

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

Infotehnoloogia teaduskond

Thomas Johann Seebecki elektroonikainstituut

Valgusdiodidel valgusti fotostuudiale

Magistritöö

IEE70LT

Üliõpilane: Raido Liiksmann

Üliõpilaskood: 121874IAEM

Juhendaja: Argo Kasemaa

Tallinn 2015

Autorideklaratsioon

Olen lõputöö kirjutanud iseseisvalt. Kõigile töös kasutatud teistele autorite töödele, põhimõtteliste seisukohtadele ning muudest allikatest pärinevatele andmetele on viidatud.

Autor: Raido Liiksmann

Kuupäev: 11.06.2015

Allkiri:

Annotatsioon

Lõputöö raames koostatakse valgusdiod (LED) valgusti ning selle juhtimiseks vajalik toite- ning juhtimise lahendus. Valgusti eesmärk on valgustada isikut või objekti siseruumis, mis asub 1-3m kaugusel eelkõige pildistamise tarbeks. Antud lõputöös tutvustatakse hetke olukorda valgusdiod valgustite maastikul. Seejärel pakub autor välja alternatiivse lahenduse ning toob välja selle eelised.

Valgusti disainimisel valitakse kõigepealt sobivad valguselemendid paneelile, nende elektrilise skeemi ning arvutused. Seejärel toob välja lahenduse juhtimaks valgusti paneeli, kus tuuakse välja selle põhilised osad ning juhtimise programmi loogika. Pärast mida tuuakse välja juhtiploki trükkplaat, valgusti paneeli trükkplaat kui ka selle temperatuuri arvutused. Viimaks tuuakse välja komponentide alla minev kulu ning majanduslik hinnang.

Abstract

This thesis will present a LED luminaire and all the necessary components for control. The purpose of the luminaire is to illuminate a person or object, indoors, from 1-3 meters for the purpose of photography. The author will discuss current LED luminaires on the market and suggest an alternative solution by pointing out the advantages of said solution.

Designing the luminaire begins with choosing the LEDs for the LED panel, then electrical schematic and the calculations for it. Followed by the solution for the control panel, where its main components are explained and the logic for controlling the microcontroller. Next the PCB design for the control panel and the LED panel with temperature calculations are made, and finally the component cost and finance is explained.

Mõistete loetelu

| Mõiste | Tähendus |
|------------|--|
| LED | Valgusdiod (ingl Light Emitting Diode) |
| PWM | Impulsslaiusmodulatsioon (ingl Pulse Width Modulation) |
| CRI | Värviedastusindeks (ingl Colour Rendering Index) |
| CCT | Värvsustemperatuur (ingl Correlated Colour Temperature) |
| XLR | Pistiku standard, mida kasutatakse eelkõige professionaalse helitehnika, pildi- ja lavavalgustuse jaoks. |
| Buck | Pinget alandav impulssmuundur |
| Boost | Pinget tõstev impulssmuundur |
| LED driver | Üldine nimetus UI impulssmuundurile, mille eesmärgiks on toita valgusdiodmaatriksit. |
| MOSFET | Metalloksiidväljatransistor (ingl Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) |
| Tiibpiirik | Pööratavad metallist tiivad prožektor (valgusti) valgusvihu ahendamiseks (ingl barndoor). |

Sisukord

| | |
|--|-----------|
| AUTORIDEKLARATSIOON | 2 |
| ANNOTATSIOON | 3 |
| ABSTRACT | 4 |
| MÕISTETE LOETELU | 5 |
| SISUKORD..... | 6 |
| SISSEJUHATUS..... | 7 |
| 1. VALGUSTI IDEE | 8 |
| 1.1. VALGUSTI PLOKKSKEEM | 9 |
| 1.2. VALGUSTI PANEELI ÜLESEHITUS | 10 |
| 2. VALGUSDIOODI VALIK | 11 |
| 2.1. VALITUD VALGUSDIOODIDE PARAMEETRID..... | 12 |
| 2.2. LED GRUPPIDE ELEKTRISKEEM..... | 13 |
| 2.3. PANEELI VÕIMSUSE ARVUTUS..... | 14 |
| 2.4. DIALUXI ARVUTUS..... | 15 |
| 3. ELEKTRISKEEMI ÜLESEHITUS..... | 17 |
| 3.1. TOITEPLOKI VALIK | 18 |
| 3.2. PINGET ALANDAV TÜÜRITAV VOOLUMUUNDUR | 18 |
| 3.3. PINGET TÕSTEV TÜÜRITAV VOOLUMUUNDUR | 21 |
| 3.4. MIKROKONTROLLER | 27 |
| 3.5. KOODI KIRJELDUS..... | 31 |
| 3.6. PANEELI NING JUHTPLOKI ÜHENDAMINE | 31 |
| 4. TRÜKKPLAADI DISAIN | 32 |
| 4.1. PANEELI TEMPERATUURI ARVUTUSED..... | 33 |
| 4.2. JUHTPLOKI TRÜKKPLAAT | 35 |
| 5. VALGUSTI KORPUSE MEHAANIKA VISIOON | 36 |
| 6. MAJANDUSHINNANG | 37 |
| 7. EDASIARENDUSE VÕIMALUSED | 39 |
| 8. KOKKUVÕTE | 40 |
| KASUTATUD KIRJANDUS | 41 |
| LISA 1 JUHTPLOKI TÄIELIK SKEEM..... | 42 |

Sissejuhatus

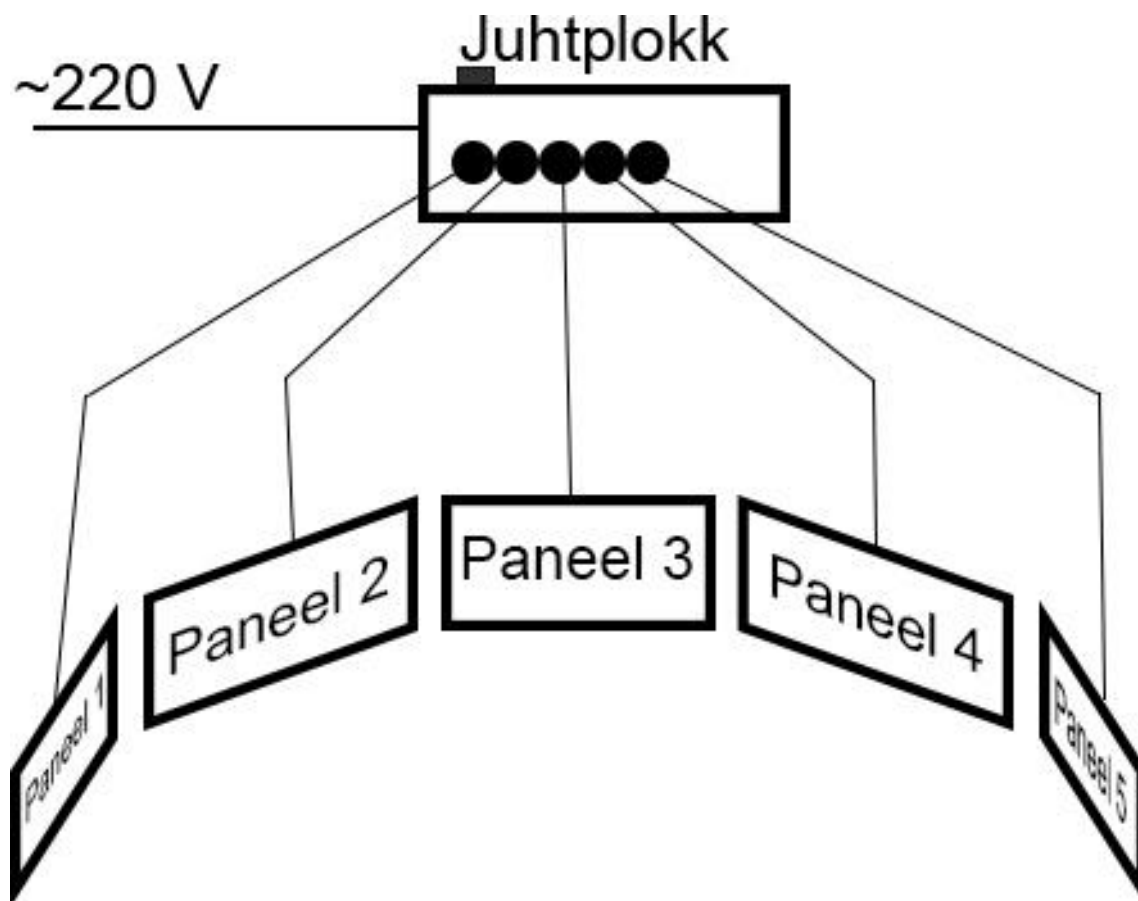
Valgusdiodpaneelid koguvad aina populaarsust, mitte ainult filmindus- kui ka fotondusmaailmas. Filminduses on enamasti kasutusel väikesed kaamera külge kinnituvad paneelid või siis juba väga suurevõimsuslised paneelid valgustamiseks tervet lava või suurt saali. Selliste valgusallikate suureks eeliseks on oluliselt kõrgem valgusviljakuse ning energiatarbe suhe, võrreldes mis tahes halogeenlampidega või luminifoortorudega ning samas kordades pikema elueaga. Fotonduses on neid siiani kasutatud suhteliselt vähe, sest valgusdiodid on pigem tuntud kui kehva valguskvaliteediga valgusallikad. Valguskvaliteedi all on mõeldud madalat värviedastusindeksit (ing. Color Rendering Index - CRI) [1], mida nimetatakse vahel ka teravaks valguseks, millega ei tule kõik värvid nii hästi välja. Kui filminduses on võimalik veel madalama CRI-ga hakkama saada, siis fotonduses rikub see kaadri ära. Kuna suhteliselt vähesed ettevõtted valmistavad kõrge CRI-ga valgusdiodide suures valguse värvsüsteemide vahemikus. Sellest tulenevalt on kõrge CRI-ga valgusdiodpaneeli turul suhteliselt vähe, mis sobiks fotograafia jaoks.

Enamasti on turul olevatel valgusdiodpaneelidel palju väikese võimsusega dioode, mis on kas kahes eri värvsüsteemidega grupis või siis sektsioonideks jaotatud ühe värvsüsteemidega grupp, mida on võimalik sisse ja välja lülitada. Kõikide nende lahenduste puhul käib ka juhtimine paneeli küljest, mis on fotostudios pigem ebanõuetav lahendus.

Antud töös lahendatakse probleem, kuidas teha lihtsat ja töökindlat ligi 10000 lm valgusvooga kõrge CRI ja muudetavate värvsüsteemidega valgusdiodpaneeli.

1. Valgusti idee

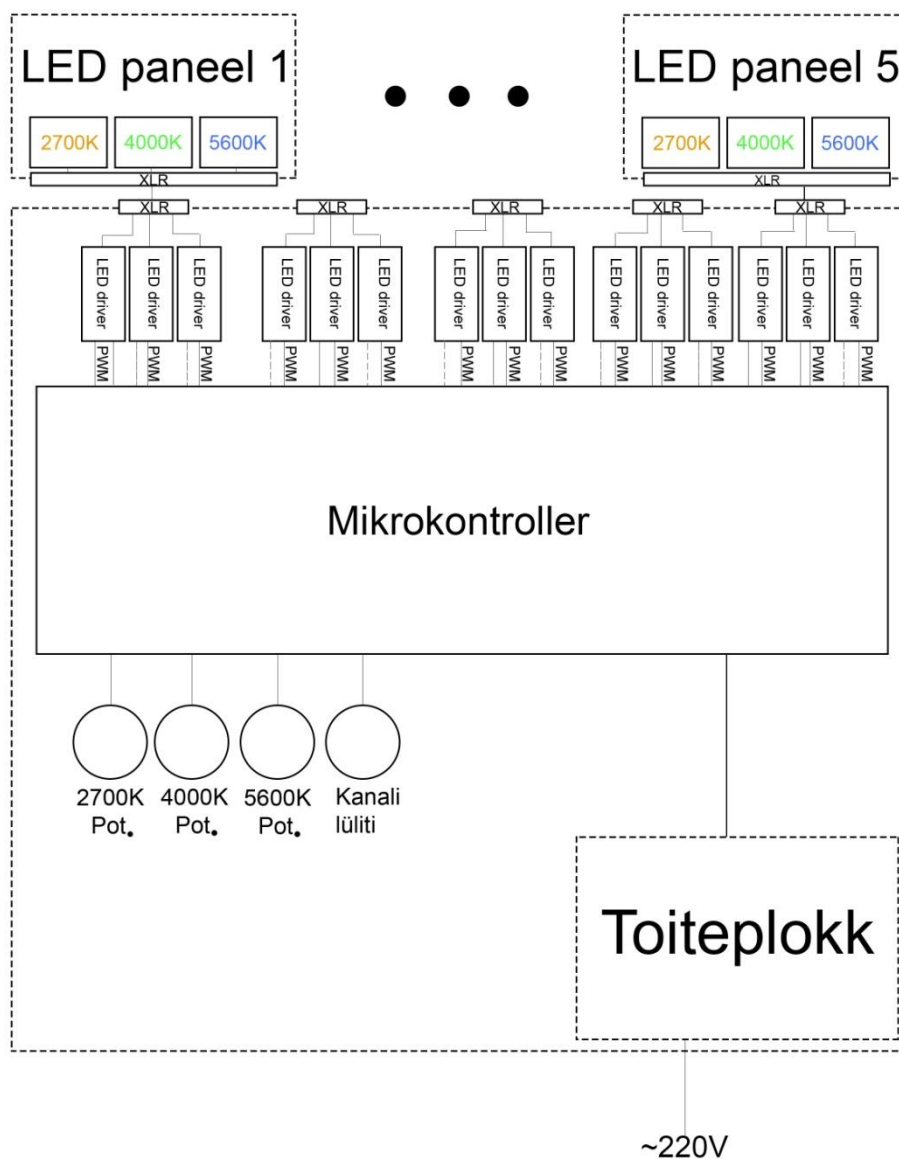
Antud lahenduse erinevus praeguste turul olevate valgusdiodpaneelidega on see, et selle valgusti paneel ning juht- ning toiteplokk on eraldi, joonis 1.1. Juhtplokkiga on võimalik ühendada kuni 5 LED paneeli. Juhtploki sees on eraldi nii toiteplokk kui ka LED paneele kontrolliva ahela trükkplaat. Kuna läbi ühenduskaablite toidetakse ära LED paneelid, siis vajadus eraldi volupistikute jaoks kaob ära. Kõigi paneelide ühest punktist juhtimise suur eelis on see, et fotograaf näeb kohe kontrollitavat tulemust, ilma et peaks valgustite ja kaamera vahel edasi-tagasi käima. Keerulisemate valguslahenduste korral pole vaja enam minna lae alla või stuudio teise otsa, et valgust reguleerida.



Joonis 1.1 Üldine lahendus

1. 1. Valgusti plokkskeem

Valgusdiodpaneel koosneb kolmest LED grupist, milles on erineva valgus värvsustemperatuuriga ning kõrge CRI-ga valged valgusdiodid, joonis 1.2. Ühendus juhtploki ja paneeli vahel on läbi XLR pistikutega varustatud 5-soonelise kaabli. Igat LED-gruppi saab juhtida eraldi potentsiomeetriga. Kanalilüliti on paneelide vahel lülitamiseks. Vajalik pinge ning vool antakse LED-gruppidele läbi impulssmuunduri (LED driver), mida juhitakse impulsslaiusmodulatsiooniga (PWM). Antud lahenduses on kasutatud ühte pinget tõstvat "Boost" tüüpi lahendust ning kahte pinget madaldavat "Buck"-tüüpi lahendust, mida juhitakse mikrokontrolleriga.



Joonis 1.2 Seadme plokkskeem

1.2. Valgusti paneeli ülesehitus

Valgusti kogu valgusviljakuseks valiti 10000 lm ehk ligikaudu 100 W, mis on jaotatud 3 LED-grupi vahel, kus iga LED grupp on eri värvustemperatuuriga. Paneel on üles ehitatud nii, et selles on üks domineeriv värvustemperatuuriga LED grupp ning kaks lisagruppi. Antud töös on valitud domineerivaks valgus värvustemperatuuriks 4000 K, sest rohekas värvustemperatuur on silmale kõige vähem nähtav. Domineeriva LED grupi eesmärk on rõhutada mingit värvustemperatuuri, mille eelis tuleb välja 5 paneeliga süsteemi puhul, kus on kasutatud mitme erineva domineeriva värvustemperatuuriga paneeli. Kuna kõrge CRI-ga pindmontaaži valgusdiodi võimsus on ligikaudu 0,4 W, siis tuleb arvutuslikult ligikaudu 250 valgusdiodi ühe valgusti paneeli kohta. Tulenevalt sellest, otsustas autor teha 256 LED-st koosneva 16x16 LED maatriksi, mis on jagatud omakorda kolmeks osaks - kaks 8x8 LED maatriksit ning domineeriv 16x8 LED maatriks. Valguspaneeli suuruseks on valitud 30x20 cm, mis on tingitud valgusdiodide arvust ning valgustatavast alast etteantud maksimaalsel kaugusel.

2. Valgusdiodi valik

Kuna vaja on võimalikult laia ja ühtlast valgusvoogu, siis on välistatud *Chip-on-Board* tüüpi valgusdiodid, sest need on reeglina võimsamad ning ei taga ühtlast valgusvoogu. Neid kasutatakse pigem prožektorites suurte ruumide ja lavade valgustamiseks. Sobivate valgusdiodide leidmiseks on koostatud tabel põhiliste LED komponentide tootjatest, mille värviesitusindeks on minimaalselt 90+. Valgusdiodide valikul võrdlen erinevate komponentide CRI-d, valgusviljakust, hinda ning valgusdiodide kogust 100W-se koguvõimsuse saavutamiseks. Kõiki valgusdioode võrreldakse 120 mA voolu juures, mis on enamikel LED-idest andmelehe kohaselt kas tüüpiline või sellest väiksem päriool. Tootjad, kes pakuvad piisavalt kõrge CRI-ga suhteliselt laias valikus LED-e on Osram [2] , Philips [3] ja Yuji [4].

Tabel 2.1 - Esimese LED grupi 2700-3000K LED-ide võrdlus

| Nimetus | Värvsus-temperatuur, K | Valgusviljakus, lm/W | Min. (tüüp.) CRI | Kogus,* tk | Hajuv võimsus, W | Hind, € |
|-------------------------|------------------------|----------------------|------------------|------------|------------------|---------|
| Osram Duris E 5 | 2700 | 92 | 90 (95) | 272 | 108,8 | 60,65 |
| Osram Duris E 5 | 3000 | 95 | 90 (95) | 263 | 105,2 | 58,65 |
| Yuji VX- 5730-27 | 2700 | 67,5 | 95 (97) | 370 | 148 | 333 |
| Yuji BX- 5730-27 | 2700 | 105 | 90 (93) | 238 | 95,2 | 85,7 |
| Philips Luxeon Rebel ES | 2700 | 86,2 | 90 (95) | 116 | 116 | 221,6 |
| Philips Luxeon Rebel ES | 3000 | 92,6 | 90 (95) | 108 | 108 | 206,3 |

Tabel 2.2 - Teise LED grupi 3500-4500K LED-ide võrdlus

| Nimetus | Valgus-temperatuur, K | Valgusviljakus, lm/W | Min. (tüüp.) CRI | Kogus,* tk | Hajuv võimsus, W | Hind, € |
|------------------------|-----------------------|----------------------|------------------|------------|------------------|---------|
| Osram Duris E 5 | 3500 | 114 | 90 (95) | 219 | 87,7 | 48,8 |
| Osram Duris E 5 | 4000 | 129 | 90 (95) | 194 | 77,6 | 43,3 |
| Yuji VX -5730-40 | 4000 | 77,5 | 95 (97) | 322 | 128,8 | 289,8 |
| Yuji BX- 5730-40 | 4000 | 122,5 | 90 (93) | 204 | 81,6 | 73,44 |

Tabel 2.3 - Kolmanda LED grupi 5000-6500K LED-ide võrdlus

| Nimetus | Valgus-temperatuur, K | Valgusviljakus, lm/W | Min. (tüüp.) CRI | Kogus,* tk | Hajuv võimsus, W | Hind, € |
|-------------------------|-----------------------|----------------------|------------------|------------|------------------|---------|
| Yuji VX- 5730-56 | 5600 | 80 | 95 (97) | 312 | 124,8 | 280,8 |
| Yuji BX- 5730-56 | 5600 | 122,5 | 90 (93) | 204 | 81,6 | 73,44 |

* - Saavutamaks valgusvoogu 10000 lm.

Kuna kõikides andmelehtedes ei olnud märgitud valgusviljakust, siis vajalikel juhtudel on see arvutatud valemiga:

$$\eta = \frac{\phi_v}{P},$$

kus η on valgusviljakus, ϕ_v on valgusvoog ning P võimsus.

Valgusti disainimisel on valitud LED-ideks värvsüsteemtemperatuuridel 2700K ja 4000K Osram Duris E5 ning värvsüsteemtemperatuuril 5600K Yuji VX-5730-56. Osrami LED-idel on suur eelis valgusviljakuse ja hinnaga tabelites 2.1 ja 2.2 toodud alternatiivsete LED-ide ees. Yuji 95+ CRI valgusdiodide tooteseeria valgusdiodid on kõrgema CRI-ga. Temperatuurivahemikus 5000-5600K ei paku Osram piisavalt kõrge CRI-ga valgusdioode. Kuna aga 5600K on lähim värvsüsteemtemperatuur naturaalsele valgusele ja seda kasutatakse enim pildistamisel, siis seetõttu on sellel ka vajadus suurima CRI väärtuse järele.

2.1. Valitud valgusdiodide parameetrid

Valitud valgusdiodide põhilised parameetrid on järgmised:

Osram Duris E5 - 2700K, 4000K

- Vaatenurk 50 % IV : 120°
- Värvus: 2700 K, 4000 K (valge)
- CRI: min. 90 (tüüp. 95)
- Valgusvoog: tüüp. 43 lm @ 4000 K
- Valgusviljakus: tüüp. 114 lm/W @ 4000 K
- Päriivool $I_F = 120$ mA
- Päripinge $V_F = 3.15$ V (tüüp)
- Maksimaalne päripinge $V_{Fmax} = 3.6$ V

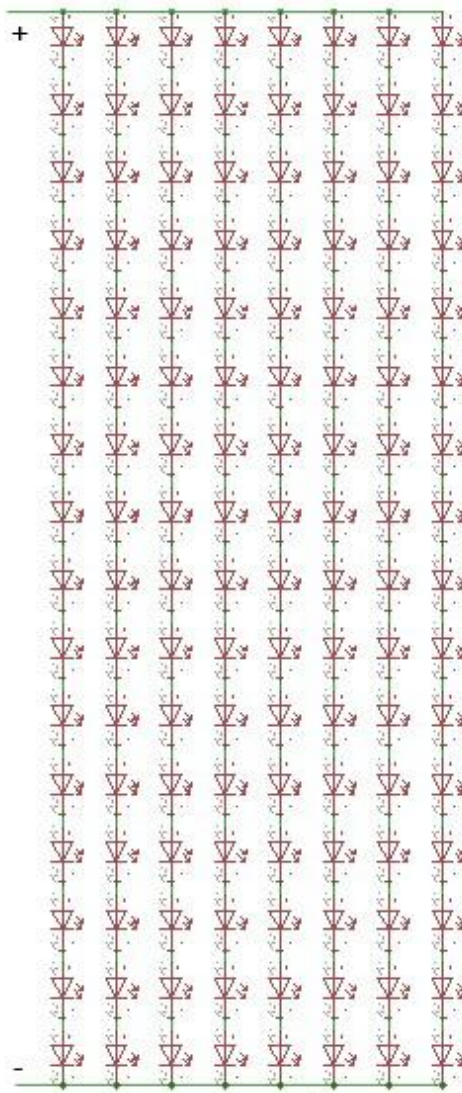
Yuji VX-5730-56 – 5600K

- Vaatenurk 50 % IV : 120°
- Värvus: 5600K (valge)
- CRI: min. 95 (tüüp. 97)
- Valgusvoog: tüüp. 28 lm @ 5600 K

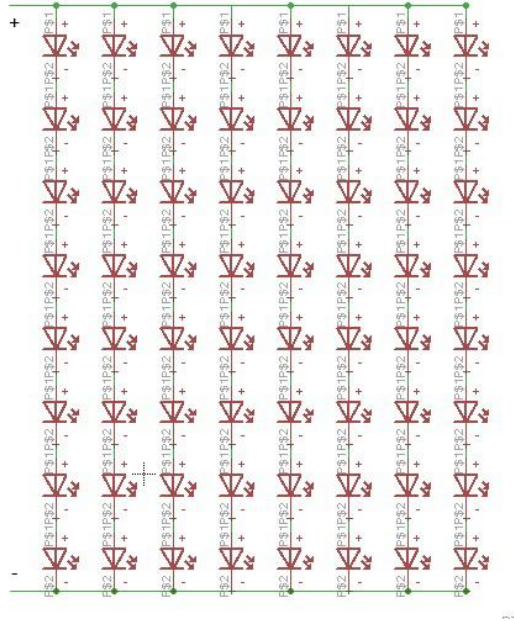
- Valgusviljakus: tüüp. 68,6 lm/W @ 5600 K
- Päriivool $I_F = 120 \text{ mA}$
- Päripinge $V_F = 3.2 \text{ V}$ (tüüp.)
- Maksimaalne päripinge $V_{Fmax} = 3.6 \text{ V}$

2.2. LED gruppide elektriskeem

Domineeriva LED grupina on pandud 16 valgusdiodi jadamisi ning 8 paralleelselt. Vähendades sellega toiteallika väljundvoolu alla ampri, kuid vajades seejuures kõrgemat väljundpinget, joonis 2.1. Väiksema 8x8 maatriksi puhul on grupi nimipinge kaks korda madalam, kuid vool jääb samaks, mis lihtsustab LED gruppide juhtimist, joonis 2.2.



Joonis 2.1: 16x8 LED maatriks



Joonis 2.2: 8x8 LED maatriks

2.3. Paneeli võimsuse arvutus

Kuna kõigi kasutatavate LED-ide päriool ja päripinge on samad, siis on neid lihtne kombineerida. Arvutuste lihtsustamise eesmärgil valin keskmiseks päripingeks $V_F = 3,2 \text{ V}$. 8x8 maatriksi puhul arvutan summaarse päripingelangu $V_{F\ 8x8}$ ja kogu tarbitava voolu I_{8x8} järgmiselt:

$$V_{F\ 8x8} = 8 \times V_F = 8 \times 3,2 \text{ V} = 25,6 \text{ V};$$

$$I_{8x8} = 8 \times 0,12 \text{ A} = 0,96 \text{ A}$$

ning 16x8 maatriksi puhul:

$$V_{F\ 16x8} = 16 \times V_F = 16 \times 3,2 \text{ V} = 51,2 \text{ V};$$

$$I_{16x8} = 8 \times 0,12 \text{ A} = 0,96 \text{ A}.$$

8x8 maatriksi võimsuseks P_{8x8} on järgmine:

$$P_{8x8} = V_{F\ 8x8} \times I_{8x8} = 25,6 \text{ V} \times 0,96 \text{ A} = 24,58 \text{ W}$$

ning 16x8 maatriks võimsuseks P_{16x8} on järgmine:

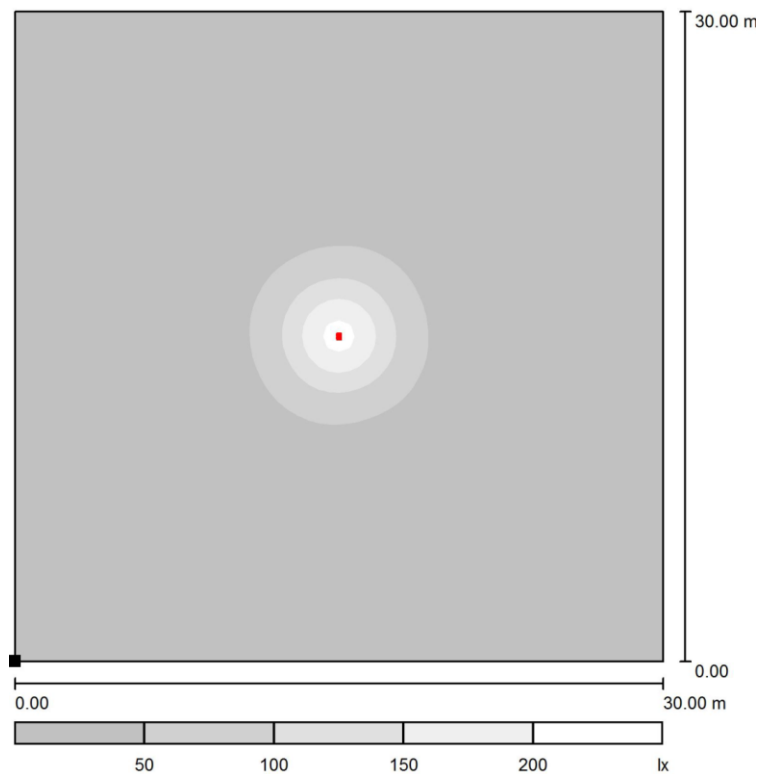
$$P_{16 \times 8} = V_{F_{16 \times 8}} \times I_{16 \times 8} = 51,2 \text{ V} \times 0,96 \text{ A} = 49,15 \text{ W}$$

Kuna paneelis on üks 16x8 LED maatriksit ning kaks 8x8 LED maatriksit, siis paneeli koguvõimsus P on järgmine:

$$P = P_{16 \times 8} + 2 \times P_{8 \times 8} = 49,15 \text{ W} + 2 \times 24,58 \text{ W} = 98,31 \text{ W}$$

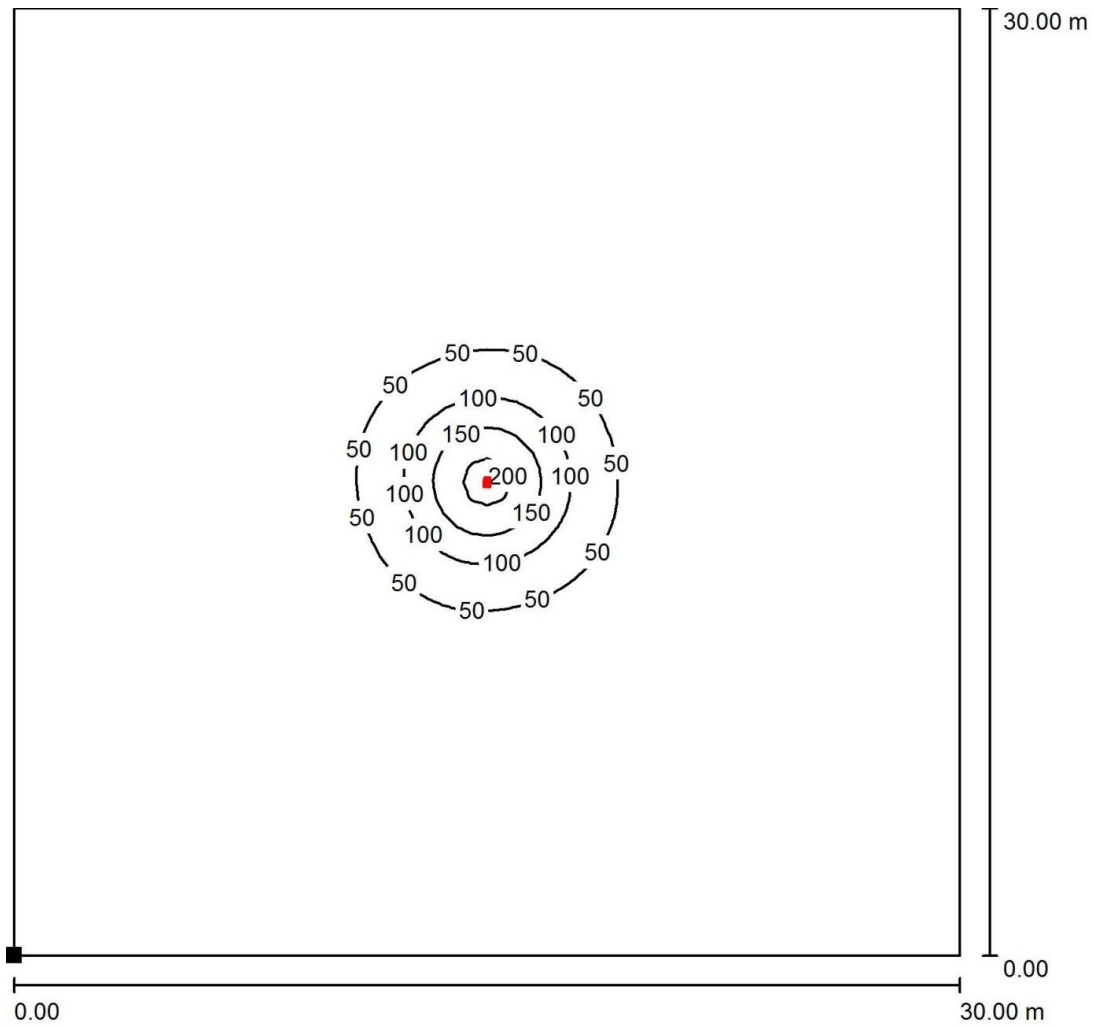
2.4 Dialuxi arvutus

Dialuxis simuleeritud valgustusseeni abil saame teada valgustugevuse pinnal ning ühtlaselt valgustatava pindalaühiku läbimõõdu. Ruumi suuruseks on valitud 30 x 30 m suurune ala, vältimaks seintelt peegeldunud valgust, ning ruumi kõrguseks 3m, mis on ülesandes maksimaalne valgusti kaugus valgustatavast objektist. Valgustiks on 256-st LED-st koosnev maatriks, kus ühe elemendi võimsuseks on 0,4 W ning valgusvoog 37 luumenit, mis on asetatud ruumi keskele. Punane täpp joonisel 2.3 tähistab LED valgustit. Programmis oli võimalik ära mõõta sisemise (valge) ringi läbimõõd, milleks osutus 1,4 m. See tähendab, et ilma tiibpiirikuteta [6] saab ühtlast valgust 1,4 m ulatuses. Maksimaalseks valgustugevuseks tuli 225 luxi 3 meetri kaugusel.



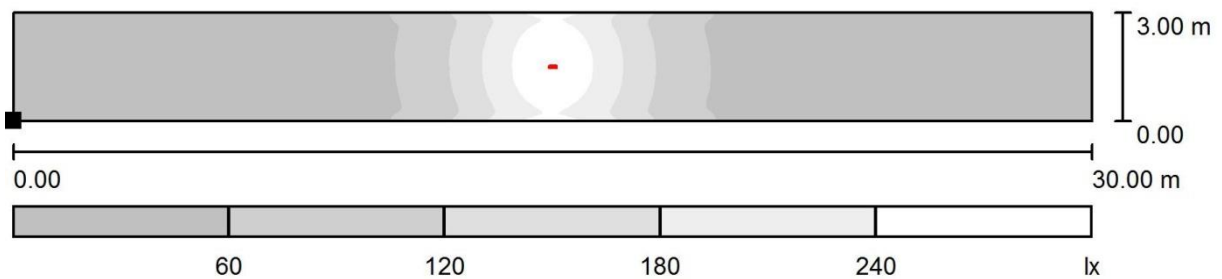
Joonis 2.3: Halliskaala

Joonisel 2.4 on märgitud ära isojooned, mis näitavad ära ala valgustugevuse luksides.



Joonis 2.4 LED valgusti isojooned

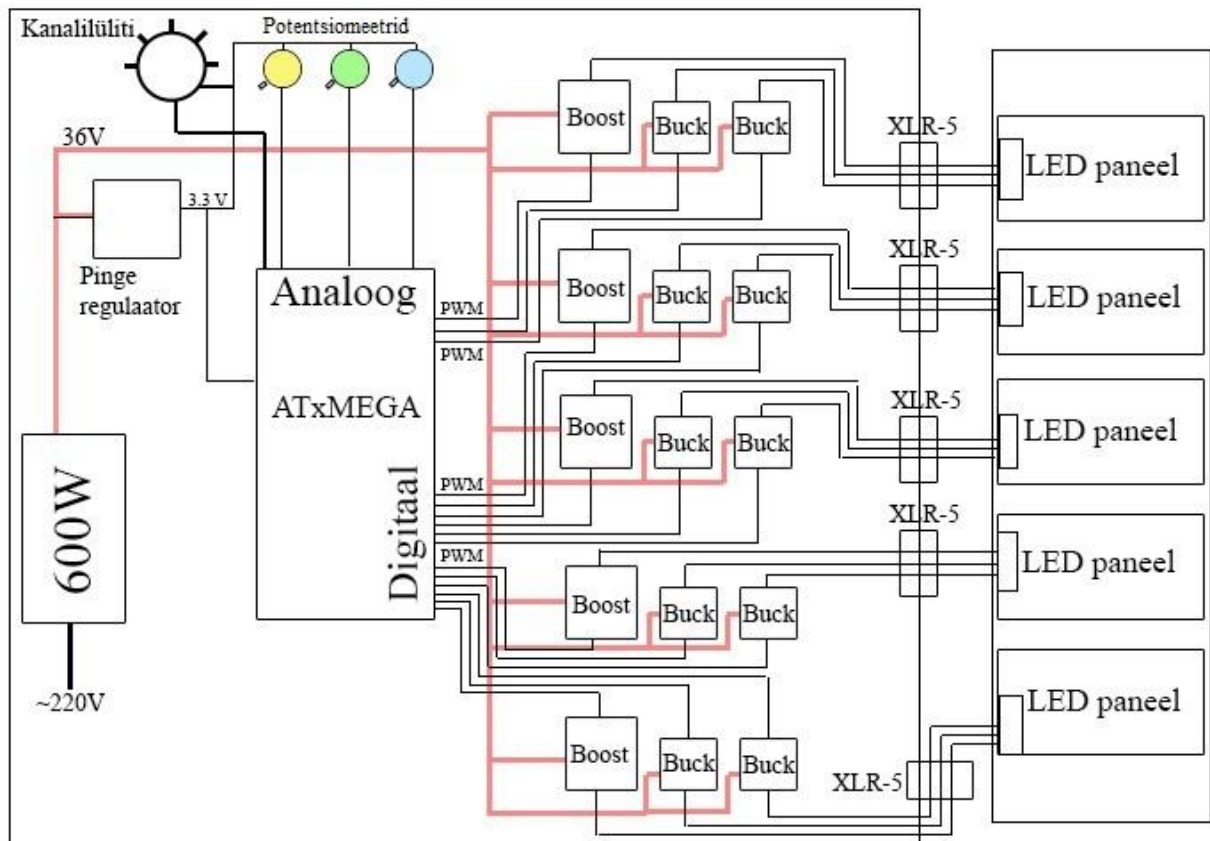
Joonisel 2.5 on arvestatud lagede ning põranda peegeldusega. Eeldusel, et ruum on 3m kõrge piisavalt lai, et külgedelt valgus ei peegeldu ja pildistatav isik või objekt asub 3m kaugusel ning ilma tiibpiirikuteta fotovalgusti on pandud umbes 1,5m kõrgusele statiivi otsa, siis tänu lae ja põranda peegeldustele on ühtlase valguse pindala suurem ning valgustugevus 240 lx.



Joonis 2.5 Hallskaala arvestamisel põranda ja laega

3. Elektriskeemi ülesehitus

Kogu süsteemi toidab 600W impulsstoiteplokk, mille väljundis on 36V alalispinge, joonis 3.1. ATxMEGA16A4 [7] mikrokontroller töötab 3,3 V toitepingel, mistõttu on lisatud pingeregulaator mikrokontrolleri toiteks. Mikrokontrolleri analoogsisenditega on ühendatud potentsiomeetrid reguleerimaks valgustugevust ning 5-astmeline kanalilüliti määramaks ära kontrollitava LED paneeli. Digitaalväljunditest tulevad PWM signaalid, millega juhitakse voolumuundureid. Kuna paneelis on 3 gruppi LED-e, siis iga LED grupi jaoks on oma voolumuundur. 16x8 LED maatriksi jaoks on pinget tõstev "Boost" tüüpi ning 8x8 LED maatriksi jaoks on pinget alandav "Buck" tüüpi voolumuundur. Kuna paneelid ja juhtplokk on eraldi korpustes, siis need on ühendatud omavahel 5-sooneliste kaablitega, otsastatud XLR pistikutega.



Joonis 3.1: Juhtploki plokkdiagramm

3.1. Toiteploki valik

Kuna juhtplokk on mõeldud 5 paneeli toitmiseks, siis tuleks arvestada vähemalt 5-kordse võimsusega, mis tuleks 491,55 W ehk ümardatult 500 W. Et toiteplokk ei peaks töötama täisvõimsusel ning tuleb valida toiteplokk väikse varuga, siis valituks osutuks 600 W. See garanteerib pikema eluea toiteplokkile ning juhtploki korpuse sisetemperatuur ei tõuse liiga kõrgeks.

Toiteploki valiku kriteeriumid:

- Väljundvõimsus ligikaudu 600 W
- Väljundpinge 27 V või 36 V
- Väljundvool vähemalt 15 A
- Hind

Toiteplokkide tootjaks on valitud Meanwelli, hinnad on võetud Jameco veebilehelt.

Tabel 3.1: Toiteploki valik

| Tootenimetus | Võimsus | Väljundvool | Väljundpinge | hind |
|--------------|---------|-------------|--------------|-----------|
| MSP-600-36 | 600W | 0-17,5 A | 36V | 164.95 \$ |
| HRPG-600-36 | 600W | 0-17,5 A | 36V | 159.95 \$ |
| SE-600-36 | 600W | 0-16,6 A | 36V | 84,95 \$ |
| PSP-600-27 | 600W | 0- 22,2 A | 27V | 134.95 \$ |

Toiteploki valib autor SE-600-36 [8], mille hind on kõige madalam, kuigi vastupidavam variant oleks olnud PSP-600-27, pinget alandav voolumuundur töötab maksimaalse sisendpinge piiri peal.

3.2 Pinget alandav tüüritav voolumuundur

Toitmaks ära 8x8 LED maatriksit on vaja sellele anda 25,6 V ning 0,96 A. Lisaks diodide toitmisele on vaja neid ka juhtida. Kuna toiteallikast tuleb 36V, siis osutus valituks firma Diodese pinget alandav "Buck"-tüüpi mikroskeem AL8807 [9]. Antud mikroskeemi väljundvoolu saab juhtida, kas alalispingega 0,5V...2,5V vahemikus 20...100% või PWM signaaliga otse mikrokontrollerist maksimaalse sagedusega 500Hz vahemikus 1...100%. UI

muunduri väljundvoolu väärtuse muutmine toimub PWM signaaliga tüürides, tulenevalt PWM signaali genereerimise lihtsusest mikrokontrolleri poolt.

Tootja pakub elementide väärtuste leidmiseks oma kodulehele kalkulaatorit [10], mille alusel on teostatud arvutused, olulisemate komponentide (sisend- ja väljund kondensaatorid, induktiivpool, jne) leidmiseks. Väljavõtte etteantud parameetritest vastavalt toidetavale ahelale on toodud tabelis 3.2.

Tabel 3.2: AL8807 sisendparameetrid

| Sisendparameetrid | |
|--------------------------------------|-----------------|
| Toitepinge (V_{in}) | 36 V |
| Soovitud väljundvool LED maatriksile | 960 mA |
| LED-de arv jadamisi | 8 |
| LED-i eeldatav päripinge (VLED) | 3,2 V |
| Schottky dioodi päripingelang (V) | 0,4 V |
| Induktiivpooli induktiivsus (L) | 100 μ H |
| Induktiivpooli takistus (rL) | 0,2 Ω |
| Keskkonna temperatuur | 25 $^{\circ}$ C |
| Viigu CTRL pingeline (V_{CTRL}) | 2,5 V |

Sisendpingeks valitud 36V ning kuna iga kaheksane LED-de jadaahel tarbib 120 mA (eeldatav päripingelang on $8 \times 3,2V$), siis 8 jadaahelat paralleelis (8×8 maatriks) on koguvooluks 960mA. Induktiivpooli suuruseks on soovitatud 100 μ H vastavalt sisendpingele ja väljundvoolule. Kondensaator C1 kui ka C2 on valitud 2,2 μ F. C1 on sisendis ning C2 väljundis tekkivate vooluimpulsside silumiseks, joonis 3.2. Exceli baasil skeemi kalkulaatori arvutatud tulemused on toodud tabelis 3.3. Ette antud 100 μ H induktiivpool annab voolu pulsatsiooniks ligikaudu 36%, mis on täiesti rahuldav tulemus.

Valgusdiodidele antav vool määratakse ära takistiga R1, mille saab välja arvutada valemiga:

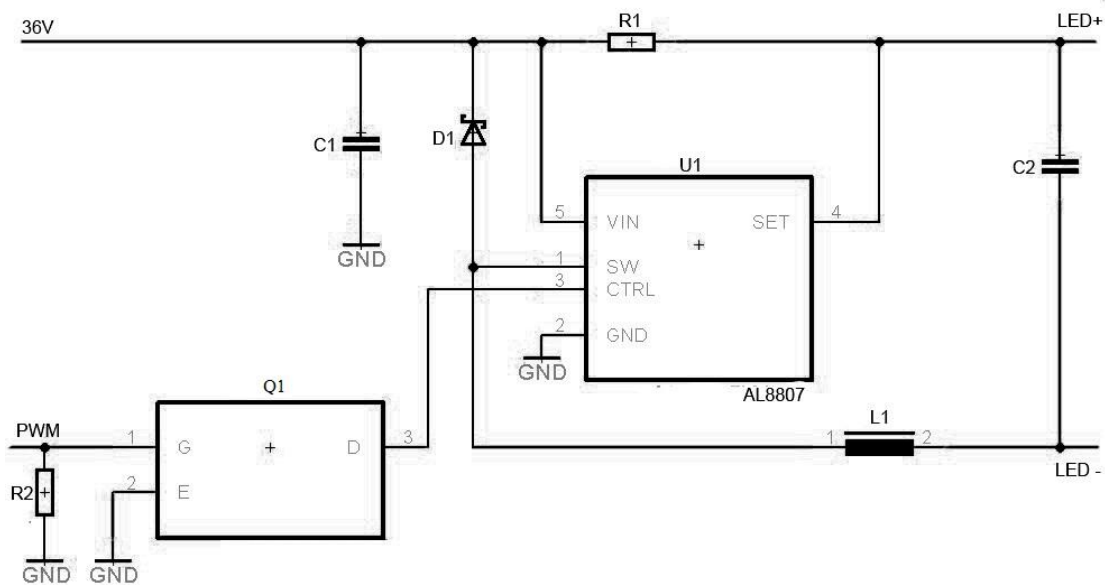
$$R1 = \frac{V_{Thd}}{I_{LED}} = \frac{0,1}{0,96} = 0,104 \Omega,$$

kus V_{Thd} on lävipinge, mille väärtuseks on antud andmelehes 0,1 V ning I_{LED} toidetavate LED-e vool, milleks on 960 mA.

Tabel 3.3: Arvutatud tulemused

| Soovittav šunttakisti väärtus | |
|---------------------------------------|-----------|
| šunttakisti (Rset) | 0,104 Ω |
| Ajalised määratlused | |
| täitetegur (D) | 0,73 |
| lülitussagedus (f) | 207,1 kHz |
| LED-de vooluinformatsioon | |
| Voolu pulsatsioon (tipust tippu vahe) | 346,3 mA |
| Väljundvoolu keskväärtus (Iavg) | 969,6 mA |
| Alalisreguleerimine | 100,0 % |
| Hajuvõimsused | |
| Väljundvõimsus | 24,8 W |
| Mikroskeemi enda voolutarve | 1,02 mA |
| Hajuvõimsus mikroskeemil | 259,3 mW |
| Hajuvõimsus Schottky diodil | 105,8 mW |
| Hajuvõimsus šunttakistil | 97,9 mW |
| Hajuvõimsus induktiivpoolil | 188,0 mW |
| Teoreetiline efektiivsus | 97,4 % |
| Sisendvool | 707,7 mA |
| Lisa parameetrid | |
| Sisemise transistorlüli takistus | 0,39 Ω |
| Eeldatav siirete temperatuur kiibis | 89,8 °C |

Pingestades VIN +, lülitub AL8807 sisemine lüliti sisse, ning vool kulgeb läbi takisti R1, induktori L1, kondensaatori C2 ja valgusdiodi. Voolu kasv on lineaarne ning selle kasvu kiirus on tingitud sisendpingest, induktiivpoolist L1. Kasvava vooluga suureneb ka pinge šunttakistil R1. Mikroskeemi sisemine ahel mõõdab pinge muutust šunttakistil R1 ning annab selle mikroskeemis olevale komparaatori sisendisse. Kui pinge saavutab sisemiselt seatud pinge lävendini, lülitub sisemine lüliti lahti. Induktiivpoolil salvestunud energia tulemusena jääb vool ringlema läbi R1, L1, C2, LED ja Schottky diodi D1. Tulemusena langeb ka vool, mille kiirus sõltub LED-ide päripingelangust ning schottky diodist D1. Selle tulemusena langeb ka pinge šunttakistil R1. Kui takistil R1-l mõõdetud väärtus on sisemise komparaatori tugipingest madalam lülitub mikroskeemi lüliti taaskord sisse. Kogu mikroskeemi AL8807 sisemise lüliti sisse/välja-tsükli ning LED-i voolu määrabki takisti R1. Heleduse ehk väljundvoolu muutmiseks PWM signaali abil on lisatud skeemile MOSFET transistor Q1.



Joonis 3.2: pinget alandav tüüritava voolu muunduri skeem

3.3. Pinget tõstev tüüritav voolumuundur

Suurema (16x8) LED maatriksi puhul jäi küll vool samaks, kuid LED-de päripingelang läks kaks korda suuremaks. Kuna süsteemi toiteallika pinge on 36V, siis vajaliku pinge saamiseks tuli 16x8 LED maatriksi tüürimiseks valida pinget tõstev „Boost“ tüüpi UI muundur. Valik langes firma Diodes mikroskeemile ZXLD1374 [11], sest antud mikroskeem lubab kahel erineval viisil väljundvoolu reguleerida, joonis 3.3. Antud mikroskeemi väljundvoolu saab muuta kas alalispingega vahemikus 0,125 – 2,5 V, vool muutub vahemikus 10 kuni 200%, või PWM (impulsslaiusmodulatsioon) signaaliga otse mikrokontrollerist, reguleerimise vahemik 0 kuni 100%. PWM signaali (256 astet) suurim sagedus võib olla 900 Hz. UI muunduri väljundvoolu väärtuse muutmine toimub PWM signaaliga tüürides, tulenevalt PWM signaali genereerimise lihtsusest mikrokontrolleri poolt.

Tootja pakub elementide väärtuste leidmiseks oma kodulehele kalkulaatorit [12], mille alusel on teostatud arvutused, olulisemate komponentide (sisend- ja väljund kondensaatorid, induktiivpool, jne) leidmiseks.

Tabel 3.4 : ZXLD1374 kalkulaatori sisendväärtused

| Impulssmuunduri tingimused | | |
|-----------------------------------|--------------------------------------|--------|
| VINMAX | Maksimaalne sisendpinge | 36,5 V |
| VINMIN | Minimaalne sisendpinge | 35 V |
| VFLED | Päripingelang LED-del | 3,2 V |
| N | LED-de arv jadamisi | 16 |
| ILED | Soovitud väljundvool LED maatriksile | 0,96 A |
| VRIPIN | Pinge pulsatsioon sisendis | 0,25 V |
| VRIPOUT | Pinge pulsatsioon väljundis | 0,2 V |
| Tamb | Maksimaalne keskkonna temperatuur | 50 °C |

Sisendisse valisin väikse pingekõikumise vahemiku. Kuna tegu on 16x8 maatriksiga, siis jääb vool samaks, kuid pinge kahekordistub.

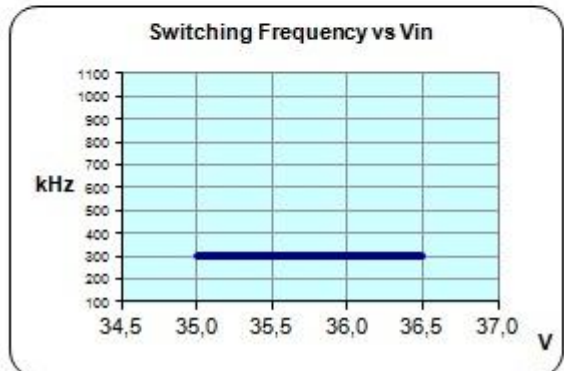
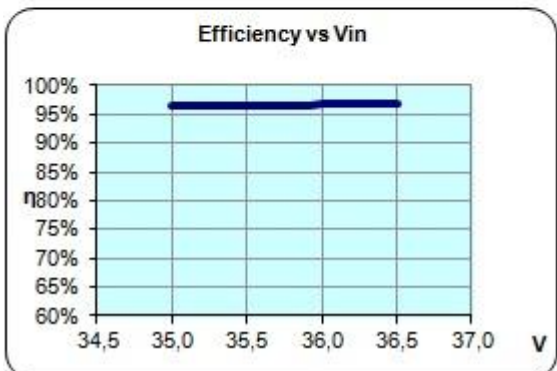
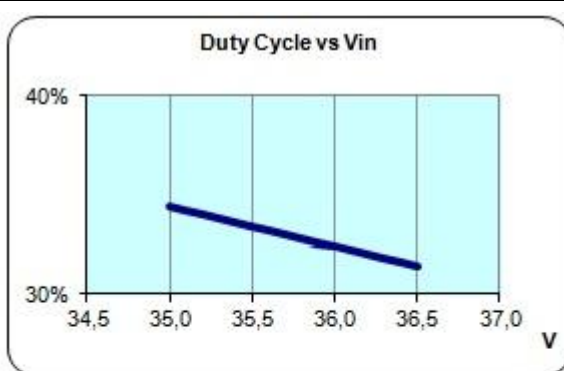
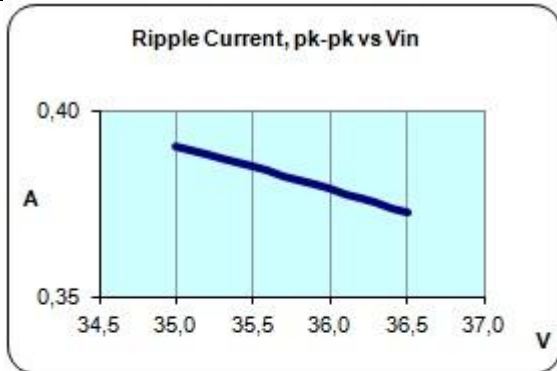
Tabel 3.5: ZXLD1374 kalkulaatori tulemused

| Pinged ja voolud, TA = 50 °C | |
|--|------------|
| Sisendpinge keskväärtsus | 35,75 V |
| LED maatriksi päripingelang | 51,20 V |
| Maksimaalne sisendvool | 1,462 A |
| Sisemise lüliti pinge, VLX | 51,7 V |
| Induktiivpooli maksimaalne vool | 1,666 A |
| Maksimaalne voolupulsatsioon induktiivpoolis | 0,390 A |
| LED väljundvoolu viga | 0,52% |
| Power dissipation, max, TA = 50 °C | |
| Schottky diood | 0,654 W |
| ZXLD1374 (quiescent+gate chrg+MOSFET) | 0,576 W |
| Induktiivpool | 0,261 W |
| Šunttakisti | 0,264 W |
| Sisendvõimsus | 51,171 W |
| Väljund võimsus | 49,416 W |
| Kogu kadu | 1,755 W |
| Siirde temperatuurid, max, TA = 50 °C | |
| Schottky diode | 63,074 °C |
| ZXLD1374 | 72, 473 °C |

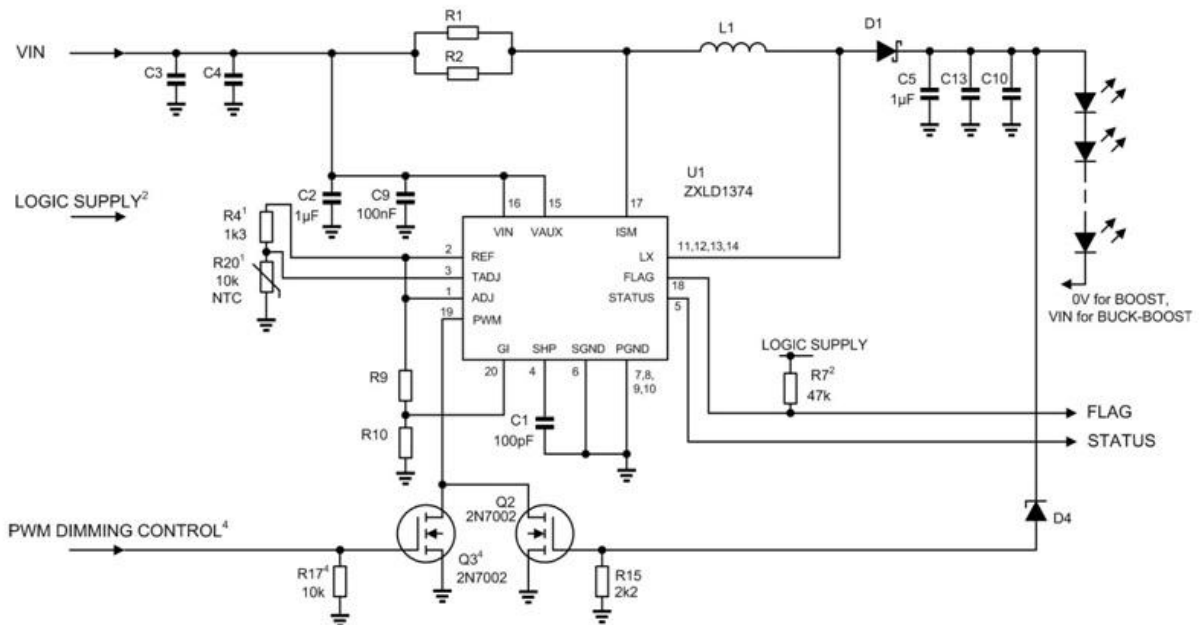
Efektivsus, TA=50 °C

Efektivsus minimaalsel sisendpingel 96,6 %

Efektivsus maksimaalsel sisendpingel 96,8 %



Topology: BOOST



Joonis 3.3: ZXLD1374 kalkulaatori välja pakutud skeem

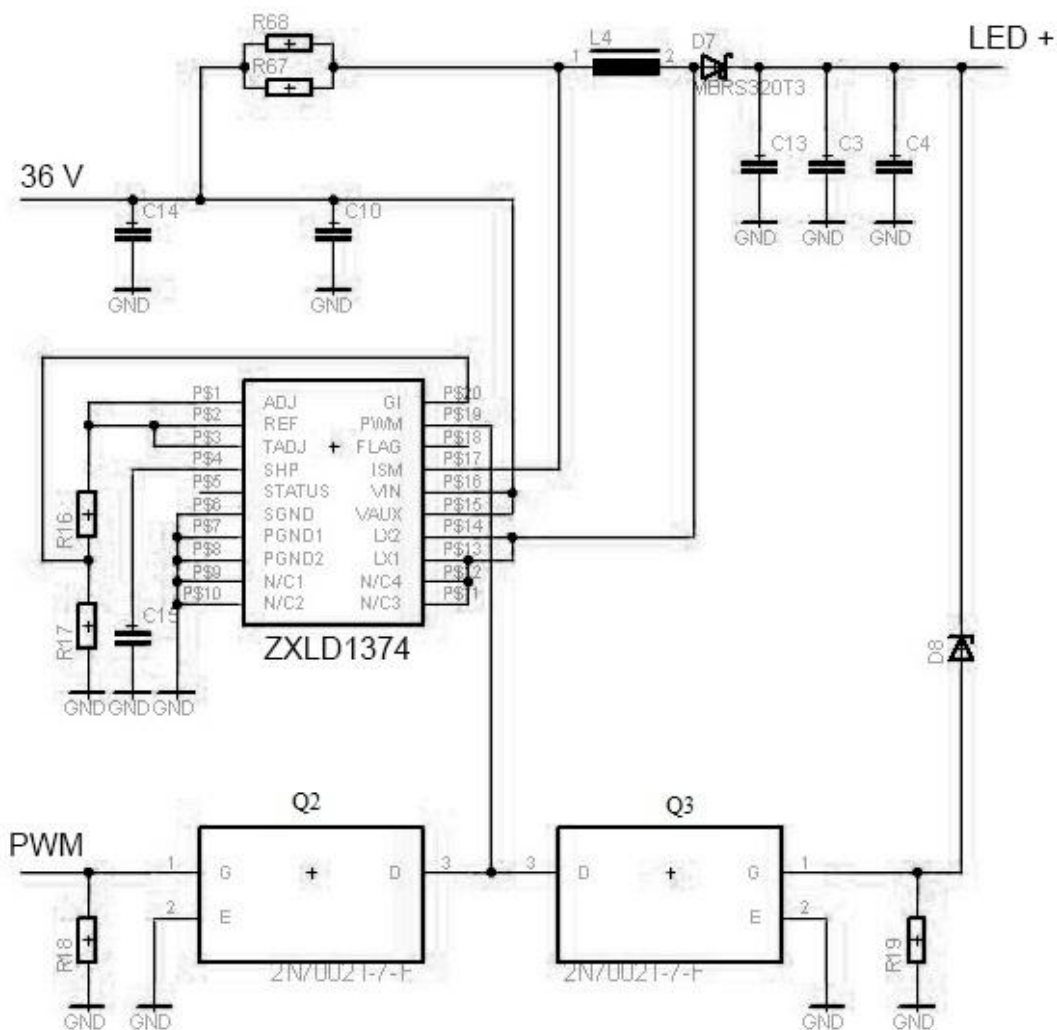
Tabel 3.6: komponentide loetelu

| Quantity | Ref | Description |
|----------|----------|--------------------------------------|
| 1 | U1 | IC, Diodes Inc., ZXLD1374 |
| 2 | Q2, Q3 | MOSFET, Diodes Inc., 2N7002 |
| 1 | D1 | Diode, Schottky, Diodes Inc., MBR760 |
| 1 | D4 | #VALUE! |
| 1 | L1 | Inductor, Würth 7447709101 [100µH] |
| 1 | C1 | Capacitor, 100 pF, NPO, 50 V, 0805 |
| 2 | C2, C5 | Capacitor, 1 µF, X7R, 100 V, 1206 |
| 2 | C3, C4 | Capacitor, 0,47 µF, X7R, 100 V |
| 1 | C9 | Capacitor, 0,1 µF, X7R, 100 V, 0805 |
| 1 | C10, C13 | Capacitor, 2,2 µF, X7R, 100 V |
| 1 | R1 | Resistor, 0,22 Ω, 0,25 W, 1206 |
| 1 | R2 | Resistor, 0,27 Ω, 0,25 W, 1206 |
| 1 | R4 | Resistor, 1k3, 0805 |
| 1 | R7 | Resistor, 47k, 0805 |
| 1 | R9 | Resistor, 36k, 0805 |
| 1 | R10 | Resistor, 39k, 0805 |
| 1 | R15 | Resistor, 2k2, 0805 |
| 1 | R17 | Resistor, 10k, 0805 |
| 1 | R20 | Thermistor, 10k, NTC |

Elektriskeemi optimeerimisel jäeti välja NTC termistoril põhinev temperatuurimõõteahel ja digitaalsed infoväljundid. Temperatuurimõõteahel oleks võimaldanud monitoorida LED maatriksi temperatuuri ja selle ülekuumenemisel väljundvoolu vähendada. Digitaalsed infoväljundid „STATUS“ ja „FLAG“ võimaldaksid mikrokontrolleril aru saada UI muunduri mikroskeemi seisundist. LED maatriksi temperatuur loodetakse kontrolli all hoida piisava jahutusradiaatori valikuga, sest temperatuurisensori ühendamine tähendaks kaablis lisasooni. Lisaks võib tekkida pika kaabli tõttu müra oht. Kuna temperatuuri mõõtmist ei toimu, siis puudub ka otsene vajadus digitaalsete infoväljundite ühendamiseks. Optimeeritud elektriskeem on toodud joonisel 3.4.

Ahela pingestamisel lülitub sisse mikroskeemi ZXLD1374 sisemine lüliti ja vool kulgeb toiteahela plusskontaktilt läbi šunttakistite R67, R68, induktiivpooli L4 vastu maadjuhet (GND). Vool induktiivpoolis L4 kasvab (toimub energia salvestamine) kuni ülemise lävendini, mille saavutamisel lülitub transistorlüliti välja. Induktiivpoolis voolu katkestamisel

rakendub eneseinduktsioon, mis pöörab induktiivpoolil pinge polaarsuse vastupidiseks ja pingelang poolil kasvab hüppeliselt, vool voolab läbi Schottky diodi D7 koormusesse. Väljundpinge maksimaalne väärtus on määratud koormuseks olevate LED-ide päripingelanguga. Voolu maksimumväärtus hoitakse ahelas püsivana šunttakistitel R67, R68 pinget mõõtes (ainuke tagasisideahel, mikroskeemi sisend ISM). Kui voolu väärtus induktiivpoolis saavutab alumise lävendi, lülitub transistorlülitu uuesti sisse ja tsükkel algab taas. See on selleks, et saavutada lävipinge poolil. Kui see on saavutatud, lülitub sisemine lüliti välja ning siis kulgeb vool läbi R67, R68, pooli L4, D7, VD maatriksi ja tagasi GND. Kui pooli pinge on langenud lävipingest madalamale, lülitub sisemine lüliti taaskord sisse ning protsess algab uuesti. Takistite R16, R17 pannakse paika võimendustegur. Takistite R67, R68 pannakse paika vool, mis kulgeb läbi LED-ide. Koormuse lahtiühendamisel on pandud kaitseks ülepinge eest zener D6 ning R19. Tagasisideahela komponeerimiseks on pandud SHP sisendisse kondensaator C15.



Joonis 3.4: optimeeritud pinget tõstva tüüritava voolu muunduri skeem

Võimendustegut GI_{ADJ} , mis pannakse paika takistite $R16$ ja $R17$ -ga.

$$GI_{ADJ} = \left(\frac{R17}{R17 + R16} \right) = \left(\frac{39k}{39k + 36k} \right) = 0,52$$

Saamaks kätte šunti R_s väärtuse saamiseks

$$R_s = \frac{R67 * R68}{R67 + R68} = \frac{0,22 * 0,27}{0,22 + 0,27} \approx 0,121 \Omega$$

Kuna töösükli paneb paika juhtkontuur, siis šunti läbiva voolu saab järgmiselt:

$$I_{RS} = \left(\frac{0,225}{R_s} \right) \left(\frac{GI_{ADJ}}{1 - D} \right) \left(\frac{V_{ADJ}}{V_{REF}} \right),$$

kus D on töösükkel, mis arvutatakse:

$$D \approx \frac{V_{out} - V_{in}}{V_{out}} = \frac{51,2 - 36}{51,2} \approx 0,3$$

V_{ADJ} on pinge mikroskeemi ADJ väljaviigul ning V_{REF} tugipinge, milleks on 1,25V

$$I_{RS} = \left(\frac{0,225}{0,121} \right) \left(\frac{0,52}{1-0,3} \right) \left(\frac{1,25}{1,25} \right) = 1,38 \text{ A}$$

Sealt tuleb ka valgusdioodidele antav vool I_{VD}

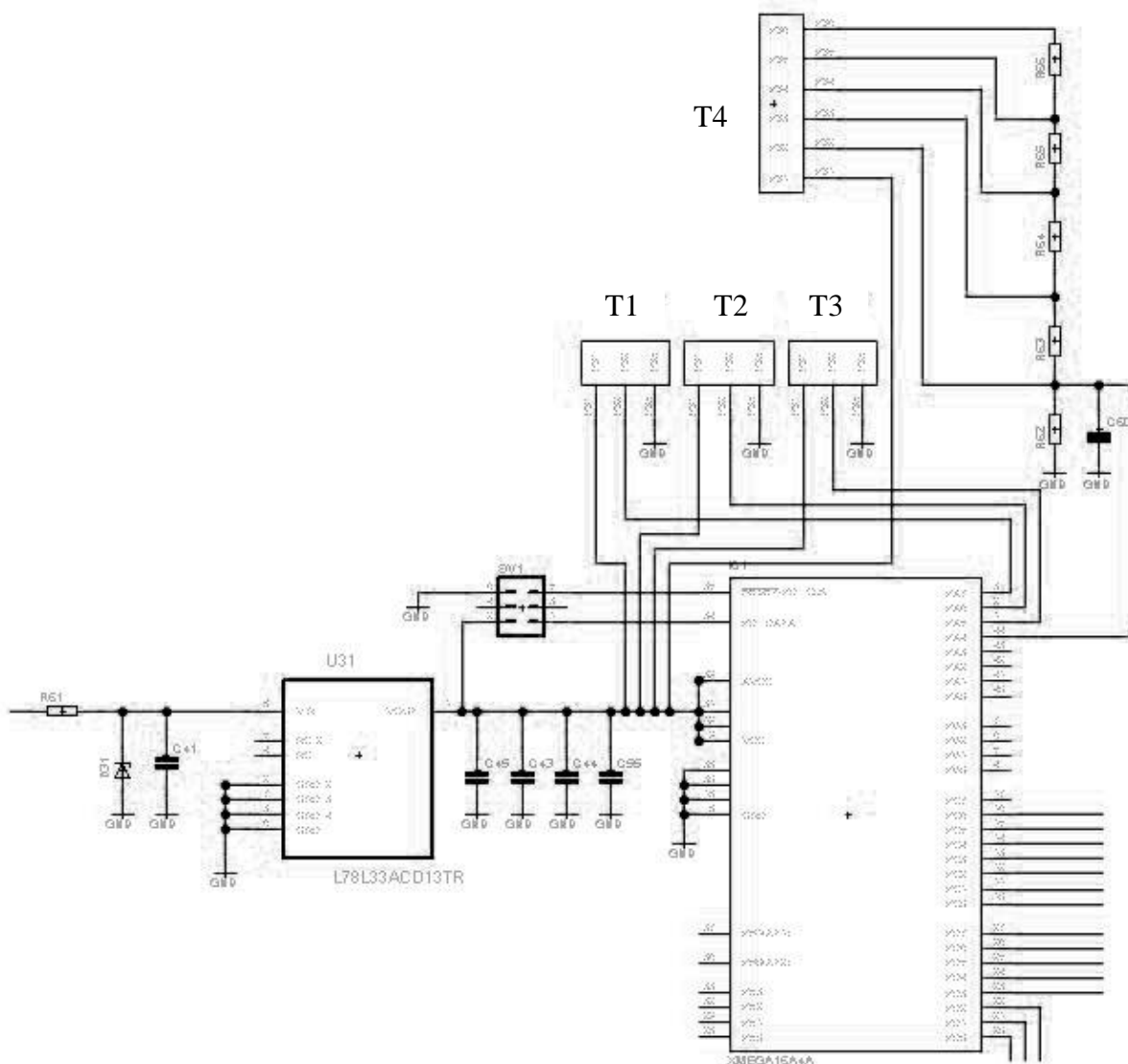
$$I_{VD} = I_{RS}(1 - D) = 0,966 \text{ A}$$

Pingelang šuntil

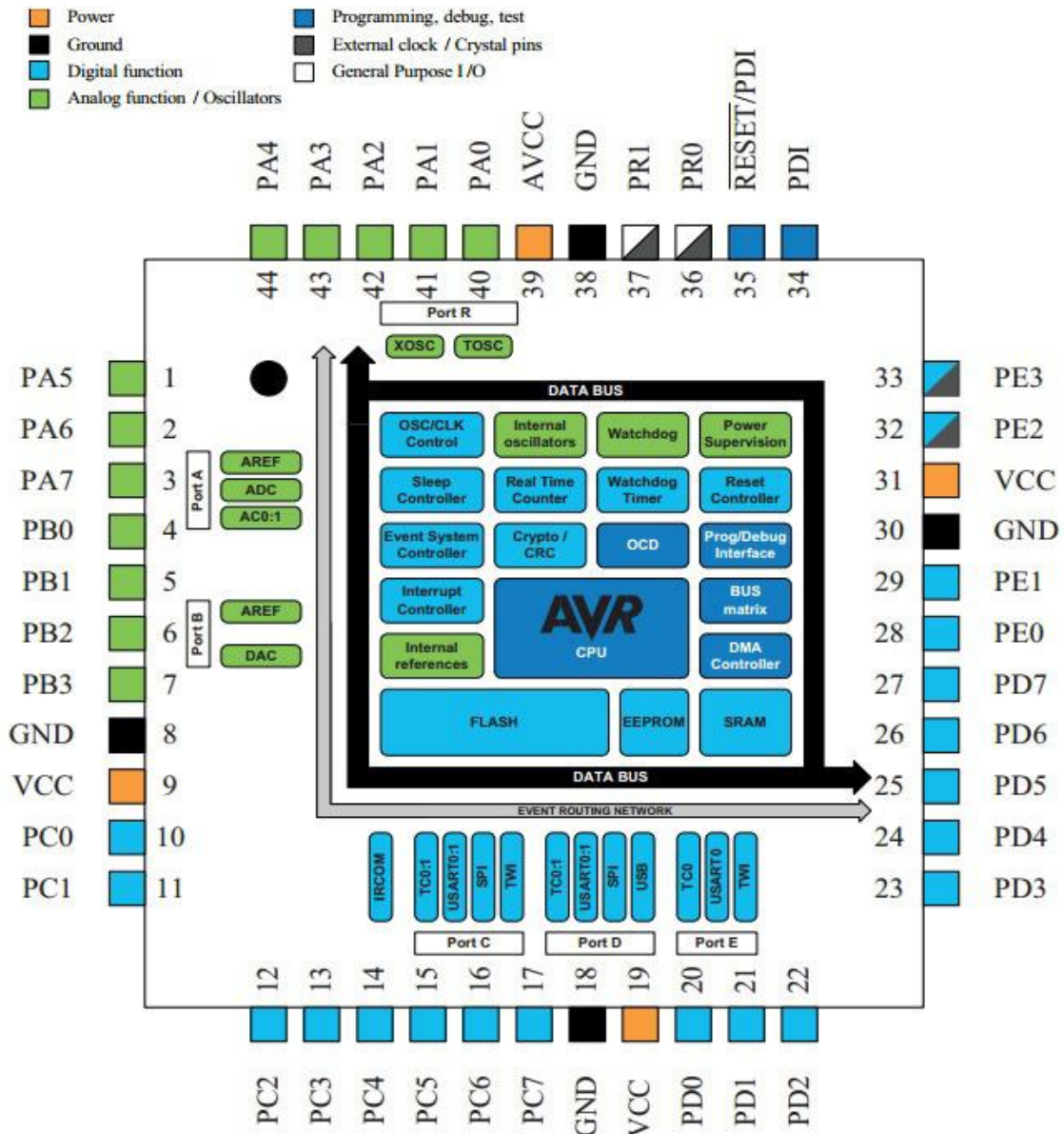
$$V_{RS} = I_{RS}R_s = 1,38 * 0,121 = 0,167 \text{ V}$$

3.4. Mikrokontroller

Ülesandest tulenevalt on vaja ka valgusdioode juhtida, joonis 3.4. Süsteemi juhtimiseks on 4 nupp, millest üks on 5-astmeline lüliti, ning 3 potentsiomeetrit. Nende omavaheline suhtlus toimub läbi mikrokontrolleri ATxMEGA16A4, joonis 3.4. Mikrokontrolleri valikul kujunes suureks valikufaktoriks digitaalväljundite arv, mis oleksid sisemise riistvaralise toega PWM signaali genereerimiseks. Mikrokontrolleril ATxMEGA16A4-1 on neid 16 ning vajadus oli ülesandest lähtuvalt 15. Mikrokontrolleri eesmärk on vastavalt kanalilüliti asendile aktiveerida kolm digitaalväljundit ning reguleerida vastavalt PWM-i väärtusele LED maatriksi heledust (PWM-i väärtus vastavalt potentsiomeetri asendile).



Joonis 3.5: ATxMEGA16A4 ühendusskeem



Joonis 3.6: ATxMEGA16A4 plokk skeem

Helesinisega märgitud väljaviigid on digitaalsed pordid, millest 15 kasutatakse PWM väljundina valgusdiodjuhtmoodulite juhtimiseks. Rohelised on analoogpordid, mille küljes on potentsiomeetrid ning kanalilüliti. Ühendused mikrokontrolleri ja voolumuundurite vahel on kirjeldatud tabelis 3.7.

Tabel 3.7: Väljaviikude ühendused

| Väljaviik | Ühendus | Diiodide Grupp |
|---------------------------|--|----------------|
| 10 | PC0 | U26, R53 |
| 11 | PC1 | U12, R22 |
| 12 | PC2 | U8, R11 |
| 13 | PC3 | U4 R8 |
| 14 | PC4 | U2, R2 |
| 15 | PC5 | U6, R23 |
| 16 | PC6 | U7, R18 |
| 20 | PD0 | U18, R35 |
| 21 | PD1 | U16, R32 |
| 22 | PD2 | U14, R29 |
| 23 | PD3 | U24, R47 |
| 24 | PD4 | U22, R44 |
| 25 | PD5 | U20, R41 |
| 26 | PD6 | U30, R59 |
| 27 | PD7 | U28, R56 |
| 3 | PA7 | T1 |
| 2 | PA6 | T2 |
| 1 | PA5 | T3 |
| 44 | PA4 | T4 |
| 35 | RESET/PDI_CLK | SV1 - |
| 34 | PDI_DATA | SV1 + |
| 39, 31, 19, 9 | AVCC /VCC | U31 |
| 28, 29, 32, 33, 36, 37 | PR1(XT1), PR0(XT2), PE3, PE2, PE1, PE0 | GND |

Kanalilüliti erinevate asendite olekud on saavutatud pingejaguriga, mis arvutatakse valemiga:

$$U_2 = U_1 \frac{R1}{R1 + R2}$$

kus U_2 on väljundpinge, U_1 on sisendpinge. $R1$ on pinge mõõtepunktist maa poole jääv takistus ning $R2$ mõõtepunktist toitepinge poole jääv takistus.

Valemi põhjal arvatud pingete väärtused on välja toodud tabelis 3.8, kui toitepingeks on 3,3V ning pingejaguri takistusteks on 10kΩ. Nende väärtuste põhjal määratakse mikrokontrolleris kanal.

Tabel 3.8: Pingejaguri väärtused

| Kanal | Takistus | Väärtus |
|-------|----------|---------|
| 1 | 10 kΩ | 3,3 V |
| 2 | 20 kΩ | 1,67 V |
| 3 | 30 kΩ | 1,1 V |
| 4 | 40 kΩ | 0,83 V |
| 5 | 50 kΩ | 0,66 V |

Kuna potentsiomeetrid ja kanalilüliti käivad kere külge, siis skeemis on T1...T4 märgitud terminalidena, kust ühendatakse vastavad nupud juba juhtmetega.

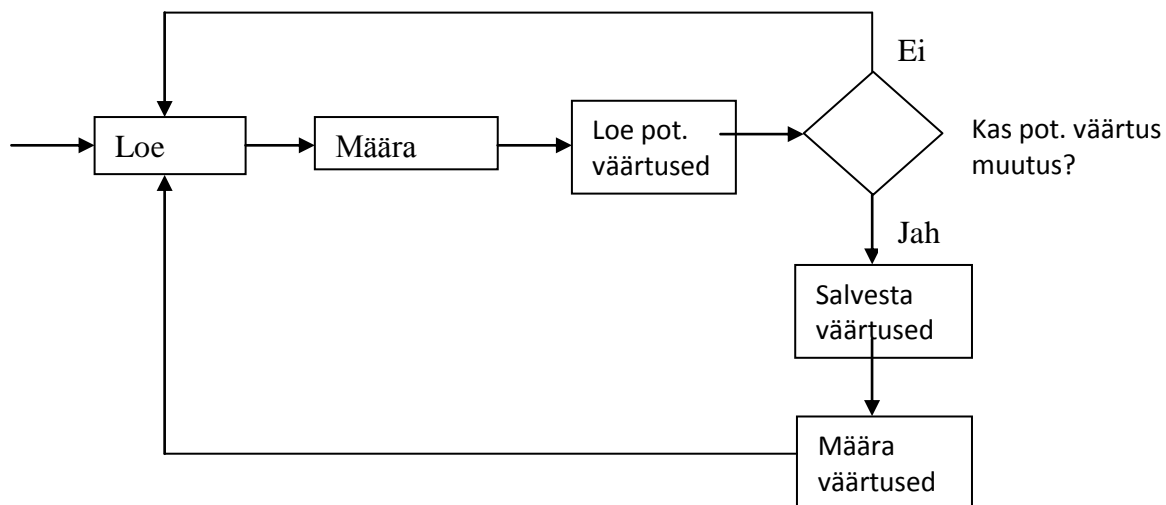
Kuna mikrokontrolleri toitepinge on 3,3 V, siis vajaliku toitepinge saamiseks kasutatakse pingeregulaatori mikroskeemi L78L33ACD13TR[13]. Tänu mikrokontrolleri väikesele energitarbele võib siin kasutada tavalist lineaarregulaatorit. Mikrokontrolleri voolutarve on prognoositud kuni 20 mA. Eeldatav eralduv võimsus pingeregulaatoril U_{31} on:

$$P_{U_{31}} = (U_{D1} - V_{DD}) \times (I_{U_{31}} + I_{ctr}) = (24 - 3,3) \times (0,006 + 0,02) = 0,54 \text{ W},$$

kus U_{D1} on stabilitroneil olev pingelang, V_{DD} mikrokontrolleri toitepinge 3,3V, $I_{U_{31}}$ on pingeregulaatori omatarve ja I_{ctr} eeldatav maksimaalne mikrokontrolleri poolt tarbitav vool.

3.5. Koodi kirjeldus

Lülitades juhtploki sisse, loeb programm pinge väärtuse analoogpordist, kuhu on lülitatud kanali lüliti, millele vastavalt määrab kanali oleku ning potentsiomeetri analoogsisendid vastava PWM väljundiga, joonis 3.6. Kui mällu salvestatud väärtust pole antud väljundisse, siis määratakse sinna vaikeväärtuse, mis vastab potentsiomeetri minimaalse väärtusega. Seejärel loeb potentsiomeetri väärtused. Kui potentsiomeetrit ei liigutata, ei saadeta potentsiomeetri väärtuseid väljundisse. Kui liigutatakse, siis nad salvestatakse ning saadetakse nad väljundisse. Kanali vahetamisel algab ring uuesti.



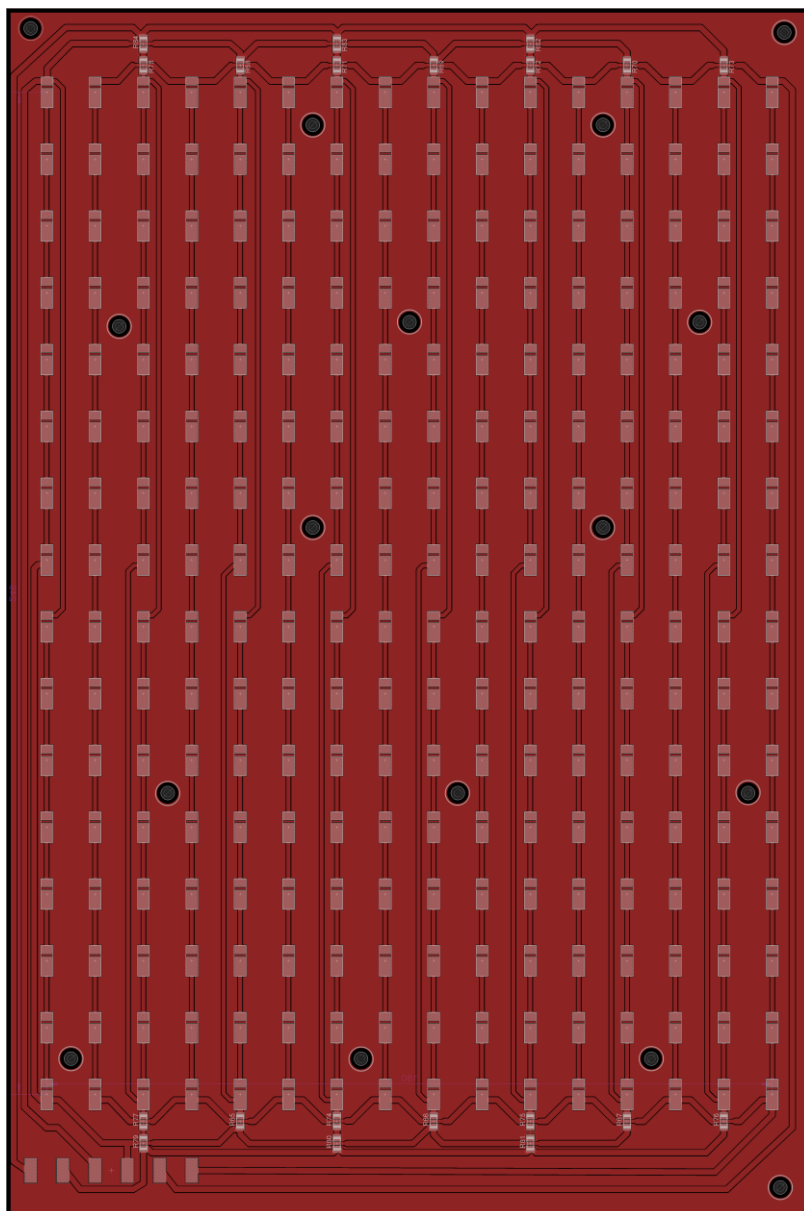
Joonis 3.7: mikrokontroller programmi olekudiagramm

3.6. Paneeli ning juhtploki ühendamise

Paneelid ning juhtplokk ühendatakse omavahel XLR-5 kaabliga, mida kasutatakse sageli nii heli kui valgustehnikas. Pistikute ning kaabli suur eelis on selles, et kaablit saab vahetada pikema või lühema vastu, mis vähendab kaablite puntraid studios või võtteplatsil ning kaabli purunemisel välja vahetada. Lisaks XLR kaablitel on piisavalt jämedad sooned, mis kannatavad suuremaid voolusid.

4. Trükkplaadi disain

Valgusdioodpaneeli trükkplaadiks on valitud ühepoolne alumiinium 200 x 300 mm trükkplaat, mille soojusjuhtivus on parem kui FR-4 trükkplaadil. Kuna trükkplaadi disainimisel osad rajad ristusid, siis radade ületamiseks on kasutatud M1206 korpusega nulltakisteid, mille alt mahub läbi kuni 0,8mm laiune rada. Radade laius on arvestatud maksimaalse neid läbiva voolu järgi, milleks on ligikaudu 1A. Pikemate rajade laius on 1.4mm ning lühemate laiuseks 1mm. LED-id on paigutatud üksteise suhtes 9mm vahega. Trükkplaadile on XLR pistikupesa ühendamiseks jooteväljad, et pistikupesa saaks kinnitada korpuse külge.



Joonis 4.1: LED paneeli trükkplaat

4.1. Paneeli temperatuuri arvutused

Selleks, et saada teada palju võimsust suudab 30 x 20 cm alumiiniumalusel trükkplaat eraldada, ilma et oleks vaja lisajahutust, peab välja arvutama LED termotakistuse ning alumiiniumtrükkplaadi termotakistuse.

Eelduseks on, et siirdetemperatuur R_{thJS} ei ületa 80°C ning keskkonna temperatuur on maksimaalselt 40°C . Kuna plaadil on kahe erineva tootja valgusdiodid, millest ühtedel pole välja toodud valgusdiodi siirde ja jootevälja vahelist termotakistust, siis eeldame, et nad on mõlemad sama väärtusega.

Valgusdiodi termotakistuse R_{thLED} arvutamiseks:

$$R_{thLED} = R_{thJS} + R_{thSB} = 33 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}} + 0,65 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}} = 33,65 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}},$$

kus R_{thJS} on siirde ja jooteväljavaheline termotakistus ning R_{thSB} on jootevälja ja trükkplaadi vaheline termotakistus.

Seejärel saab arvutada L. Abo "Raadiolülitused"[14] raamatust saadud valemist alumiinium trükkplaadi (plaatradiaator) termotakistuse vastavalt mõõtmetele:

$$R_{thAL} = \frac{0,16}{A} = \frac{0,16}{0,2 * 0,3} \approx 2,67 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}},$$

kus 0,16 on etteantud konstant ning A plaadi pindala.

Saamaks teada, palju eraldub soojust valgusdiodidist:

$$T_{LED} = T_j - T_A - (P * R_{thVD}) = 80 - 40 - (0,4 * 33,65) \approx 26,54 \text{ }^{\circ}\text{C},$$

kus T_j on siirde temperatuur, T_A on keskkonna temperatuur ja P on ühe valgusdiodi võimsus.

Et teada saada palju võimsust hajutab antud trükkplaat:

$$P_{thAL} = \frac{T_{LED}}{R_{thAL}} = \frac{26,54}{2,67} = 9,94 \text{ W},$$

mis tähendab, et 20 x 30 cm trükkplaat suudaks jahutada ära ainult 1/10 vajalikust võimsusest.

Radiaatori valikuks vajaliku termotakistuse arvutamiseks on vaja teada valgusdiodide kogu termotakistust:

$$\frac{1}{R_{thkogu}} = \frac{1}{R_{th1}} + \dots + \frac{1}{R_{th256}} = \frac{1}{33,65} + \dots + \frac{1}{33,65} \approx 7,61$$

$$R_{thkogu} = \frac{1}{7,61} \approx 0,131 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W},$$

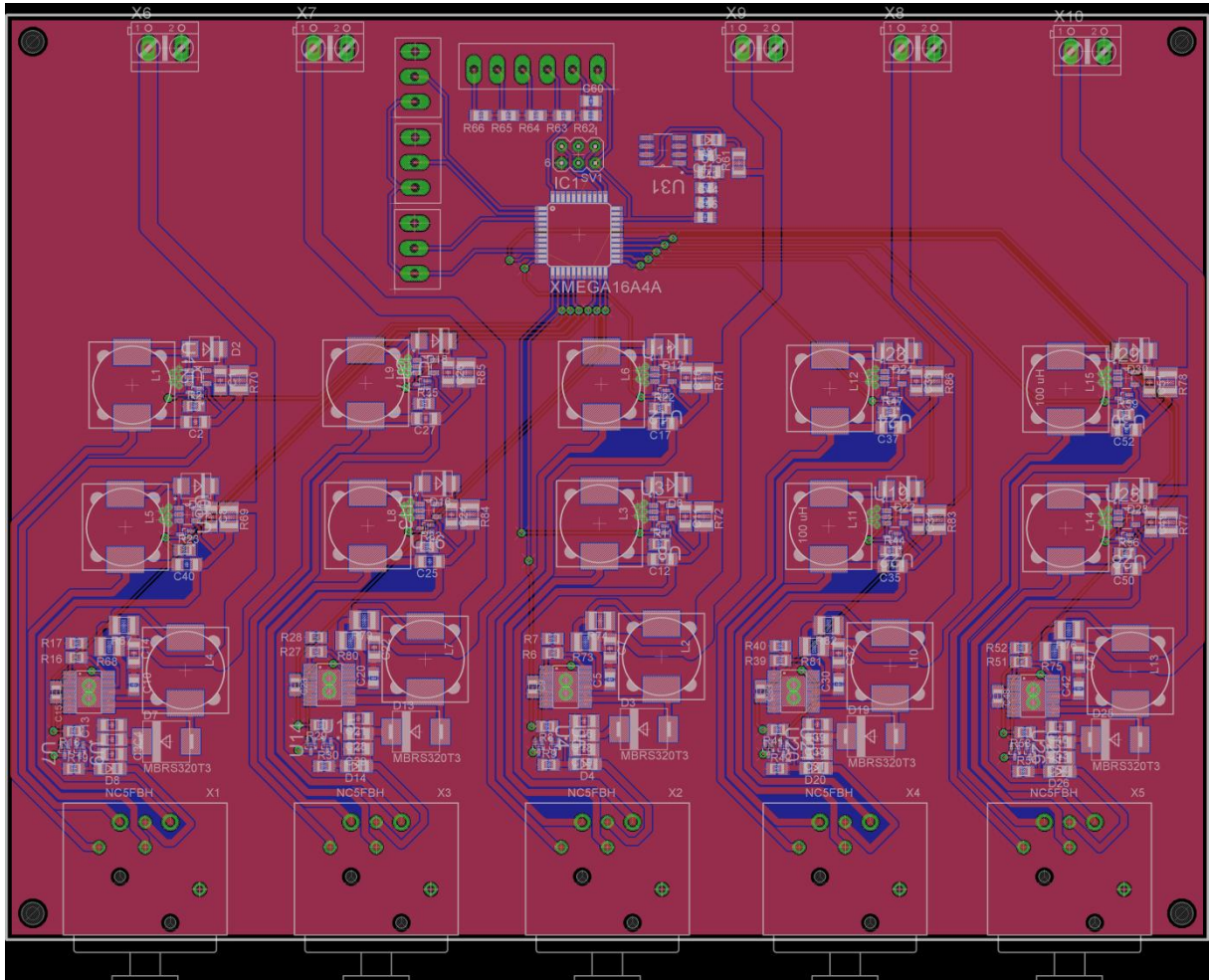
Mille järel saab arvutada vajaliku radiaatori termotakistuse:

$$R_{thRad} = \frac{T_J - T_A}{P} - R_{thkogu} = \frac{80 - 40}{102,4} - 0,131 = 0,26 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W}.$$

Radiaatoriks on valitud H S MARSTON 852SP-02500-A-200 [15] termotakistusega 0,3 °C/W, mis vastab küll mõõtudele, kuid ületab 0,04 °C/W termotakistust. Valitud radiaatoriga on võimalik jahutada ära 92,8 W. Antud lahenduse puhul pole see erinevus kuigi kriitiline, sest arvutamisel on võetud arvesse maksimum väärtused, tagamaks seadme töökindluse valgusdiodide piirväärtustel. LED-de pikema eluea tagamiseks on võimalik piirata maksimaalset võimsust tarkvaraliselt. Radiaator kinnitatakse kruvidega trükkplaadi külge. Radiaatori kinnitamiseks kasutatakse keset trükkplaati olevaid kruviauke. Nurkades olevad kruviaugud on mõeldud trükkplaadi kinnitamiseks korpuse külge. Trükkplaadi ning radiaatori vahele on vaja panna ka termopasta garanteerimaks maksimaalne trükkplaadi kattumine radiaatoriga ning parima võimaliku soojusülekande tagamine.

4.2. Juhtploki trükkplaat

Juhtplokk on disainitud kahekihilise FR-4 komposiitmaterjalist trükkplaadile, mille mõõtmed sõltusid suuresti XLR pistikupesade mõõtmetest. Pealmisele kihile on paigutatud kõik komponendid ning toiteahelad. Alumiselt kihilt on viidud PWM signaal muunduritest mikrokontrollerini. Komponentide paigutamisel on järgitud andmelehtedes soovitatud nõuandeid.



Joonis 4.2: juhtploki kahepoolne FR-4 182 x 140 mm trükkplaat.

5. Valgusti korpuse mehaanika visioon

Juhtplokki korpusesse läheb sisse nii toiteplokk kui ka juhtplokki trükkplaat. Korpusel on ühe külje peal 5 XLR pistikupesa ning toitekaabli pesa. Korpuse pealmisel küljel asuvad kolm potentsiomeetri nuppu ning kanalilüliti nupp. Alumisel küljel pehmendus jalad ning standartse statiivikeergme pesa. Metallist korpuse suuruseks tuleb 220 x 275 x 80mm. Korpus tuleb matti musta värvi, et hämaramates valgusseadistustes ei tekiks ülearuseid valguspeegeldusi.

Valguspaneeli korpuse tagakülge katab radiaator, ees pleksist klaas ning nurkades magnetid, milledega kinnitub paneeli külge filter. Küljepeal on üks XLR pistikupesa ning tüüpiirikud, kahel küljel ka sang mugavaks liigutamiseks. Orienteeruvaks suuruseks tuleb paneelil 210 x 310 x 210 x 50mm, arvestades toiteplokki ning juhtplokki trükkplaadi suurust.

6. Majandushinnang

Tabelis 6.1 on välja toodud komponentide alla minev kulu, mille hinnad on võetud Farnellist. Selle sees pole trükkplaadi valmistamist, radiaatorit, korpuseid ja nende detaile, statiive ja statiivi kinnitust, mis moodustavad väga suure osa hinnast. Orienteeruvalt on arvestatud, et nende alla lähem ligikaudu kaks korda sama palju mis komponentide alla. Ehk esmase valmis toote maksumus oleks üle 1000€. Arvestades, et turul olevad analoogsed tooted on samas hinnaklassis, siis antud toote arvestatav hinnaerinevus tuleks 5 paneeli puhul. Kui eeldada, et samaväärse toote hinnaks turul on 1000€, siis 5 paneeli puhul tuleks hinna 5000€. Antud lahenduse puhul tuleks 1000€ juhtploki ja paneeli hinnaks ning iga lisapaneeli puhul kuni 500€, siis oleks hinnavõit juba 2000€.

Tabel 6.1: Komponentide kulu

| Nimetus | kere | Kogus | tk Hind | Hind kokku |
|---------------------|---------|-------|---------|------------|
| Takistus | | | | |
| MC0805S8F1002T5E | M0805 | 20 | 0,00 € | 0,06 € |
| MC0805S8F2201T5E | M0805 | 5 | 0,00 € | 0,02 € |
| CRCW080536K0FKEA | M0805 | 5 | 0,01 € | 0,04 € |
| MC0805S8F3902T5E | M0805 | 5 | 0,00 € | 0,02 € |
| CRCW1206430RJNEA | M1206 | 1 | 0,02 € | 0,02 € |
| ERJ14BSFR10U | R1210 | 10 | 0,39 € | 3,90 € |
| ERJ14RQFR22U | R1210 | 5 | 0,35 € | 1,75 € |
| ERJ14RQFR27U | R1210 | 5 | 0,36 € | 1,80 € |
| MC1206S4F0000T5E | R1206 | 20 | 0,00 € | 0,06 € |
| Kondensaator | | | | |
| GRM31CR72A225KA73L | C1206 | 37 | 0,27 € | 9,99 € |
| 08055C101KAT2A | C0805 | 3 | 0,15 € | 0,46 € |
| C3216X7R2A105K160AA | C1206 | 5 | 0,27 € | 1,35 € |
| MC0805B104M500CT | C0805 | 10 | 0,01 € | 0,08 € |
| MC0805N101K101CT | C0805K | 5 | 0,02 € | 0,10 € |
| Induktor | | | | |
| 7447709101 | | 15 | 3,10 € | 46,50 € |
| Transistor | | | | |
| 2N7002T-7-F | SOT-523 | 20 | 0,15 € | 3,06 € |
| Zener | | | | |
| | | | | 0,00 € |

| | | | | |
|---------------------|---------|----|--------------|----------|
| BZV55-C24 | SOD-80C | 1 | 0,05 € | 0,05 € |
| BZV55-C56 | SOD-80C | 5 | 0,26 € | 1,30 € |
| Schottkey | | | | 0,00 € |
| SS36-E3/57T | SMC | 5 | 0,35 € | 1,75 € |
| B140HB-13-F | SMB | 10 | 0,47 € | 4,70 € |
| Muu | | | | |
| L78L33 | SOIC-8 | 1 | 0,41 € | 0,41 € |
| AL8807 | SOT25 | 10 | 0,40 € | 4,00 € |
| ZXLD1374 | 20TSSOP | 5 | 2,10 € | 10,50 € |
| ATxMEGA16A4U-AU | TQSP | 1 | 3,36 € | 3,36 € |
| 20020107-D031A01LF | | 3 | 0,35 € | 1,05 € |
| 20020107-D061A01LF | | 1 | 0,70 € | 0,70 € |
| MA522-500M02 | | 5 | 0,21 € | 1,05 € |
| 20020013-D031B01LF | | 3 | 0,67 € | 2,01 € |
| 20020013-D061B01LF | | 1 | 0,76 € | 0,76 € |
| Mean well SE-600-36 | | 1 | 74,60 € | 74,60 € |
| P160KNPD-2QC25B2K | | 3 | 0,70 € | 2,10 € |
| MA05L1NCQD | | 1 | 10,23 € | 10,23 € |
| NC5FBH | | 5 | 4,16 € | 20,80 € |
| NC5MBH | | 5 | 3,53 € | 17,65 € |
| Osram Duris e5 | | 2 | 11,15 | 22,30 € |
| Osram Duris e5 | | 2 | 11,15 | 22,30 € |
| Yuji VX-5730-56 | | 1 | 90 | 90 € |
| | | | Kokku | 360,81 € |

7. Edasiarenduse võimalused

- Kuna tegemist on esimese prototüübiga, siis edasiarenduseks on siinkohal ruumi päris palju. Üks tähtsamaid faktoreid antud juhul on reguleerimine. Kasutades potentsiomeetreid on nii miinimum- kui maksimumväärtused kindlalt paigas. See ei ole aga kõige paremaks lahenduseks kanalite ümberlülitamisel. Võimalusel tuleks see asendada keeratava enkoodriga.
- Lisada võiks veel aku toitelahendus.
- Ekraan näitamaks iga kanali enkoodri asendit ning aku olekut.
- Et valgusti kasutamist mugavamaks teha, saaks lisada sinna veel WiFi mooduli ning valgusdiodide juhtimise viia telefoni või tahvelarvutisse.
- Et valgustit mitmekülgsemaks muuta, peaks uurima valgusdiodide tegijatelt, kui kaugele on võimalik viia värvsotemperatuur, ilma et CRI kannataks ning ajada valgusti temperatuurivahemik suuremaks.

8. Kokkuvõte

Kui esialgu oli eesmärgiks valmis teha tootekõlbulik valgusti fotostuudiosse, siis paraku läheb selle tegemiseks natuke rohkem aega. Antud töö põhjal saab teha esimese eksperimentaalse prototüübi valmis, millele saab juba programmi kirjutada, teha koormus- ning temperatuuritestid ning seejärel teha parandused ning lisada kindlasti vajalikud edasiarendused ja panna see kõik korpuse sisse.

Lõputöös esitletud lahendus lihtsustaks oluliselt fotograafi tööd võtteplatsil, viies valguse reguleerimise ühte punkti. Kogu süsteemi toitmine toimub läbi ühe toitekaabli, mis lahendab pistikupesade probleemi võtteplatsil.

Kasutatud kirjandus

1. Värviastusindeks CRI 28.05.2015
http://www.ekk.edu.ee/vvfiles/0/varviopetus_varvihaldus_iii_osa.pdf
2. Osram Duris E 5 andmeleht 17.03.2015
[http://www.osram-os.com/Graphics/XPic6/00137564_0.pdf/GW%20JDSMS1.CC%20-%20DURIS%20E%205%20\(EnglishDeutsch\).pdf](http://www.osram-os.com/Graphics/XPic6/00137564_0.pdf/GW%20JDSMS1.CC%20-%20DURIS%20E%205%20(EnglishDeutsch).pdf)
3. Philips Luxeon Rebel ES andmeleht 17.03.2015
<http://www.philipslumileds.com/uploads/17/DS61-pdf>
4. Yuji 5730 90+ CRI andmeleht 21.04.2015
<https://cdn.shopify.com/s/files/1/0344/6401/files/YJ-Ra90-5730-Specification.pdf?15345788962182890367>
5. Yuji 5730 95+ CRI andmeleht 21.04.2015
<https://cdn.shopify.com/s/files/1/0344/6401/files/YJ-Ra95-5730-Specification.pdf?15345788962182890367>
6. Väike inglise-eesti seletav filmisõnastik 29.05.2015
https://www.efis.ee/UserFiles/pdf/Thalheim_Triin_2011.pdf
7. ATxMEGA16A4U andmeleht 11.05.2015
http://www.atmel.com/images/Atmel-8387-8-and16-bit-AVR-Microcontroller-XMEGA-A4U_Datasheet.pdf
8. Meanwelli SE-600-36 26.05.2015
<http://www.meanwell.com/webapp/product/search.aspx?prod=se-600>
9. AL8807 andmeleht 02.05.2015
<http://www.diodes.com/datasheets/AL8807.pdf>
10. AL8807 kalkulaator 02.05.2015
http://diodes.com/_files/calculators/AL8807_series_calculator_v1.0.xls
11. ZXLD1374 andmeleht 02.05.2015
<http://www.diodes.com/datasheets/ZXLD1374.pdf>
12. ZXLD1374 kalkulaator 02.05.2015
http://diodes.com/_files/calculators/ZXLD1374%20calculator%20v1.3.xls
13. L78L33ACD13TR andmeleht 11.05.2015
<http://www.st.com/web/en/resource/technical/document/datasheet/CD00000446.pdf>
14. Abo, Lembit,(1990) "Raadiolülitused", Tallinn, Valgus, lk.533
15. Radiaatori andmeleht 15.05.2015
<http://www.farnell.com/datasheets/1865621.pdf>

Lisa 1 Juhtploki täielik skeem

