for the formula student racecars FEST17 and FEST18.

During development everything had to be made from scratch from designing the schematics to programming, testing and logging. Possible mechanical and electrical noise had to be taken into consideration. Also requirements from different team members and sensors on their designed parts. In formula student there are also very strict rules, that had to be read and understood briefly before designing anything.

Besides the regular sensorics part in order to properly implement the traction control on the racecar there had to be found a way in order to measure the angular acceleration of the vehicle. For this special acceleration sensors were added to the circuit board.

Viidete loetelu

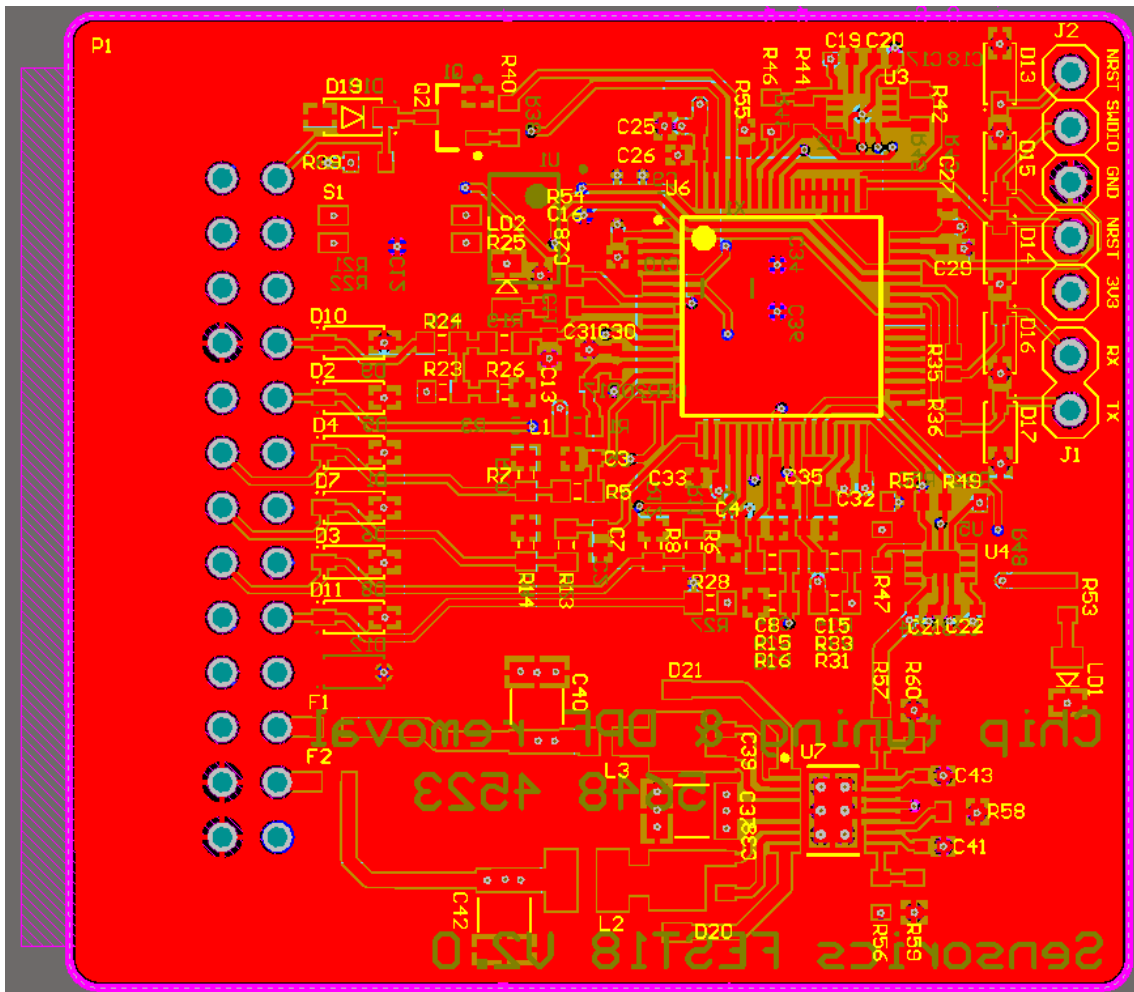
- [1] „Farnell,“ [Võrgumaterjal]. Available: http://www.farnell.com/datasheets/2308533.pdf?_ga=2.77072405.126832954.1525606796-1022735107.1525606796. [Kasutatud 6 May 2018].
- [2] „Mouser,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.mouser.com/ds/2/783/BST-BMI160-DS000-07-786474.pdf>. [Kasutatud 7 May 2018].
- [3] „Brandner,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.brandner.ee/et/>. [Kasutatud 7 May 2018].
- [4] „Nyquist rate,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Nyquist_rate. [Kasutatud 7 May 2018].
- [5] „Passive component standard,“ [Võrgumaterjal]. Available: http://www.ebyte.it/library/educards/ee/EE_StandardValues.html. [Kasutatud 7 May 2018].
- [6] „Farnell DIP,“ [Võrgumaterjal]. Available: http://ee.farnell.com/omron-electronic-components/a6h2101/switch-dip-1-2-pitch-smd-2-way/dp/1960885?ost=1960885&scope=partnumberlookahead&examfpn=true&searchref=searchlookahead&ddkey=http%3Aet-EE%2FElement14_Estonia%2Fw%2Fsearch. [Kasutatud 7 May 2018].
- [7] „Farnell DCDC,“ [Võrgumaterjal]. Available: http://www.farnell.com/datasheets/2016433.pdf?_ga=2.88272155.1281671973.1525675269-42078601.1525675269&_gac=1.257359353.1525675269.Cj0KCQjwz7rXBRD9ARIsABfB181s9pudCL6FkA_SAPiE35oNg8tDNWnLAFYWHs1whiuBoEoXrHUTvtkaArPkEALw_wcB. [Kasutatud 7 May 2018].
- [8] „Farnell MCU,“ [Võrgumaterjal]. Available: http://www.farnell.com/datasheets/2283389.pdf?_ga=2.89254555.1281671973.1525675269-42078601.1525675269&_gac=1.12441926.1525675269.Cj0KCQjwz7rXBRD9ARIsABfB181s9pudCL6FkA_SAPiE35oNg8tDNWnLAFYWHs1whiuBoEoXrHUTvtkaArPkEALw_wcB. [Kasutatud 7 May 2018].
- [9] „Ferrit bead,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.analog.com/en/analog-dialogue/articles/ferrite-beads-demystified.html>. [Kasutatud 7 May 2018].
- [10] „Servo,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.hacker-motor-shop.com/Servos-und-Servozubehoer/Savoex-Servos/HV-Servos/Servo-SAVOeX-SV-1260MG.htm?SessionId=&a=article&ProdNr=80101056&p=7624>. [Kasutatud 7 May 2018].
- [11] „NCBI,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3304136/>. [Kasutatud 7 May 2018].
- [12] „Tombstoning,“ [Võrgumaterjal]. Available:

- <https://www.autodesk.com/products/eagle/blog/what-is-pcb-tombstoning/>.
[Kasutatud 7 May 2018].
- [13] „Oscillator frequencies,“ [Võrgumaterjal]. Available:
https://en.wikipedia.org/wiki/Crystal_oscillator_frequencies. [Kasutatud 7 May 2018].
- [14] „Calculating capacitor,“ [Võrgumaterjal]. Available:
<https://community.nxp.com/thread/388856>. [Kasutatud 7 May 2018].
- [15] „Earth gravity,“ [Võrgumaterjal]. Available:
https://en.wikipedia.org/wiki/Gravity_of_Earth. [Kasutatud 7 May 2018].
- [16] L. S. Sterling, The Art of Agent-Oriented Modeling, London: The MIT Press, 2009.

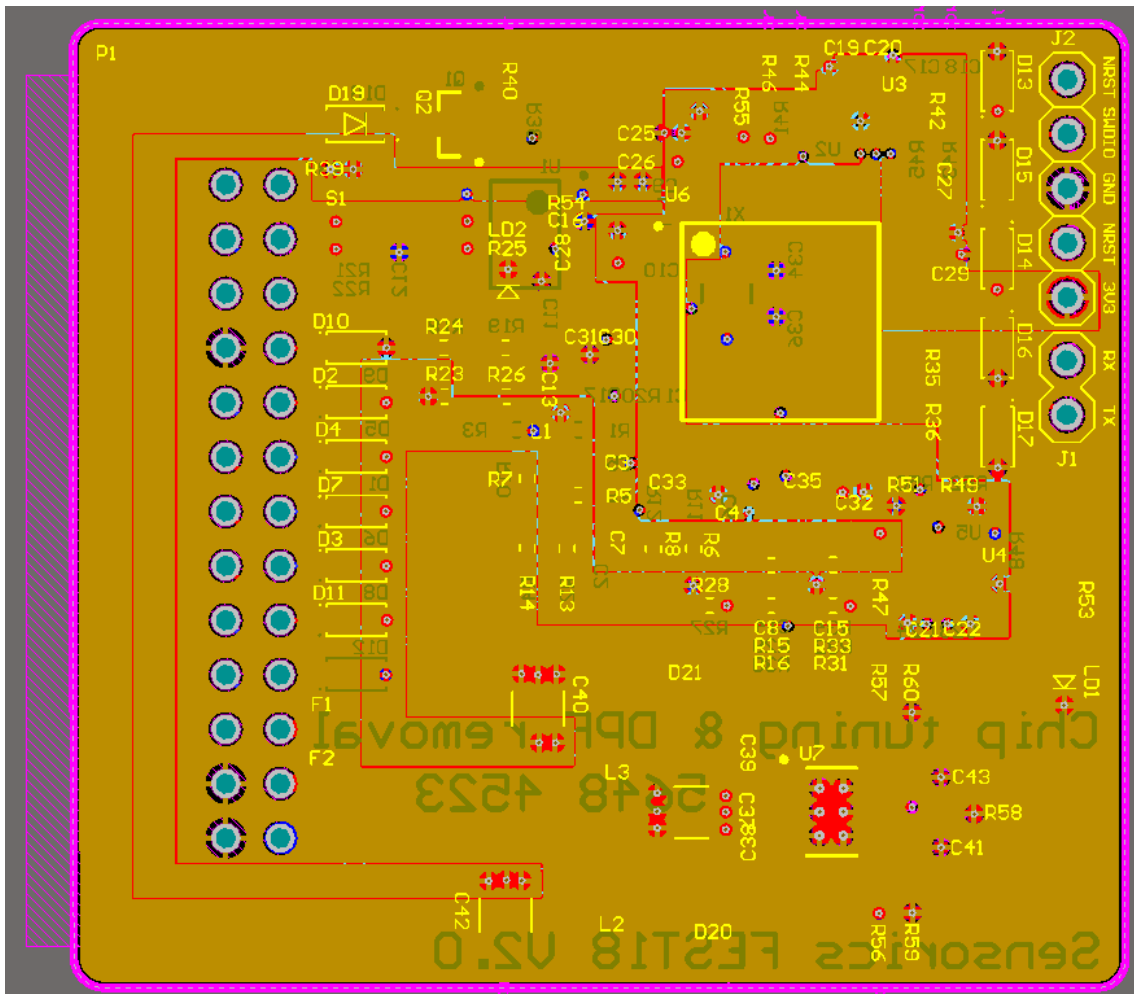
Lisa 1: Kasutatud komponentide nimekiri

Manufacturer	Product Name	Supplier	Supplier Number	Quantity
KEMET, KEMET, KEMET, KEMET, KEMET,	C0805C103M5RACTU, C0805C103M5RACTU, C0805C103M5	Farnell	2581081	12
MULTICOMP	MC0805B475K160CT	Farnell	2320854	5
MURATA	GRM188R72A104KA35D	Farnell	1828921	2
MULTICOMP	MC0603B472K500CT	Farnell	1759098	10
TDK	C1608X5R1V475K080AC	Farnell	2525103	10
AVX, AVX, AVX, AVX	04023C104KAT2A	Farnell	1867948	10
TDK	C1608X5R1H105K080AB	Farnell	2211179	10
TDK	CGA2B2C0G1H270J050BA	Farnell, Farnel	2210773	10
TDK	C3225X7R2A225K230AB	Farnell	2112727	1
MURATA	GRM188R72A104KA35D	Farnell	1828921	10
TDK	C3225X7S1H106K250AB	Farnell	2112728	1
KEMET	C0402C102J5RACTU	Farnell	2522377	10
MURATA	GRM32ER71E226KE15L	Farnell	1797019	1
SEMTECH, SEMTECH, SEMTECH, SEMTE	UCLAMP3301D.TCT	Farnell, Farnel	1456422	17
Nexperia	PTV55V051UR	Farnell	1829262	2
ON SEMICONDUCTOR	MBRM140T1G	Farnell	1459067	2
BOURNS	SF-0603S050-2	Farnell	2291892	2
WURTH ELEKTRONIK	742792653	Farnell	1635686	10
WURTH ELEKTRONIK	7440329100	Farnell	2082513	1
WURTH ELEKTRONIK	74404020068	Farnell	2749059	1
KINGBRIGHT	KP-2012CGCK	Farnell	2290331	2
SAMTEC	HTST-113-04-L-D-RA	Farnell	1930601	2
Infineon	IRLML6344TRPBF	Farnell	1857299	2
MULTICOMP	MCWR06X1002FTL	Farnell, Farnel	2447230RL	100
PANASONIC ELECTRONIC COMPONENT	ERJ3EKF60R4V	Farnell	2059280	10
MULTICOMP	MCWR04X1001FTL	Farnell	2447120	10
YAGEO, YAGEO, [NoValue], YAGEO	RC0603JR-071KL, RC0603JR-071KL, [NoValue], RC0603JR-07	Farnell	2309108	4
Vishay	CRCW0603300RFKEA	Farnell	1469799	10
YAGEO	RC0603FR-0710KL	Farnell	9238603	10
YAGEO	RC0603FR-0710KL	Farnell	9238603	10
YAGEO	RC0603FR-0710KL	Farnell	9238603	10
VISHAY	CRCW04021K00FKED	Farnell	1469662	10
PANASONIC ELECTRONIC COMPONENT	ERJ3EKF5362V	Farnell	2059475	10
PANASONIC ELECTRONIC COMPONENT	ERA3ARB3162V	Farnell	2094574	10
PANASONIC ELECTRONIC COMPONENT	ERJ3EKF6042V	Farnell	2059478	10
PANASONIC ELECTRONIC COMPONENT	ERJ3EKF1022V	Farnell	2059407	10
OMRON ELECTRONIC COMPONENTS	A6H2101	Farnell	1960885	1
TI	TCAN1042HDRQ1	Mouser	595-TCAN1042	1
Bosch	BMI160	Mouser	262-BMI160	4
STMICROELECTRONICS	STM32F732RET6	Farnell	2758797	1
Linear	LT3509EMSE#PBF	Farnell	2102646	1
ABRACON	ABM3-8.000MHZ-D2Y-T	Farnell	2101329	1

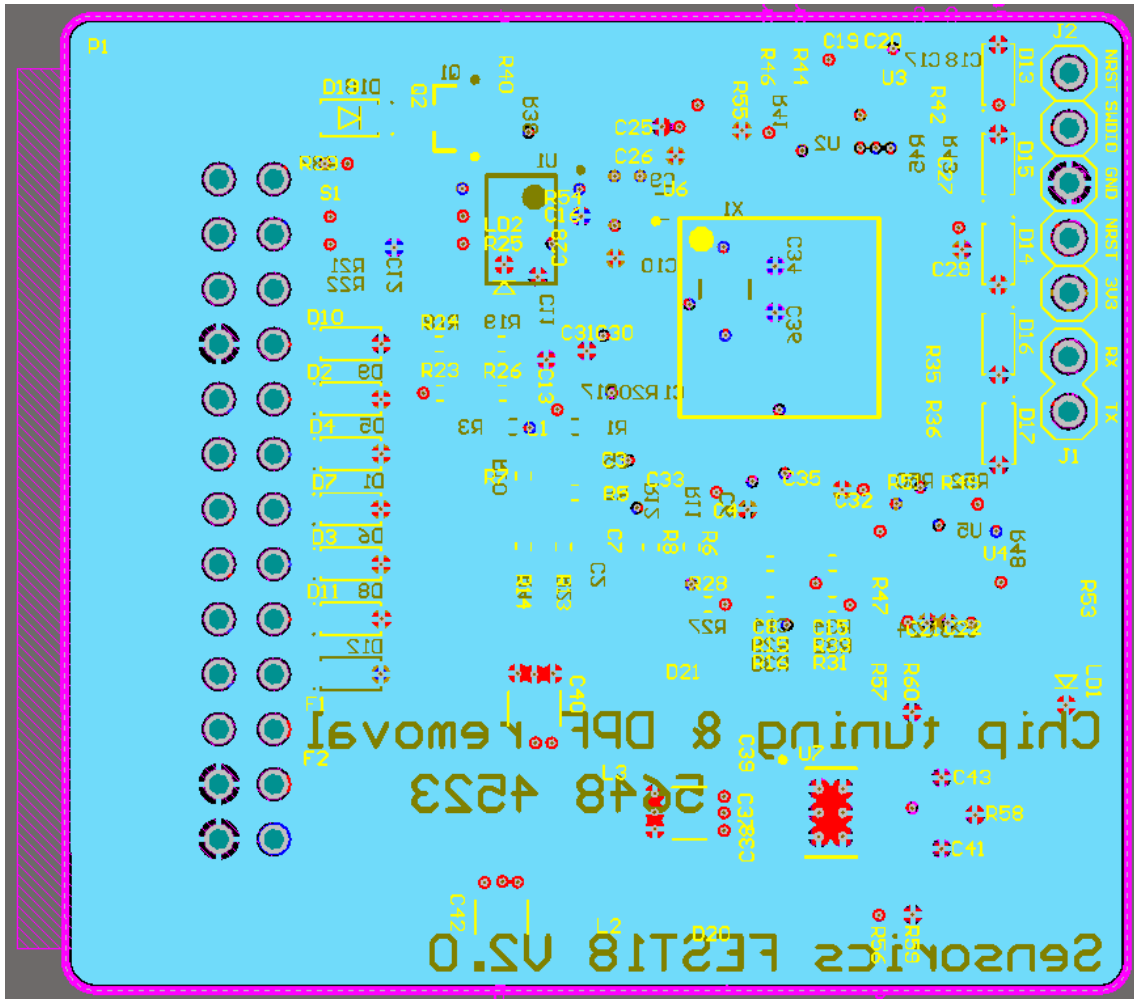
Lisa 2: Sensorikaplaadi ülemine kiht



Lisa 3: Sensorikaplaadi teine kiht



Lisa 3: Sensorikaplaadi kolmas kiht



Lisa 4: Sensorikaplaadi alumine kiht

