

Tallinna Tehnikaülikool

Infotehnoloogia teaduskond

Thomas Johann Seebecki elektroonikainstituut

Karl Kristjan Raik

Kaugjuhitav voolu jälgimisega lüliti

Bakalaureuse lõputöö

Juhendaja: Argo Kasemaa

lektor

Tallinn 2014

Autorideklaratsioon

Deklareerin, et käesolev lõputöö on minu töö tulemus ja seda ei ole kellegi teise poolt varem kaitsmisele esitatud.

.....

(kuupäev)

.....

(lõputöö kaitsja allkiri)

Lõputöö ülesanne

Lõputöö teema:

Kaugjuhitav voolu jälgimisega lüliti

Remote Controlled Switch with Current Monitoring

Teema päritolu:

Teema pärineb autori ideest luua kaugjuhitav lüliti ning uurida selle energiatarvet.

Lõputöö eesmärgid:

Töö eesmärgiks on luua kaugjuhitava lüliti prototüüp, mis võimaldaks jälgida koormuse seisundit ning voolutarvet. Lisaks on soovitud uurida võimaliku skeemi energiatarvet ning tutvuda energialõikuse võimalustega ja juhtmevabade protokollidega.

Oodatavad tulemused:

Kaugjuhitava lüliti skeem ja analüüs, mille järgi oleks võimalik valmistada seadme prototüüp.

Lähtetingimused:

Lähtetingimusteks on, et lüliti peab olema kaugjuhitav juhtmevabalt ning võimaldama koormuse oleku jälgimist. Samuti peab olema võimalik lülitus kaugjuhtimiseta, ehk skeemil peab olema füüsiline lüliti. Seade peaks vajama võimalikult vähe voolu ning olema võimalikult väikese jälgpinnaga.

Lahendatavad küsimused:

Millised on protokollid ning võimalused sensorite ja lülitite kaugjuhtimiseks? Kui suur on väljapakutud lüliti-sensori voolutarve?

Karl Kristjan Raik

IEE40LT

Kaugjuhitav voolu jälgimisega lüliti

Bakalaureusetöö

Annotatsioon

Käesoleva töö eesmärgiks on välja töötada kaugjuhitav voolu jälgimisega lüliti ning uurida energiatarbimist. Välja töötatava seadme kaugjuhtimiseks kasutatakse juhtmevabat ühendust ning töös tehakse ka lühike ülevaade olemasolevatest juhtmevabadest standarditest ja protokollidest. Samuti vaadatakse põgusalt ka energia lõikust ja selleks võimalikke energiaallikaid. Töö on jaotatud neljaks osaks. Kõigepealt on antud ülevaade energia lõikusest ning madala energiatarbega kaugjuhtimise võimalustest, seejärel on välja töötatud välja elektriskeem. Kolmandas osas on tehtud võimalikud simulatsioonid teoreetiliste punktide kinnitamiseks ning neljandas esitatud väljatöötatud seadme trükkplaadi skeem. Lisades on toodud seadme terviklik elektriskeem ning materjalide loetelu.

Lõputöö on kirjutatud eesti keeles ning sisaldab teksti 38 leheküljel, 4 peatükki, 18 joonist ja 24 valemit.

Karl Kristjan Raik

IEE40LT

Remote Controlled Switch with Current Monitoring

Bachelor`s thesis

Abstract

Intent of this thesis is to develop a remote controll switch with current monitoring and to examine power consumption. Wireless communication is used in order to communicate with the device and there is a short overview of todays standards and protocols. Also energy harvesting technologies and possible sources are introduced in the first chapter. Thesis is divided into four parts. First part will make a quick overview of energy harvesting technologies and low energy remote controll systems. Second part is the development of the device and after that some simulations are carried out to confirm theoretical points. Fourth part shows the developed devices circuit board schematics. Bill of materials and full schematic of the device is shown in the appendix.

The thesis is in estonian and contains 38 pages of text, 4 chapters, 18 figures and 24 formulas.

Sisukord

Sissejuhatus	7
1. Taustainfo.....	9
1.1 Energialõikus	9
1.2 Kaugjuhtimine	10
2. Elektriskeemi väljatöötlus	12
2.1. Sensorplokki	12
2.2. Hall'i efekt	13
2.3. Mikroskeem ACS712	14
2.4. Mõõteskeem.....	16
2.5. Lüliti.....	19
2.6. Relee	20
2.7. Mikrokontroller ja transiiver.....	22
2.8. Seadme toide.....	23
2.9. Silufilter ja trafo.....	23
2.10. Pingeregulaatorid	25
2.11. Kaitse.....	25
3. Simulatsioon.....	27
3.1. Voolusensor	27
3.2. Elektriskeemi toide	28
4. Trükkplaat	29
Kokkuvõte	31
Allikad	33
Lisad	36
Lisa A Elektriskeem	36
Lisa B Komponentide nimekiri	37

Sissejuhatus

Töö autori esialgne idee oli uurida energialõikust ning selle võimalusi iseseisvate sensor- ja lülitisõlmede toitmiseks. Tutvudes materjalidega ning olemasolevate võimalustega tuli välja, et ühest lahendust ei ole ning igat juhtumit tuleb vaadelda iseseisvana. Oluline on luua spetsialiseeritud toitelahendus, teades keskkonna energia kogumise võimalusi ning seadme energiavajadusi. Kuna paljud efektiivsed lahendused on ärisaladus ning informatsioon nende on raskelt kättesaadav, tuli autoril idee uurida, milline võiks olla ühe kodumajapidamises kasutatava lüliti-sensori energiavajadus. Käesolevas töös on välja töötatud esialgne kavand voolu jälgimisega juhtmevaba lüliti jaoks ning seadme toitmiseks kasutatakse esialgu piisava võimsusega täisperioodalaldit ja pingeregulaatoreid.

Juhtmevaba lahendus on valitud lihtsama integreerimise jaoks olemasolevatesse elektrisüsteemidesse. Nii ei ole vaja hakata vedama uut kaabeldust ning välja saaks vahetada vaid elektrilüliti. Pealtnäha ei muutuks midagi ja valgusteid saaks lülitada harjumuspäraselt, kuid taustal tekib ka võimalus luua automatiseeritud süsteeme koostöös teiste sensoritega või intelligentsete algoritmidega.

Töös ei käsitleta tervikliku süsteemi jaoks tähtsat komponenti - kesket juhtimismoodulit. Mitmesuguste algoritmide teostamiseks ning muude sensorite integreerimiseks oleks vaja kõigil sõlmedel ühenduda ühte punkti, mis jagaks käsklusi ja võimaldaks andmete vahetus ka üle interneti.

Töö eesmärgiks oli välja töötada lüliti elektriskeem, mis võimaldaks lülitada majapidamises leiduvat takistuslikku koormust (näiteks laelamp) kaugjuhtimise teel ning selle voolutarvet ja seisundit jälgida. Mugavamaks kasutamiseks on lülitiahelas nii kaugkui ka kohalik lülitamise võimalus, seda relee ning tavalüliti näol. Jälgimisahel peab suutma tuvastada kohaliku lülitamise ning vajadusel koormuse voolutarbe.

Käesolev töö ei puuduta mikrokontrolleri programmeerimist, ega vastuvõtuseadet, vaid keskendub seadme poolt tarbitava voolu ja plaadi enda suuruste ning muude füüsiliste parameetrite esialgsele hindamisele. Elektriskeemi analüüsi ning materjalide loetelu põhjal saab hinnata, millised oleksid võimalikud perspektiivid seadme arendamisel ja kasutusele võtmisel. Väljatöötatud trükkplaat täidab prototüübi rolli, mille peal oleks võimalik teha katseid reaalses olukorras. Töö on jaotatud neljaks osaks. Esiteks taustainfo, kus puudutakse põgusalt energialõikust ning vaadatakse kaugjuhtimisprotokolle ja standardeid. Teine osa keskendub autori elektriskeemi idee väljatöötamisele ning kolmas osa

simuleeritavate osade simulatsioonile ja analüüsile. Viimaseks on toodud trükkplaadi skeemid.

Tulevikus loodab autor seadme prototüübi valmis ehitada ning katsetada teoreetilisi tulemusi reaalses olukorras. Samuti on autor huvitatud energia lõikusest ning sooviks selle kohta lähemalt uurida. Energia lõikus on potentsiaalselt sensorite ning madala energiatarbega seadmete toitmise tulevik.

1. Taustainfo

1.1 Energialõikus

Energialõikus (*energy harvesting*) on protsess, mille korral püütakse kinni ümbritsevat jääkenergiat, mis vastasel juhul hajuks soojuse, valguse, vibratsiooni või liikumise kujul keskkonnas. Selle eesmärgiks on tõsta väikese energiatarbega süsteemide efektiivsust, vähendada patareide vahetamisega kaasnevat hooldustoiminguid ning koormust loodusele ja kasutada neid seal, kus elektrivõrgule ligipääs on raskendatud. [1.] Energialõikusüsteemid koosnevad kolmest peamisest osast: energiaallikas, kogumissüsteem ja koormusahel, mis võib olla laetav patarei või mõni madala energiatarbega seade [2]. Patareide asemel kasutatakse üha tihedamini superkondensaatoreid, mis vähendavad energia salvestamisele ja kättesaamisele kuluvat aega ning võimaldavad suuremal hulgal laadimistsükleid [3].

Energiaallikateks saab kasutada igasugust potentsiaalset energiat, näiteks elektromagnetkiirgust, temperatuuride vahet, mehaanilist liikumist jne. Allikaid on võimalik jaotada kontrollitavuse ja prognoositavuse järgi. Kui energiaallikas on kontrollitav, saab seda kasutada vastavalt vajadusele, vastasel juhul tuleb energiat koguda, kui see on saadaval, ning salvestada tuleviku tarbeks. Mittekontrollitavad allikad võivad olla prognoositavad, mis tähendab, et nende kogumiseks saab koostada ennustumudelid ning planeerida energiakasutus vastavalt sellele. Veel saab allikaid jagada ümbritseva keskkonna energiaks ja inimtekkeliseks. [4.]

Kogumistehnikad on erinevad ning sõltuvad kogutava energia liigist. Põhilisemad energialiigid sardsüsteemides on mehaaniline, päikese-, termoelektriline, elektrivälja ja tuuleenergia. Päikeseenergia on kasutatav peamiselt välitingimustes ja sõltub päikesepaneeli suuruselt ning selle langevast valguse hulgast. Päikesepaneelid koosnevad fotogalvaanilistest elementidest, mis vabastavad peale langeva valguse mõjul elektrone. Energia hulk välitingimustes keskpäeval on umbes $15 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ kohta. Tuuleenergia on samuti kasutatav peamiselt välitingimustes ning väiksemõõtmelised turbiinid ei ole sama efektiivsed kui suured. [5.]

Mehaanilist energiat saab koguda kasutades piezoelektrilisi või elektrostaatiliselt muundureid. Piezoelektriline muundur kasutab materjale, mis mehaanilisel deformeerumisel tekitavad elektrilise potentsiaali. Tekkiv pingeline sõltub deformeerumise

ulatuses ning seega on elemendi väljundiks vahelduvpinge. Elektrostaatiline muundur kasutab vibratsiooni, et liigutada laetud kondensaatori plaate. Selline muundur vajab veel ühte energiaallikat, et laadida kondensaatorit. [6.]

Termoelektrilised muundurid põhinevad Seebecki efektil, mis seisneb selles, et kahe erineva metalli ühenduskohtades tekib elektriline potentsiaal, kui nende ühenduskohtade vahel on temperatuurigradient. Energiat on võimalik koguda seni kuni säilib temperatuuride vahe ühenduskohtades. [6.]

Elektrivälja energia püüdmiseks on mitmeid variante. Võimalik on elektrivälja energia lõikus elektrijuhtmest või raadiolainetest. Raadiosagedusliku energia kogumiseks on vajalik alaldav antenn (rectenna). Saadav energiahulk on pöördvõrdelises seoses allika kaugusega. [2.] Energiat on võimalik lõigata ka koormuseta elektrijuhtmest, mille otstele on rakendatud võrgupinge, ümbritsedes seda elektrijuhiga. Eksperimentaalse tehnika abil on 20 cm pikkusest elektrijuhtmest võimalik saada kuni 1,6 mA voolu, kuid selleks on vajalik lõikusahela maapotentsiaali viimine samale tasemel elektrivõrgu omaga. [7].

1.2 Kaugjuhtimine

Võimalusi kaugjuhtimiseks on palju ja järgnevalt on välja toodud mõned standardid ning laiemalt kasutatavad lahendused.

Esiteks standard X10, mis kasutab suhtlemiseks olemasolevat elektrisüsteemi ning edasiarendusena on defineeritud ka juhtmevaba protokoll. See töötati välja juba 1975. aastal Šotimaal eesmärgiga võimaldada kaugjuhitavaid majapidamisseadmeid. Tänapäeval on see kasutusel peamiselt Ameerika Ühendriikides. Andmevahetus toimub 60 Hz elektrivõrgus 120 kHz kandevsignaali abil, mis saadetakse võrku lühikeste impulssidena vahelduvvoolu nullpunktides. [8.]

Juhtmevabaks suhtluseks madala võimsusega on Euroopas vabalt kasutatavad kolm sagedusvahemikku ISM (*industrial, scientific, medical*) lainealast, millest 2.4 GHz on kasutatav enamikes maailma riikides [9.] 2.4 GHz lainealas töötavad ka paljud madala energiatarbega personaalvõrgu protokollid nagu näiteks ZigBee (IEEE 802.15.4), BLE (*Bluetooth Low Energy*), 6LoWPAN. Alla gigaherts'i lainealal töötavatest lahendustest võib mainida Z-wave'i. [10.]

ZigBee on ehitatud IEEE 802.15.4 standardile, mis ise koosneb kahest alumisest ISO/OSI protokollki kihist. Maksimaalseks kanali andmeedastuskiiruseks on labori tingimustes 250

kbps [10]. Peamisteks kasutusvaldkondadeks on ette nähtud juhtmevabad sensorvõrgud koduautomaatikas, turvasüsteemides ja energiasüsteemides [11].

Sarnaselt ZigBeega tugineb IEEE 802.15.4 standardile 6LoWPAN protokoll, mis kasutab IPv6 standardit, et olla ühilduv teiste IP seadmetega. Eesmärgiks on võimaldada nn. asjade internet (*internet of things*), kus erinevalt ZigBee protokolliga kuhjast (*protocol stack*), saaks suhtlus käia ilma vahelüüsideta. Sarnaselt ZigBeega on kanali läbilaskevõime 250 kbps, kuid suurem protokolliga ballast (*overhead*) vähendab realselt võimalikku saavutatavat kiirust.[10.]

Sinihamba (*bluetooth*) tehnoloogial põhinev BLE (*bluetooth low energy*) on efektiivsem variant tavaliselt sinihambast, mis on saavutatud saadetavate pakettide suuruse vähendamise ja võrku ühendamise aja vähendamisega [10]. Samas on see ühilduv tavalise sinihambaga ning protokolliga saab kasutada ka olemasolevates seadmetes. Võrgu topoloogiast on toetatud ainult tähtvõrk, kui IEEE 802.15.4 standard toetab võrktopoloogiat (*mesh topology*). [12.]

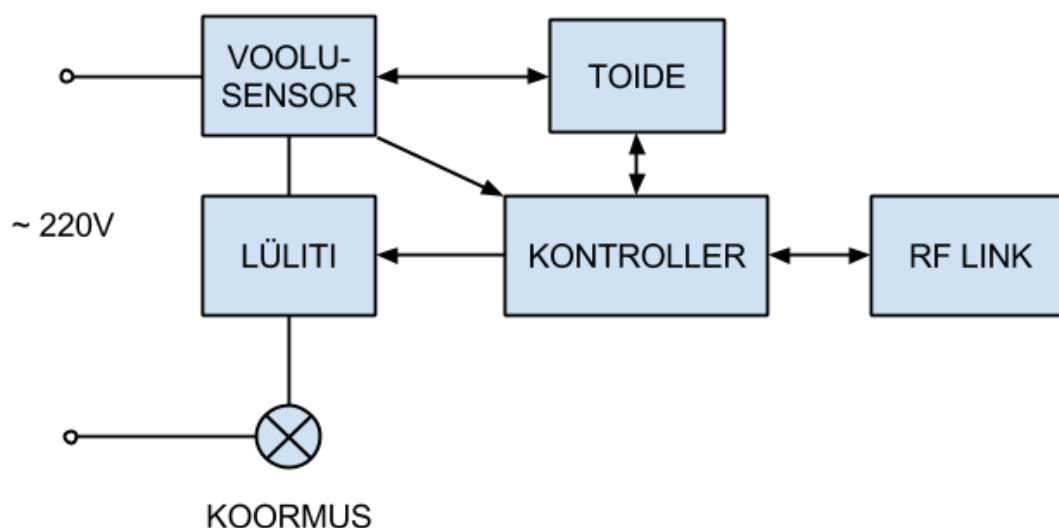
Z-wave on madala energiatarbega juhtmevaba tehnoloogia, mis on mõeldud erinevate seadmete juhtimiseks ning monitoorimiseks ja litsenseeritud ettevõtte Sigma Designs poolt. Erinevalt eelnevatest lahendustest töötab z-wave alla gigahertsi lainel ja ei kannata wifi või mõne muu sarnase võrgu poolt tekitatud häirete all. Kanali maksimaalseks läbilaskevõimeks on 100 kbps ning protokoll toetab IPv6 standardit ja võrktopoloogiat .[13.]

Kõige parem lahendus on vabalt kasutatavad ZigBee transiiverid, mis võimaldavad võrktopoloogiat ning kasutavad vähe energiat. Samuti on 2.4 GHz sagedusel töötav ZigBee seade kasutatav üle maailma. Valmis transiiverite integreerimine planeeritavasse seadmesse on lihtne ning pole vaja tunda raadiosageduslikku skeemitehnikat.

2. Elektriskeemi väljatöötus

Elektriskeemi väljatöötamine on jagatud neljaks osaks. Esimeseks osaks on sensorahel, mis jälgib koormuse lülitust ja voolutarvet. Teiseks on lülitiplokk, mis lülitab koormust veksellüliti abil, mille üheks osaks on relee. Kolmandaks osaks on andmeedastusmoodul. Neljandaks osaks on kahe väljundiga toiteplokk.

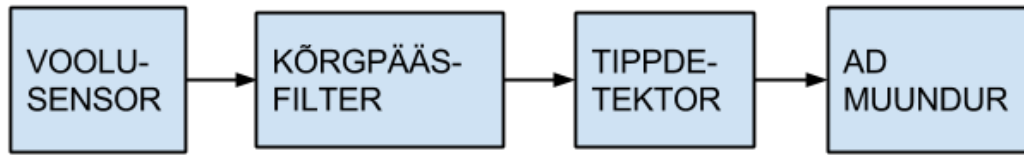
Skeemi väljatöötamisel on lähtutud võimalikult madala voolutarbe ning kompaktsuse põhimõtetest. Elemendid on üritatud valida võimalikult väikeste mõõtmetega, jälgides vajalikke nominaalväärtusi ning hinda. Skeem on väljatöötatud eeldades 100 W hõõglambi tüürimist kodumajapidamises. Juhitava koormuse võimalikud piirväärtused tuuakse välja töö käigus.



Joonis 2.1. Struktuurskeem

2.1. Sensorplokk

Plokk koosneb sensorist, esimese järgu kõrgpääsfiltrist, võimendusaehelast ning tippdetektorist. Voolu jälgimiseks on valitud Hall'i efekti põhimõttel töötav mikroskeem, kuna see mõõtmete poolest väiksem kui voolutrafo ning šunttakistist väiksemate kadudega.



Joonis 2.2. Sensorploki struktuurskeem

2.2. Hall'i efekt

Nähtust, mida nimetatakse tänapäeval Hall'i efektiks, kirjeldas esimesena 1879. a Edwin H. Hall. Ta avastas, et kui asetada alalisvooluga plaat ristuvasse magnetvälja, tekib plaadi magnetväljaga paralleelsetel otstel potentsiaalide vahe, mille suuruse määrab avaldis 2.1,

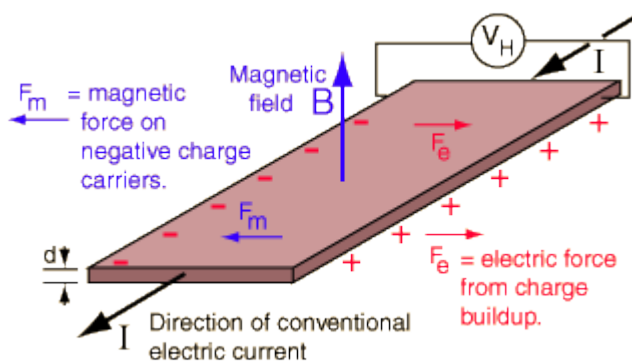
$$U_h = R_h b j B, \quad (2.1) [14]$$

kus R_h on Hall'i konstant, b on plaadi laius, j voolu tihedus ja B on magnetiline induksioon. [14.]

Magnetväli mõjutab plaadis sellega risti liikuvaid elektrone Lorentzi jõuga

$$\vec{F} = q * \vec{v} \times \vec{B}, \quad (2.2) [15]$$

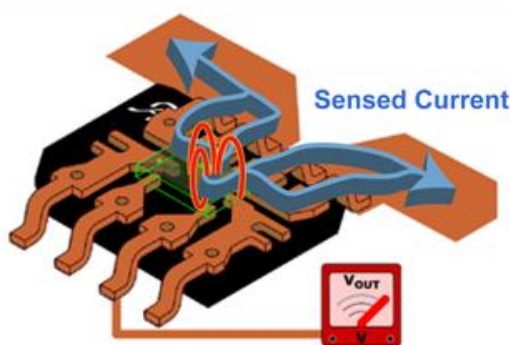
kus F on Lorentz'i jõud, q on elementaarlaeng, v on elektroni kiirus ja B on magnetvoog, mis sunnib need plaadi ühe külje poole, tekitades mõõdetava potentsiaalide vahe (joonis 2.1) [14]



Joonis 2.3 Halli efekt alalisvooluga juhtivas plaadis [16]

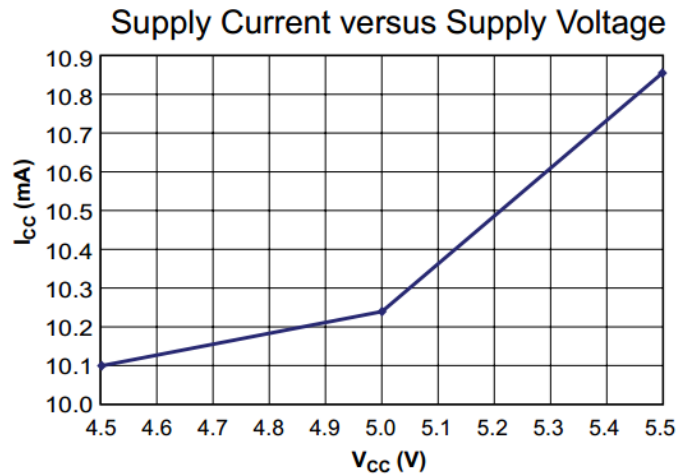
2.3. Mikroskeem ACS712

ACS712 mikroskeem võimaldab nii alalis- kui ka vahelduvvoolu mõõtmist ning koosneb lineaarsest Hall'i andurist ja skeemist, mis muudab sellel tekkiva pinge proportsionaalseks mõõdetava vooluga. Mõõdetava voolu ahelasse ühendatavad viigud on sensori viikudest elektriliselt isoleeritud ning taluvad pinge efektiivväärtust kuni 2.1 kV, mis võimaldab mikroskeemi kasutada täiendavate lahtisidestusteta. Pakendamisel kalibreeritakse seadmed kolme võimaliku mõõtevahemikuga, ± 5 , ± 20 ja ± 30 A. Mõõteosa sisemine takistus on tüüpiliselt 1,2 m Ω , vähendades kadusid voolu mõõtmisel. [17.]



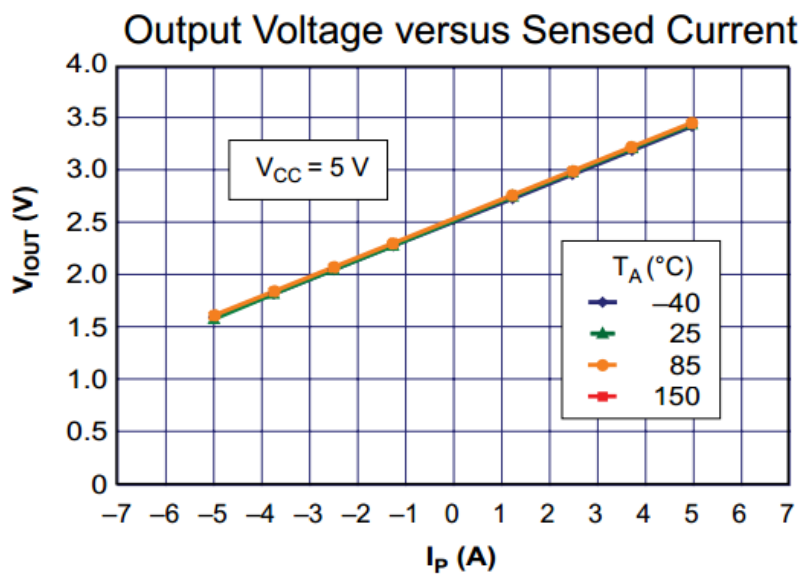
Joonis 2.4 ACS712 sensori ehitus [18]

Toitepinge on ühepolaarne ning voolutarve sõltub toitepingest, nagu on näidatud joonisel 2.5. Antud juhul kasutatakse toiteks stabiliseeritud 5 V pinget, mis tähendab toitevooluks 10,25 mA. [18.]



Joonis 2.5 ACS712 sensori voolutarbe sõltuvus sisendpingest [18]

Kasutusel on ± 5 A optimeeritud mikroskeem, mille absoluutne taluvusmaksimum on 100 A. Väljundpinge on lineaarne ja proportsionaalne mõõdetava vooluga, mida iseloomustab joonis 2.6. [18.]

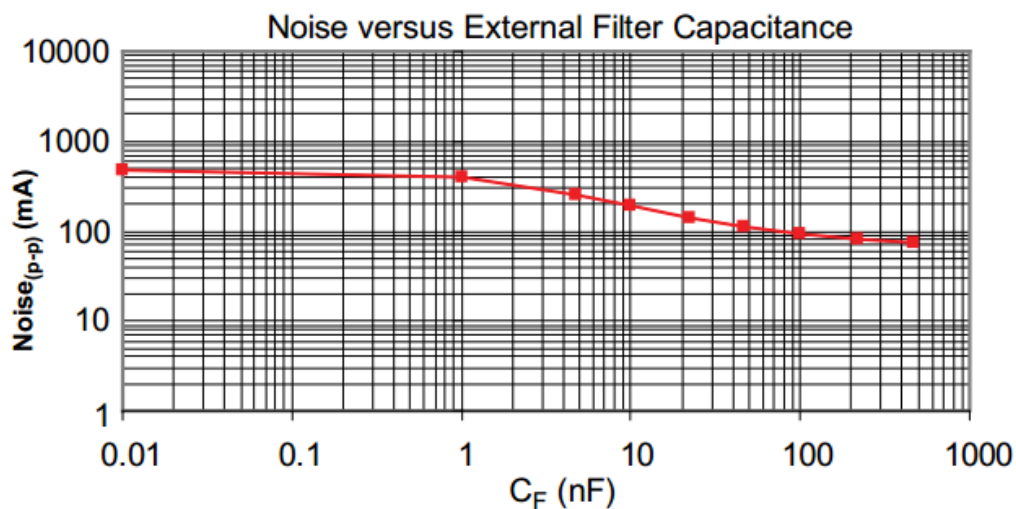


Joonis 2.6 ACS712 sensori väljundpinge sõltuvus sisendvoolust [18]

Mõõtes käesolevas projektis vahelduvvoolu, tekib väljundisse alaliskomponent $V_{cc}/2 = 2.5$ V ning vahelduvkomponent, mis on proportsionaalne mõõdetava vooluga ning sõltub sensori tundlikusest – antud juhul 185 mV/A. [18.]

Madalatel sagedustel on signaali-müra suhet (*signal-to-noise ratio*) võimalik parandada filterkondensaatori abil, mis aitab ära hoida signaali nõrgenemist pingejaguri tekkimisel

väljundisse paigutatud madalpääsfiltri takisti ja järgmise etapi, näiteks analoog-digitaal muunduri, sisendtakistuse vahel. Joonisel 2.7 on ära toodud signaali-müra suhe filterkondensaatori suuruste juures. [18.]

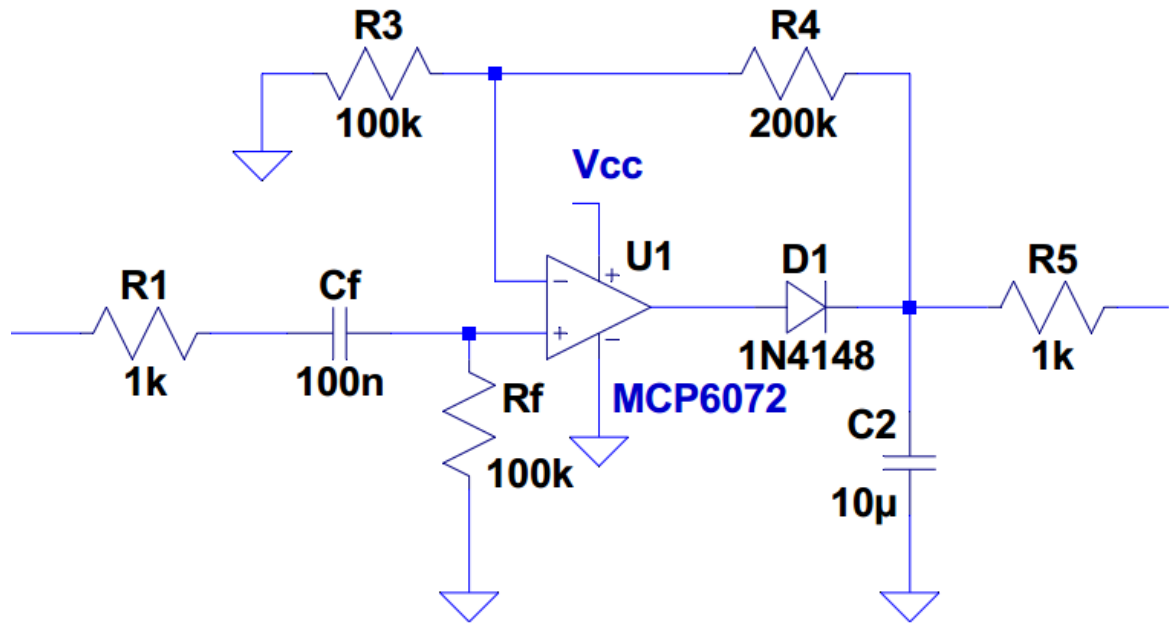


Joonis 2.7 ACS712 sensori müra ja signaali suhe sõltuvalt filterkondensaatorist [18]

Käesolevas töös on kasutatud 100 nF kondensaatorit, et säilitada tasakaal reaktsioonaja ja signaali parandamise vahel. [18.]

2.4. Mõõteskeem

Mõõteskeem (joonis 2.8) koosneb kõrgpääsfiltrist, mis filtreerib välja alaliskomponendi, võimenduastmest, mis võimendab filtreeritud signaali ning tippdetektorist, mis alaldab vahelduvsignaali analoog-digitaalmuundurile vastuvõetavaks. Skeemi väljundis on voolu piirav takisti mikrokontrolleri ja operatsioonvõimendi erinevate toitepingete pärast.



Joonis 2.8 Voolutarbimise mõõteskeem

Vahelduvvoolu mõõtes on vajalik eraldada sensori väljundis tulev vahelduv- ning alaliskomponent. Selleks kasutatakse esimese järgu kõrgsagedusfiltrit. Filtri tõkkesagedus f_c peab olema kõrgem kui 0 Hz, et takistada alaliskomponent, kuid madalam, kui 50 Hz. Seega on esialgses arvutuses lähtutud tõkkesagedusest $f_c = 20$ Hz. Valitud sagedusest lähtuvalt on võimalik arvutada vajaliku kondensaatori mahtuvus:

$$f_c = \frac{1}{2\pi R_f C_f}, \quad (2.3)$$

kus R_f ja C_f on vastavalt filtri takisti ning filtri kondensaator nagu on näha ka mõõteskeemil 2.6.

Takisti R_f on juba valitud 100 k Ω , kuna see takisti määrab operatsioonvõimendi sisendtakistuse ning voolutarbe vähendamiseks tuleks see valida võimalikult suure väärtusega. Võttes arvesse ka juba määratud suuruseid saab leida filterkondensaatori vajaliku mahtuvuse:

$$\frac{1}{2\pi R_f C_f} < 20 \text{ Hz}, \quad (2.4)$$

$$C_f > \frac{1}{2\pi R_f f_c} \Rightarrow C_f > \frac{1}{2\pi * 100 * 10^3 * 20} = 79,6 \text{ nF},$$

(2.5)

C_f väärtuseks võib valida 0,1 μF , sel juhul saadakse tõkkesageduseks valemist $2.3 f_c = 15,9$ Hz.

Võimendusahel koosneb operatsioonvõimendist MCP6072, mille voolutarve on 110 μA võimendi kohta, mitteinvertivas konfiguratsioonis [19]. Võimendusahela eesmärk on eelmisest, kõrgpääsfiltrist, saadud signaali võimendada analoog-digitaalmuunduri jaoks ja seeläbi tõsta eraldusvõimet. Mitteinverteriva võimendusastme võimenduse määrab analoog-digitaal muunduri sisendpinge ning võimendi toitepinge. Ühepolaarne toitepinge 5 V piirab lubatud väljundpinge vahemikku 0...5 V. Tuleb arvestada ka vooluanduri väljundit, mis on optimeeritud 5 A voolu mõõtmiseks ning mille täpsus on 185 mV/A. See tähendab, et maksimaalne väljundpinge oleks 925 mV ning kõige suurem võimendus oleks 5-kordne. Analoo-digitaalmuunduri sisendpinge on 3,3 V, mis vähendab võimalikku väljundpinget, ehk maksimaalne lubatud võimendus, arvestades 5 A voolu mõõdetavas ahelas, oleks 3 korda. Kolmekordne võimendus tagaks väljundis 1 A voolu puhul 555 mV pinge. Võimenduse määramiseks tuleb valida vastavalt valemile 2.6 tagasisideahela takistite väärtused. Takisti R_3 on valitud võimalikult lähedane R_f -le, et vähendada operatsioonvõimendi sisendpinge triive. R_4 määramisel tuleb arvesse võtta soovitatavat ülekandetegurit:

$$K = 1 + \frac{R_4}{R_3},$$

(2.6)

$$R_4 = (K - 1) * R_3,$$

(2.7)

Takisti R_4 väärtuseks arvestades $K = 3$ ning $R_3 = 100 \text{ k}\Omega$ saadakse, $R_4 = 200 \text{ k}\Omega$ -i.

Tippdetektor koosneb diodist ning silufiltrist, et kompenseerida negatiivset poolperioodi. Diod on võetud standardne 1N4148 ning silufiltrit mahtuvuseks valitud vähemalt 10 μF . Sensorploki väljundi ning analoog-digitaalmuunduri sisendi vahele on paigutatud voolu piiramiseks takisti R_5 väärtusega 1 $\text{k}\Omega$.

2.5. Lüliti

Lüliti koosneb kahest osast: kaug- ja kohalik lüliti. Kauglüliti osas on mikrokontrolleriga juhitud relee. Relee ise on "mäludefektiga" ehk kahe mähisega, mis tarbib voolu ainult lülitamise hetkel. Taoline relee on vajalik, kuna mõlemad lülitid on vekselasendis ning relee ei tohi tavalise lüliti kasutamisel jääda voolu tarbima.

Antud seadme põhimõtteid järgides on parim lahendus elektromehaaniline relee, kuna pooljuhtrelee (*solid-state relay*) pole väljalülitatud olekus täielikult avatud ning sisselülitatud olekus omab arvestatavat takistust, mille tõttu vajab jahutusradiaatorit. Lisaks tuleb veksellüliti koostamiseks kasutada kahte pooljuhtreleed ning jälgida, et need ei oleks kunagi korraga avatud. [20.]

Skeem on mõeldud peamiselt valgustite lülitamiseks ning tuleb silmas pidada, et iga valgusti puhul on lülitamise hetkel vool mitmeid kordi suurem, kui püsiva töötamise ajal. Hõõglambi niit on tehtud enamasti wolframist, mille temperatuuritegur on positiivne, mis tähendab, et selle takistus suureneb temperatuuri kasvades - wolframi temperatuuritegur on $\alpha = 0.0044$ [21]. 100 W lambipirni takistuse toatemperatuuril on võimalik leida, kui

$$R = R_0[1 + \alpha(T - T_0)], \quad (2.8)[21]$$

kus R on takistus temperatuuril T , R_0 on takistus temperatuuril T_0 ja α on temperatuuritegur. Sealt saab avaldada takistuse temperatuuril T_0 :

$$R_0 = \frac{R}{1 + \alpha(T - T_0)}, \quad (2.11)$$

Takistuse leidmiseks toatemperatuuril, $T_0 = 300$ K, on vaja kõigepealt arvutada takistus töötemperatuuril, võimsuse valemist

$$P = I * U, \quad (2.12)$$

ja Ohmi seadusest

$$U = I * R, \quad (2.13)$$

tuletatud valemi järgi

$$R = \frac{U^2}{P} = \frac{220^2}{100} = 484 \Omega. \quad (2.14)$$

100 vatise lambipirni takistus töötemperatuuril, umbes 2700 K, on $R = 484 \Omega$. Seega võib arvutada takistuse toatemperatuuril (valem 2.11), $R_0 = 42 \Omega$. Ohmi seaduse järgi saame sisselülitamisvooluks siinuse tipus $I_0 = 5,23 \text{ A}$ ning töövooluks $I_t = 0,45 \text{ A}$. Kuna sisselülitamisvool on üle 10 korra suurem kui töövool, tuleb lüliti osade ja trükkplaadi disainil lähtuda sisselülitamise hetkevoolust siinuse tipus.

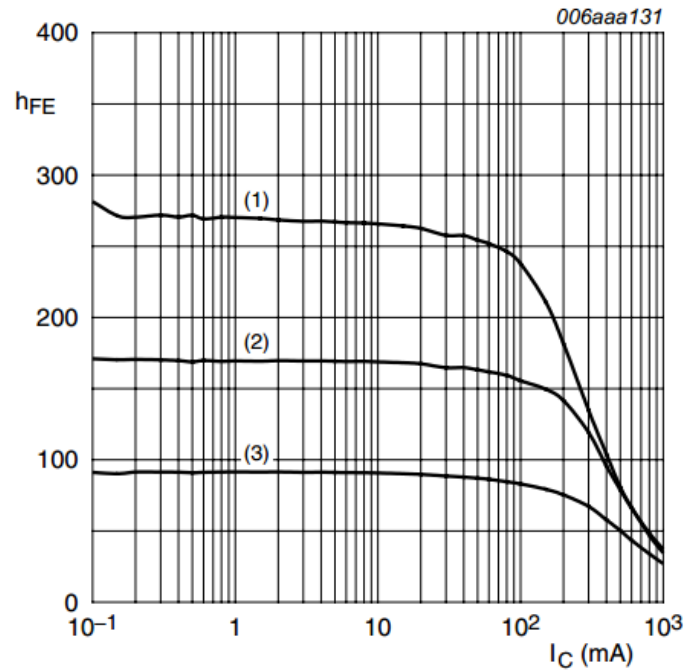
Halogeen- ning valgusdiodid pirnide sisselülitamisel tekib samuti vooluimpulss, mis oleneb juhtahela kondensaatori suurusest.

2.6. Relee

Valitud on kahe mähisega, kahe olekuga relee, mille kõige suurem lülitatav vool on 16 A ning hetkeline vool võib ulatuda 30 A-ni maksimaalselt 4 sekundit. Nominaalvool 16 A määrab ära maksimaalse lülitatava võimsuse, mis valemi 2.11 järgi on $P_{\max} = 3520 \text{ W}$. Taolise võimsusega takistusliku koormuse lülitamisel on relee elueaks määratud 10000 tsüklit. [22.]

Relee lülitamiseks on kõige lihtsam kasutada kahte transistori ja mikrokontrolleri väljundit. Kuigi relee mähised kannatavad kuni 150% ülepinget ning võimalik on lülitada ka vähem, kui 10% nominaalpingega, siis kasutatakse siiski reguleeritud 5 V pinget, mis pikendab relee eluiga ning vähendab lülitamiseks kuluvat aega. Nominaalpinge juures on mähiste ergastamiseks kuluv aeg 30 ms ning mähise nominaalvõimsus on 595 mW. [22.]

Relee tüürimiseks kasutatakse kahte BC817 transistori, mille vooluülekangeteguri sõltuvusgraafik on toodud joonisel 2.7. [23.]



- $V_{CE} = 1 \text{ V}$
- (1) $T_{amb} = 150 \text{ }^\circ\text{C}$
 - (2) $T_{amb} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$
 - (3) $T_{amb} = -55 \text{ }^\circ\text{C}$

Joonis 2.9 BC817-16 voolülekanateguri sõltuvus kollektorvoolust[23]

Transistori voolülekanategur $h_{21e} = 100$ ning baas-emitter pingelang küllastunud olekus on $U_{besat} = 0,8 \text{ V}$ [23].

Kui on teada, et tüüritav vool on 119 mA , saab leida vajaliku baasivoolu suuruse transistori tüürimiseks.

$$I_{Bpir} = \frac{I_K}{h_{21e}}, \tag{2.15}$$

Transistori avamiseks tuleb anda baasivoolu küllastusteguriga, milleks madalte voolude puhul valitakse tavaliselt $S = 2$,

$$S = \frac{I_B}{I_{Bpir}} = I_B * S, \tag{2.16}$$

Seega peab baasivool olema $I_B = 24 \text{ mA}$. Teades baasivoolu ning eeldades, et kontrolleri töötab 3,3V peal, leiame vajamineva takisti:

$$R_B = \frac{U_{\text{sis}} - U_{\text{BE sat}}}{I_B}, \quad (2.17)$$

kus U_{sis} on kontrolleri väljundpinge ning $U_{\text{BE sat}}$ on transistori baas-emitter pingelang. Baasitakisti arvutuslikuks väärtuseks tuleb $R_B = 108 \Omega$, millele lähim takisti on $R_B = 100 \Omega$, see tähendaks, et baasivool on lülitamisel $I_B = 26 \text{ mA}$.

2.7. Mikrokontroller ja transiiver

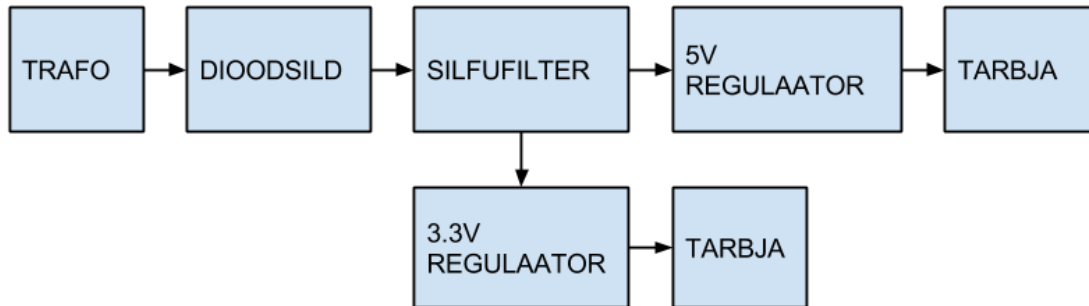
Telegesis ETRX357, mis baseerub Silicon labi EM357 kiibil, kuhu on integreeritud ARM cortex M3 mikroprotsessor ja ZigBee transiiver. Püsivara on võimalik kasutajal ise kompileerida, kuid tehases on paigaldatud ZigBee pro võimalustega modifitseeritud püsivara, mis katab antud skeemi vajadused. Sisend-väljundviikude ja analoog-digitaal muunduri olemasolu võimaldab seda kasutada kogu süsteemi juhtimiseks. Toitepinge vahemik on üsna lai, 2,1...3,6 V. Antud moodulil on voolutarbe saatmisel 31 mA ning vastuvõtmisel 27 mA, transiiverit arvestamata tarbib mikrokontroller 8 mA. [24.]



Joonis 2.10 Telegesis ETRX357 integreeritud mikrokontrolleri ja transiiveri skeem

2.8. Seadme toide

Toitekplakk koosneb ühefaasilisest sildalaldist, silukondensaatorist ning kahest pingeregulaatorist. Toite disain on tehtud võimalikult lihtne, kuna keerulisema toitelahenduse analüüs jääb antud töö raamist välja.



Joonis 2.11. Toiteallika struktuurskeem

Eelnevate plokkide toitevajadustest lähtuvalt on tehtud valikud ahela komponentide osas. Sensorplakk ja lülitiplakk töötavad 5 V ahelas ning tarbivad kokku maksimaalsel juhul 130 mA voolu. Kontrollerplakk töötab 3.3 V ahelas ning tarbib maksimaalselt 53 mA voolu. Pingelang alaldil on 1,1V [25].

2.9. Silufilter ja trafo

Silufilter tuleb valida maksimaalse koormuse juures (183 mA) ning nominaaliga, mis vastab selle otstele rakendatud pingele. Sealjuures pingelang filterkondensaatoril ehk pulsatsioonide suurus ei või olla rohkem kui 5%.

Kõigepealt tuleb leida vajalikule toitepingele ja -voolule vastav trafo. Selleks tuleb alustada sekundaarmähise pingele leidmisest, kui teada on vajalik tööpinge, pulsatsioonide suurus ΔU_{c1} ja dioodsilla pingelang U_d . Sekundaarmähise amplituud on:

$$U_{2m} = U_{c1min} + \Delta U_{c1} + U_d, \quad (2.18)$$

kus U_{c1min} on minimaalne vajalik pingeamplituud sekundaarmähisel.

$$U_{2m} = 5,8 \text{ V} + 0,29\text{V} + 1,1\text{V} = 7,19 \text{ V} \quad (2.19)$$

Selle järgi on võimalik arvutada trafo sekundaarmähise soovitud efektiivväärtus U_2 :

$$U_2 = \frac{U_{2m}}{\sqrt{2}} = \frac{7,19}{\sqrt{2}} = 5,08 \text{ V} \quad (2.20)$$

Kõige lähem standardne trafo on sekundaarmähise pingega 6V, kui arvestada voolu tarbimisega $I = 183 \text{ mA}$ saab leida trafo võimsuse P :

$$P = I * U_2 = 183 * 10^{-3} * 6 = 1,1 \text{ W} \quad (2.21)$$

Sekundaarmähise pinget ja arvutatud võimsusvajaduse järgi valiti 6V 2VA võimsusega trafo. Tähele tuleb veel panna, et koormamata trafot, $R_t = \infty$, on sekundaarmähise pinget 10,4 V, millega tuleb arvestada silukondensaatori valimisel.[26]

Valitud trafo pingeamplituud olenevalt koormamisest on vahemikus U_{2mmin} kuni U_{2mmax} (valemid 2.22 ja 2.23)

$$U_{2mmin} = 6 * \sqrt{2} = 8,49 \text{ V}, \quad (2.22)$$

$$U_{2mmax} = 10,4 * \sqrt{2} = 14,7 \text{ V}, \quad (2.23)$$

Arvestades pulsatsioonidega 5% ning pingeamplituudiga U_{2mmin} , saab leida vajaliku silufiltri mahtuvuse:

$$C_1 = \frac{2,5 * 10^5 * I}{U_{2mmin} * k_{pul} \%} = \frac{2,5 * 10^5 * 183 * 10^{-3}}{8,49 * 5} = 1077 \mu\text{F}, \quad (2.24)$$

Selle järgi tuleb valida pulsatsioonide silumiseks kondensaator nominaalpingega alates 16 V ja mahtuvusega vähemalt 1077 μF .

2.10. Pingeregulaatorid

Pingeregulaator on seade, mis hoiab toitepinge teatud nivool. Suuremalt jaolt töötavad need muutuva suurusega takistitena, takistus väheneb väiksema koormuse korral ja vastupidi. See hoiab olenemata koormusest pinge aksepteeritaval tasemel. [27.]

3.3 V ahelas kasutatakse Texas Instruments'i LP2951 väikse pingelanguga (*low-dropout*) mikroskeemi, mis suudab tagada 100 mA voolu ning pingelang skeemil on maksimaalselt 380 mV. Tüüpiline töövool 100 mA juures on 75 μA . [28.]

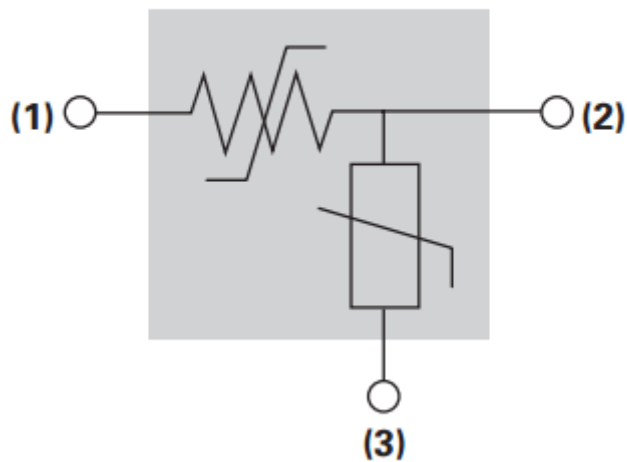
5 V ahelas on kasutusel MIC2951 väikse pingelanguga regulaator, mille väljundvool on 3.3 V regulaatorist veidi kõrgem, 150 mA. Maksimaalse voolutarbimise juures on töövool 8 mA ning pingelang 450 mV [29]. Kuna eeldatakse antud skeemi kasutamist valgustite juhtimiseks, siis on 5 V ahelas kasutusel ka väljalülitamisviik, et vähendada voolutarbimist näiteks päeval ajal, kui valgustit ei vajata.

Mõlemad regulaatorid vajavad stabiliseerimiseks väljundisse vähemalt 2 μF kondensaatorit, mille ekvivalentne jadatakistus (ESR) ei oleks 0 Ω , ega üle 5 Ω . Seega kasutatakse stabiliseerimiseks 3.3 μF tantaalkondensaatorid, mille pingenominaal on vähemalt 5 V [28, 29.]

2.11. Kaitse

Enne trafo sisendahelat on paigutatud positiivse temperatuuriteguriga ülepingekaitse (*PTC*) koos metalloksiidvaristoriga (*MOV*), mis võimaldavad taastuvat ülepinge ja –voolu kaitset. Seade võimaldab kaitset äikese ESD impulsi ja ebakorrekse sisendpinge korral. PTC ja varistor on ühendatud vastavalt skeemile 2.12. [30].

Electrical Schematic



Joonis 2.12 Ülepinge ja –voolukaitse elektriskeem [30]

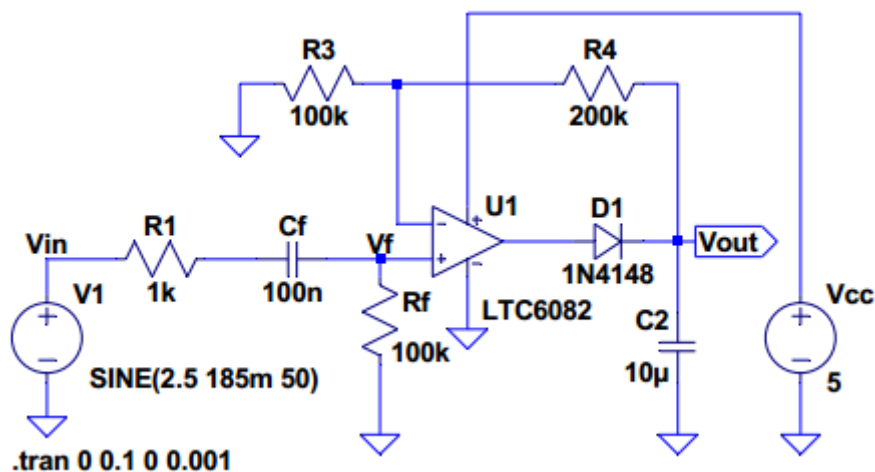
Taolisel ühendusel kaitseb varistori *PTC* element, mille takistus ülepingel suureneb ning aitab vähendada varistori tõrget suure kuumuse tõttu. Kasutataval seadmeh on rakendusvool (*trip current*) 200 mA ning rakendusaeg 1 A juures 0.9 s. Maksimaalne ülepinge terminalidel 2–3 võib ulatuda kuni 710 V 25 A juures. [30.]

3. Simulatsioon

Simuleerimiseks kasutati vabalt kättesaadavat Ltspice IV tarkvara [31]. Kuna Ltspice tarkvaras on kasutada ainult Linear Technologies komponendid, siis asendati operatsioonvõimendi MCP6072 ekvivalentse LTC6082 võimendiga.

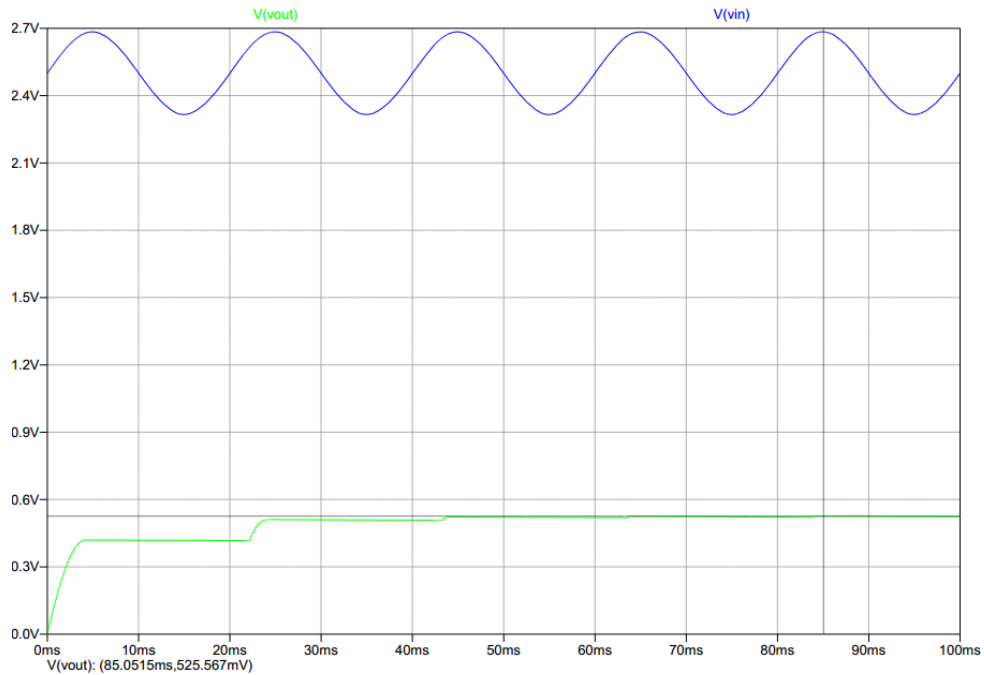
3.1. Voolusensor

Simulatsiooni tüübiks oli ülekandekarakteristiku analüüs (*transient analysis*), kus sisendiks oli vahelduvsignaal amplituudiga 185 mV ning alaliskomponent 2.5 V. Simulatsiooni parameetriteks seati ajavahemik 0 kuni 100 ms 1 μ s sammuga, kuna süsteem stabiliseerub juba 90 ms juures, ei ole pikem simuleerimise aeg vajalik.



Joonis 3.1 Simulatsiooniskeem

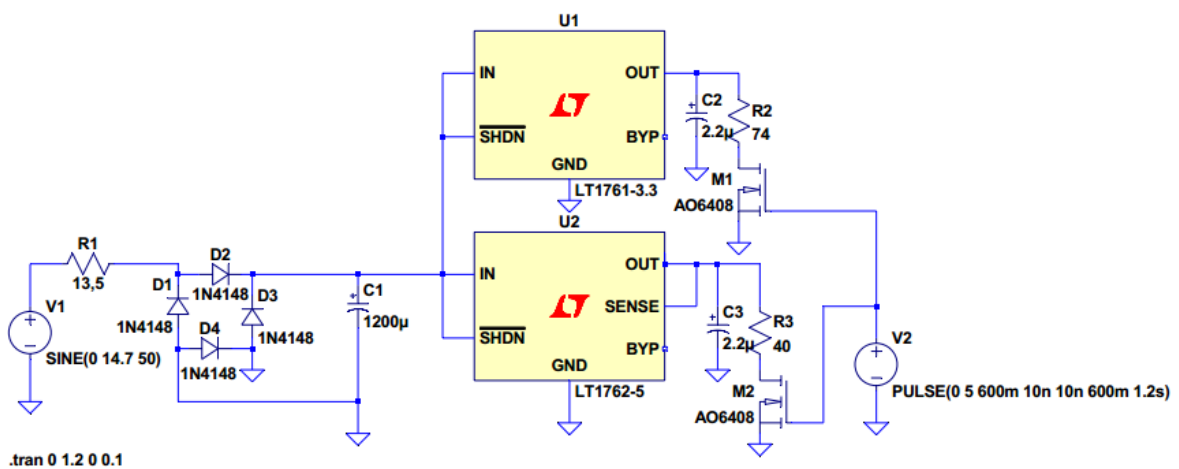
Joonisel 3.2 on toodud simulatsiooni tulemus, kus V_{in} (sinine) on sisendsignaali ja V_{out} (roheline) väljundsignaali. V_{in} kõigub etteantud amplituudiga 2.5 V ümber. Peale võimendamist ning alaldamist tippdetektori poolt leatakse 10 μ F kondensaator väljundis, mis negatiivse poolperioodi ajal hoiab vajalikku nivood. Peale kondensaatori laadimist (85 ms) on väljundnivoo saavutanud arvutustega lähedase taseme 525 mV.



Joonis 3.2 Simuleeritud ülekandekarakteristik (transient analysis)

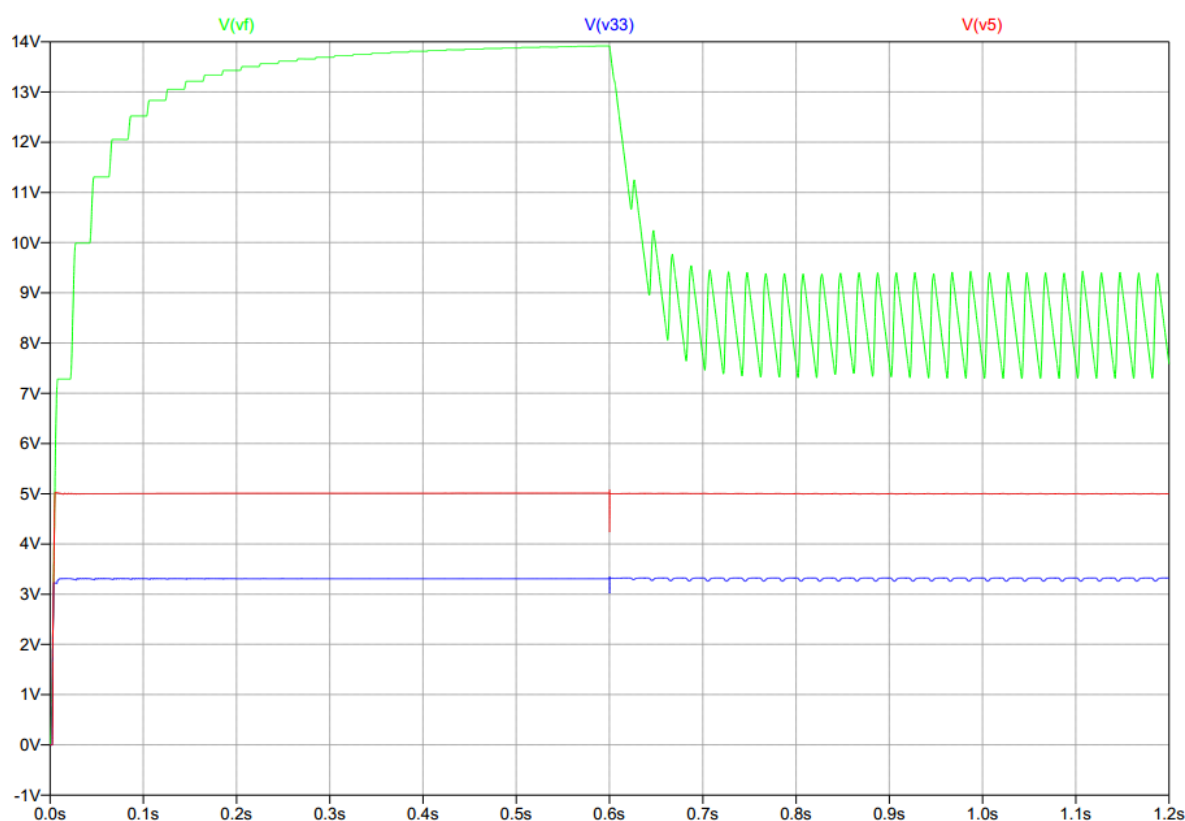
3.2. Elektriskeemi toide

Simulatsiooni eesmärgiks toiteahelas oli uurida pulsatsioone filterkondesaatoril ilma koormuseta ning koormusega. Koormamiseks valiti Linear Technologies poolt toodetavad madala pingelanguga regulaatorid väljundvooludega 100 ja 150 mA, mille väljundisse asetati koormustakistid. Takistite väärtused valiti seadme maksimaalse voolutarbe järgi vastavas ahelas.



Joonis 3.3 Toiteahela pulsatsioonide simulatsiooniskeem

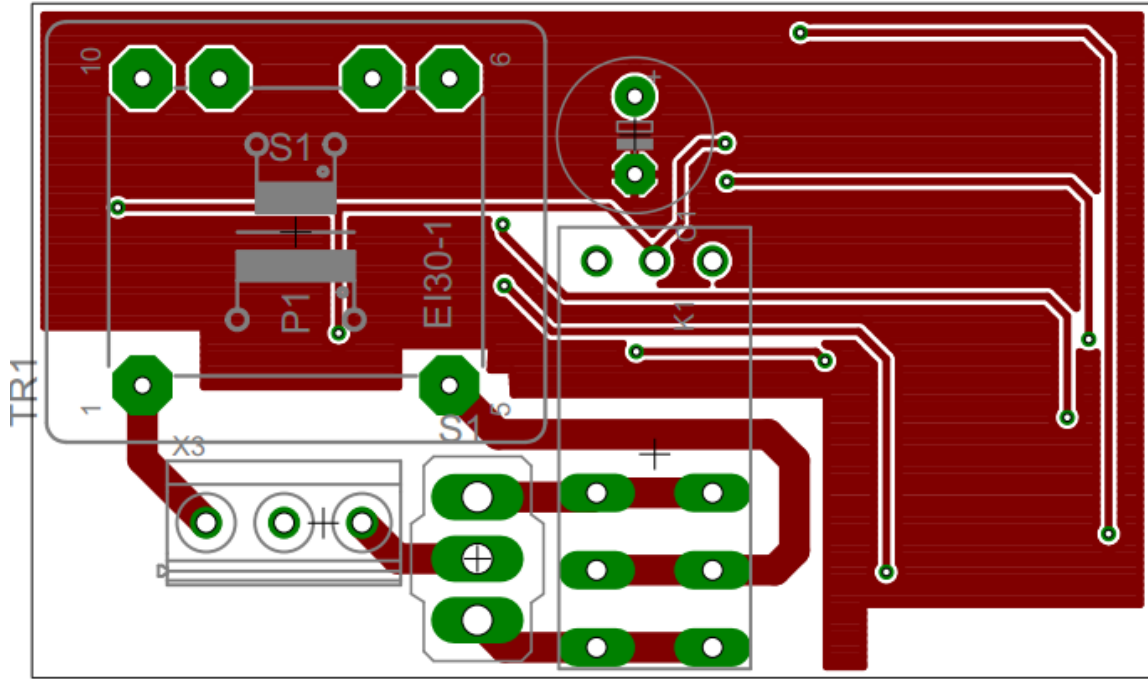
Simulatsiooni tulemustes on näha, V_f (roheline) koormuseta ning koormatud kujul. Koormus lülitati sisse peale pinge stabiliseerumist 600 ms järel. Koormuse skeemi lülitamiseks kasutati väljatransistori ning impulsspingeallikat. Koormuse järgi lülitamisel langes kondensaatori pinge $V_{f \max} = 9,2 \text{ V}$ ning $V_{f \min} = 7,2 \text{ V}$, mis teeb pulsatsioonide suuruseks 23 %. Eelnevalt välja arvatud kondensaatori mahtuvust võiks seega kahekordistada, kuna liiga suured pulsatsioonid lühendavad selle eluiga. Koormuseta olekus on kondensaatori pinge 14V, mis vastab koormuseta trafo sekundaarmähise pingele ning pingelangule dioodsillal.



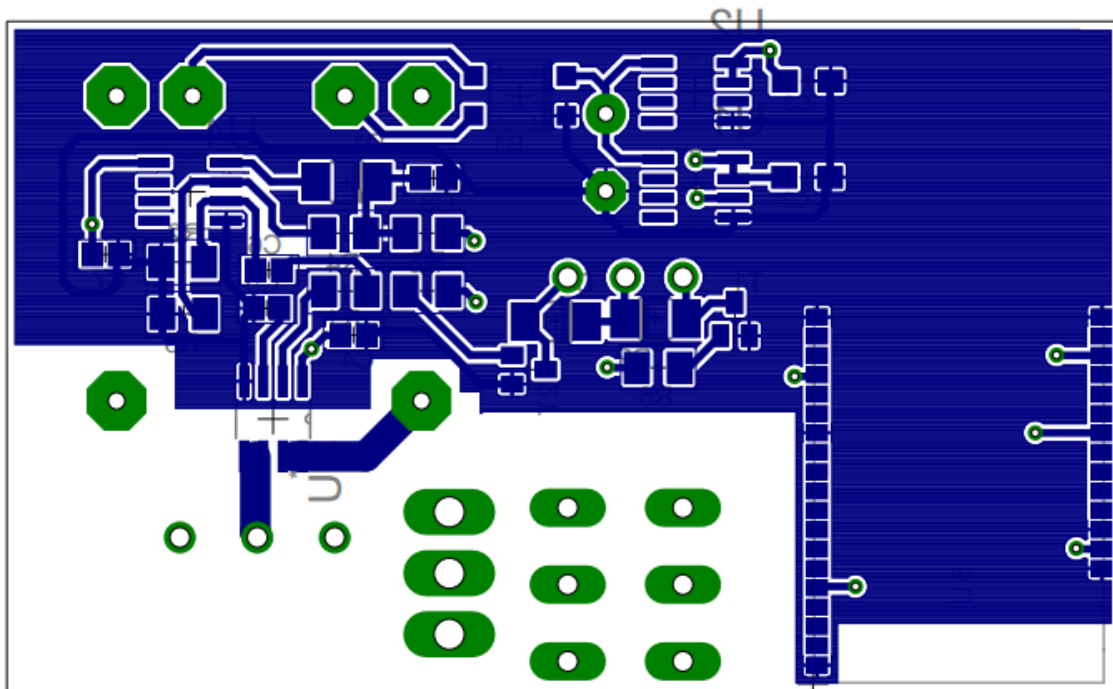
Joonis 3.3 Simuleeritud toiteahela ülekandekarakteristik

4. Trükkplaat

Trükkplaadi koostamiseks kasutati tarkvara Eagle 6.5.0 [32]. Trükkplaadil pole toodud ülepingekaitset sobiva jälgpinnaga elemendi puudumise tõttu Eagle'ist. Trükkplaat on kahepoolne, kus läbilaotavad komponendid on ühel pool ning pindmontaazi komponendid teisel pool. Vooluradade laiused on 0.5 ja 2 mm. Vahelduvvoolu ahelas on kasutatud 2 mm vooluradasid võimalike suurte voolude tõttu.



Joonis 4.1 Trükkplaadi pealmine pool



Joonis 4.2 Trükkplaadi alumine pool

Kokkuvõte

Töö eesmärgiks oli luua kaugjuhitava lüliti prototüüp, mis võimaldaks jälgida koormuse seisundit ja voolutarvet ning analüüsida loodava skeemi energiatervet. Kaugjuhtimine lahendati ZigBee mooduliga ning koormuse jälgimine Allegro Halli anduriga ACS712. Lülitiosa koostati kahe olekuga releest, mis tarbib voolu vaid lülitamise hetkel ning tavalisest lülitist vekselasendis.

Energia lõikus võimaldaks ehitada sõltumatud sensorsõlmed, kuid see nõuab keskkonna võimaliku energia ning sensori energiatarbe detailset analüüsi. Lõikustehnikate efektiivsus on palju keskkonnast ning mõningaid tehnikaid ei ole võimalik kasutada näiteks siseruumides. Ümbritseva keskkonna energiat kasutav sensor oleks hooldusvaba ning kui patareide asemel kasutada superkondensaatoreid, väheneb ka surve keskkonnale.

Kaugjuhitava lüliti maksimaalne voolutarve on 183 mA. See on arvatud juhul, kui samal ajal toimub relee lülitamine ning võetakse vastu sõnumit. Kuigi selliseid juhtumeid võib esineda on tõenäolisem, et kõigepealt võetakse vastu sõnum ning seejärel toimub lülitamine. Nii oleks hetkeline voolutarbimine 155 mA mõlema toiteahela peale kokku. Sarnaselt võib juhtuda, et kõigepealt toimub lülitus ning seejärel info saatmine. Sel juhul jääb maksimaalne voolutarve samaks, kuna lülituse hetkel tarbib skeem kõige rohkem voolu. Kui eeldada, et lülitamine toimub kohaliku lüliti abil, siis oleks skeemi voolutarve vaid sensori ning AD muunduri osa. Sensor tarbib 10.5 mA ning mikrokontroller ilma saatmiseta 8 mA, mis on kümme korda vähem, kui relee maksimaalsel juhul.

Trükkplaadi mõõtmeteks tuli 74 mm korda 44 mm ning kõige kõrgem element oli trafo 26,8 mm. Selliste mõõtmetega seadeldis sobiks asendada tavalist valgusti-lülitit ning võimaldaks tavalise lülitamise kõrval ka kaugjuhitavat lülitamist. Lisa B tabelis on toodud kõik kasutatud elemendid ning nende hinnad. Juhtmevaba mooduli tõttu on ühe seadme hind üsna kõrge, masstootmise puhul on elementide hinnaks 29,12 eurot ning sinna lisanduvad veel tootmiskulud.

Teoorias on selline lahendus kõlblik kodumajapidamises lampide lülitamiseks, kuid testida tuleks ka reaalses olukorras. Käesoleva töö järgi saaks valmistada prototüübi ka käsitsi, kuna kõik pindmontaaži elemendid on käsitsi joodetavad.

Antud seadme energia vajadus jääb ümbritseva energia lõikamiseks esialgsete tulemuste järgi liiga suureks, kuid õige toitelahenduse ja optimeerimisega saaks seda veelgi vähendada. Tegelikult ei oleks antud sedame projekteerimine energia lõikuseks kuigi

mõttekas, sest elektrivõrgust saab vajaliku energia lihtsamini kätte ning trafo asendamine aku või superkondesaatoriga ei pruugi seadme kabariite vähendada

Allikad

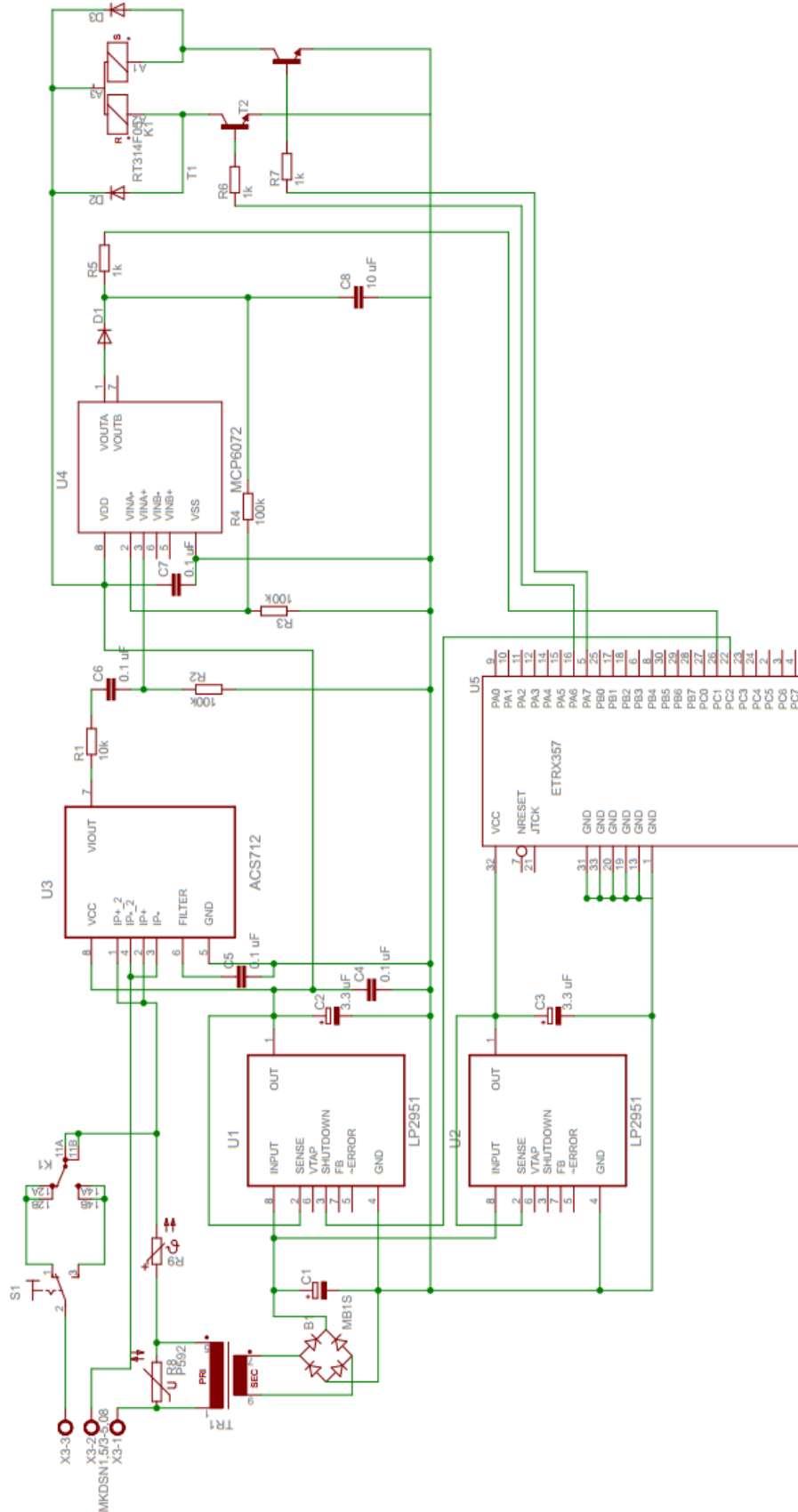
1. Institute of Physics. Energy harvesting. [WWW] <http://www.iop.org/resources/energy/index.html> (8.06.2014)
2. <http://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1018&context=archengdiss&sei-redir=1>
3. Arulepp, M. Leis, J. Karbiidset päritolu süsinikelektroodidega superkondensaatorid. 2007. Keskkonnatehnika 2/2007 [WWW] http://skeletonotech.com/wp-content/uploads/2010/07/arulepp3_20071.pdf (08.06.2014)
4. Sudevalayam, S. Kulkarni, P. Energy Harvesting Sensor Nodes: Survey and Implications. 20.09.2011. IEEE [Online] (08.06.2014)
5. Bulusu, N. Jha, S. Wireless sensor networks Boston. „Artec House“ 2005. lk 119
6. Basagni, S. Naderi, M. Y. Petrioli, C. Spenza, D. Wireless sensor networks with energy harvesting. 2013. Mobile Ad Hoc Networking: The Cutting Edge Directions, 701-736 [WWW] <http://www3.ece.neu.edu/~naderi/papers/EHWSN-Book-Chapter.pdf> (8.06.2014)
7. Chang, K. Kang, S. Park, K. Shin, S. Kim, H-S. Kim, H. Electric Field Energy Harvesting Powered Wireless Sensors for Smart Grid. 2012. Journal of Electrical Engineering & Technology Vol. 7 [WWW] <http://www.jeet.or.kr/ltkpsweb/pub/pubfpfile.aspx?ppseq=452> (8.06.2014)
8. Wikipedia. X10 (industry standard) [WWW] [http://en.wikipedia.org/wiki/X10_\(industry_standard\)](http://en.wikipedia.org/wiki/X10_(industry_standard)) (08.06.2014)
9. Loy, M. Karingattil, R. Williams, L. ISM-Band and Short Range Device Regulatory Compliance Overview. May 2005. Texas Instruments [WWW] <http://www.ti.com/lit/an/swra048/swra048.pdf> (8.06.2013)
10. Buratti, C. Conti, A. Dardari, D. Verdone, R. An Overview on Wireless Sensor Networks Technology and Evolution. 31.08.2009. Sensors 2009 [WWW] <http://www.mdpi.com/1424-8220/9/9/6869/pdf> (8.06.2014)
11. Texas Instruments. Wireless Connectivity [WWW] <http://www.ti.com/lit/sg/slab056c/slab056c.pdf> (8.06.2014)
12. Bluetooth SIG, Inc. Technical Information. 2014 [WWW] <http://www.bluetooth.com/Pages/low-energy-tech-info.aspx> (8.06.2014)

13. Z-Wave Alliance. About Z-Wave [WWW] <http://www.z-wavealliance.org/technology> (8.06.2014)
14. Saveljev, I. Füüsika üldkursus 2 elekter Tallinn „Valgus“ 1978 lk 191
15. Milano, S. Allegro Hall-Effect Sensor ICs. Allegro MycroSystems LLC. [WWW] <http://www.allegromicro.com/en/Design-Center/Technical-Documents/Hall-Effect-Sensor-IC-Publications/Allegro-Hall-Effect-Sensor-ICs.aspx> (8.06.2014)
16. Hall Effect [WWW] <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/magnetic/hall.html#c2> (8.06.2014)
17. Allegro MicroSystems LLC. ACS712: Fully Integrated, Hall-Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor.[WWW] <http://www.allegromicro.com/en/Products/Current-Sensor-ICs/Zero-To-Fifty-Amp-Integrated-Conductor-Sensor-ICs/ACS712.aspx> (8.06.2014)
18. Allegro MicroSystems LLC. ACS712 Datasheet [WWW] <http://www.allegromicro.com/~media/Files/Datasheets/ACS712-Datasheet.ashx> (8.06.2014)
19. Microchip. MCP6071/2/4 Datasheet [WWW] http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/22142_B_MCP6071.pdf (8.06.2014)
20. Mahaffey, T. R. Electromechanical Relays Versus Solid-State: Each Has Its Place. 16.09.2002. Electronic Design [WWW] <http://electronicdesign.com/components/electromechanical-relays-versus-solid-state-each-has-its-place> (8.06.2014)
21. All About Circuits. Temperature coefficient of resistance [WWW] http://www.allaboutcircuits.com/vol_1/chpt_12/6.html (8.06.2014)
22. TE connectivity. Power PCB Relay RT1 bistable Datasheet [WWW] http://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=showdoc&DocId=Data+Sheet%7FRT1_bistable%7F0613%7Fpdf%7FEnglish%7FENG_DS_RT1_bistable_0613_RT1_bistable.pdf%7F8-1393239-5 (8.06.2014)
23. NXP BC817 Product data sheet. 17.11.2009 [WWW] http://www.nxp.com/documents/data_sheet/BC817_BC817W_BC337.pdf (8.06.2014)

24. Telegesis. ETRX35x ZigBee modules product manual [WWW]
<http://www.telegesis.com/downloads/general/tg-etrx35x-pm-010-100.pdf>
(8.06.2014)
25. Multicomp. Bridge Rectifier [WWW]
<http://www.farnell.com/datasheets/1441717.pdf> (8.06.2014)
26. Myrra [WWW] <http://www.myrra.com/products/4400SERIES/2va-30155-330.jpg>
(8.06.2014)
27. Encyclopedia Britannica. Voltage regulator. [WWW]
<http://www.britannica.com/EBchecked/topic/632467/voltage-regulator> (8.06.2014)
28. Texas Instruments. Adjustable micropower voltage regulator with shutdown 2012
[WWW] <http://www.ti.com/lit/gpn/lp2951> (8.06.2014)
29. Micrel. 150mA Low-Dropout Voltage Regulator [WWW]
http://www.micrel.com/_PDF/mic2950.pdf (8.06.2014)
30. TE connectivity. Product Overview. [WWW]
[http://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=showdoc
&DocId=Data+Sheet%7FDS28430%7FA%7Fpdf%7FEnglish%7FENG_DS_DS28
430_A.pdf%7FRF1132-000](http://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=showdoc&DocId=Data+Sheet%7FDS28430%7FA%7Fpdf%7FEnglish%7FENG_DS_DS28430_A.pdf%7FRF1132-000) (8.06.2014)
31. Linear Technology. Design Simulation and Device Models [WWW]
<http://www.linear.com/designtools/software/> (8.06.2014)
32. CadSoft. CadSoft EAGLE PCB Design Software. [WWW]
<http://www.cadsoftusa.com/eagle-pcb-design-software/?language=en> (8.06.2014)

Lisad

Lisa A Elektriskeem



Lisa B Komponentide nimekiri

	Nimetus	Lisaparam	Korpus	farnell kood	kpv	hind 1tk	hind 100tk	hind 1000tk
PTC/MOV	TM2P		disc 12 mm	1835554	8.06.2014	0,88	0,76	0,51
TR1	44121 2VA		E30-1	1689053	8.06.2014	3,16	2,56	2,56
B1	MB1S		SOIC-4	1861514	8.06.2014	0,138	0,138	0,088
U1	MIC2951		SOIC-8	1556713	8.06.2014	0,74	0,53	0,44
U2	LP2951		SOIC-8	1755064	8.06.2014	0,86	0,4	0,25
C1	1200 µF 16V	16 V el. lüüt	E5-10	1744918	8.06.2014	1,06	0,31	0,25
C2	3.3 µF	tantaal el. lüüt	1206	1672485	8.06.2014	0,169	0,143	0,13
C3	3.3 µF	tantaal el. lüüt	1206	1672485	8.06.2014	0,169	0,143	0,13
U3	ACS712		SOIC-8	1329623	8.06.2014	4,29	2,34	1,79
U4	MCP6072		SOIC-8	1715857	8.06.2014	1,03	0,6	0,6
R1	1 kΩ	0,25 W	1206	9337008	8.06.2014		0,036	0,023
R2	100 kΩ	0,25 W	1206	1799525	8.06.2014	0,004	0,003	0,003
R3	100 kΩ	0,25 W	1206	1799525	8.06.2014	0,004	0,003	0,003
R4	100 kΩ	0,25 W	1206	1799525	8.06.2014	0,004	0,003	0,003
R5	1 kΩ	0,25 W	1206	9337008	8.06.2014		0,036	0,023
C4	0.1 µF	100 V	0805	2332715	8.06.2014	0,142	0,113	0,068
C5	0.1 µF	100 V	0806	2332715	8.06.2014	0,142	0,113	0,068
C6	0.1 µF	100 V	0807	2332715	8.06.2014	0,142	0,113	0,068
C7	0.1 µF	100 V	0808	2332715	8.06.2014	0,142	0,113	0,068
C8	10 µF	16 V	0809	1288204RL	8.06.2014	0,134	0,091	0,085

D1	1N4148		DO-204AH	2306361	8.06.2014	0,027	0,012	0,01
D2	1N4148		DO-204AH	2306361	8.06.2014	0,027	0,012	0,01
D3	1N4148		DO-204AH	2306361	8.06.2014	0,027	0,012	0,01
T1	BC817		SOT23	2423100	8.06.2014	0,043	0,025	0,012
T2	BC817		SOT23	2423100	8.06.2014	0,043	0,025	0,012
R6	100 Ω	0,25 W	1206	1799527	8.06.2014	0,004	0,003	0,003
R7	100 Ω	0,25 W	1206	1799527	8.06.2014	0,004	0,003	0,003
K1	RT314F05		RT1-BI	2060857	8.06.2014	8,09	4,29	3,29
S1	lüliti		320-916	1082301	8.06.2014	3,47	2,72	2,46
U5	ERTX357		ERTX3	1854234	8.06.2014	17,65	16,15	16,15
Kokku hind:						42,595	31,8	29,12

Lihtlitsents lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ja reprodutseerimiseks

Mina Karl Kristjan Raik (*autori nimi*) (sünnikuupäev: 11.01.1991)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

Kaugjuhitav voolu jälgimisega lüliti,

(*lõputöö pealkiri*)

mille juhendaja on Argo Kasemaa,

(*juhendaja nimi*)

1.1. reprodutseerimiseks säilitamise ja elektroonilise avaldamise eesmärgil, sealhulgas TTÜ raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
1.2. üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas TTÜ raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta kolmandate isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ja teistest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

Karl Kristjan Raik (*allkiri*)

09.06.2014 (*kuupäev*)

METAANDMED

Töö pealkiri (eesti keeles): Kaugjuhitav voolu jälgimisega lüliti

Töö pealkiri (inglise keeles): Remote Controlled Switch with Current Monitoring

Autor: Karl Kristjan Raik

Juhendaja(d): Argo Kasemaa

Kaitsmise kuupäev: 16.06.2014

Töö keel: est / eng / rus: est

Asutus (eesti keeles): TTÜ / TTÜ õppeasutus (nimi): Tallinna Tehnikaülikool

Asutus (inglise keeles): TTÜ / TTÜ õppeasutus (nimi): Tallinn University of Technology

Teaduskond (eesti keeles): Infotehnoloogia teaduskond

Teaduskond (inglise keeles): Faculty of Information Technology

Instituut (eesti keeles): Thomas Johann Seebecki elektroonikainstituut

Instituut (inglise keeles): Thomas Johann Seebeck Department of Electronics

Õppetool (eesti keeles): Siduselektronika õppetool

Õppetool (inglise keeles): Chair of Communicative Electronics

Märksõnad /kui on/ (eesti keeles):

Märksõnad /kui on/ (inglise keeles):

Õigused: juhul kui ligipääs on piiratud, siis sellekohane märkus