



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

DIGITAALJUHTIMISEGA KONDENSAATORPATAREI

BAKALAUREUSETÖÖ

MEHHATROONIKA ÕPPEKAVA

Üliõpilane: Roland Engel

Üliõpilaskood: 142990MAHB

Juhendaja: Lauri Kütt

Tallinn, 2017

AUTORIDEKLARATSIOON

Deklareerin, et käesolev lõputöö on minu iseseisva töö tulemus.

Esitatud materjalide põhjal ei ole varem akadeemilist kraadi taotletud.

Lõputöös kasutatud kõik teiste autorite tööd ja seisukohad ning materjalid on varustatud vastavate viidetega.

Töö valmis Lauri Kütti juhendamisel

„.....“201.....a

Töö autor:

/alkiri/

Töö vastab lõputööle esitatavatele nõuetele

„.....“201.....a

Töö juhendaja:

/alkiri/

Lubatud kaitsmisele

„.....“201.....a

Mehhatroonika õppekava lõputööde kaitsmiskomisjoni esimees:

/alkiri/

BSc LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

2017. aasta kevadsemester

Üliõpilane: Roland Engel, 142990

Õppekava: MAHB02/13

Eriala: Mehhatroonika

Juhendaja: professor, Lauri Kütt

Konsultandid:

LÕPUTÖÖ TEEMA:

Digitaaljuhtimisega kondensaatorpatarei

Digitally controlled capacitor array

Töös lahendatavad ülesanded ja nende täitmise ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Täitmise tähtaeg
1.	Kondensaatorpatarei 3D modelleerimine CAD keskkonnas	1.03.2017
2.	Elektriskeemide valmistamine ja trükkplaatide valmistamine	1.04.2017
3.	Arduino programmeerimisloogika koostamine	1.05.2017

Lahendatavad insenertehnilised ja majanduslikud probleemid: kondensaatorpatarei mehaanika ning elektroonika projekteerimine, transistorlülituste ning displei programmeerimisloogika koostamine Arduino platvormil

Täiendavad märkused ja nõuded: -

Töö keel: eesti

Kaitsmistaotlus esitada hiljemalt 15.05.2017

Töö esitamise tähtaeg 25.05.2017

Üliõpilane Roland Engel /allkiri/ kuupäev

Juhendaja Lauri Kütt /allkiri/ kuupäev

Konfidentsiaalsusnõuded ja muud ettevõttepoolsed tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

AUTORIDEKLARATSIOON	2
BSc LÕPUTÖÖ ÜLESANNE	3
LÕPUTÖÖ TEEMA:	3
EESSÕNA	6
LÜHENDID	7
SISSEJUHATUS	8
1. KONDENSAATORPATAREI VAJALIKKUS	9
1.1 Kondensaatorpatarei kasutamisvaldkond	9
1.2 Kondensaatorpatarei kasutamine Tallinna Tehnikaülikoolis	10
1.2.1 Tööpõhimõte	10
2. LAHENDUSE ÜLEVAADE	11
2.1 Kondensaatorpatarei mehaaniline lahendus	11
2.2 Kondensaatorpatarei digitaalne lahendus	11
3. SPETSIFIKATSIOON	12
3.1 Töötingimused	12
3.2 Töötingimustest tingitud probleemide lahendamine	12
3.2.1 Põrutus	12
3.2.2 Temperatuur	12
3.3 Elektrilised nõuded seadmele	13
3.3.1 Nõuded mahtuvusele	13
3.3.2 Nõuded pingetaluvusele	13
3.4 Mehaanilised nõuded seadmele	13
3.4.1 Nõuded läbipaistvusele	13
3.4.2 Nõuded jälgitavusele	13
3.4.3 Nõuded mõõtmetele	14
3.5 Nõuded IT juhtimisele	14
3.5.1 Ohutusfunktsioonid	14
3.5.2 Võimalus kaugjuhtimiseks	14
3.5.3 Indikatsioon tööoleku ja rakendatud mahtuvuse kohta	14
4. ELEKTRILINE OSA	15
4.1 Kondensaatorite ühendusskeem	15
4.2 Releed	17
4.3 Juhtmoodul	17
4.4 Lülitamine	18
4.5 Displei	19
4.6 Bluetooth'i moodul	20
4.7 Akud	21
4.7.1 Akude valik	22

4.7.2	Akuhoidiku valik.....	23
5.	MEHAANIKA	24
5.1	Korpus	24
5.1.1	Korpuse töötlus.....	25
5.2	Kinnitused pleksiklaasist	25
5.1.1	Materjali ja tootmistehnoloogia vallik.....	26
5.1.2	Alusplaat.....	26
5.1.3	Kondensaatorid ja releed	26
5.1.4	Näidik.....	27
5.2	Kinnitused metallist.....	28
6.	ELEKTROONIKA TRÜKKPLAADID.....	29
6.1	Lülitite trükkplaat.....	29
6.1.1	Trükkplaadi disain.....	29
6.2	Süsteemi juhtimise trükkplaat.....	29
6.2.1	12 V DC/DC	29
6.2.2	5 V DC/DC	30
6.2.3	PNP ja NPN tüüpi transistoritega lülitused.....	31
6.2.4	Akude laadimine	31
6.3	Trükkplaadi valmistamine.....	32
7.	SÜSTEEMI JUHTIV TARKVARA.....	33
	KOKKUVÕTE	35
	SUMMARY	36
	KASUTATUD KIRJANDUS	37
	LISAD	39
	Lisa 1: Alusplaadi asetus korpuses	39
	Lisa 2: Näidiku kinnituse joonis koos mõõtmega	40
	Lisa 3: Kondensaatorite ja releede ühine kinnitus koos mõõtmega.....	41
	Lisa 4: Korpuse alusplaat koos mõõtmega	42
	Lisa 5: Kondensaatorite, takistite ja releede skeem	43
	Lisa 6: Lülitite trükkplaadi skeem	44
	Lisa 7: Lülitite trükkplaat pool A.....	45
	Lisa 8: Lülitite trükkplaat pool B.....	45
	Lisa 9: Süsteemi juhtimise trükkplaat pool A.....	46
	Lisa 10: Süsteemi juhtimise trükkplaat pool B.....	47
	Lisa 11: Kondensaatoripatarei 3D mudel eestvaates	48
	Lisa 12: Kondensaatoripatarei 3D mudel tagantvaates	48
	Lisa 12: Akude laadimise skeem.....	49
	Lisa 13: Poolik süsteemi juhtimise trükkplaat.....	50

EESSÕNA

Käesoleva bakalaureusetöö teema on välja pakutud Tallinna Tehnikaülikooli Elektroenergeetika ja Mehhatroonika instituudi poolt.

Töö projekteerimine ja koostamine toimus 2017. aasta alguses Tallinna Tehnikaülikooli Elektroenergeetika ja Mehhatroonika instituudis professor Lauri Kütti juhendamisel.

LÜHENDID

PMMA – polümetüülmetakrülaat, i.k. *Polymethyl Methacrylate*

CNC – arvuti numbriline kontroll, i.k. *Computer Numerical Control*

3D – kolmemõõtmeline, i.k. *Three Dimensional*

CAD – raalprojekteerimine, i.k. *Computer-Aided Design*

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

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

NFC – i.k. *Near Field Communication*

IR – infrapuna, i.k. *Infrared*

BT – sinihammas, i.k. *Bluetooth*

IO – sisend/väljund, i.k. *Input/Output*

SPDT – i.k. *Single Pole, Double Throw*

SPST – i.k. *Single Pole, Single Throw*

DC – alalisvool, i.k. *Direct current*

PNP – i.k. *Positive Negative Positive*

NPN – i.k. *Negative Positive Negative*

SMD – i.k. *Surface-Mount Device*

SISSEJUHATUS

Hetkel TTÜ-s elektroonika laborites kasutusel olevad kondensaatorpatareid on väga vanad ja aegunud. Tehes kondensaatorpatarei digitaalselt juhitavaks oleks võimalik praktikume palju efektiivsemalt ning tänapäevasemalt läbi viia. See loob juurde rohkem võimalusi erinevate katsetuste tegemiseks ning ühtlasi teeks ka praktikumid oluliselt paremini jälgitavaks ning tulemused täpsemaks.

Töö koosneb järgnevatest osadest:

- Olemasoleva kondensaatorpatarei võimaluste ja tööpõhimõtetega tutvumine
- Mehaanikakomponentide projekteerimine ja valmistamine
- Digitaaljuhtimiseks vajalike komponentide valik
- Elektroonika trükkplaatide projekteerimine ja valmistamine
- Juhtimistarkvara loogika koostamine

Juhtimistarkvara on jaotatud kaheks osaks:

- Mehaaniliste lülituste kaudu käske saatev kasutajaliides
- Kontrolleripoolne käske täitev ning näidikul kuvav programm

Kasutajaliides põhineb Arduino IDE [5] programmeerimiskeskonnal ning kontrolleri tarkvara programmeerimiskeelel C++ [4]. Juhtimistarkvara näidiku programmeerimisel olid lähtepunktina kasutusel Rinky-Dink electronics [1] poolt koostatud materjalid.

Projekteerimisel on mehaanika osas kasutatud tarkvara SolidWorks [2]. Trükkplaatide elektroonikaskeemid on valmistatud DipTrace [3] abil ning trükkplaatide valmistamiseks on kasutatud LPKF CircuitPro PM [5] tarkvara.

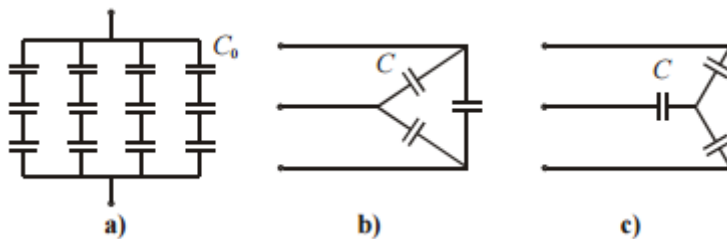
1. KONDENSAATORPATAREI VAJALIKKUS

1.1 Kondensaatorpatarei kasutamisvaldkond

Tänapäeva elektrivõrgud on väga arenenud ning elektrivõimsust kasutatakse mitmel erineval otstarbel. Aktiivvõimsuse kõrval kasutatakse ka reaktiivvõimsust. Reaktiivvõimsuse kasutamine on vajalik elektromagnetvälja tekitamiseks. Reaktiivvõimsuse tarbijate hulgas on näiteks erinevad sünkroonmasinad, aksünkroonmootorid, trafod, muundurid, keevitusagregaadid ja muud seadmed. [7]

Reaktiivvõimsuse tootmine on üldiselt väga energiakulukas protsess. Kuna enamik seadmeid kasutab suhteliselt vähe reaktiivvõimsust töötamiseks võrreldes aktiivvõimsusega, tekivad suured energiakaod. Energiakadude vähendamiseks on kõige lihtsam ja odavam lahendus kondensaatorpatareide kasutamine.

Kondensaatorpatareid, mis kompenseerivad reaktiivvõimsust koosnevad üldjuhul igas faasis kas rööbiti-, jadamisi- või tähtühendusega koosnevatest kondensaatoritest (joonis 1.1a, 1.1b ja 1.1c). Igal kasutataval meetodil on omad tugevused. Nimelt jadamisi ühendatud elementide arvu suurendamisega on võimalik tõsta lubatud pinget, rööpühendusega seevastu voolu ning ühtlasi ka võimsust. Kondensaatorpatarei mahtuvuse muutmiseks kasutatakse rööpselt ühendatud kondensaatorite arvu lisamist või vähendamist.



Joonis 1.1 Kondensaatorite ühendusskeemid: ühe kondensaatorpatarei jada ja rööpühendused (a), kolmefaasilise kondensaatorpatarei kolmnurkühendus (b) ja tähtühendus (c) [7]

1.2 Kondensaatorpatarei kasutamine Tallinna Tehnikaülikoolis

Tallinna Tehnikaülikoolis kasutatakse kondensaatorpatareid erinevate elektritehnika laborite läbiviimiseks. Selleks, et uurida kondensaatoritest tingitud voolumuutusi vastavalt mahtuvusele, on vajalik ka nende ühendamine elektriskeemidesse. Kuna uurimisvaldkondi ning kasutatavaid pingeid ja muid parameetreid on mitmeid, tuleks igal katsel mingil moel need uuesti ühendada elektrivõrku. Kuna jootmine on aeganõudev ning teatud riistvara vajav protsess, oleks vaja välja mõelda lihtsam, töökindlam ning ühtlasi ka ohutum lahendus. Selleks on ülikool kasutusele võtnud kondensaatorpatarei (sele 1.1).



Sele 1.1 Tallinna Tehnikaülikoolis kasutusel olev kondensaatorpatarei

1.2.1 Tööpõhimõte

Kondensaatorpatarei tööpõhimõte seisneb selles, et vool juhitakse läbi kondensaatoreid täis karbi ning suunatakse edasi katseobjekti või mõõteseadmesse. Kondensaatorid selles karbis on ühendatud, kasutades rööpühendust, ja kondensaatorpatarei mahtuvust on võimalik astmeliselt reguleerida, kasutades lüliteid. Antud seadmes on kasutusel erineva mahtuvusega kondensaatorid, mille kokkuühendamisel on võimalik saavutada elektrimahtuvuse väärtuseid alates 1 μF kuni 58 μF . Maksimaalne tööpinge on antud seadmel 220 V.

2. LAHENDUSE ÜLEVAADE

Hetkel ülikoolis kasutusel olevad kondensaatorpatareid on iganenud välimusega ning ühtlasi ka küsitava ohutusega, mistõttu on vajalik mõni parem lahendus. Üks olulisemaid puuduseid ohutuse seisukohalt on siiani kasutuselolevatel kondensaatorpatareidel maanduspunkti puudumine. Välimuse mõttes on tegemist raskesti loetavate kirjadega ning ühtlasi jälgitavuse mõttes on tihtipeale keeruline aru saada, kui suur on just parasjagu rakendatud elektrimahtuvuse väärtus. Kuna tänapäeval kasutatakse ka pingeid üle 220 V, tuleks kondensaatorpatarei ka vastavalt suuremate tööpingete kasutamise võimaldamiseks projekteerida. Võimalikud lahendused erinevad peamiselt välimuse ning jälgitavuse poolest.

2.1 Kondensaatorpatarei mehaaniline lahendus

Võimalik oleks teha kondensaatorpatarei sarnaselt nagu siiani ülikoolis kasutusel oleval seadmel. Tuleks kasutada suuremat tööpinget kannatavaid kondensaatoreid ning ühtlasi muuta disaini. Disaini mõttes tuleks kasutada ühesuguseid lüliteid ning teha igale lülitile ehk astmele selgelt nähtav ning arusaadav kirjeldus. Lisaks sellele puudub olemasoleval lahendusel tudengil võimalus näha kondensaatorpatarei olemust sisekomponentide näol. Selleks tuleks projekteerida kondensaatorpatarei selliselt, et sisekomponendid oleksid nähtavad ilma seadet lahtivõtmata. Ohutuse mõttes tuleks tekitada seadmesse ka maanduspunkt. Samas puudub antud lahendusel siiski jälgitavus muutujate baasil ning nõuab tudengilt vajaliku mahtuvuse väljaarvutamist etteantud kondensaatorite väärtuste põhjal.

2.2 Kondensaatorpatarei digitaalne lahendus

Digitaalse lahenduse puhul oleks võimalik teha kondensaatorpatarei jälgitavus väga lihtsaks. Selleks tuleks kasutada näidikupaneeli, millel kuvatakse just parasjagu kasutusel oleva elektrimahtuvuse väärtus. Probleemi lahendamiseks tuleks kasutada digitaalselt juhitavaid lülitusi. Selle teostamiseks on vajalik kasutada juhtkontrollerit ning releesid. Olenevalt juhtimispingest võib olla vajalik kasutada ka transistoreid. Samuti tuleks tekitada võimalus näha seda, mis toimub täpsemalt kondensaatorpatarei sees, ilma selle lahtivõtmiseta. Selleks tuleb seade projekteerida selliselt, et kasutatavad materjalid ja komponendid oleksid võimalikult läbinähtavad. Samuti oleks vajalik seadme töötamine ilma lisatoiteta ehk kasutusele tuleks võtta akutoide.

3. SPETSIFIKATSIOON

3.1 Töötingimused

Kondensaatorpatareid kasutatakse peamiselt siseruumides. Peamised tegurid, millega tuleks arvestada, on järgmised:

- niiskus – selles töös ei ole see eriline probleem, kuna siseruumides olev niiskus elektroonikale olulist mõju ei avalda
- põrutus – kondensaatorpatareid kasutatakse enamasti laua peal ning alati on võimalus kukkumiseks, mis võib kahjustada lüliteid ja ka muid komponente
- temperatuur – seadmes võib tõusta temperatuur kõrgeks kondensaatorite tühjakslaadumise ajal ning akude laadimise ajal, mis võib kahjustada kõiki elektroonikakomponente

3.2 Töötingimustest tingitud probleemide lahendamine

3.2.1 Põrutus

Kaitseks põrutuse vastu on kondensaatorpatareleile projekteeritud lülitite kaitseraamid. Kaitseraamide projekteerimisel on silmas peetud ka nende tugevuse tagamist. Selleks on lülitid koos kaitseraamidega projekteeritud terasest plaadi külge, mis omakorda kinnitub poltidega karbi külge. Lülitid on ühendatud trükkplaadi külge, mis omakorda on distantsmutritega kinnitatud terasplaadi külge. Ühendused lüliti trükkplaadi ning releede juhtimise trükkplaadi vahel on seotud jäiga ühendusega ning juhtimise trükkplaat on omakorda toetatud konstruktsiooni külge distantsmutritega. Kondensaatorid on kinnitatud pleksiklaasist ühendusplaatidega ühise konstruktsiooni külge. Sarnaselt on kinnitatud ka releed, akupakk ning Arduino moodul. Kondensaatorpatarei näidik on kinnitatud pleksiklaasist raami sisse, mille projekteerimisel on jäetud piisavalt ruumi, et näidik ei oleks survestatud millegi vastu ning surve oleks ühtlaselt jaotunud näidiku trükkplaadi peale, kuna see on palju tugevam. Näidiku trükkplaati hoiavad paigal ühenduspesad, mis läbi teiste trükkplaatide on omakorda toetatud Arduino mooduli poolt.

3.2.2 Temperatuur

Kõige suurem probleem temperatuuriga ilmneb kondensaatorite tühjakslaadumise ajal. Kondensaatorite kiire tühjakslaadumise tagamiseks on kõik kondensaatorid ühendatud läbi takistite. Selleks, et vähendada tühjakslaadumise ajal soojuste eraldumist, kasutan suuremas koguses takisteid rööbiti ühendatult. Üheks probleemiks on veel soojuste eraldumine akude laadimise ajal. Selleks on akude laadimise skeemi kiip varustatud termistoriga, mis vastavalt temperatuurile reguleerib akude laadimiseks kasutatavat voolutugevust.

3.3 Elektrilised nõuded seadmele

Kondensaatorpatareid kasutatakse ülikoolis, mistõttu on sealsetes laborites nõutud ka teatud elektrilised parameetrid. Need on vajalikud selleks, et praktikumides oleks võimalik kõiki lahendust vajavaid laboreid läbi viia. Peamised tegurid, millega tuleb arvestada, on järgmised:

- Mahtuvus
- Pingetaluvus

3.3.1 Nõuded mahtuvusele

Selleks, et laborites oleks võimalik katseid läbi viia piisavalt suurel vahemikul, peab olema kondensaatorpatarei mahtuvusvahemik vähemalt 60 μF . Samuti on oluline tagada mahtuvuse reguleerimisel piisav vahemik. Nõutud on 1 μF astme kaupa reguleerimine.

3.3.2 Nõuded pingetaluvusele

Laborites kasutatav pingevahemik on suur, seega tuleb kondensaatorpatarei ka vastavalt sellele projekteerida. Maksimaalseks saavutatavaks pingeks laborites on 400 V ja seda pinget peavad taluma kondensaatorid, releed, takistid ning ühtlasi ka ühenduspesad. Laborites kasutatavad ühenduspesad on *banana*-tüüpi testpesad. Nende läbimõõt on 4 mm. Antud ühenduspesad on topeltisolatsiooniga.

3.4 Mehaanilised nõuded seadmele

Mehaanilised nõuded antud seadmele on järgmised:

- Läbipaistvus
- Jälgitavus
- Mõõtmised

3.4.1 Nõuded läbipaistvusele

Tegemist on ülikoolis kasutatava laboriseadmega, mis on valmistatud harimise eesmärgil, mistõttu peaksid olema ka sisemised komponendid väljast näha. Nimelt on oluline näha erinevate kondensaatorite väärtuseid ja nende ühendusi. Samuti oleks vaja vaadelda releede tööd ning üleüldist kondensaatorpatarei ülesehitust.

3.4.2 Nõuded jälgitavusele

Kõige olulisemaks jälgitavuse nõudeks on näha seda, mis toimub kondensaatorpatareis erinevate funktsioonide rakendamisel. Sisselülitamisel on oluline jälgida, milline osa valmistatud trükkplaadist tööle läheb. Samuti on oluline näha, kas toitekaabli taha ühendamisel kondensaatorpatarei laeb või

on tekkinud töös mingisugune viga. Samuti on oluline näha seda, milline lüliti on vastavusse seatud millise mahtuvuse väärtusega kondensaatorile ning ühtlasi ka selle olekut.

3.4.3 Nõuded mõõtmetele

Otseseid piirmäärasid antud töös mõõtmetele ei ole. Sellegipoolest kehtib reegel: mida kompaktsem, seda parem. Seda seetõttu, et kui katseseadeldis on väike, siis on võimalik seda lihtsamalt transportida ning katsete tegemisel on laudade peal rohkem ruumi.

3.5 Nõuded IT juhtimisele

Kondensaatorpatarei on digitaalselt juhitav, seega on võimalik sellega erinevaid funktsioone rakendada. Nõutavad programmeerimise teel lahendatavad probleemid on järgnevad:

- Ohutusfunktsioonid
- Võimalus kaugjuhtimiseks
- Indikatsioon tööoleku ja rakendatud mahtuvuse kohta

3.5.1 Ohutusfunktsioonid

Eelnevalt sätestatud elektrialaste parameetrite järgi on tegemist kõrgepinge seadmega. Seadme ohutuse tagamiseks on vajalik kasutada teatavaid ohutusfunktsioone. Nende alla kuuluvad ülekuumenemisekaitse laadimisel ning kondensaatorite üldine temperatuuri jälgimine. Juhul, kui temperatuur läheb liiga kõrgeks, tuleb kogu süsteem välja lülitada.

3.5.2 Võimalus kaugjuhtimiseks

Kondensaatorpatarei juhtimise lihtsustamiseks tuleks luua võimalus kaugjuhtimiseks. Selle võimaluse tagamiseks lisatakse kondensaatorpatareisse *bluetooth*-modul. Antud töös seda põhjalikumalt ei uurita.

3.5.3 Indikatsioon tööoleku ja rakendatud mahtuvuse kohta

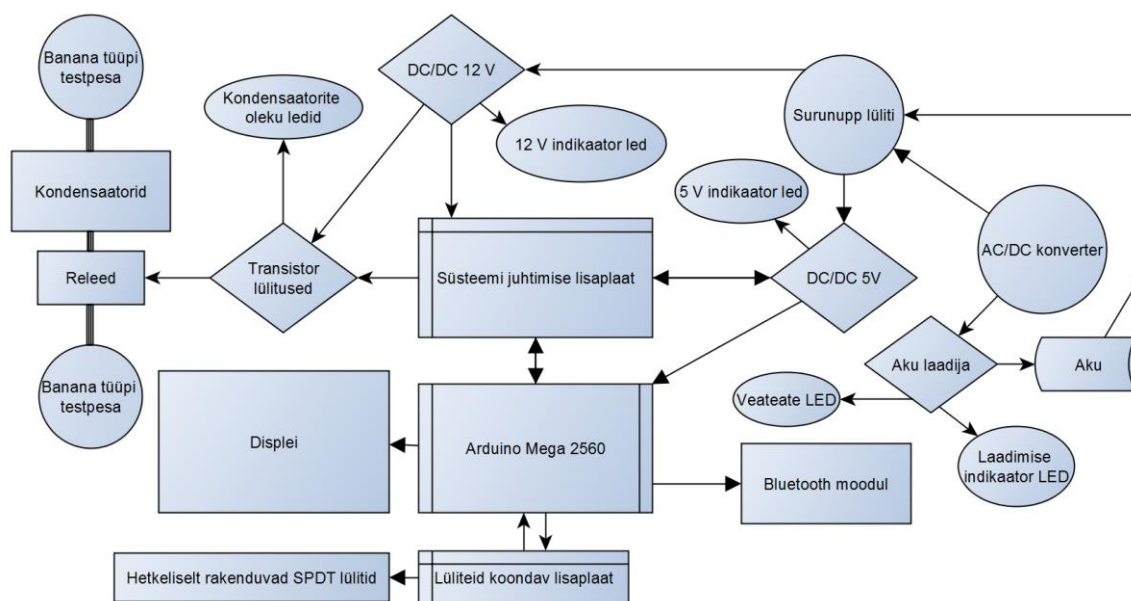
Mahtuvuse lihtsamaks jälgimiseks kasutatakse väärtuste kuvamiseks näidikut, mis teeb kondensaatorpatarei tööoleku jälgitavuse üheselt mõistetavaks ning lihtsaks.

4. ELEKTRILINE OSA

Elektronika hõlmab vajalike komponentide valikut, elektriskeemide tegemist ning trükkplaatide valmistamist. Elektriskeemide ning komponentide valiku puhul tuleb arvesse võtta järgmist:

- kondensaatoritesse rakendatav pinge kuni 400 V;
- juhtloogika akutoite kestvus ilma laadimiseta vähemalt 4 tundi.

Elektrilise osa koostamiseks on eelnevalt kokku pandud juhtloogika. Skeemis on välja toodud peamised komponendid kondensaatorpatarei digitaalseks juhtimiseks.



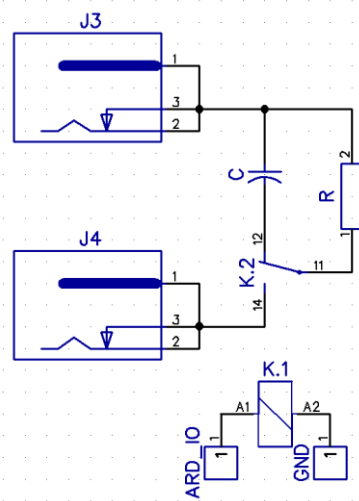
Sele 4.1 Elektrilise osa skeem

4.1 Kondensaatorite ühendusskeem

Kondensaatorite valikul on peamised parameetrid maksimaalne lubatud tööpinge ning mahtuvus. Antud seadmele on nõutud minimaalne mahtuvusvahemik 60 μF ning selles vahemikus peab olema tagatud vähemalt 1 μF astme kaupa reguleeritavus. Kondensaatorpatareis kasutusele võetud kondensaatorite nimistu on järgmine:

- 1 μF - KEMET R71QR41004010K [15]
- 1 μF - KEMET R71QR41004010K [15]
- 2 μF - EPCOS B32774D0205K000 [16]
- 5 μF - EPCOS B32774D8505K000 [16]
- 5 μF - EPCOS B32774D8505K000 [16]
- 10 μF – PANASONIC EZPE80106LTA [17]
- 20 μF - EPCOS B32776E8206K000 [16]
- 20 μF - EPCOS B32776E8206K000 [16]

Valitud kondensaatorid tagavad nõutud tingimuste täitmise.



Sele 4.2 Kondensaatorite ühenduskeem

Kondensaatorite ühendamisel skeemi on vajalik ka takistite kasutus. Takistite kasutus kondensaatorpatareis tagab selle ohutuse ning ühtlasi ka jälgitavuse. Nimelt takistite kasutamisel koos kondensaatoritega on võimalik korrigeerida nende laadumis- ning tühjakslaadumisaega. Kondensaatorpatareis kasutatavate takistite väärtused on võimalik leida, kasutades RC konstanti, mille avaldamise valem on järgmine:

$$\tau = RC \tag{4.1}$$

kus R – takisti väärtus, Ohm,

C – kondensaatori väärtus, F,

τ – RC aja konstant, s.

Tabel 4.1 Takistite väärtuste leidmine vastavalt valemile (4.1)

Mahtuvus (µF)	Takistus (kOhm)	RC aja konstant (s)
1	5000	5
1	5000	5
2	2500	5
5	1000	5
5	1000	5
10	500	5
20	250	5
20	250	5

Kondensaatorite ühenduskeem on nähtav lisas 5.

4.2 Releed

Releede valikul on silmas peetud, et seadmel kasutatav pingevahemik on kuni 400 V. Releede lülituste juhtimiseks on kasutusel akutoide ning nõutud minimaalne tööaja kestvus on 4 tundi, mille vältel peab aku olema suuteline varustama kogu kondensaatorpatareid elektriga. Lisaks eelnevale on vajalik madalpinge antud releede juhtimiseks, et seda oleks võimalik teha kasutatakse Arduinot. Lisaks sellele peab kondensaatorpatarei olema võimalikult läbipaistev, seega peaksid releed ka olema läbinähtavad.

Valitud komponentideks osutusid Omron G2R-1-T, mille olulisemad karakteristikud [14] on järgmised:

- Lülituspinge 380 VAC/125 VDC
- Ucoil 12 VDC
- Pcoil 530 mW



Sele 4.3 Omron G2R-1-T

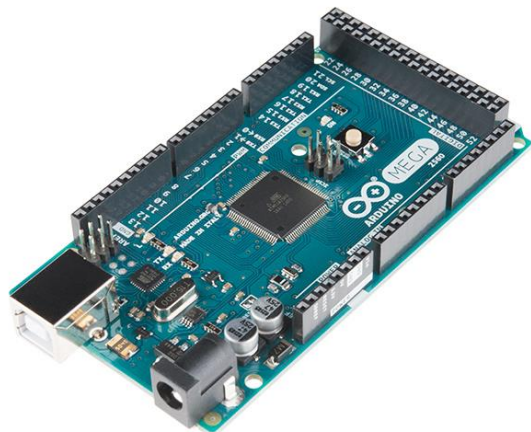
Valitud releede puhul on tagatud läbipaistvus ning ka piisav lülituspinge. Ühtlasi on võimalik releemähise pingestamiseks vajalikku pinget juhtida Arduinoga, kuna tegemist on madalpingega. Lisaks sellele on tagatud madal energiakulu relee lülitusel, mis tagab pika akude kestvuse.

4.3 Juhtmoodul

Kondensaatorpatarei juhtmooduli valikul tuleb lähtuda selle mõõtmetest, sisendite ning väljundite arvust ja vajalikust tööpingest. Antud töös peab juhtmoodul juhtima järgnevat:

- *Bluetooth*'i moodul
- Releede lülitused
- Displei

Releede lülitamine nõuab kokku 24 digitaalset IOd. Displei nõuab kokku 4 analoog IOd, puuetundlikkuse juhtimiseks 5 digitaalset IOd, kuigi seda viimast ei kasutata. BT moodul vajab töötamiseks 2 digitaalset IOd. Üheks kõige kompaksemaks ning lihtsamaks kontrolleriiks on Arduino. Valitud juhtmooduliks on Arduino Mega. [22], [24]



Sele 4.4 Arduino Mega [23]

Antud juhtmoodul täidab ära kõik vajalikud tingimused ning seetõttu osutus see ka valituks.

4.4 Lülitamine

Digitaaljuhtimise puhul on vajalik kasutada hetkeliselt rakenduvaid lüliteid. See on vajalik, et tekitada impulss-signaali ning selle abil saata läbi juhtmooduli signaal releedesse. Lisaks sellele on vajalik üks sisselülitamise nupp. Antud kondensaatorpatarei releede juhtimise jaoks on vajalik kasutada SPDT hetkeliselt rakenduvaid lüliteid. Lüliti valikul on oluline suurus ning ergonoomika. Valitud lülititeks osutusid NKK Switches M2018E4S1W01.



Sele 4.5 NKK Switches M2018E4S1W01 [27]

Valitud lülitite puhul on tegemist väga väikeste, kuid pikkade vai-lülititega. Ergonoomika mõttes on need kasulikud, kuna suuremate lülitite puhul on ka parem juurdepääs. Seadme korpuses on ruumi vähe, mistõttu on sellised lülitid kõige paremaks valikuks. Samuti on nõutud tingimused antud lülitite puhul täidetud.

Sisselülitamise surunupp peab olema SPST hetkeliselt rakenduv lüliti. Valitud lülitiks osutus MULTICOMP R13-527C-02-BB. [29]



Sele 4.6 MULTICOMP R13-527C-02-BB [30]

4.5 Displei

Displei valikul on oluline aspekt Arduinoga ühildumine. Mõõtmelt ei tohi olla displei liiga suur, kuna see peab korpusesse ära mahtuma. Samas ei tohi see olla ka liiga väike – sel juhul oleks ekraani jälgitavus halb. Arvesse tuleb võtta ka voolutarvet, kuna oluline on aku kestvus ning mida suurem on ekraan, seda rohkem see energiat tarbib. Valitud ekraaniks osutus ITEAD ITDB02 2.8" TFT TOUCH LCD, mille olulisemad karakteristikud [18] on järgmised:

- 2,8" suurune ekraan
- Puutetundlikkus
- Resolutsioon: 240x320 pikslit
- LED taustvalgustus
- 65000 värvi
- Energia kasutus 220 mW



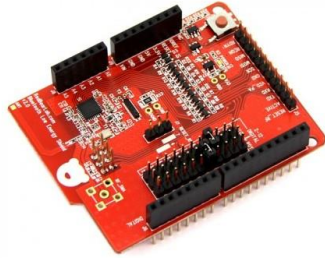
Sele 4.5 ITEAD ITDB02 2.8“ TFT TOUCH LCD [18]

Valitud ekraani puhul on tagatud ühilduvus Arduinoga. Samuti on antud ekraan piisava suurusega, et displeil kuvatavad väärtused oleksid selgelt jälgitavad. Valitud ekraani puhul on miinuseks see, et tegemist on puutetundliku ekraaniga, kuna kondensaatorpatarei läheb korpuse sisse, ei ole võimalik seda ekraani puudutada. Heaks omaduseks on aga see, et ekraanil on LED taustvalgustus, mis tähendab seda, et see on energiasäästlik.

4.6 Bluetooth'i moodul

Kaugjuhtivuse saavutamiseks on erinevaid võimalusi. Võimalik on kasutada NFC, *WiFi*, IR ning ka BT tehnoloogiaid. Antud töös seda põhjalikumalt ei uurita, ning valitakse tehnoloogiaks BT. Üheks mõjuvaks põhjuseks on leviala ning kasutamise lihtsus, mida teistel tehnoloogiatel sellisel kujul ei ole. Selleks, et lihtsustada BT kasutamist kondensaatorpatareis, tuleks kasutada laiendusplaati, mis ühilduks otse Arduino-ga. Valitud komponendiks osutus BLE Shield 2, mille tähtsamad parameetrid on [21] järgmised:

- BT 4.0 leviala
- Energia kasutus 75 mW



Sele 4.6 BLE Shield 2 Arduino laiendusplaat [20]

4.7 Akud

Tänapäeval kasutusel olevaid akutüüpe on mitmeid. Akude valiku puhul tuleb arvesse võtta, et kondensaatorpatarei suudaks töötada ilma välise lisatoiteta vähemalt 4 tundi. Seda selleks, et laboratoorsete tööde läbiviimisel kondensaatorpatarei terve aja vältel vastu peaks. Enamasti on laborite kestvuseks umbes 2 tundi, ning kondensaatorpatarei peaks suutma töötada vähemalt 2 laborit ühe laadimisega. Oluline parameeter on ka suurus, sest mida väiksemad on akud, seda kompaktsemaks on võimalik kondensaatorpatarei teha ning seda rohkem ruumi jääb ka teistele komponentidele. Kõige parema energiatihedusega saadavalolevatest akudest, vastavalt suurusele, on liitium-ioon tüüpi akud. [10] Kõige populaarsemad ning ühtlasi ka piisavalt kompaktsed akud on 18650 tüüpi akud.

Akud on antud seadmes vajalikud järgnevatel põhjustel:

- Releede lülituste toide
- Arduino töötamine
- Displei töötamine
- *Bluetooth*'i mooduli töötamine

Selleks, et välja arvutada tingimuste täitmiseks vajalikke aku parameetreid, on kasutatud järgmist valemit:

$$\sum E_{kogu} = 1,2 * (P_{ekraan} + P_{arduino} + 8 * P_{relee} + P_{bluetooth} + 8 * P_{LEDkond} + 2 * P_{LEDindk}) \quad (4.2)$$

kus Pekraan – ekraani voolu tarbimine, W,

 Parduino – arduino voolu tarbimine, W,

Prelee – relee voolu tarbimine, W,

Pbluetooth – *bluetooth* mooduli voolutarbimine, W,

Pledkond – kondensaatorite aktiivsust kuvavate LEDide voolutarbimine, W,

Pledindk – voolumuundurite indikaator LEDide voolutarbimine, W,

Ekogu – kogu energia hulk tunnis, Wh.

Antud valemis on korrutatud läbi kõik voolutarbimise väärtused 1,2-ga seetõttu, et jätta varu voolu tarbimisele. Raske on arvestada voolukadudega, mis tekivad voolumuundamisel. Ühtlasi on ka varu vajalik selleks, et mitte tekitada akudes ületarbimist, mis võib viia akude riknemiseni.

Arvutamisel lähtume sellest, et LEDide tarbimine on 20 mW.

Vastavalt valemile (4.2), leiame kogu energia hulga tunnis:

$$\sum E_{kogu} = 1,2 * (0,22 + 0,425 + 8*0,53 + 0,075 + 8*0,02 + 2*0,02) = 6,192 \text{ Wh}$$

Selleks, et leida kui suur on kogu energia tarbimine 4 tunni jooksul, tuleb korrutada leitud väärtus 4-ga.

$$4 * \sum E_{kogu} = 4 * 6,192 = 24,768 \text{ Wh}$$

Leitud väärtuse puhul on tegemist absoluutse maksimumiga ning enamasti siiski nii suur tarbimine seadmel ei ole.

4.7.1 Akude valik

Valitud akudeks on Sanyo NCR18650GA. [26] Valik teostati selliselt seetõttu, et maksimaalne voolutugevus tarbimisel ei ole eriti suur ning pigem on olulisem mahutavus. Valitud akud on hetkel mahutavuse poolest kõige paremad 18650 tüüpi akud, mis saadaval on.



Sele 4.7 Sanyo NCR18650GA

4.7.2 Akuhoidiku valik

Maksimaalne voolutugevus tarbimisel on ahelas 2A. 4-tunnise tööaja saavutamiseks akutoitel kondensaatorpatareiga on vajalik kasutada vähemalt kahte sellist akut. Seda seetõttu, et ühe aku maksimaalne energiahulk on 11,5 Wh. Kui kasutada kahte akut kas rööbiti või jadamisi ühendatult, on võimalik suurendada aku mahtuvust kaks korda. Sel juhul oleks ligikaudne energiahulk 23 Wh. Antud väärtus on juba piisav selle kondensaatorpatarei jaoks.

Akuhoidiku valikul tuleb silmas pidada, et see oleks võimalikult kompaktne. Valitud hoidikuks on Keystone 1048.



Sele 4.8 Keystone 1048 akuhoidik

Valitud akuhoidik on minimalistlik ning kompaktne. Antud otstarbeks sobib hästi.

5. MEHAANIKA

Mehaanika hõlmab kinnituste tegemist kondensaatoritele, akudele, releedele, trükkplaatidele ning lülititele. Samuti hõlmab see olemasolevate komponentide valikut, kuna alati ei ole kõige odavam kõike ise valmistada. Kinnituste tegemisel ning komponentide valikul tuleks arvesse võtta järgmist:

- peab olema võimalikult läbinähtav
- ei tohi juhtida elektrit
- peab olema vastupidav
- maksumus ei tohi olla väga suur

5.1 Korpus

Ohutuse ning vastupidavuse mõttes on vajalik kasutada komponentide ümber korpust. Arvesse tuleb võtta, et korpus ei tohi juhtida elektrit ning peab olema võimalikult läbipaistev, mistõttu ei saa kasutada metalle. Järelejäävad valikud on klaas ning pleksiklaas. Kuna kukkumisohtu ei saa välistada, peab olema valitud materjal võimalikult vastupidav. Pleksiklaas on palju vastupidavam kukkumisele võrreldes klaasiga. Kukkumisekindluselt üks kõige vastupidavamaid plaste on polükarbonaat, sellest valmistatakse ka kuulikindlaid klaase. [9] Arvestada tuli korpuse puhul mõõtmetega, kuna kõik vajalikud komponendid peavad sisse ära mahtuma. Võttes arvesse kõikide komponentide mõõtmeid, leidsin, et kõige parema suuruse ning materjaliga korpus on Gainta G232C. [11]

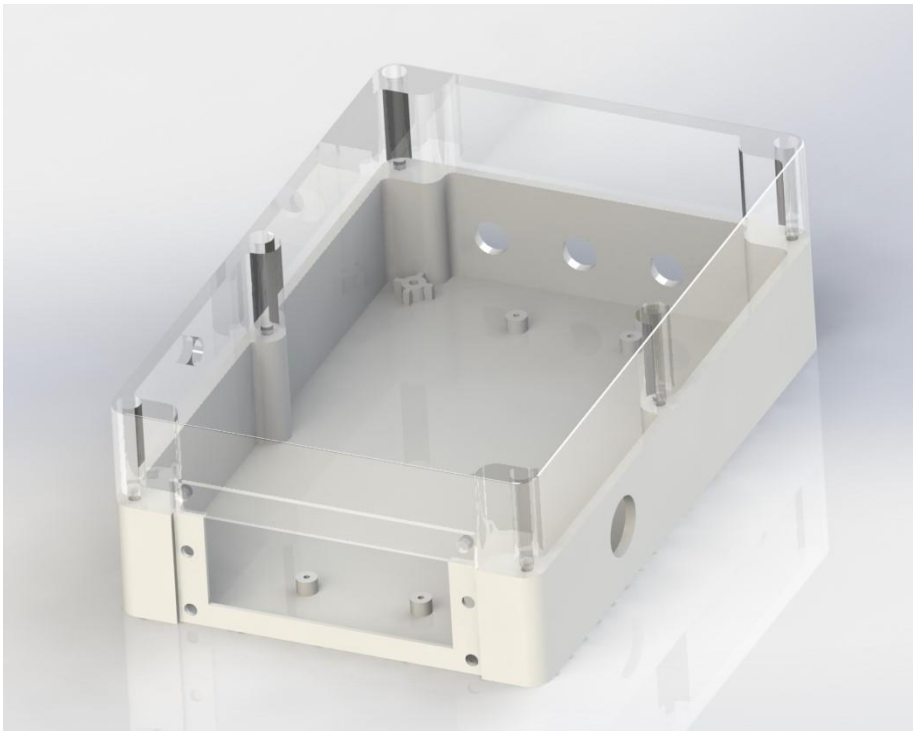


Sele 5.1 Gainta G232C

Valitud korpuse juures on veel hea see, et sellel on kõrgendustega keermestatud kinnitusavad sees olemas. See lihtsustab oluliselt kinnituste projekteerimist ning tagab ka nende fikseerimise korpuse külge. Ühtlasi on korpus tolmu ja niiskusekindel. Samas üheks miinuseks on see, et korpus pole täielikult läbinähtav.

5.1.1 Korpuse töötlus

Korpuse külge kinnitub metallist lülitiplaat. Samuti kinnituvad *banana*-test pistikud karbi külge ning lisaks sellele ka üks suurem lüliti. Korpuse töötlemisel kasutatavad tootmistehnoloogia protsessid on freesimine ning puurimine. Freesida tuleb 2 mm sügavusega lõige korpuse esiküljele metallist lülitiplaadi mõõtmetega. Järgmiseks protsessiks on lülitite jaoks ristkülikukujulise augu freesimine läbivalt, et lülitid koos trükkplaadiga sisse ära mahuks ning omakorda kinnituksid lülitiplaadi külge. Seejärel tuleb puurida *banana*-test pistikute jaoks 12 mm diameetriga 3 auku korpuse tahaseina, 20 mm diameetriga auk karbi paremale küljele surunupu jaoks ning 9 mm diameetriga auk akude laadimispistiku jaoks.



Sele 5.2 Töödeldud korpus

5.2 Kinnitused pleksiklaasist

Kinnituste tegemisel tuleb arvesse võtta asjaolu, et kõik komponendid peavad ära mahtuma valitud korpusesse. Kinnituste vajalikke suuruseid on võimalik projekteerida kasutades 3D CAD tarkvara. Antud töös on kasutatud SolidWorks [2] tarkvara kinnituste projekteerimiseks. Kuna valitud korpus

ei ole täielikult läbinähtav, tuleb ka kinnituste tegemisel arvestada sellega, et komponendid oleksid võimalikult nähtaval kohal.

5.1.1 Materjali ja tootmistehnoloogia vallik

Kinnituste valmistamisel tuleb silmas pidada asjaolu, et kinnitused ei tohi juhtida elektrit ning peavad olema võimalikult läbipaistvad. Samuti peavad kinnitused olema piisavalt tugevad, et hoida komponente kinni ning ühtlasi ka kindluse mõttes taluma põrutust. Arvestades eelnevat, on kõige paremaks materjaliks pleksiklaas. Kuna korpus on valitud selliselt, et see kaitseks seesolevaid komponente ning ühtlasi ka nende kinnitusi, ei pea kinnitused olema niivõrd tugevad. Silmas pidades kinnituste läbipaistvuse aspekti, oleks kõige mõistlikum kasutada akrüülklaasi, kuna sellel on parem läbipaistvus, kui polükarbonaadil. [9] Kuna üks kõige enimkasutatavaid akrüülklaase on PMMA, sai ka see valitud.

Tootmistehnoloogia valikul tuleb arvesse võtta seda, et detailid on suhteliselt väikeste mõõtmetega. Samuti on ka nõutud suhteliselt suur täpsus. Selleks, et tagada vajalik täpsus, on vaja kasutada CNC juhtimisega treipinki. Üheks võimalikuks tootmistehnoloogiaks on veel materjalide valamine. Selleks on vajalik vormide valmistamine, ning arvestades antud materjali ning täpsust, peaks vorm olema valmistatud metallist. Metallist valuvormide valmistamine on üpris kallid ning arvestades seda, et tegu pole masstootmisesse mineva seadmega, ei ole selline väljaminek õigustatud. [12]

5.1.2 Alusplaat

Korpuse põhja kinnitub nelja M3 poldiga alusplaat, kuhu kõik ülejäänud kinnitused omakorda kinnituvad. Selle plaadi paksus on 3 mm. Projekteerimise käigus on arvesse võetud korpuse sisemisi mõõtmeid ning keermestatud aukude asetust. Plaadile on projekteeritud akuhoidiku jaoks sisselõige, et akud mahuksid korpusesse sisse. Selle lõike sügavus on 2 mm, ehk akupakk kinnitub ise 1 mm paksuse kihi külge.

Arvestades asjaolu, et korpuse sees olevad kinnitused on nii külgedelt kui ka ülalt vastu surutud, ei ole alusplaadile mõjuvad jõud eriti suured. Pigem on alusplaat monteerimise lihtsustamiseks ning kogu sisu ühele jonele seadmiseks. Seega on alusplaadi kogupaksus 3 mm õigustatud.

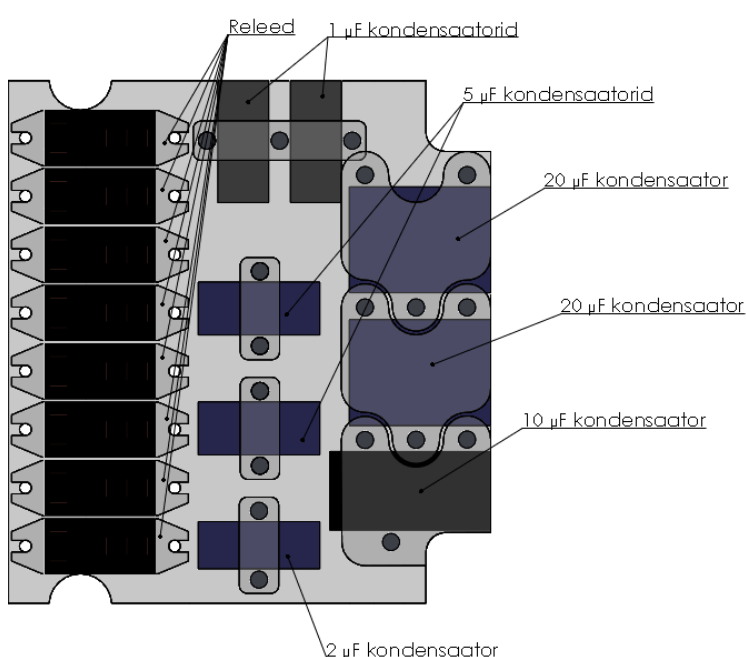
Antud plaadile tehtud augud on tehtud varuga M3 ja M4 poltide jaoks. Seda selleks, et monteerides neid mutritega alusplaadi külge kinnitada saaks. Samuti on projekteeritud akupaki jaoks vajalik sisselõige piisava varuga, arvestades freesimisel tekkivaid ümaraid servasid ning ühtlasi ka monteerimise lihtsustamiseks. Alusplaadi asetust korpuses on näha lisa 1 ning alusplaat koos mõõtmetega lisa 4.

5.1.3 Kondensaatorid ja releed

Kondensaatoreid on projekteeritud kondensaatorpataraisse kokku 8. Nende kinnitamisel on kasutatud toestusplaate nii ülalt kui ka alt. Kinnitused survestavad kondensaatorid nende vahele.

Survestamiseks on kasutatud peitpeaga M4 polte ning mutreid. Ülevalt toestav plaat on kõikidele kondensaatoritele üks, ning see on tehtud 3 mm paksusest materjalist. See on nähtav koos mõõtmetega lisas 1. Sellele plaadile kinnituvad ka releed, kasutades peitpeaga M3 polte ning mutreid. Pidades silmas, et kõik kasutatavad poldid antud plaadil on peitpeadega, on jäetud vajalik varu hilisemaks faaside puurimiseks. Releed kinnituvad selle plaadi alumisele poolele (sele 4.4). Releede kinnitusaukude projekteerimisel on jäetud igale releele piisav vahe, et need kinnitamisel üksteisele pihta ei läheks.

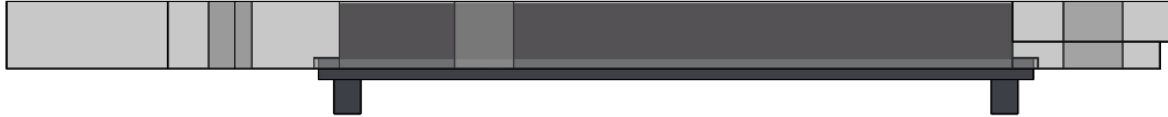
Kondensaatorite survestamiseks alt on projekteeritud igale suuremale kondensaatorile 3 poldiga kinnitused ning väiksematele 2 poldiga kinnitused. Seda on tehtud selleks, et suurendada puutepinna ala. Kahel väiksemal releel on ühine kinnitus seetõttu, et teistsugusel kondensaatorite paigutamisel poleks kõik komponendid korpusesse ära mahtunud.



Sele 5.3 Kondensaatorite kinnitused alt ning releede asetus

5.1.4 Näidik

Näidiku kinnitus on tehtud 5 mm paksusest materjalist. Seda eesmärgil, et näidik ei oleks survestatud vastu korpuse ülemist pinda. Näidiku kinnitusele on sisse freesitud 3 mm sügavune soon, et see ühtiks ülevalt releede ning kondensaatorite ühise kinnitusplaadiga (sele 5.2). Näidik on altpoolt survestatud trükkplaadiga vastu kinnitust, kuna see on märkimisväärselt tugevam kui ekraan ise. Ühtlasi on antud kinnitusele tehtud augud kondensaatorite oleku kuvamiseks mõeldud LEDide jaoks. Need augud on tehtud väikse varuga ning nende sisse lähevad 3 mm LEDid.



Sele 5.4 Näidiku kinnituse külgvaade

Antud kinnitus on survestatud ülevalt ja külgedelt vastu korpust. Näidiku kinnituse joonis koos mõõtmetega on nähtav lisas 2.

5.2 Kinnitused metallist

Lülitite kinnitamiseks korpuse külge, on kasutatud nende toetuseks 2 mm paksusega metallplaati. Seda selleks, et suurendada korpuse jäikust kõige suurema survega kohas ning ühtlasi tekitada natukene rohkem ruumi sisemusse. Metallplaadi külge on kinnitatud ka mööbli käepidemed. Need on kasutusel lülitite kaitseks löögi eest ning ühtlasi transportimise lihtsustamiseks.

Metallplaadi tootmisprotsess on stantsimine ning materjal tsink. Antud tootmisprotsessi on kasutatud seetõttu, et tootmiskulude seisukohalt tuli see odavam kui freesimine. Tsinki on kasutatud materjalina sellepärast, et see materjal on tugevam kui alumiinium. Kuna mööblikäepidemed on läikiva pinnatöötlemisega, siis sobib tsink ka välimuselt paremini kokku nendega.



Sele 5.5 Metallist lülitiplaat koos lülitite ning käepidemetega

6. ELEKTROONIKA TRÜKKPLAADID

Trükkplaatide tegemine hõlmab endas kahe trükkplaadi projekteerimist ning valmistamist. Projekteerimisel on aluseks võetud järgnevad põhitõed:

- Radade laius on maksimaalse suurusega kohtades, kus liigub suurim voolutugevus
- Ühte funktsiooni täitvad komponendid on üksteisega võimalikult lähestikku koos

Antud töös on kasutatud trükkplaatide tegemiseks kahepoolseid vask kattega prototüüpimiseks mõeldud plaate. Vasekihi paksus on plaatidel 18 µm ning trükkplaatide enda paksus on 1,5 mm.

6.1 Lülitite trükkplaat

Lülitite trükkplaat on lihtne kaheksat lülitit koondav plaat. Nende lülitite rajad viiakse kokku ühte 18 jalaga *header*'isse. Iga lülitile suunatakse läbi süsteemi juhtimise trükkplaadi pinge 5 V, ning lüliti asendi muutusel juhitakse see vastavalt teostatud lülitusele süsteemi juhtimise trükkplaati tagasi. Antud trükkplaadi skeemi on võimalik näha lisas 6.

6.1.1 Trükkplaadi disain

Trükkplaadi disainimisel on üritatud jootmisprotsessi võimalikult lihtsaks teha. Radade vedamisel pole kasutatud mitte ühtegi läbivat auku radade üle viimiseks. Ühtlasi on ka rajad veetud mõlemale poole trükkplaati. Trükkplaadile on tehtud kinnitusavad diameetriga 3.2 mm, mida kasutatakse distantsmuttritega metallist lülitiplaadi külge fikseerimiseks. Trükkplaadi lõppkuju on võimalik näha lisades 7 ja 8.

6.2 Süsteemi juhtimise trükkplaat

Süsteemi juhtimise trükkplaat koosneb järgnevast

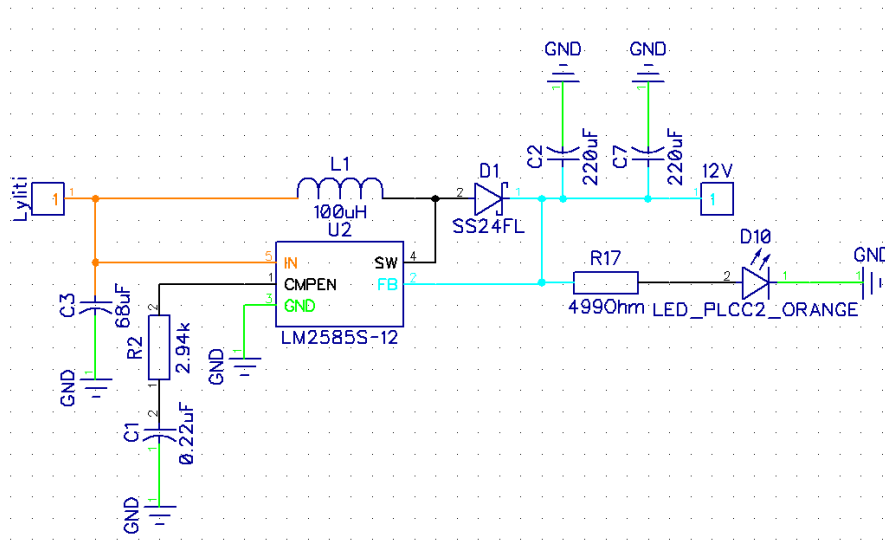
- 12 V DC/DC muundur
- 5 V DC/DC muundur
- PNP ja NPN transistoritega lülituste tegemine
- Akude laadimine

Trükkplaadi joonised on nähtavad lisades 9 ja 10.

6.2.1 12 V DC/DC

Skeemi koostamisel on kasutatud muundurkivina LM2585S-12 kivi. [31] Tegemist on *boost* topoloogial põhineval alalisvoolu muunduril, millel on fikseeritud väljundpinge 12 V. Antud kivi

valikul on positiivne ka see, et vajaminevaid lisakomponente muunduri tööks on suhteliselt vähe võrreldes mõne teise sarnasel topoloogial põhineval muunduriga.

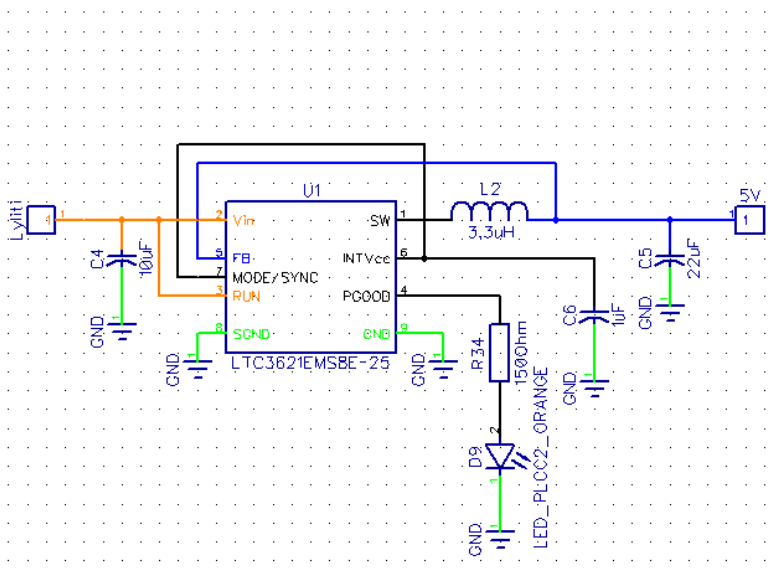


Sele 6.1 12 V DC/DC muunduri skeem

Sellel skeemil kasutusel olevad komponendid on kõik SMD detailid. Seda selleks, et vähendada trükkplaadi koostamisel lisa auke ning lihtsustada radade vedamist.

6.2.2 5 V DC/DC

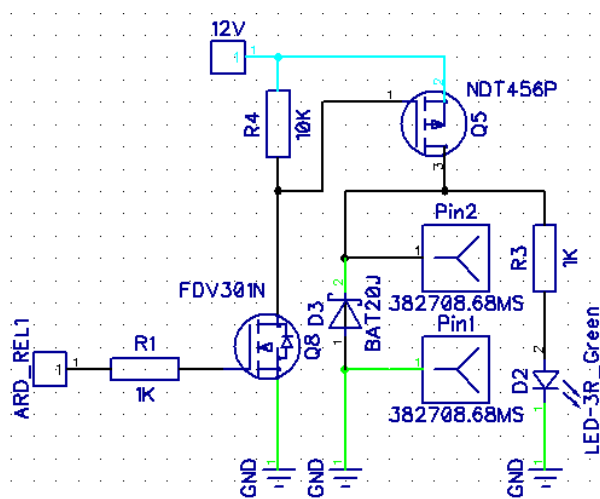
Selle skeemiosa koostamisel on kasutusel muundurkiviina LTC3621EMS8E-25 kivi. [32] Tegemist on *step-down* topoloogial põhineval alalisvoolu muunduril, millel on fikseeritud väljundpinge 5 V. Antud kivi puhul on kasutusel lisakomponentidena muundurile kõik SMD detailid. Ka selle muunduri puhul on positiivseks omaduseks lisakomponentide arvu vähesus.



Sele 6.2 5V DC/DC muunduri skeem

6.2.3 PNP ja NPN tüüpi transistoritega lülitused

Kondensaatorpatareil on igale relele tehtud PNP ja NPN tüüpi transistorlülituste skeem, ehk kokku on selliseid skeemiosasid antud trükkplaadil kokku 8. Kõik kasutatavad komponendid on SMD detailid välja arvatud indikaator LEDid, mis trükkplaadist välja tulles kinnituvad näidiku kinnitusplaadi külge.



Sele 6.3 PNP ja NPN tüüpi transistoritega lülitused

Antud skeemiosas on Arduino digitaalliin ühendatud takistiga, kust signaal liigub läbi NPN tüüpi transistori. Sellest tulenevalt liigub signaal edasi PNP tüüpi transistori, mis läbi selle lülitab ennast ümber. Juhul kui Arduino digitaalliinilt kaob pinge ära, lülitub transistor tagasi algasendisse. Seeläbi liigub skeemilt tulev 12 V toide otse releesse, mis omakorda rakendab kondensaatori vooluvõrku.

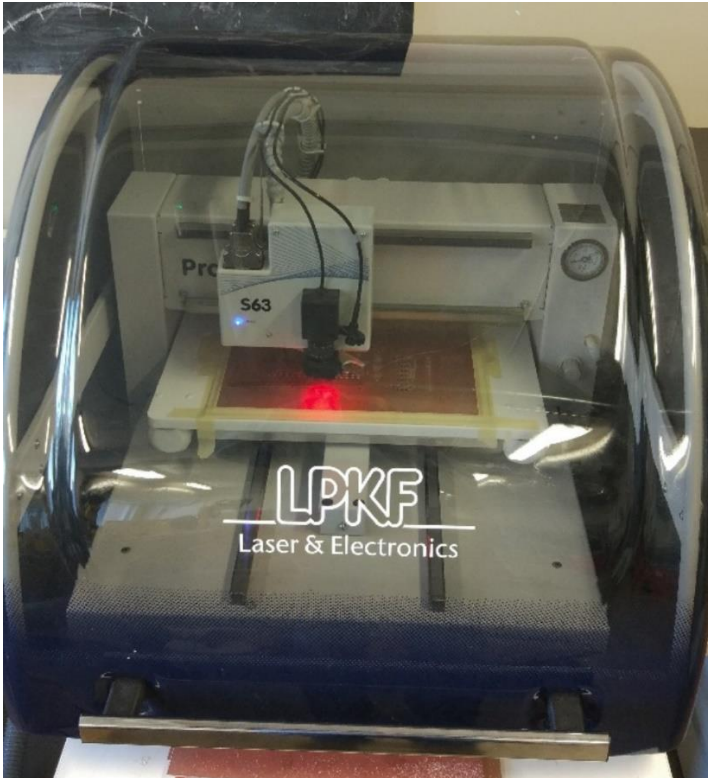
6.2.4 Akude laadimine

Akude laadimiseks on kasutusel LT3652EMSE kivi. [33] Selle eripäraks on võimalus laadida kahte 18650 akut korraga. See kivi suudab laadida nii rööbiti ühenduses olevaid akusid kui ka jadamisi olevaid akusid. Üheks laadimiseskeemi miinuseks on paljude lisakomponentide vajadus. Sellel laadimiskivil on ka temperatuuri kontroll akude laadimisel, mis reguleerib voolutugevust ka sellele vastavalt. Kui akude temperatuur läheb liiga suureks, lõpetab laadimiskivi laadimise ning

Akude laadimisskeemi on võimalik näha lisas 12.

6.3 Trükkplaadi valmistamine

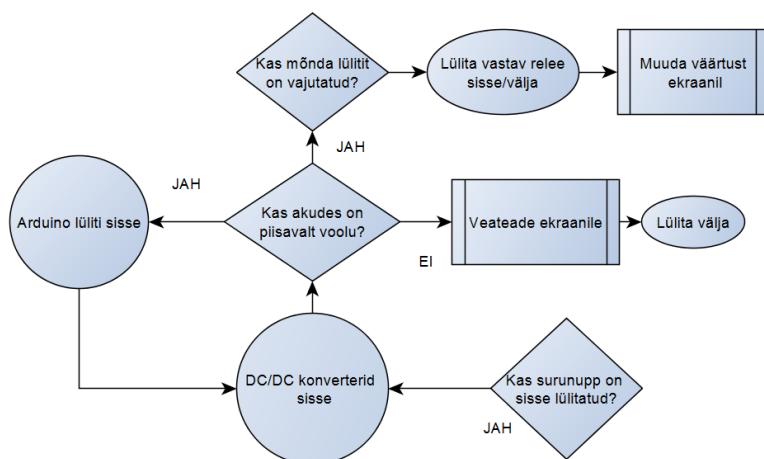
Trükkplaatide valmistamiseks on kasutatud spetsiaalset trükkplaatide prototüüpimisteks mõeldud CNC freespink LPKF Protomat S63. Antud pingil on trükkplaadi kinnihoidmiseks vaakumlaud ning sellel on ka 15 kohaga tööriista hoidik.



Sele 6.4 LPKF Protomat S63

7. SÜSTEEMI JUHTIV TARKVARA

Arduinot juhtiv tarkvara tegeleb pideva lülitite asendi kontrolliga ning lüliti positsiooni muutusel ka rakendamisega.



Sele 7.1 Arduino juhtimisloogika

Mehaanilised SPDT lülid on ühendatud kõik digitaalsetesse sisend/väljund pinidesse. Juhul kui lüliti vajutatakse, saadetakse signaal Arduinosse, mis omakorda lülitab vastavuses oleva relee sisse tabeli 7.1 põhjal. Surunupu SPST vajutamisel rakendatakse toiteahel Arduino väliselt. Kui Arduino tööle läheb, kontrollib see kõigepealt pingejaguri pealt tulevat väärtust ja kui see on väiksem kui lubatud, siis see ei rakenda DIO36 väljundit. See väljund tekitab sulgeb voluringi ning paneb kogu skeemi tööle. Juhul kui DIO36 väljund pole sees, ei ole võimalik ka vastavaid lülitusi releele juhtimiseks teha. Arduino saadab ekraanile veateate, ning surunupu lahtilaskmisel lülitab kondensaatorpatarei ennast välja.

Tabel 7.1 Lülitite asendite ning releede vastavused Arduino pin'idega

Lüliti	Sisse	Välja	Relee
1	DIO38	DIO39	DIO29
2	DIO40	DIO41	DIO28
3	DIO42	DIO43	DIO27
4	DIO44	DIO45	DIO26
5	DIO46	DIO47	DIO25
6	DIO48	DIO49	DIO24
7	DIO50	DIO51	DIO23
8	DIO52	DIO53	DIO22

Näidiku juhtimiseks on kasutusel UTFT library. [1] Selles on olemas kõik vajalikud näidiku juhtimise algoritmid lihtsate funktsioonidega. Näidik kasutab andmeside vahetuseks Arduinoga analoog IOsid.

KOKKUVÕTE

Käesoleva lõputöö eesmärgiks oli valmis projekteerida digitaaljuhtimisega kondensaatorpatarei.

Selle eesmärgi täitmiseks olid sissejuhatuses välja toodud järgnevad punktid:

- Olemasoleva kondensaatorpatarei võimaluste ja tööpõhimõtetega tutvumine
- Mehaanikakomponentide projekteerimine ja valmistamine
- Digitaaljuhtimiseks vajalike komponentide valik
- Elektroonika trükkplaatide projekteerimine ja valmistamine
- Juhtimistarkvara loogika koostamine

Kõige keerulisemaks osaks peab töö autor elektroonika trükkplaatide projekteerimist. Seda seetõttu, et eelnev kogemus selles valdkonnas oli puudulik. Teostatud trükkplaat oli suhteliselt keeruline ning selle projekteerimine oli aeganõudev töö. Keeruliseks tegi ka asjaolu, et trükkplaadid pidid mehaaniliselt olema väga täpsete mõõtmetega, et kondensaatorpatarei sisse mahtuda. Lisas 13 on näha valmis tehtud trükkplaati, kuid selle jootmistööd on lõputöö esitamise tähtajaks veel pooleli.

Ka mehaanilise osa projekteerimine oli keeruline, kuna parima komponentide asetuse saavutamiseks tuli eelnevalt katsetada läbi mitmeid variante.

Sellegipoolest projekteeritud lahenduse edasiarenduseks on võimalusi mitmeid. Võimalus on kasutada kondensaatorpatareis olevat *bluetooth*'i moodulit kaugjuhtimise saavutamiseks. Samuti on ka võimalus projekteerida kondensaatorpatarele potentsiomeeter mahtuvuse väärtuste muutmiseks.

SUMMARY

The purpose for this thesis is to design a digitally controlled capacitor array.

To reach this objective, there were points listed in the introduction as followed:

- Familiarization with existing possibilities and principles of operation of capacitor arrays
- Mechanical components planning and production
- Picking the components for digital control
- Planning and production of printed circuit boards
- Software logic compilation

The most difficult part of the work for the autor must be the design of electronic circuit boards. This is because prior experience in this area was inadequate. Completed circuit board was fairly complicated, and designing it was a time-consuming job. Made complicated by the fact that the circuit boards had to be mechanically in very precise dimensions to fit into the capacitor array. Appendix 13 shows the finished printed circuit board, but its soldering has not been completed by the deadline for submitting the thesis.

Also, the mechanical part of the design was difficult, because the arrangement of components to achieve the best came from previously testing out several variations.

Nevertheless, the designed solution can be further developed in a number of ways. One option is to use the Bluetooth module inside the capacitor array to make it remotely controlled. It is also possible to design potentiometer into the capacitor array to change the capacitance values.

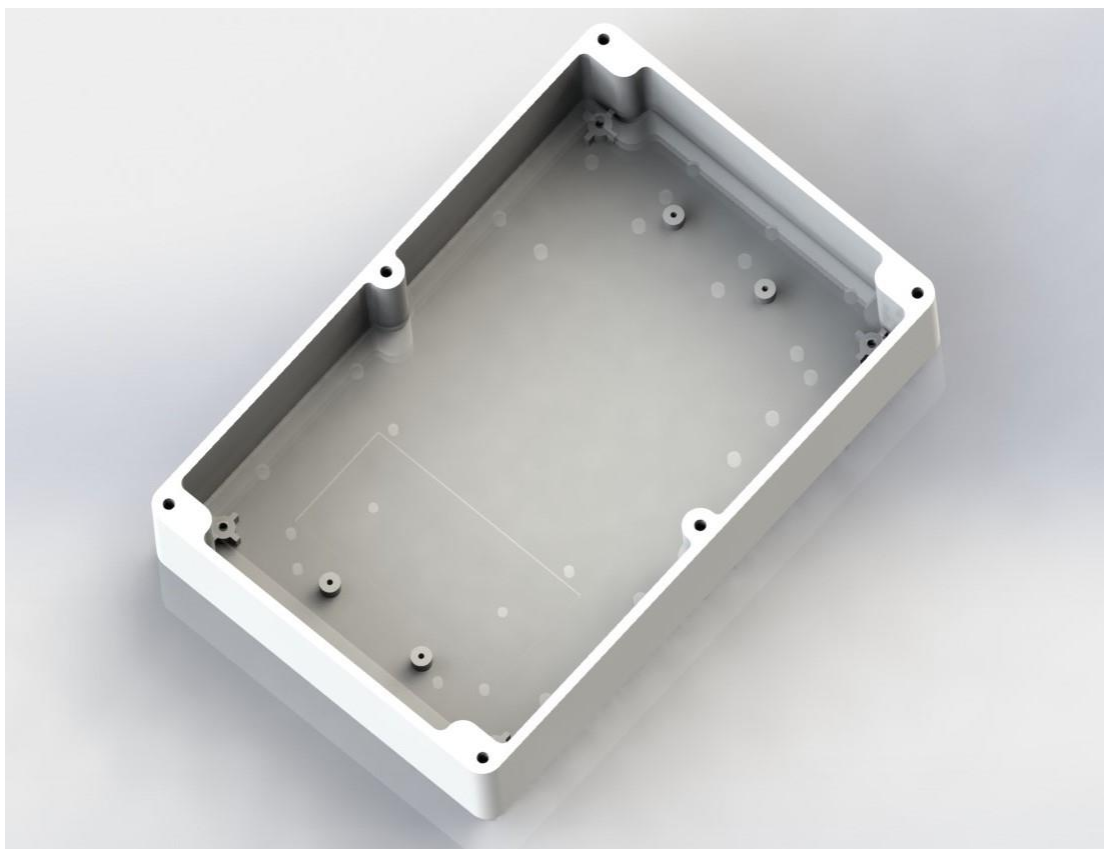
KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] Rinky-Dink Electronics, UTFT Library [WWW]
<http://www.rinkydinkelectronics.com/library.php?id=51> (01.05.2017)
- [2] SolidWorks [WWW] <http://www.solidworks.com/> (01.05.2017)
- [3] DipTrace [WWW] <http://www.diptrace.com/> (01.05.2017)
- [4] C++ [WWW] <http://www.cplusplus.com/> (01.05.2017)
- [5] Arduino IDE [WWW] <https://www.arduino.cc/en/Main/Software> (01.05.2017)
- [6] LPKF CircuitPro PM [WWW] <http://www.lpkf.com/products/rapid-pcb-prototyping/software/circuitpro-pm.htm> (01.05.2017)
- [7] Elektrivarustus, Raivo Teemets [PDF]
http://www.ene.ttu.ee/elektriamid/oppeinfo/materjal/AAV3340/EIVar_3_Keskpingevorgud_3.3_Juhtimine_ja_reguleerimine.Konspekt2010kevad.pdf (01.05.2017)
- [8] Reaktiivvõimsuse kompenseerimine [WWW]
<http://www.fredi.ee/energiakvaliteet/reaktiivvoimsuse-kompenseerimine.html> (01.05.2017)
- [9] ACRYLIC VS. POLYCARBONATE: A QUANTITATIVE AND QUALITATIVE COMPARISON [WWW] <http://www.hydrosight.com/acrylic-vs-polycarbonate-a-quantitative-and-qualitative-comparison/> (05.05.2017)
- [10] What's the Best Battery? [WWW]
http://batteryuniversity.com/learn/archive/whats_the_best_battery (10.05.2017)
- [11] Gainta G232C [WWW] <http://www.gainta.com/en/g232c.html> (15.05.2017)
- [12] Plastide töötlemine, Aigar Hermaste [PDF]
https://h1.moodle.hitsa.ee/pluginfile.php/244386/mod_resource/content/0/Tootmistehnika_alused/Plastid.pdf (15.05.2017)
- [13] Omron G2R-1 PCB Power Relays [WWW]
https://www.omron.com/ecb/products/pry/121/g2r_1.html (15.05.2017)
- [14] industrierelais-10a-g2r-1t-1-wechsler.jpg [WWW]
https://www.elfadistrec.ee/Web/WebShopImages/landscape_large/t/if/industrierelais-10a-g2r-1t-1-wechsler.jpg (15.05.2017)
- [15] R71QR41004010K datasheet [WWW]
http://www.farnell.com/datasheets/2203089.pdf?_ga=2.162360444.1360685690.1495611508-671934117.1488802188 (17.05.2017)
- [16] EPCOS B32774 ... B32778 datasheet [WWW]
http://www.farnell.com/datasheets/2015764.pdf?_ga=2.158818426.1360685690.1495611508-671934117.1488802188 (17.05.2017)
- [17] PANASONIC EZPE80106LTA datasheet [WWW]
http://www.farnell.com/datasheets/1644446.pdf?_ga=2.133997646.1360685690.1495611508-671934117.1488802188 (17.05.2017)

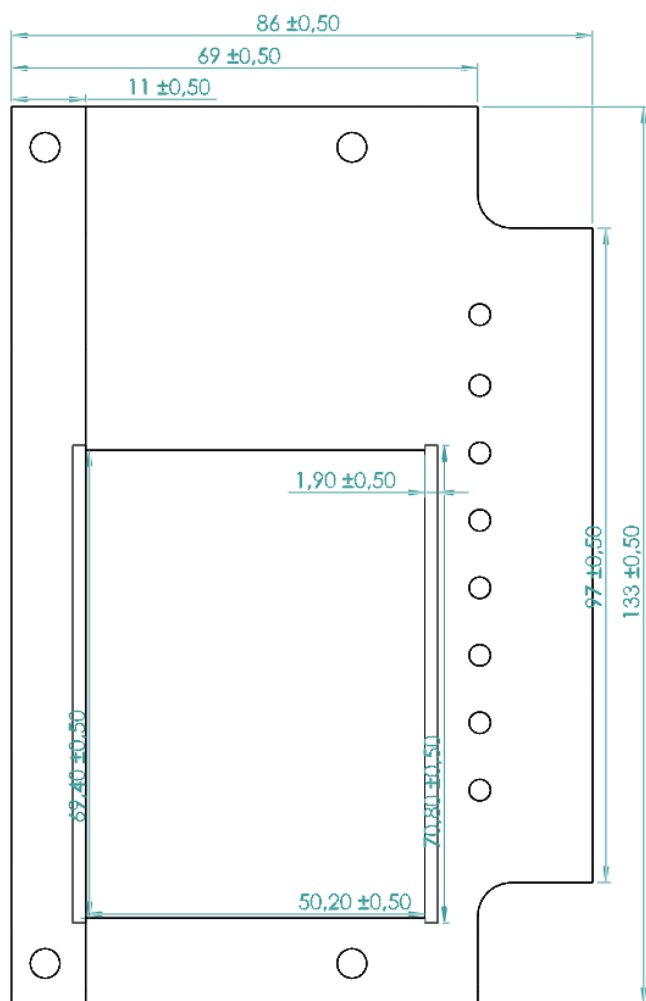
- [18] im120417020_8.jpg [WWW] https://cdn.itead.cc/media/catalog/product/cache/1/image/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/i/m/im120417020_8.jpg (18.05.2017)
- [19] ITEAD ITDB02 2.8" TFT TOUCH LCD datasheet [WWW] https://www.itead.cc/wiki/2.8_TFT_LCD_Touch_Shield_V2 (18.05.2017)
- [20] bluetooth-40-laiendusplaat-arduino.jpg [WWW] http://www.ittgroup.ee/406-thickbox_default/bluetooth-40-laiendusplaat-arduino.jpg (18.05.2017)
- [21] a
- [22] Arduino Mega 2560 [WWW] <https://www.arduino.cc/en/main/arduinoBoardMega2560> (18.05.2017)
- [23] 11061-01c.jpg [WWW] <https://cdn.sparkfun.com/assets/parts/6/4/3/3/11061-01c.jpg> (18.05.2017)
- [24] Ina3221 raspberry pi and arduino power consumption [WWW] <http://www.switchdoc.com/2015/03/ina3221-raspberry-pi-and-arduino-power-consumption/> (18.05.2017)
- [25] am-2998 TouchScreen datasheet [WWW] http://files.andymark.com/am-2998_TouchScreen.PDF (18.05.2017)
- [26] Sanyo/Panasonic NCR18650GA test [WWW] <http://lygte-info.dk/review/batteries2012/Sanyo%20NCR18650GA%203500mAh%20%28Red%29%20UK.html> (20.05.2017)
- [27] nkk_m2018e4s1w01.jpg [WWW] http://www.mouser.ee/images/nkkswitches/lrg/nkk_m2018e4s1w01.jpg (20.05.2017)
- [28] NKK Switches Miniature Toggles datasheet [WWW] <http://www.mouser.com/ds/2/295/MtogglesBushing-31423.pdf> (20.05.2017)
- [29] MULTICOMP R13-527C-02-BB datasheet [WWW] http://www.farnell.com/datasheets/1662154.pdf?_ga=2.162283772.1360685690.1495611508-671934117.1488802188 (20.05.2017)
- [30] 1634667-40.jpg [WWW] http://ee.farnell.com/productimages/standard/en_GB/1634667-40.jpg (20.05.2017)
- [31] LM-2585 datasheet [WWW] <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2585.pdf> (21.05.2017)
- [32] LTC3621 datasheet [WWW] http://www.farnell.com/datasheets/1923943.pdf?_ga=2.163991423.1360685690.1495611508-671934117.1488802188 (21.05.2017)
- [33] LTC3652EMSE datasheet [WWW] http://www.farnell.com/datasheets/2006706.pdf?_ga=1.120486408.1234626326.1490719067 (21.05.2017)

LISAD

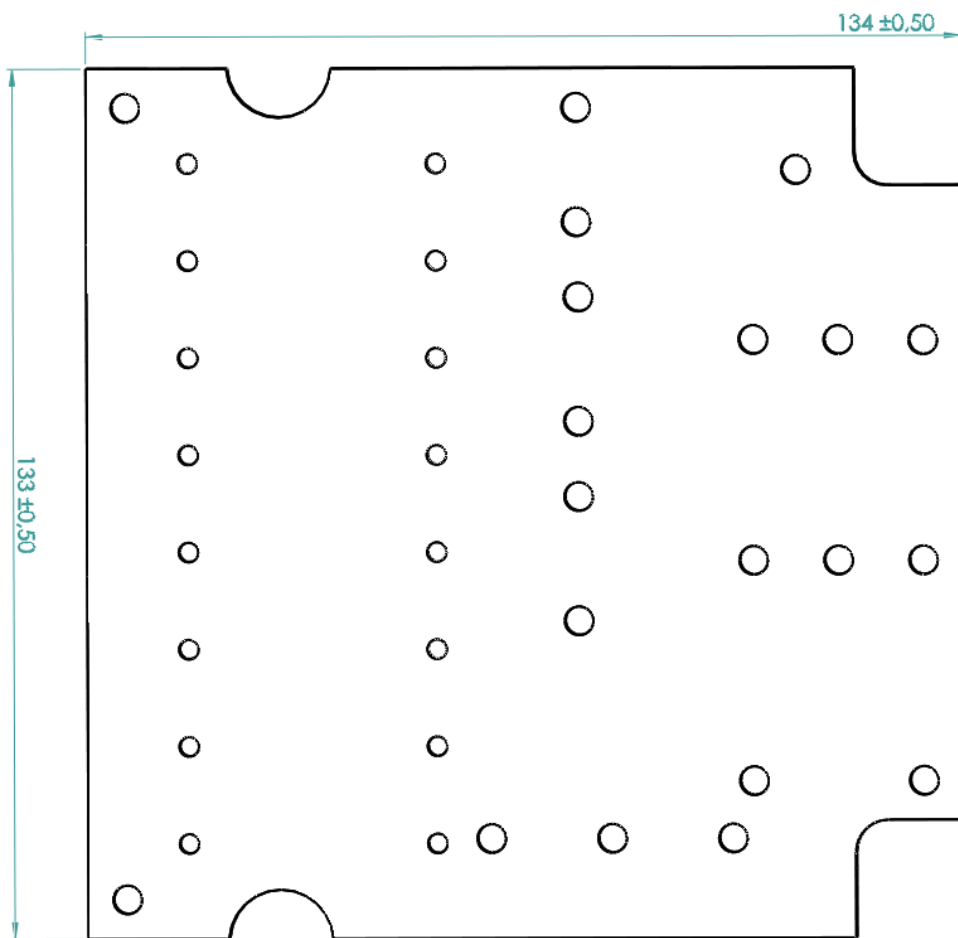
Lisa 1: Alusplaadi asetus korpuses



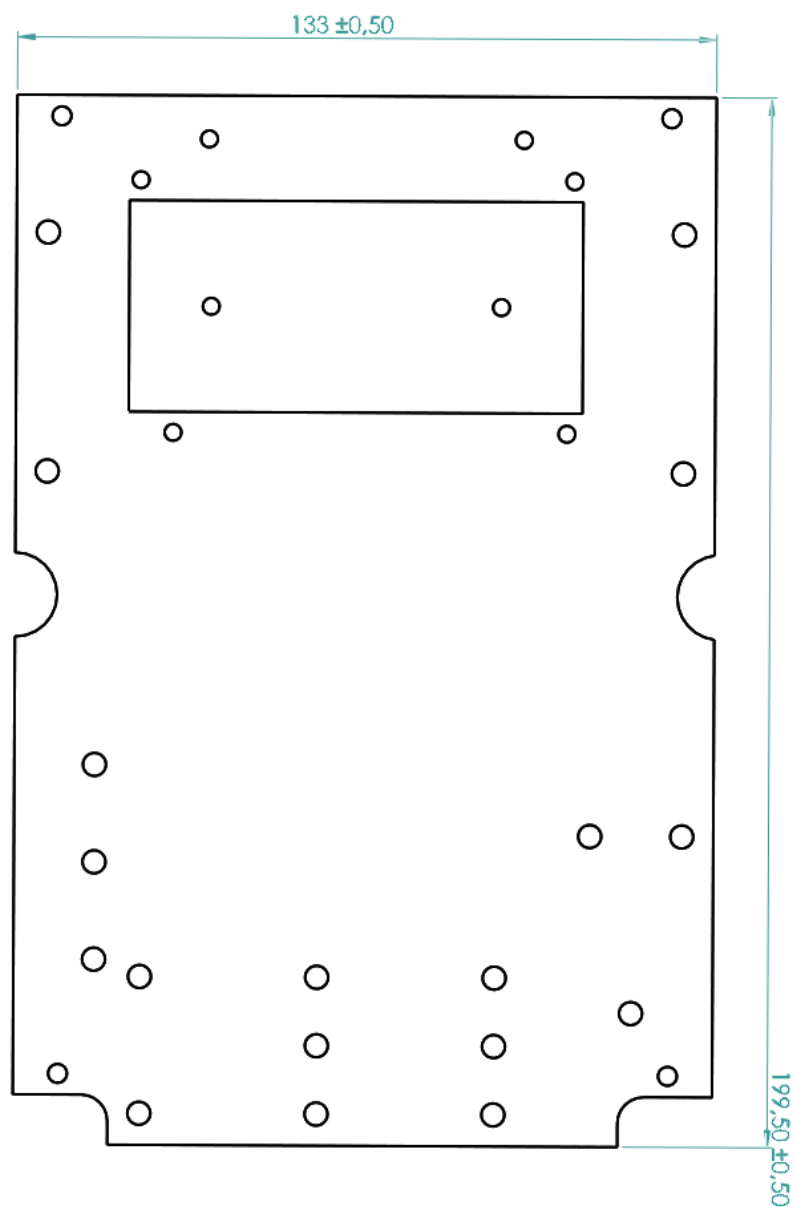
Lisa 2: Näidiku kinnituse joonis koos mõõtmetega



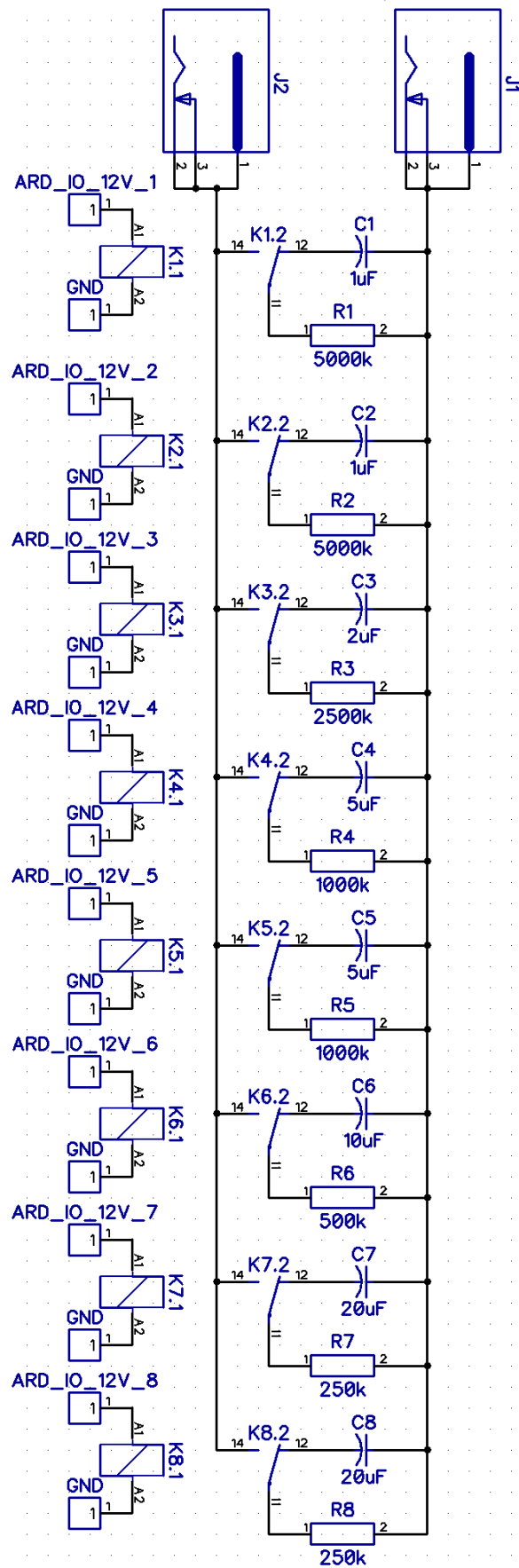
Lisa 3: Kondensaatorite ja releede ühine kinnitus koos mõõtmetega



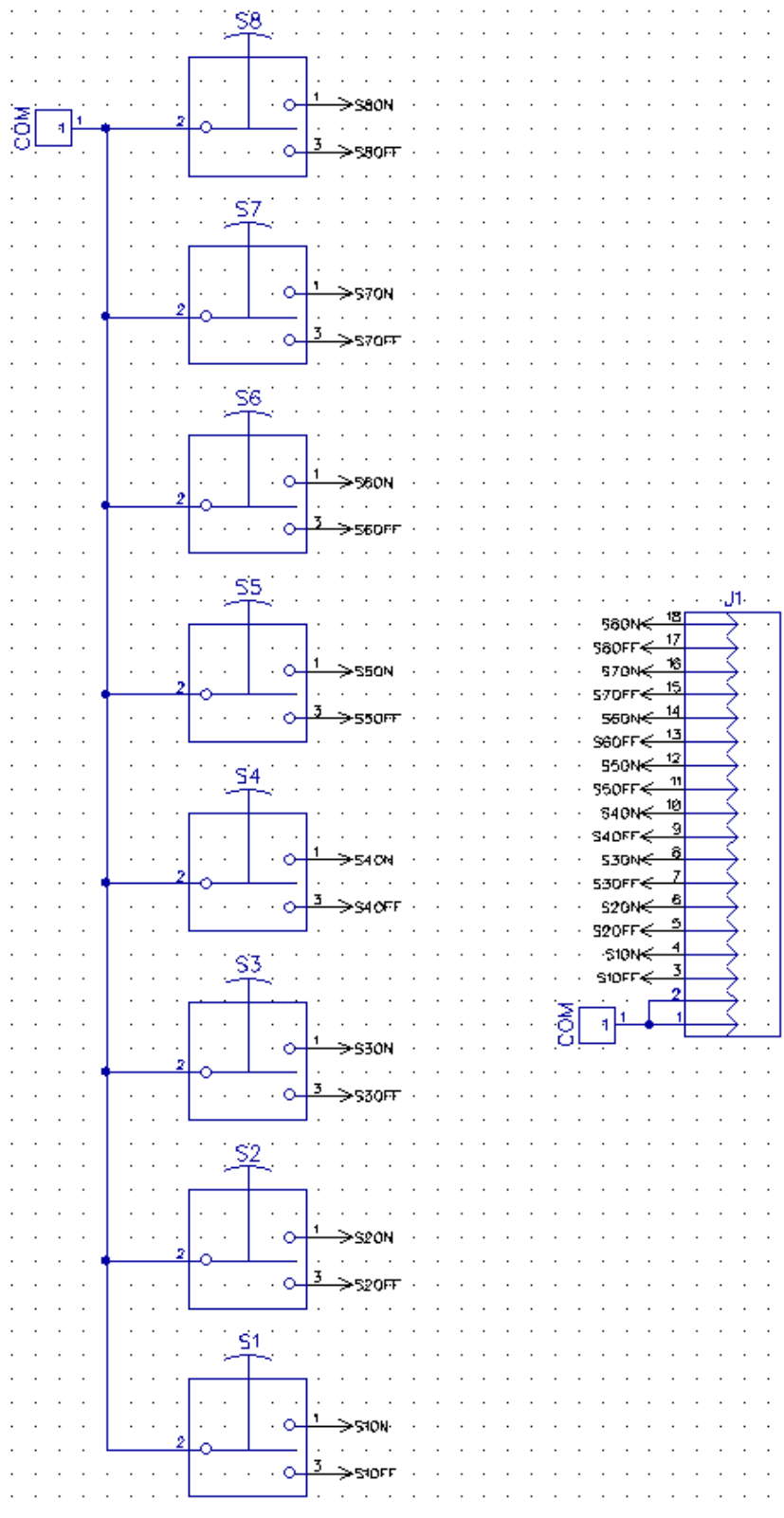
Lisa 4: Korpuse alusplaat koos mõõtmetega



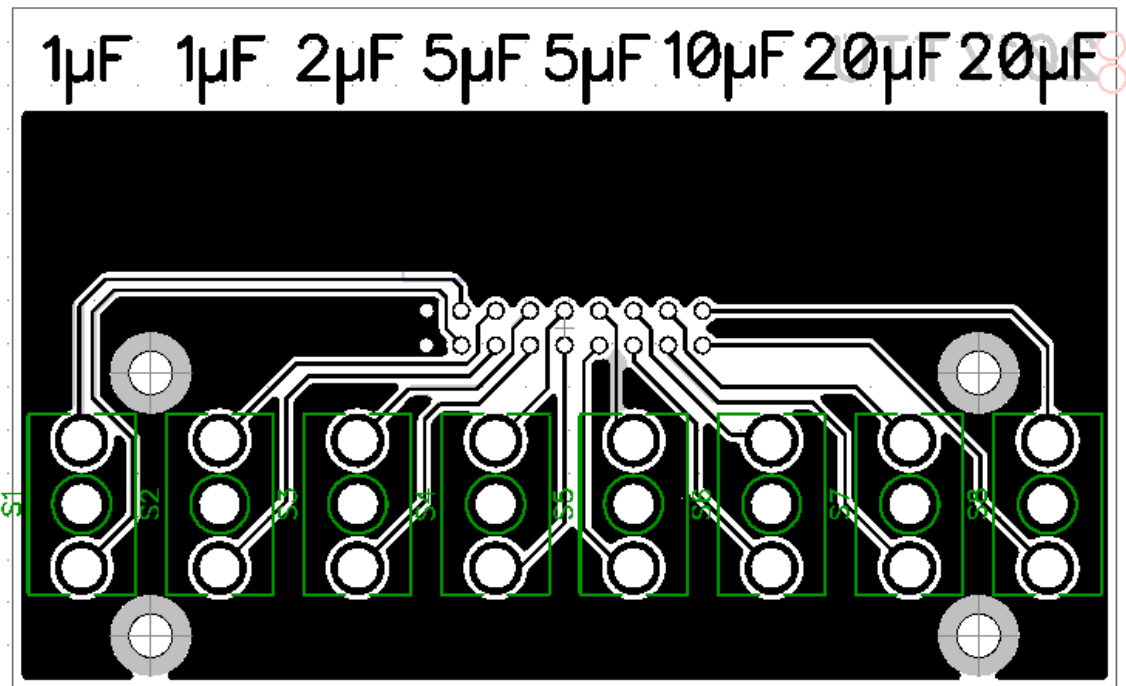
Lisa 5: Kondensaatorite, takistite ja releede skeem



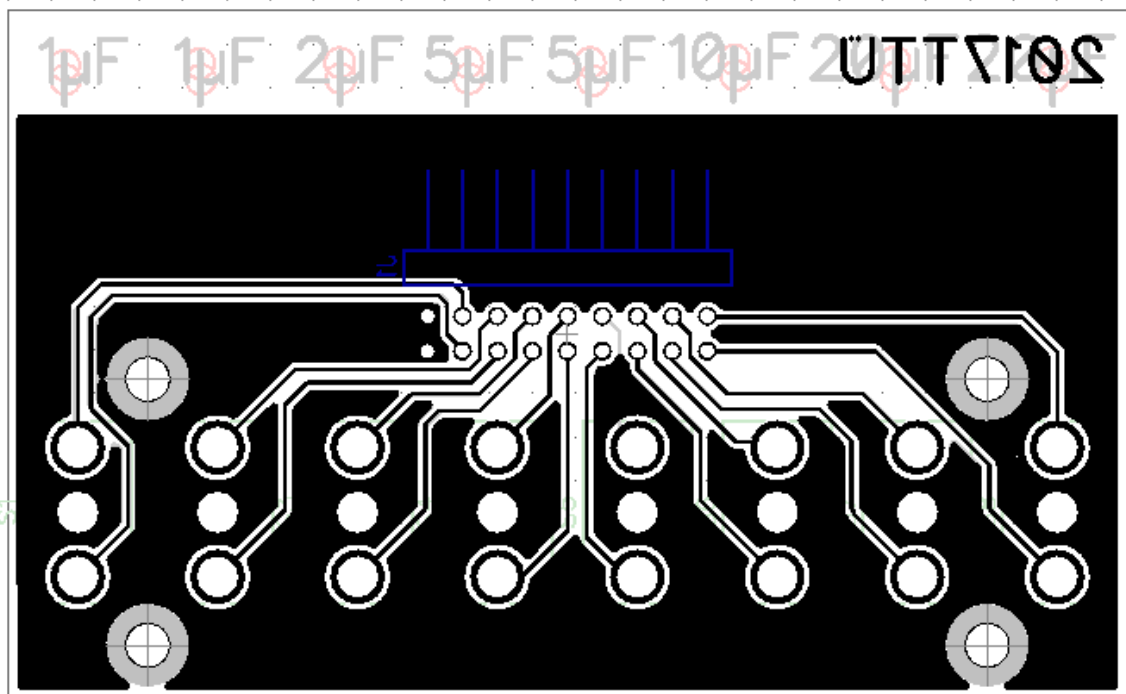
Lisa 6: Lülitite trükkplaadi skeem



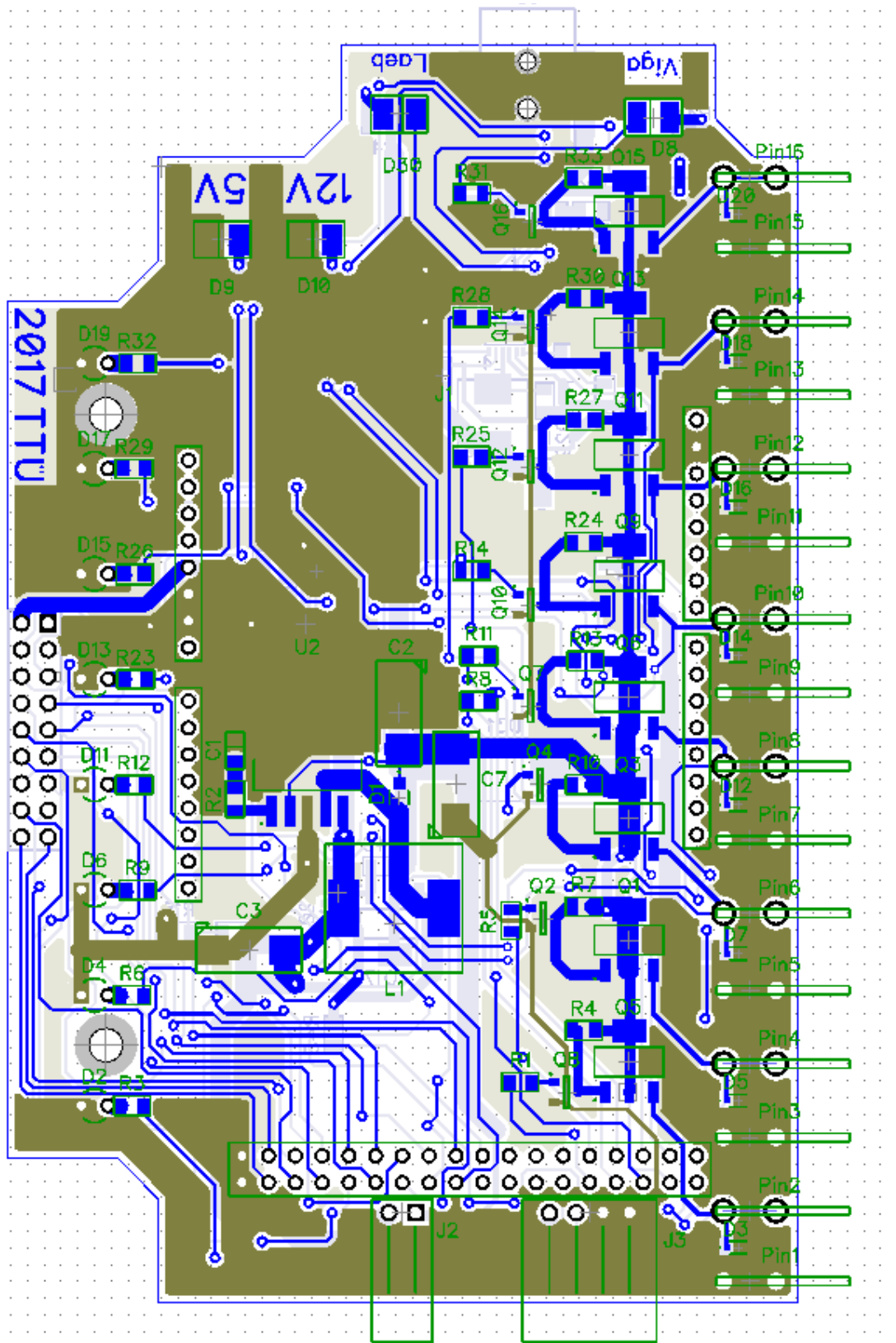
Lisa 7: Lülitite trükkplaat pool A



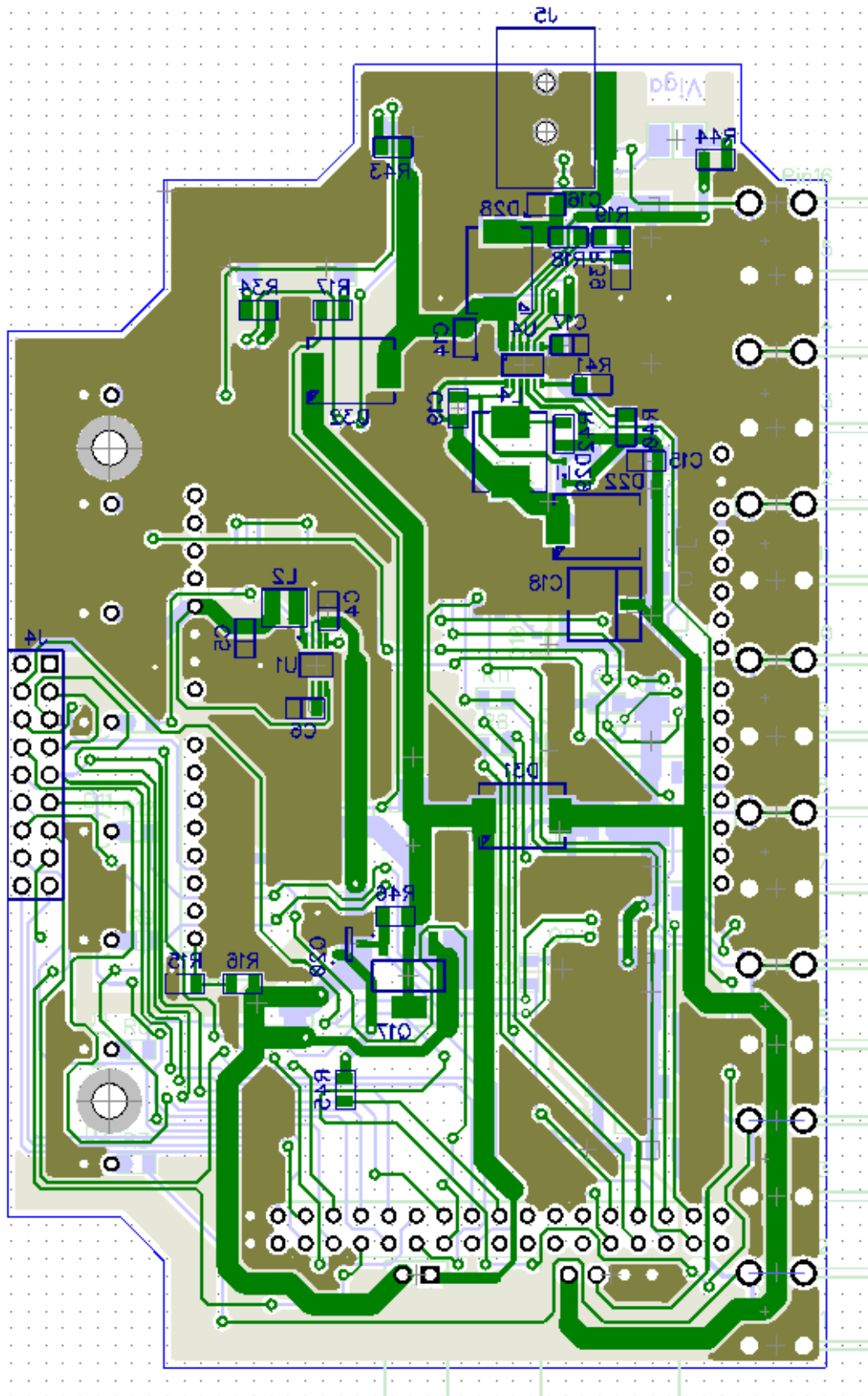
Lisa 8: Lülitite trükkplaat pool B



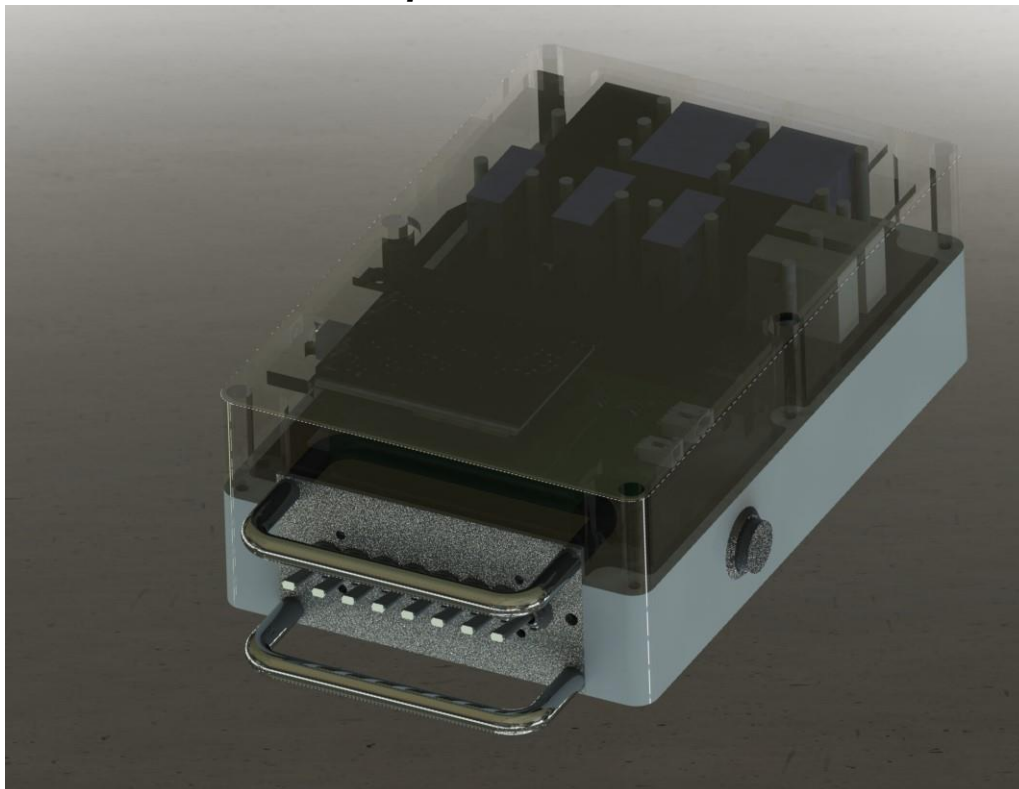
Lisa 9: Süsteemi juhtimise trükkplaat pool A



Lisa 10: Süsteemi juhtimise trükkplaat pool B



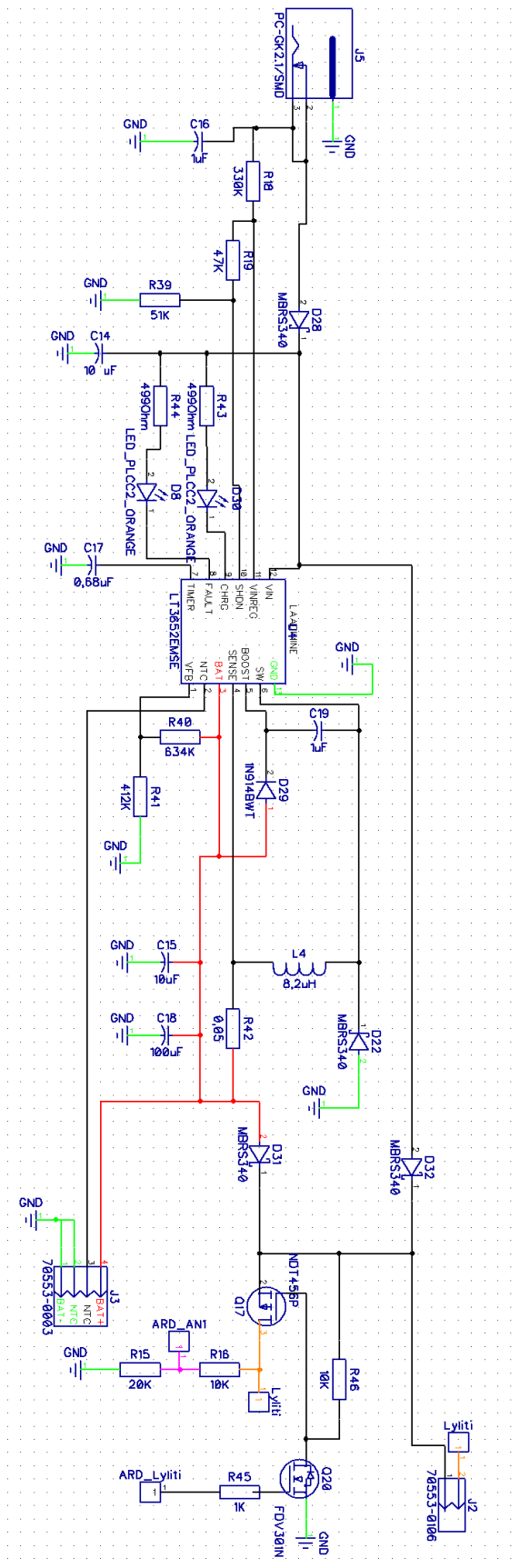
Lisa 11: Kondensaatorpatarei 3D mudel eestvaates



Lisa 12: Kondensaatorpatarei 3D mudel tagantvaates



Lisa 12: Akude laadimise skeem



Lisa 13: Poolik süsteemi juhtimise trükkplaat

