

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
Infotehnoloogia teaduskond  
Thomas Johann Seebecki elektroonikainstituut

Anton Popov 142448IALB

# **REGULEERITAVA HELEDUSEGA LEEDVALGUSTI**

Bakalaureusetöö

Juhendaja: Juri Mihhailov

Tehnikateaduste  
doktor

Tallinn 2017

## **Autorideklaratsioon**

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

Autor: Anton Popov

22.05.2017

# Lõputöö ülesandepüstitus

## Lõputöö teema:

Reguleeritava heledusega leedvalgusti

LED Luminaire with Controllable Dimming Function

## Juhendaja:

Juri Mihhailov

**Teema päritolu:** Juhendaja poolt pakutud teema

**Lõputöö eesmärgid:** Projekteerida elektriskeemi, simuleerida ja koostada trükkplaadi. Põhjendada skeemikomponentide valiku ja vajadust. Anda hinnangu majandusliku osale.

**Oodatavad tulemused:** Stabiilselt töötav, ühtlaselt täpse valgusdiodide põlemisega, suure diapasooni toitepingega kontrollitav leedvalgusti.

**Lahendatavad küsimused:** Valida skeemikomponente, et saavutada madala energiatarbe ja hinnaga reguleeritav leedvalgusti.

## Lähteandmed:

LED driver for parallel strings white LEDs

- Vdd=16V..36V
- LEDs in series 4
- LEDs in parallel 4
- Max current 150mA (5%)

Kuupäev: .....

Üliõpilane: .....

/allkiri/

Juhendaja: .....

/allkiri/

Kinnitaja: .....

/allkiri

## Annotatsioon

Antud lõputöö eesmärgiks oli projekteerida leedvalgusti, mis on stabiilselt töötav, ühtlaselt täpse valgusdiodide põlemisega, suure diapasoni toitepingega 16-36 V, madala hinnaga ja energiatarbega.

Projekteeritud leedvalgusti koosneb LED driver'ist, valgusdiodide maatriksist 4x4 maksimaalse vooluga 150 mA ( $\pm 5\%$ ) igal jadal ning PWM regulaatorist. Valgusdiodid olid valitud neutraalse valgustemperatuuriga, mis tähendab seda, et neid saab kasutada peaaegu kõikides valgustussüsteemides. Valgusdiodide heleduse reguleerimiseks on kasutatud PWM regulaatorit, mis on suure kasuteguriga ehk vähem energiat läheb soojuseks ning samuti on sellega võimalik säästa palju rohkem raha, võrreldes lineaarse regulaatoriga. Hinna vähendamiseks, mikrokontrolleri ja tarkvara realiseerimise vältimiseks on kasutatud väga levinuid, odavaid ja funktsionaalseid taimereid NE555, mida on võimalik toita, kasutades 5 V patareid või toiteallikaid kuni 10 V.

Kõik kasutatud skeemikomponendid on arvutuslikult selgitatud, seejuures on mikroskeemide andmelehtede nõudeid jälgitud. Tulemuste kontrollimiseks simuleeriti elektriskeem, kasutades vabavaralist tarkvara. Töö lõpus on ka esitatud antud töö tulemi majanduslik aspekt. Vastavalt nõuetele on projekteeritud ka elektriskeemile vastav trükkplaat.

Lõputöö on kirjutatud eesti keeles ning sisaldab teksti 39 leheküljel, 6 peatükki, 20 joonist, 4 tabelit.

## **Abstract**

### **LED Luminaire with Controllable Dimming Function**

The aim of this thesis is to design a LED luminaire which works stably with precise lighting of LEDs and has high power supply range of 16-36 V with low cost and power consumption.

Designed LED luminaire has a LED driver, a LED matrix 4x4 with maximum current 150mA ( $\pm 5\%$ ) on one string and a PWM regulator. LEDs were chosen with neutral temperature. It allows to use them in almost every lighting system. PWM regulator was chosen for lighting adjustment based on its high efficiency, low percent of wasting energy for heat which can save a lot of money in the future compared with a linear regulator. For PWM regulator are chosen timers on NE555 to reduce price of LED luminaire and not to use microcontrollers. Also these timers were chosen based on their high functionality and popularity which can be found in almost every electronics shop. Also they can be supplied by 5 V battery or the power source up to 10 V.

Suitable electrical components are chosen and explained how they act and why they are needed. The datasheets' requirements were followed. All calculations are verified by simulation. At the end of this work printed circuit board design and overview of the economic aspect of the design are presented.

The thesis is in Estonian and contains 39 pages of text, 6 chapters, 20 figures and 4 tables.

## Lühendite ja mõistete sõnastik

<b>Mõiste</b>	<b>Tähendus</b>
LED	Valgusdiod (ingl Light Emitting Diode)
LED driver	Impulssmuundur
PWM	Impulsslaiusmodulatsioon (ingl Pulse Width Modulation)
MOSFET	Metalloksiidväljatransistor (ingl Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor)
PCB	Trükkplaat (ingl Printed circuit board)
CRI	Värviedastusindeks (ingl Colour Rendering Index)
DC/DC muundur	Alalispingemuundur
GND	Maandus (ingl Ground)
Dimmer	Hämardi
Buck	Pinget alandav impulssmuundur

## Jooniste loetelu

Joonis 1. Struktuurskeem.....	12
Joonis 2. Elektriskeem.....	13
Joonis 3. Multivibraatori skeem [10].....	21
Joonis 4. Simuleerimisskeem. ....	23
Joonis 5. Taimerite kondensaatorite laadimine ja tühjendamine.....	24
Joonis 6. Pinge VADJ sisendil. ....	24
Joonis 7. Vool drosselil. ....	25
Joonis 8. LED driver'i väljundpinge ja selle pulsatsioonid. ....	26
Joonis 9. Sagedus valgusdiodidel, kui potentsiomeeter on asendis $0 \Omega$ .....	26
Joonis 10. Väljundvool LED'idel, kui potentsiomeeter on asendis $0 \Omega$ .....	27
Joonis 11. Sagedus valgusdiodidel, kui potentsiomeeter on maksimaalses asendis ehk $150k\Omega$ . ....	27
Joonis 12. Väljundvool LED'idel, kui potentsiomeeter on maksimaalses asendis ehk $150 k\Omega$ . ....	28
Joonis 13. Sagedus valgusdiodidel, kui potentsiomeeter on keskel ehk $75 k\Omega$ asendis. ....	29
Joonis 14. Väljundvool LED'idel, kui potentsiomeeter on keskel ehk $75 k\Omega$ asendis. .	29
Joonis 15. Keskmine sisendvool $36 V$ sisendpingel.....	31
Joonis 16. Keskmine sisendvool $26 V$ sisendpingel.....	31
Joonis 17. Keskmine sisendvool $16 V$ sisendpingel.....	32
Joonis 18. Trükkplaadi ülemine kiht. ....	34
Joonis 19. Trükkplaadi alumine kiht. ....	34
Joonis 20. Trükkplaadi kolmemõõtmeline mudel. ....	35

## **Tabelite loetelu**

Tabel 1. Valgusdiodide valik.....	14
Tabel 2. Väljatransistori valimine. ....	19
Tabel 3. Väljundvool ühel valgusdiodide jadal erinevate sisendpingete ja täitetegurite korral.....	30
Tabel 4. Trükkplaadi komponentide hinnakiri. ....	36



# Sisukord

Autorideklaratsioon .....	2
Lõputöö ülesandepüstitus .....	3
Annotatsioon.....	4
Abstract.....	5
Lühendite ja mõistete sõnastik .....	6
Jooniste loetelu .....	7
Tabelite loetelu .....	8
Sisukord.....	9
Sissejuhatus .....	11
1 Struktuurskeem.....	12
2 Elektriskeem ja skeemi komponentide valik.....	13
2.1 LED driver'i valik .....	13
2.2 Valgusdiodide valik.....	14
2.3 Pingejaguri väärtuste valimine väljundvoolu määramiseks .....	15
2.4 Mikroskeemi töösageduse valimine .....	16
2.5 Drosseli induktiivsuse valimine.....	17
2.6 Kondensaatorite valimine .....	18
2.7 Jõudiodi valik .....	18
2.8 Väljatransistori valimine.....	19
3 PWM signaaligeneraatorid .....	20
3.1 Multivibraator.....	20
3.2 Monovibraator .....	22
4 Elektriskeemi simulatsioon .....	23
4.1 Taimerite kondensaatorite laadimine ja tühjendamine.....	24
4.2 Pinge $V_{ADJ}$ sisendil .....	24
4.3 Vool drosselil.....	25
4.4 LED driver'i väljundpinge ja selle pulsatsioonid.....	26

4.5 LED driver'i sagedused ja väljundvoolud .....	26
4.6 LED driver'i kasutegur .....	30
5 Trükkplaadi disain .....	33
6 Majanduslik osa .....	36
Kokkuvõte .....	38
Kasutatud kirjandus .....	39

## Sissejuhatus

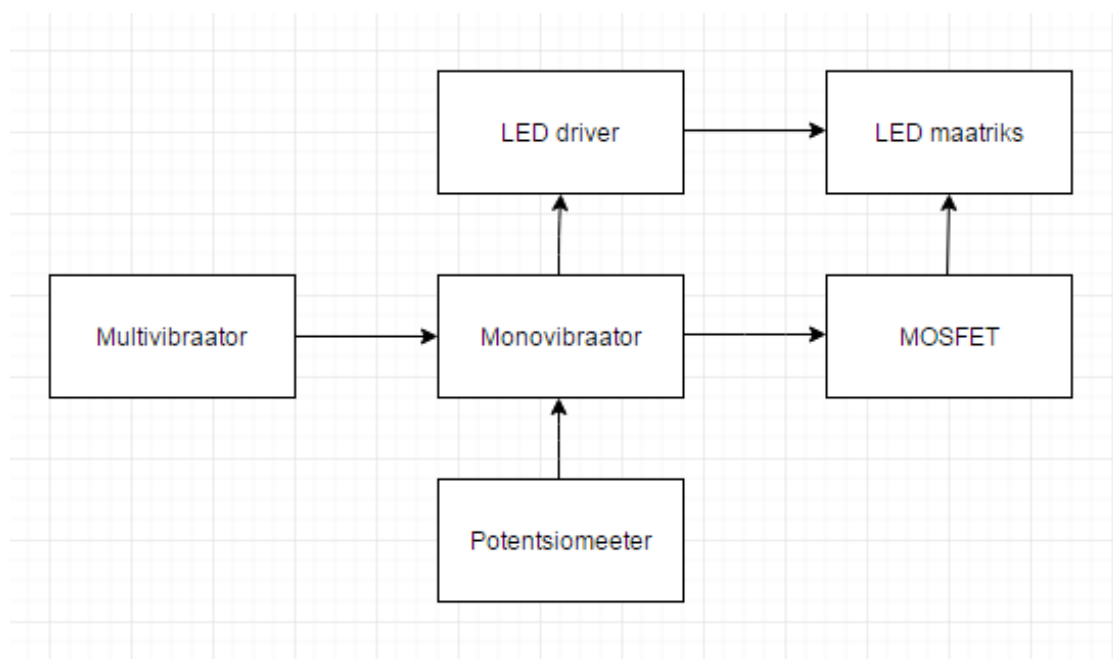
Valgusdiodid on pooljuhtseadised, mida kasutatakse elektrienergia muundamiseks valguseks. Tänapäeval selle kasutamine leidis suurt populaarsust nii sise- kui ka välisruumide valgustussüsteemides. Selleks on mitu põhjust, kuid kõige tähtsamaks on selle kõrge elektriline kasutegur. Ühe võimsuseühiku kohta nad eraldavad palju korda rohkem valgust kui näiteks hõõglambid ning peaaegu ei eralda soojust ehk ei raiska energiat võrreldes teiste valgusallikatega. Ka üheks põhjuseks LEDide valimiseks on selle kõrge tööiga, mis võib olla isegi kuni 200 000 tundi. [1] Paljusid inimesi hirmutab LEDide kõrge hind. Kuid selle edasine rakendamine võib säästa palju rohkem raha.

Tihti tekib vajadus reguleerida valguse intensiivsust ning selleks kasutatakse ainult voolupiirava takisti valgusdiodide juures ja potentsiomeetri koormuse juhtimiseks. See toob endaga probleemi, et lineaarse voolu reguleerimisega palju energiat läheb kaotsi ehk soojuseks. Ka selle kasutamise tõttu valguse värvus muutub teistsuguseks. Näiteks, valgete valgusdiodide nominaalvoolu vähendamisel, selle värvus muutub roheliseks ning see kindlasti ei sobi, kui on soov saavutada konkreetset värvi valgustil [3].

Selleks, et ehitada stabiilselt töötav valgusti ilma eespool mainitud probleemideta, on vaja kasutada LED driver'i koos PWM funktsiooniga valguse intensiivsuse reguleerimiseks. LED driver annab võimalust saavutada väljundis stabiilset voolu 4x4 LED maatriksil ning selleks, et vähendada hinda PWM signaali juhtimiseks elektriskeem on realiseeritud ilma mikrokontrollerita, sellega see ei nõua tarkvara rakendamist.

# 1 Struktuurskeem

Elektriskeemi ülesehituse lihtsamaks kujutamiseks ja tööprintsipiide arusaamiseks on väljatoodud struktuurskeem, mis jaotab skeemi plokkideks, et näha nendevahelist seost. Koosneb LED driver'ist, LED maatriksist, multivibraatorist, monovibraatorist, väljatransistorist ja potentsiomeetrist.

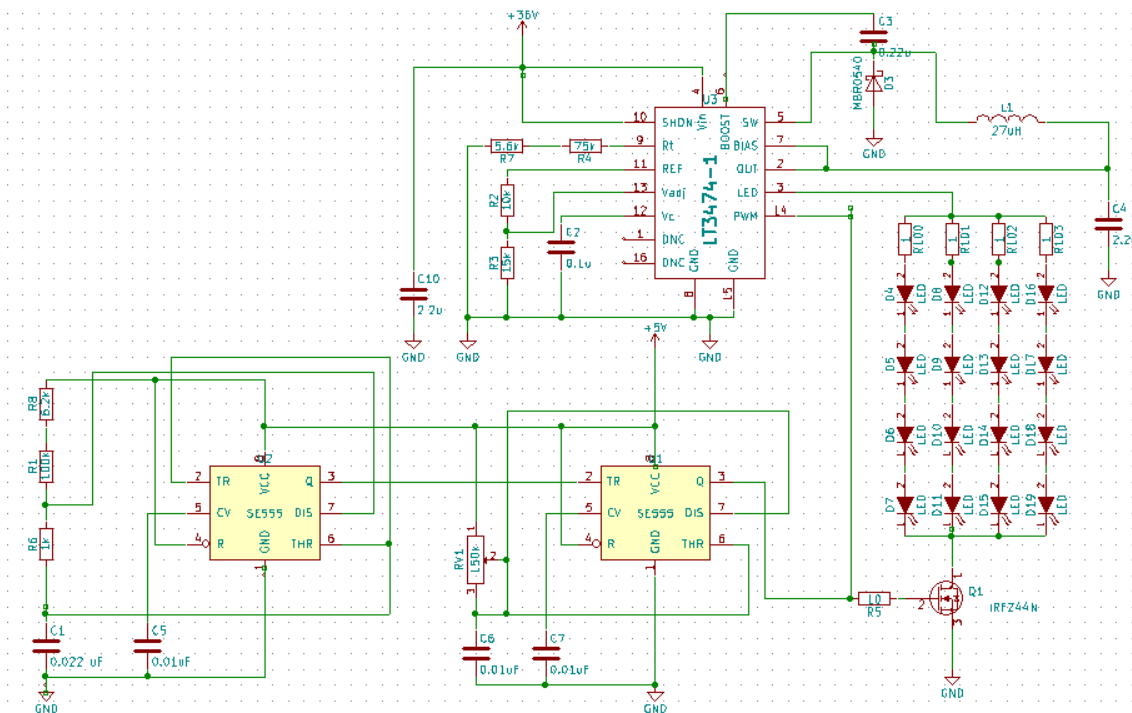


Joonis 1. Struktuurskeem.

LED driver stabiliseerib maksimaalset voolu, mida annab LED maatriksile. LED maatriks koosneb neljast valgusdiodide jadadest, kus igal jadal on 4 valgusdiodi. Multivibraator genereerib impulsse konstantse sagedusega, millega juhib monovibraatori sisse lülitamist. Monovibraator genereerib impulsse multivibraatori sageduse ulatuses, mida edastakse LED driveri sees oleva regulaatori väljundoleku muutmiseks HiZ'sse madala nivoo korral, et vähendada kasutava voolu suurust.

Potentsiomeetriga muudetakse monovibraatori impulsside täiteteguri ehk madala ja kõrge nivoo suhet. MOSFET juhib voolu LED maatriksil lüliti režiimis.

## 2 Elektriskeem ja skeemi komponentide valik



Joonis 2. Elektriskeem.

Genereeritud taimerist kõrge nivoo signaali korral avaneb MOSFET ja driver'i mikroskeemi sees olev lüliti. Esimesel faasil, kui on kõrge nivoo signaal ostsillaatorist drossel hakkab salvestama energiat kuni ei ületa  $V_c$  pinge taset ja toidest antakse voolu LED'idele. Teises faasis drossel tühjendab ennast ja selle vool liigub läbi Schottky diodi ja LED'e. Aga kui taimer genereerib madala nivoo signaali, siis MOSFET on suletud,  $V_c$  ja sees olev lüliti on välja lülitatud ning LED'idel on minimaalne vool ehk 0 A.

### 2.1 LED driver'i valik

LED driver'iks on valitud mikroskeem LT3474, mis on Buck DC/DC muundur. See muundur annab võimalust vähendada alispinge väärtust madalamaks. Vastavalt andmelehele[3] sellel on suur sisendpinge diapsoon 4V kuni 36V ning mis on võimeline tagada maksimaalset voolu 1A valgusdiodidel, mille suurust saab seadistada

$V_{ADJ}$  sisendi abil. Fikseeritud kõrge lülitussagedus annab võimalust kasutada keraamilisi kondensaatore väikese suurusega, mis lubavad ennustada väikese pulsatsiooni väljundis.

## 2.2 Valgusdiodide valik

Valgusdiodide valimisel on lähtetud selle valgusviljakusest, CRI'st, hinnast, temperatuurist ja võimalusest neid praegu osta või tellida. Kõik valgusdiodid on päri vooluga 150 mA ja päripingega 3.3 V. Vajalikke komponente on leitud Digkey[6] ja Mouser'i[7] kauplustes. Kui osta 10 tükki, siis saab allahindlust, seega valgusdiodide hinnad olid arvatud 10+6 tükiliselt.

Tabel 1. Valgusdiodide valik.

Nimetus	Valgusviljakus, lm/W	Min CRI	Värvsistemperatuur, K	Kogus, tk	Hind, €
Avago ASMT-QWBF-NKL0E	98	80	4500	16	12.73
Stanley Electric Co VTEW1151ASE-50Y-TR	75	85	5000	16	14.55
Stanley Electric Co VTEW1151ASE-57Y-TR	75	85	5700	16	14.55
Broadcom Limited ASMT-QWBF-NKL0E	94	85	7250	16	18.40

Avago ASMT-QWBF-NKL0E jaoks polnud antud valgusviljakuse väärtust. Kasutame (2.1) valemi [8]:

$$\eta_v = \frac{\phi}{P} = \frac{49 \text{ lm}}{0.5 \text{ W}} = 98 \text{ lm/W} \quad (2.1)$$

kus  $\phi$  on valgusallika valgusvoog [lm], P on tarbitav võimsus [W].

Avago ASMT-QWBF-NKL0E olid valitud suure valgusviljakuse ja madala hinna pärast. CRI on 80, aga see on ikkagi väga hea värviedastusindeks ning värvimoonutusi ei pea tekkima. 4500 K värvustemperatuur omab neutraalset värvust ehk loomuliku valget värvi ning sobib vannidesse, köögidesse, kontoritesse, lugemissaalidesse ehk on universaalne valgustemperatuur erinevate projektide rakendamisel [9].

### 2.3 Pingejaguri väärtuste valimine väljundvoolu määramiseks

Valgusdiodide voolu saab määrata, reguleerides pinget  $V_{ADJ}$  sisendil. Referentspinget 1.25V, mis tuleb REF sisendist, on vaja ühendada  $V_{ADJ}$ 'ga, et saavutada maksimaalset voolu väljundis 1 A. Aga kuna on vaja saavutada väljundis 0.6 A, tuleb kasutada pingejaguri, et reguleerida väiksema pinget ja saavutada nõutud voolu. Mikroskeemi sees olev bipolaartransistor juhib voolu proportsionaalselt pingele  $V_{ADJ}$  sisendil läbi takisti 100  $\Omega$ . Vc sisend seadistab voolu läbi takisti 0.1  $\Omega$   $g_m$  võimendile. Kui pingelang 0.1  $\Omega$  on võrdne pingelanguga 100  $\Omega$ , siis nad on tasakaalustatud ning saavutatakse nõutud vool LED'idel ja pinget väljundis.

Nõutud voolu saavutamiseks, tuleb leida  $V_{ADJ}$  järgmise valemi abil [2]:

$$I_{LED} = \frac{1 A \times V_{ADJ}}{1.25 V} \quad (2.2)$$

kus  $I_{LED}$  on nõutud vool valgusdiodidel [A], 1A on maksimaalne lubatud vool mikroskeemil, 1.25 V on referentspinge  $V_{REF}$  sisendil.

Igal valgusdiodide jadal on 150 mA. Leiame kogu voolu LED maatriksil:

$$I_{LED} = 4 \times I_F = 4 \times 0.150 A = 0.6 A \quad (2.3)$$

Teisendame valemi (2.2), et arvutada  $V_{ADJ}$ :

$$V_{ADJ} = \frac{I_{LED} \times 1.25 V}{1 A} = \frac{0.6 A \times 1.25 V}{1 A} = 0.75 V \quad (2.4)$$

Selleks, et saavutada täpset voolu LED'idel on vaja kasutada täpseid resistore või 1% suuremad. Takistite leidmiseks on kasutatud järgmine valem (2.5) [2]:

$$R_2 = \frac{V_{ADJ}}{\frac{1.25 V - V_{ADJ}}{R_1} + 50 nA} \quad (2.5)$$

Kuna pole teada mõlema takistite väärtusi, valime  $R_1 = 10 k\Omega$ , et leiada  $R_2$ :

$$R_2 = \frac{0.75 V}{\frac{1.25 V - 0.75 V}{10 k\Omega} + 50 nA} = \frac{0.75 V}{0.00005005 A} = 14985 \Omega \quad (2.6)$$

Kuna tootmises ei ole takistit 14985  $\Omega$ , siis valime vastavalt lähima nominaalsuurust, mis on 15 k $\Omega$ .

## 2.4 Mikroskeemi töösageduse valimine

LT3474 kasutab konstantset töösagedust, mida saab määrata  $R_T$ 'ga. Seda kasutatakse, et käivitada mikroskeemi sees oleva ostsillaatorit. Selleks, et valida  $R_T$  on vaja meeles pidada järgnevaid faktore. Esiteks, kui on soov saavutada väikese suurusega drosselle, aga kaotada efektiivsuses ja saada suuri kadusid lülitis, siis tuleb valida maksimaalset suurt sagedust ehk minimaalset  $R_T$ . Aga kui on vaja opereerida väikeste sisendpingega, siis on vaja valida minimaalset sagedust ehk maksimaalset  $R_T$  [2].

Vastavalt eesmärgile on vaja saavutada minimaalset sisendpinget 16V, siis valime sageduseks  $f = 500$  kHz, mis lubaks meile seda.

Regulaator seadistab väljundpinget vastavalt väljundvoolule, balansseerides potentsiaale  $g_m$  võimendi sisenditel, mida saavutakse voolude suhe abil 0.1  $\Omega$  ja  $V_c$  100  $\Omega$  takistitel. Valik toimub  $V_{ADJ}$  pinge abil, mida edastatakse 1.25 k $\Omega$  takistile läbi all oleva võimendi abil.

Edasi tuleb valemities kasutada mikroskeemi väljundpinget, selleks kasutame valemi (2.7):

$$V_{out} = 4 \times V_F + I_D \times R_{DS(ON)} + R_D \times I_D = 4 \times 3.3 \text{ V} + 0.6 \text{ A} \times 0.0175 \Omega + 1 \Omega \times 0.6 \text{ A} = 13.3605 \text{ V} \quad (2.7)$$

kus  $V_F$  on valgusdiodi päripinge [V],  $I_D$  on neeluvool [A],  $R_{DS(ON)}$  on neelu-lätte staatiline takistus [ $\Omega$ ],  $R_D$  on voolupiirav takisti [ $\Omega$ ].

Olid kasutatud voolupiiravad takistid minimaalse suurusega 1  $\Omega$ , et seade töötaks stabiilselt ja ei lubaks, et voolud erinevatel jadadel oleksid erinevad.

Minimaalse sisendpinge leidmiseks tuleb algusel leida maksimaalse töötükli. Selleks oli kasutatud valem (2.8) [2]:

$$DC_{MAX} = 1 - t_{OFF(MIN)} \times f = 1 - 200 \text{ ns} \times 500 \text{ kHz} = 0.90 \quad (2.8)$$

kus  $t_{OFF(MIN)}$  on ostsillaatori fikseeritud välja lülitamise aeg [ns].

Minimaalse sisendpinget saab leida (2.9) valemiga [2]:



$$V_{in(MIN)} = \frac{V_{out} + V_F}{DC_{MAX}} - V_F + V_{SW} = \frac{13.3605 V + 0.4 V}{0.90} - 0.4 V + 0.4 V = \frac{13.7605 V}{0.90} = 15.29 V \quad (2.9)$$

kus  $V_F$  on päripinge Schottky diodil [V],  $V_{SW}$  on päripinge lüliti Schottky diodil [V]. Järelikult  $R_T = 80.6 k\Omega$ , aga kuna sellist nominaali ei ole, siis paneme kaks takistit järjest 75 k $\Omega$  ja 5.6 k $\Omega$ .

## 2.5 Drosseli induktiivsuse valimine

Drosseli induktiivsus peab olema valitud nii, et tagada mikroskeemi töö pidevas voolu töörežiimis ehk vool ei kahane nullini.

Drosseli induktiivsuse väärtuse saamiseks tuleb kasutada (2.10) valemi [2]:

$$L = (V_{out} + V_F) \times \frac{900 kHz}{f} = (13.3605 V + 0.4 V) \times \frac{900 kHz}{500 kHz} = 24.7689 \mu H \quad (2.10)$$

Kuna 25  $\mu H$  väärtusega drossel on tootmises vähe ning nende hind on piisavalt suur, siis lähim odav drossel on induktiivsusega 27  $\mu H$ , mis on mitu korda odavam.

Suur drosseli väärtus annab väiksemaid pulsatsioone väljundpingel. Voolupulsatsioone I<sub>pk</sub>-pk drosselil saab arvutada järgneva (2.11) valemi [2] abil:

$$\Delta I_L = \frac{(1-DC)(V_{out} + V_F)}{L \times f} \quad (2.11)$$

Sisendpingeks valime  $V_{IN} = 36 V$  ja edasi komponentide arvutused toimuvad just selle pinge abil. Arvutame selle DC väärtust ehk töötsükli (2.12) valemiga [2]:

$$DC = \frac{V_{out} + V_F}{V_{in} - V_{SW} + V_F} = \frac{13.3605 V + 0.4 V}{36 V - 0.4 V + 0.4 V} = \frac{13.7605 V}{36 V} = 0.382 \quad (2.12)$$

Seega:

$$\Delta I_L = \frac{(1-0.382) \times (13.3605 V + 0.4 V)}{27 \mu H \times 500 kHz} = \frac{0.618 \times 13.7605 V}{13500 m\Omega} = \frac{8.504 V}{13.5 \Omega} = 0.630 A \quad (2.13)$$

Maksimaalset voolu induktoril ja lültil saab arvutada (2.14) valemi abil [2]:

$$I_{SW(PK)} = I_{L(PK)} = I_{out} + \frac{\Delta I_L}{2} = 0.6 A + \frac{0.630 A}{2} = 0.6 A + 0.315 A = 0.915 A \quad (2.14)$$

Drosseli  $I_{RMS}$  tuleb valida 30% suurem, kui  $I_{LED}$  ehk kasutame järgneva (2.15) valemi [2] selle arvutamiseks:

$$I_{RMS} = I_{LED} \times 30\% + I_{LED} = 0.6 A \times 30\% + 0.6 A = 0.18 A + 0.6 A = 0.78 A \quad (2.15)$$

Maksimaalseks efektiivsuseks DCR tuleb valida väiksem kui 0.2  $\Omega$  [2].

Drosseliks oli valitud Würth Electronics 7447779127, mille parameetrid vastavad nõuetele.

## 2.6 Kondensaatorite valimine

DC/DC muundurid tarvivad voolu sisendist suure pulsatsioonidega, mis väga kiiresti tõusevad ja langevad. Selleks olid valitud keraamilised X7R tüüpi kondensaatorid, mis on võimelised vähendada suureid vooluimpulsse, kui teised tüübid sama väärtustega. Kuna lülitussagedus on kõrge, siis on nõutud kasutada kondensaatore mahtuvusega alla 10  $\mu\text{F}$ . Sisendkondensaator ja väljundkondensaator on valitud 2.2  $\mu\text{F}$  väärtusega. Väljundkondensaator filtreerib induktiivsuse voolu ning salvestab energiat, et rahuldada mööduvaid koormusi ja stabiliseerida juhtimiseahelat. Kui koormuses tekkiv vool langeb 0, siis väljundkondensaator tühjendab ennast väga kaua ainult lekkevoolu abil, mis ei anna pingele väljundis langeda nullini.

Nagu varem öeldud, väljundkondensaator vähendab pulsatsioone väljundis. Selleks, et arvutada neid pulsatsioone on kasutatud järgmine (2.16) valem [2]:

$$V_{\text{ripple}} = \frac{\Delta L}{8 \times f \times C_{\text{out}}} = \frac{0.630 \text{ A}}{8 \times 500 \text{ kHz} \times 2.2 \mu\text{F}} = \frac{0.630 \text{ A}}{8 \times 1.1 \text{ S}} = \frac{0.630 \text{ A}}{8 \times \frac{1}{1.1 \text{ S}}} = \frac{0.630 \text{ A}}{7.273 \Omega} = 86.6 \text{ mV} \quad (2.16)$$

Arvutatud väljundpulsatsioonide väärtus on piisavalt madal. Võib teha järeldust, et väljundkondensaatori mahtuvus on sobilik.

## 2.7 Jõudiodi valik

Jõudiodid laseb voolu liikuda drosselist ainult väljalülitatud ajal. Jõudiodi valimisel peab meeles pidama, et on vaja valida sisendpingest suurema väärtust ehk  $V_R > 36\text{V}$  ning vool läbi jõudiodi kasvab  $\frac{1}{2} \times I_{\text{SW(PK)}}$  suuruseni [2]. Kuna  $I_{\text{SW(PK)}} = 0.915 \text{ A}$ , siis

$$I_D = \frac{1}{2} \times I_{\text{SW(PK)}} = \frac{1}{2} \times 0.915 \text{ A} = 0.4575 \text{ A}. \quad (2.17)$$

Järgneva valemi (2.18) abil saame arvutada keskmist läbiva voolu Schottky diodil [2]:

$$I_{\text{D(AVG)}} = \frac{I_{\text{out}} \times (V_{\text{in}} - V_{\text{out}})}{V_{\text{in}}} = \frac{0.6 \text{ A} \times (36 \text{ V} - 13.3605 \text{ V})}{36 \text{ V}} = \frac{13.5837 \text{ A} \times \text{V}}{36 \text{ V}} = 0.377 \text{ A} \quad (2.18)$$

Jõudiodiks osutus valituks MBR0540, millel on  $I_D = 0.5\text{A}$  ja  $V_R = 40\text{V}$ , mis vastab eespool kirjeldatud nõuetele.

## 2.8 Väljatransistori valimine

Väljatransistori valimisel on oluline jälgida, et selle parameetrid ei olnud ületatud läbivate voolude ja pingetega. Kõige sobilikum ja üldlevinum transistor on IRFZ44N [8], mille parameetrid on toodud tabelis:

Tabel 2. Väljatransistori valimine.

<b>Tähis</b>	<b>Parameeter</b>	<b>Väärtus</b>	<b>Ühik</b>
$I_D$	Suurim pidevalt lubatud neeluvool	49	A
$V_{DS}$	Suurim lubatud neelu-lätte pingelang	55	V
$V_{GS}$	Suurim lubatud paisu-lätte pingelang	20	V
$R_{DS(ON)}$	Neelu-lätte staatiline takistus	17.5	m $\Omega$

### 3 PWM signaaligeneraatorid

Valgusdiodide heleduse reguleerimine toimub PWM signaali abil. PWM reguleerimise meetod seisneb selles, et muudetakse aega, millal on kõrge nivooga impulss konstantse perioodi korral. Kõrgel nivool LED'id põlevad, aga madalal- kustutavad. Kõrge ja madala nivoo suhet tajutakse nagu erinev heledus. Vool valgusdiodidel jääb konstantseks, mis on seadistatud driver'i abil kõrge impulsi korral, aga madalal nivool jääb 0 A. Sellel korral hajuvõimsused on minimaalsed. Sageduse valimisel peab meeles pidama, et see oleks suurem, kui 48 Hz, mis ei näeks välja nagu vilkumine, vaid ühtlane LED'ide säramine [3].

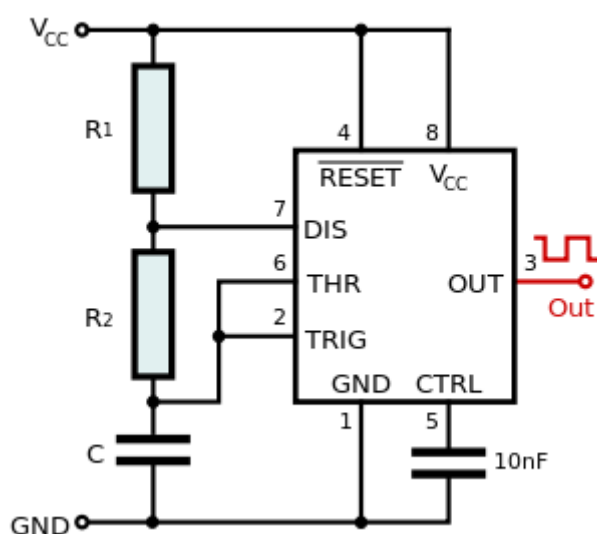
PWM signaali genereerimiseks olid valitud taimerid NE555 oma odavuse, suure toitepinge diapasooni, täpsuse ja lihtsuse pärast. Olid kasutatud kaks taimereid, kus esimene töötab multivibraatorina, aga teine monovibratoorina. Esimene seadistab konstantset sagedust, aga teise abil on võimalik reguleerida kõrge nivooga impulsse selle sageduse ulatuses. Selleks, et muuta täiteteguri ehk kõrge ja madala nivoo suhet, kasutakse potentsiomeetri. Toitepingeks oli valitud 5 V, aga saab kuni 10V toita ehk driver'i PWM sisendi maksimumini. Sageduse tõstmisel taimerid hakkavad töötama mittestabiilselt, seega oli valitud sagedus umbes 600 Hz, mis inimese silmale pole nähtav nagu LED'ide vilkumine.

#### 3.1 Multivibraator

Multivibraatori alghetkel kondensaator on laadimata ja pinge „Trigger“ sisendil on alla  $1/3V_{cc}$  ehk pinge mitteinverteerival sisendil on kõrgem kui inverteerival sisendil mikroskeemi sees, siis komparaatori väljundis on kõrge nivoo. Edasi see signaal läbib RS-trigeri, mille väljund on inversne. Lähtestamise signaali pole, sest on alla  $2/3V_{cc}$  ja teisel komparaatoril on pinge inverteerival sisendil kõrgem kui mitteinverteerival, siis  $R=0$  ja  $S=1$  ja trigeri väljundis on madal nivoo. Taimeri väljund on ka inversne ehk saame kõrge nivooga signaali. Transistor mikroskeemi sees sulgub ja kondensaator hakkab ennast laadima läbi  $R_1$  ja  $R_2$  ning pinge hakkab kasvama „Threshold“ ja „Trigger“ sisenditel. Kui pinge on kõrgem kui  $1/3V_{cc}$ , aga alla  $2/3V_{cc}$ , siis trigeril on

$S=0$ , aga see ei muuda väljundsignaali taimeril, sest trigger säilitab eelmise oleku kuni ei saa signaali  $R=1$ . Kui on saavutatud üle  $2/3V_{cc}$ , siis toimub lähtestamine ehk algolekusse seadmine. Väljundis on 0 ja bipolaartransistor mikroskeemis avaneb ja kondensaator hakkab ennast tühjendama läbi  $R_2$ . Pinge „Threshold“ ja „Trigger“ sisenditel hakkab langema ning kui on alla  $2/3V_{cc}$ , siis signaal  $R=0$ . Kui pinge on alla  $1/3V_{cc}$ , siis komparaator annab  $S=1$ , transistor sulgub ja tsüklil kordub [4].

Kuna on kasutatud taimerite toitepingeks 5 V, siis maksimaalne pinge, millal kondensaator laadib ennast on  $2/3 V_{cc}$  ehk 3.33 V ning minimaalne, milleni tühjendab ennast on  $1/3 V_{cc}$  ehk 1.67 V. Joonisel 3 [10] on toodud multivibraatori tüüpiline skeem:



Joonis 3. Multivibraatori skeem [10].

On soovitatud lisada „Control“ sisendile kondensaatori, mis kaitseks mikroskeemi müradest, mis on tingitud taimeril lülitamisest ja tõstaks stabiilsust taimeril käivitamisel. Selleks oli kasutatud kondensaator väärtusega  $0.01 \mu\text{F}$ .

Kuna on soov saavutada sagedust umbes 600 Hz, siis on vaja valida takisteid ja kondensaatori, mis lubaks seda. Kõrge nivoo impulsi aja arvutamiseks on kasutatud (3.1) valem [4]:

$$t_H = 0.693 \times (R_1 + R_2) \times C = 0.693 \times (106.2 \text{ k}\Omega + 1 \text{ k}\Omega) \times 0.022 \mu\text{F} = 1.6344 \text{ ms} \quad (3.1)$$

Madala nivoo aja arvutamiseks on kasutatud järgmine (3.2) valem [4]:

$$t_L = 0.693 \times R_2 \times C = 0.693 \times 10^3 \Omega \times (22 \times 10^{-9} \text{ F}) = 0.0152 \text{ ms} \quad (3.2)$$

Kogu perioodi arvutamiseks on vaja liita madala ja kõrge nivoo aega:

$$T = t_H + t_L = 1.6344 \text{ ms} + 0.0152 \text{ ms} = 1.650 \text{ ms} \quad (3.3)$$

Ning sageduse arvutamiseks:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{1.650 \text{ ms}} = 606.06 \text{ Hz} \quad (3.4)$$

Järelikult multivibraatorist väljundsignaali sagedus on 606.06 Hz.

### 3.2 Monovibraator

Monovibraator laadib ennast läbi potentsiomeetri ja kui saavutab  $2/3V_{cc}$ , siis on  $R=1$  ja see toob taimeris algsele olekusse ning pinge on 0 V, kuni ei saa signaali multivibraatorist oma „Trigger“ sisendile, mis on alla  $1/3V_{cc}$  ning siis kondensaator hakkab uuesti ennast laadima [4].

Kuna on soov saavutada 0-100% reguleerimist, siis on vaja valida potentsiomeetri ja kondensaatori nii, et nad ei ületaks kõrge nivooga impulsse korral multivibraatori perioodi väärtust ehk 1.650 ms ja andsid võimalikult lähedat suurust. Kõrge impulssi määrab RC ahel ehk aega, millal kondensaator laadib ennast .

Arvutame kõrge impulssi aega monovibratoorile [4]:

$$t = 1.1 \times R \times C = 1.1 \times 150 \text{ k}\Omega \times 0.01 \text{ }\mu\text{F} = 165 \times 10^{-5} \text{ s} = 1.65 \text{ ms} \quad (3.5)$$

Selle arvutusest võib järeldada, et see suurus sobib ideaalselt. Arvutame täiteteguri [4]:

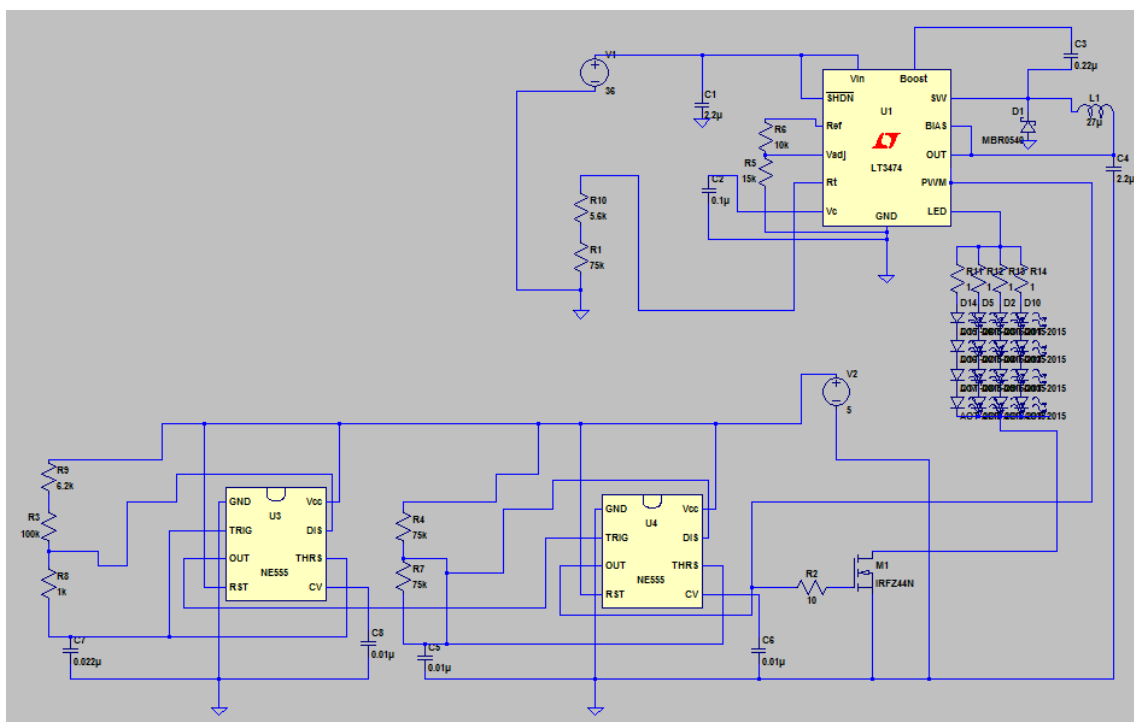
$$D = \frac{t}{T} \times 100\% = \frac{1.65 \text{ ms}}{1.65 \text{ ms}} \times 100\% = 100\% \quad (3.6)$$

kus  $t$  on monovibraatori kõrge impulsi aeg [ms],  $T$  on multivibraatori arvutatud periood [ms].

Arvutusest võib teha järeldust, et kasutades järgnevate parameetritega potentsiomeetri ja kondensaatori võib saavutada reguleerimist 0-100%.

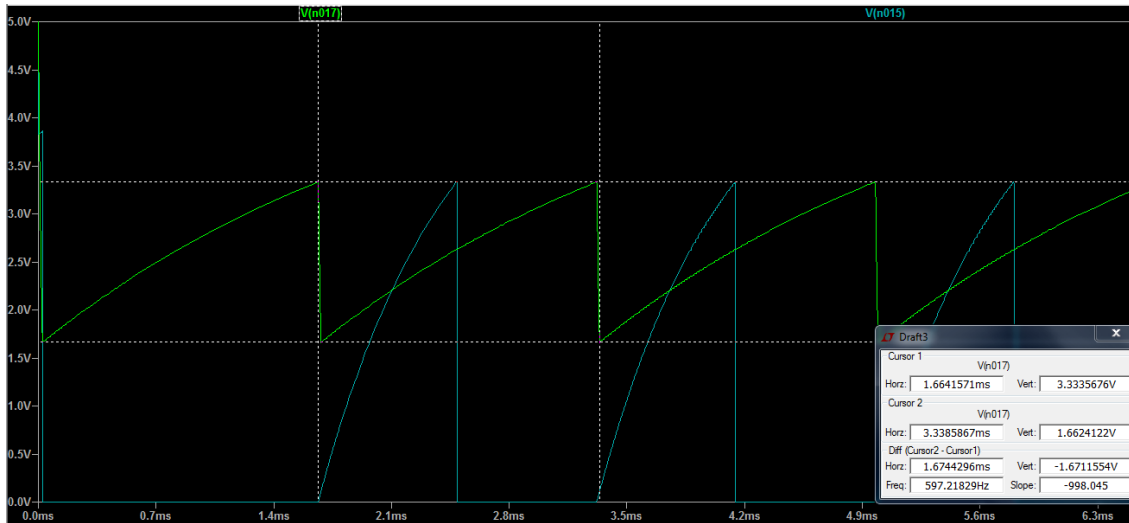
## 4 Elektriskeemi simulatsioon

Skeemi simuleerimiseks oli kasutatud tarkvara LTspice XVII. Skeemi komponendid on valitud arvutustega sarnaste parameetritega. LTspice programmis ei ole potentsiomeetri, selle asemel on valitud pingejagur, mille väärtuse muutmisel saab muuta ka impulsside laiust. Ka seal ei ole vajalikke päriooluga valgusdioode. Sellepärast olid valitud LED'id päriooluga 175mA ja päripingega 3.3 V. Joonisel 4 on toodud simuleerimisskeem:



Joonis 4. Simuleerimisskeem.

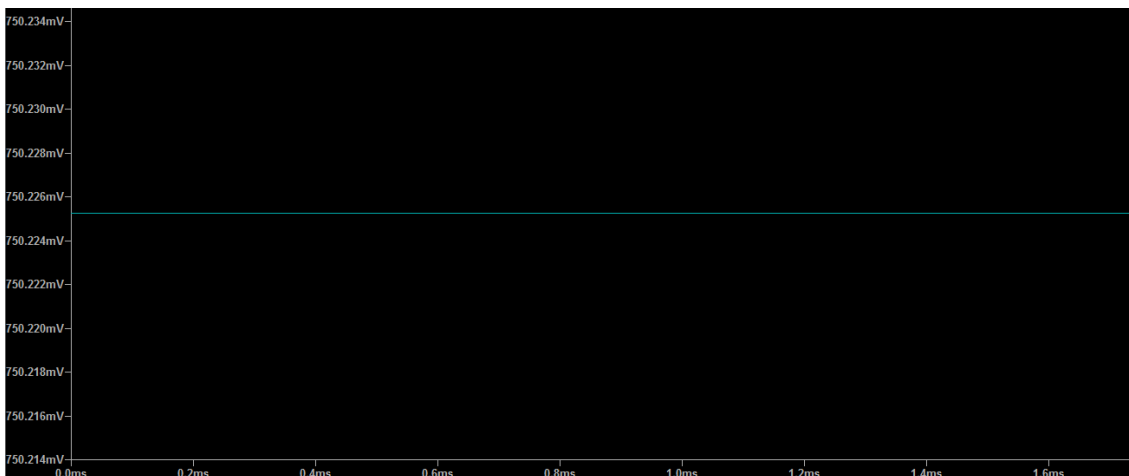
## 4.1 Taimerite kondensaatorite laadimine ja tühjendamine



Joonis 5. Taimerite kondensaatorite laadimine ja tühjendamine.

Joonisel 5 on toodud taimerite kondensaatorite laadimine ja tühjendamine. Simulatsioon kinnitas teoreetilist tööpõhimõtet, et multivibraatori kondensaator laadib ennast kuni ei ületa  $2/3V_{cc}$  ehk 3.33 V nagu on näha simulatsioonis ning hakkab tühjendama kuni ei ole alla  $1/3V_{cc}$  ehk 1.66 V. Samuti monovibraator töötab nagu oli ettenähtud ehk laadimine toimub kuni ei ületa  $2/3V_{cc}$  ning pärast on madal nivoo kuni multivibraatori kondensaator tühjendab ennast lõpuni  $1/3V_{cc}$  ning siis monovibraator hakkab uuesti ennast laadima.

## 4.2 Pinge $V_{ADJ}$ sisendil

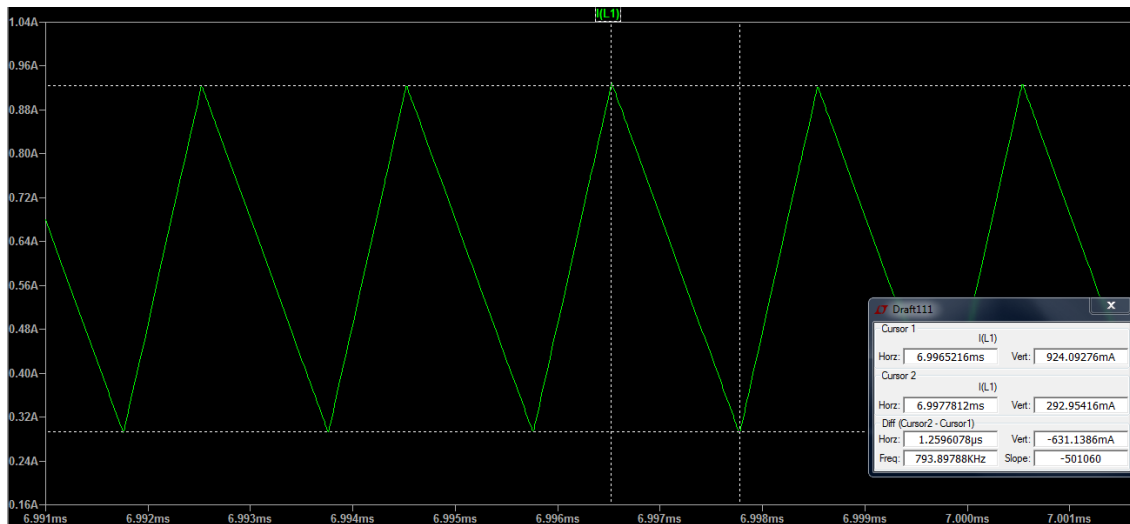


Joonis 6. Pinge  $V_{ADJ}$  sisendil.



Joonisel 6 on näha pinget  $V_{ADJ}$  sisendil, mis seadistab maksimaalset voolu valgusdiodidel. Arvutuslikult oli vaja saada 750 mV, aga kuna oli võetud mitte täpne takisti ehk lähim nominaalsuurus, siis see võib olla põhjuseks, miks simuleerimisel on saadud tulemus 750.225 mV.

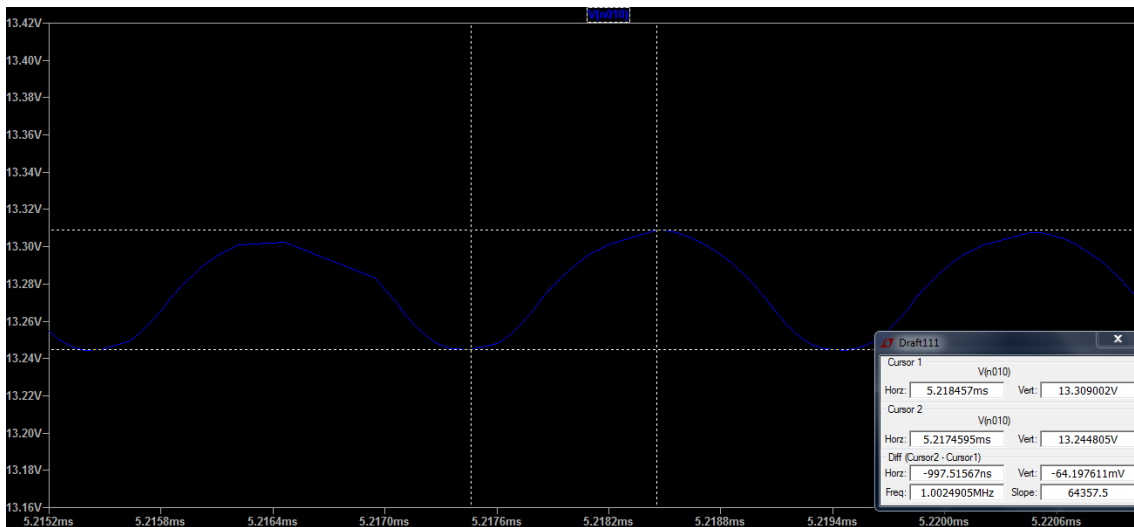
### 4.3 Vool drosselil



Joonis 7. Vool drosselil.

Joonisel 7 on kujutatud simuleerimisest saadud vool drosselil. Arvutuse käigus maksimaalne vool drosselil oli saadud 915 mA, simuleerimisel aga 924 mA, kuid see on päris ligilähedane tulemus. Samuti ka voolupulsatsioonidega, arvutuslikult oli saadud 630 mA, aga simuleerimisel 631 mA, mis on väga täpne tulemus. Simulatsioon kinnitas, et arvutused olid tehtud õigesti ning seade töötab vastavalt nende arvutustele.

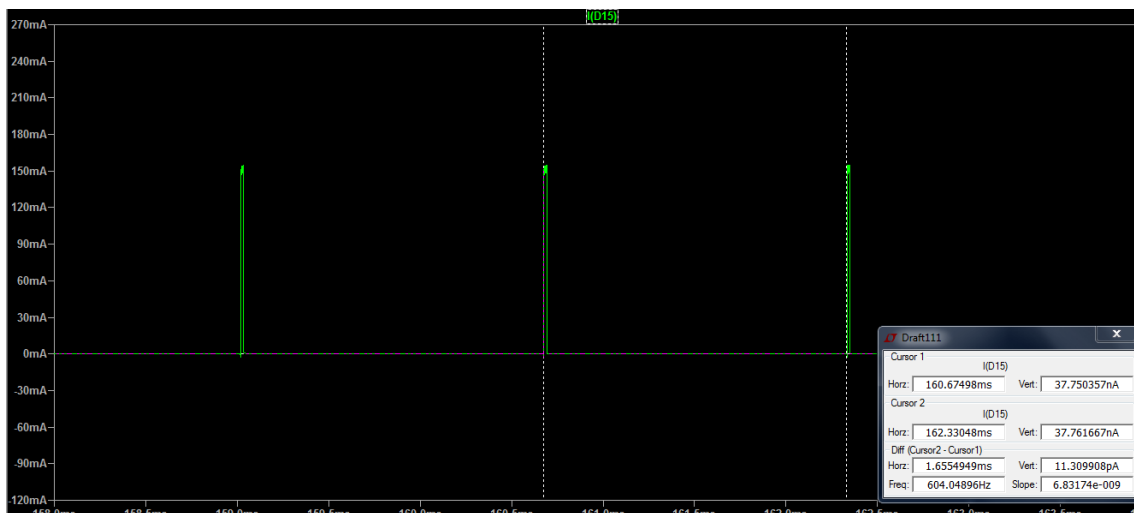
#### 4.4 LED driver'i väljundpinge ja selle pulsatsioonid.



Joonis 8. LED driver'i väljundpinge ja selle pulsatsioonid.

Joonisel 8 on kujutatud saadud väljundpinge ja selle pulsatsioonid, mis näitavad, et Ripple on 64 mV, aga see on väiksem, kui arvatud 86 mV. See pole probleem, kuna väljundkondensaator vähendab rohkem pulsatsioone, kui oli nõutud. Simuleerimisel väljundpingeks on saadud 13.30 V, mis on ligilähedane arvutuslikule 13.3605 V.

#### 4.5 LED driver'i sagedused ja väljundvoolud



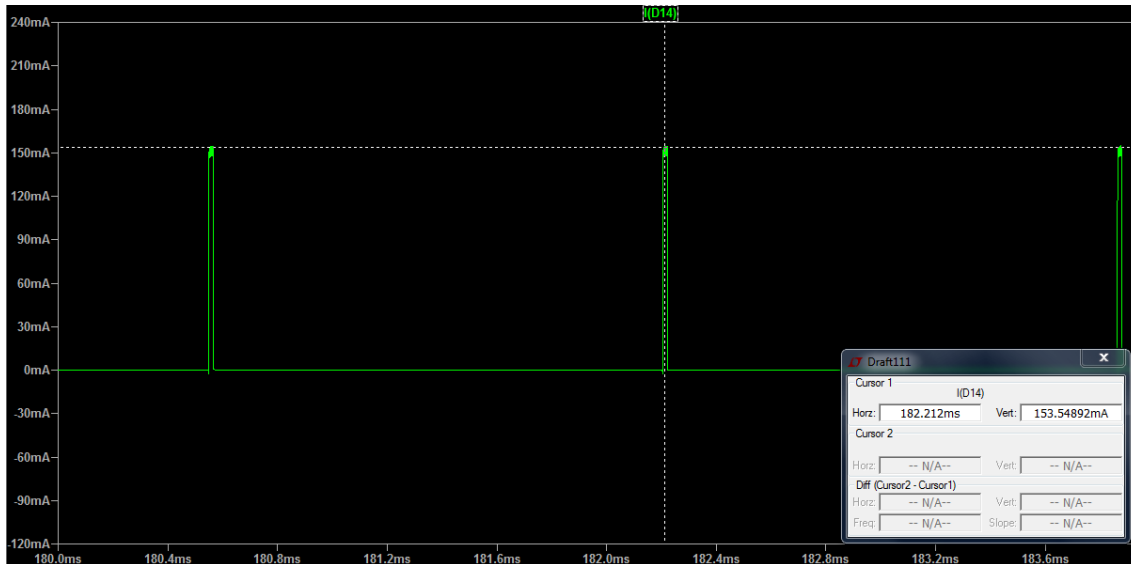
Joonis 9. Sagedus valgusdioididel, kui potentsiomeeter on asendis 0  $\Omega$ .

Joonisel 9 on kujutatud valgusdioidide vool ühel jadal, kui potentsiomeeter on minimaalses asendis ehk võrdub 0  $\Omega$ . Simuleerimisel on saadud 604.05 Hz, mis on väiksem, kui arvatud 606.06 Hz. Aga see võib olla tingitud sellest, et kursorid graafikul on mitte täpselt paigaldatud või taimerite mudelid programmis töötavad mitte

suure täpsusega. Ka arvutuste järgi pidi täitetegur olema 0% ehk signaal on madala nivooga. Simuleerimisel on saadud kõrge impulss, mis on 0.017 ms ning kogu periood 1.655 ms. Simuleerimisel on saadud täitetegur arvutatav valemiga (3.6):

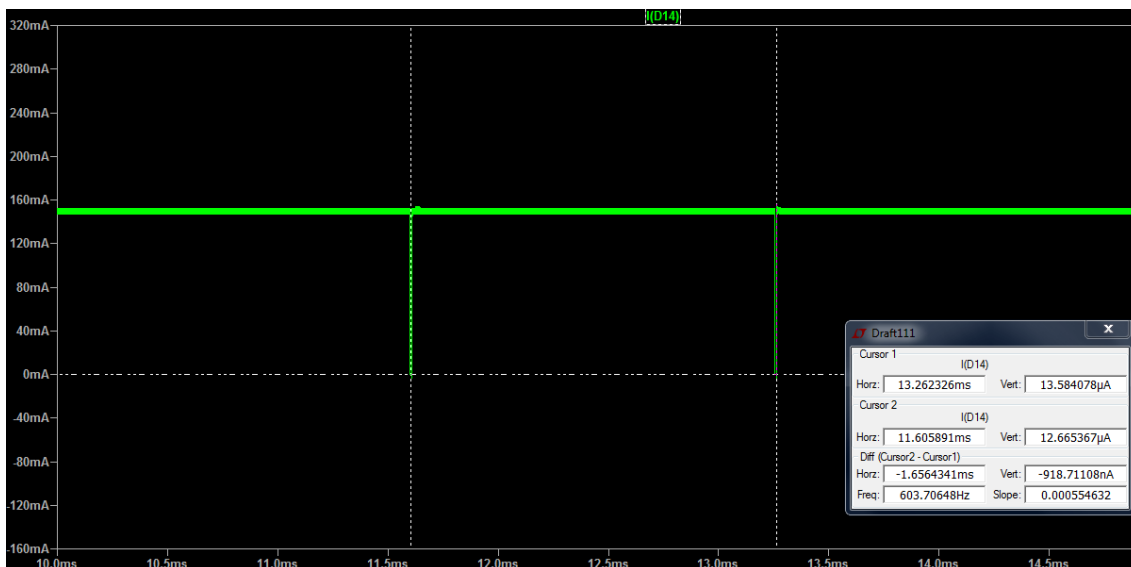
$$D = \frac{0.017 \text{ ms}}{1.655 \text{ ms}} \times 100\% = 0.00102 \times 100\% = 1\% \quad (4.1)$$

Järelikult reaalne heleduse reguleerimine algab 1%.



Joonis 10. Väljundvool LED'idel, kui potentsiomeeter on asendis 0 Ω.

Joonisel 10 on toodud väljundvool LED'idel minimaalse täiteteguri korral. Simuleerimisel on saadud 153.55 mA.

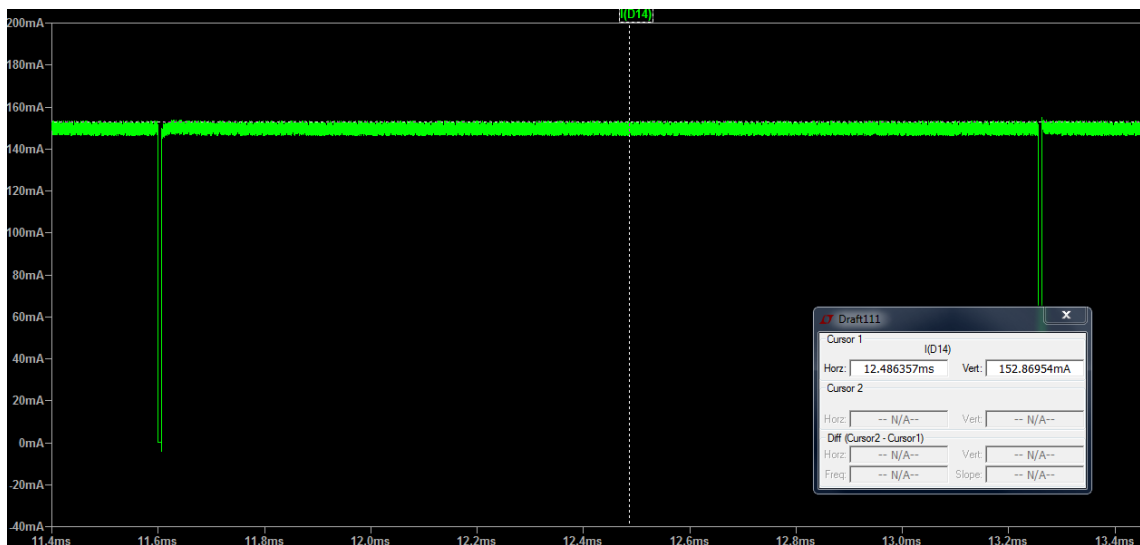


Joonis 11. Sagedus valgusdioodidel, kui potentsiomeeter on maksimaalses asendis ehk 150kΩ.

Joonisel 11 on kujutatud valgusdiodide vool ühel jadal, kui potentsiomeeter on maksimaalses asendis ehk võrdub 150 kΩ. Simuleerimisel on saadud 603.706 Hz, mis on väiksem, kui arvutatud 606.06 Hz. Arvutuste järgi pidi täitetegur olema 100% ehk signaal on kõrge nivooga. Simuleerimisel on saadud kõrge impulss, mis on 1.6496 ms ning kogu periood 1.6564 ms. Simuleerimisel on saadud täitetegur:

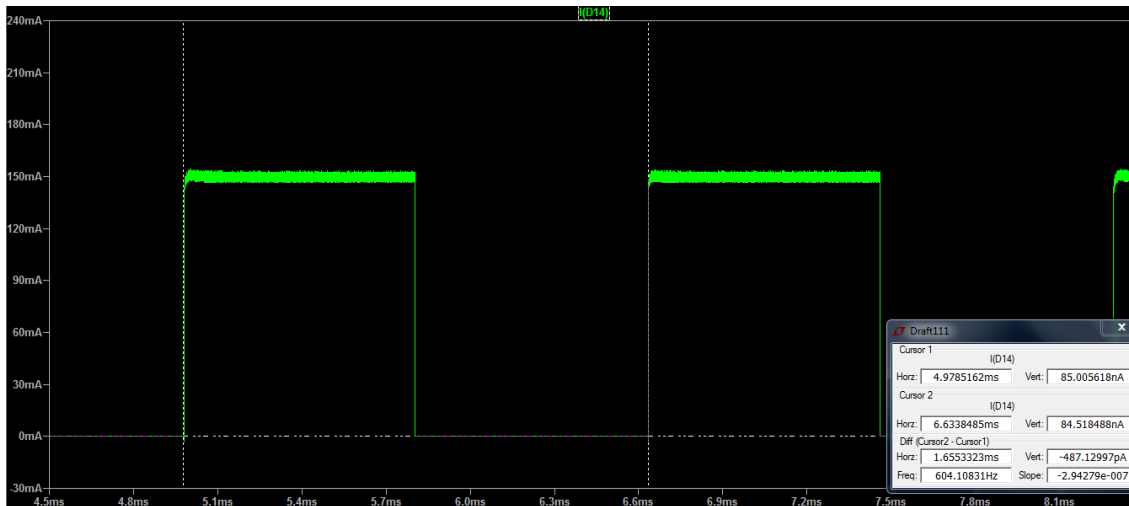
$$D = \frac{1.6496 \text{ ms}}{1.6564 \text{ ms}} \times 100\% = 0.996 \times 100\% = 99.6\% \quad (4.2)$$

Järelikult reaalne maksimaalne heleduse reguleerimine on kuni 99.6%.



Joonis 12. Väljundvool LED'idel, kui potentsiomeeter on maksimaalses asendis ehk 150 kΩ.

Joonisel 12 on toodud väljundvool LED'idel maksimaalse täiteteguri korral. Simuleerimisel on saadud 152.87 mA.

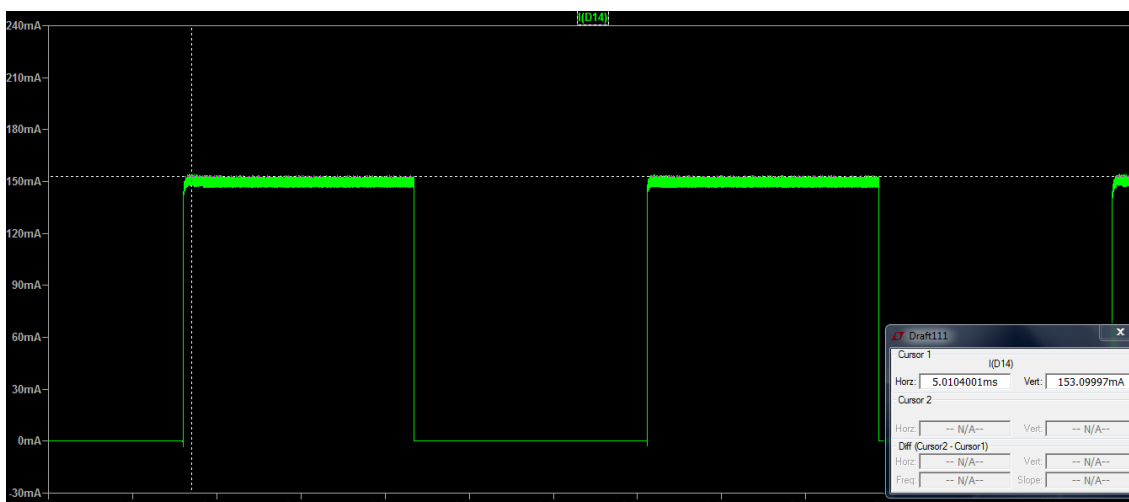


Joonis 13. Sagedus valgusdioodidel, kui potentsiomeeter on keskel ehk  $75\text{ k}\Omega$  asendis.

Joonisel 13 on kujutatud valgusdioodide vool ühel jadal, kui potentsiomeeter on keskel ehk võrdub  $75\text{ k}\Omega$ . Simuleerimisel on saadud  $604.108\text{ Hz}$ , mis on väiksem, kui arvutatud  $606.06\text{ Hz}$ . Arvutuste järgi pidi täitetegur olema  $50\%$ . Simuleerimisel on saadud kõrge impulss, mis on  $0.827\text{ ms}$  ning kogu periood  $1.6555\text{ ms}$ . Simuleerimisel on saadud täitetegur arvutatav:

$$D = \frac{0.827\text{ ms}}{1.6555\text{ ms}} \times 100\% = 0.499 \times 100\% = 50\% \quad (4.3)$$

Järelikult, kui potentsiomeeter on seadistatud keskel, siis see genereerib impulsse täiteteguriga  $50\%$ , mis on sarnane arvutusliku tulemusega.



Joonis 14. Väljundvool LED'idel, kui potentsiomeeter on keskel ehk  $75\text{ k}\Omega$  asendis.

Joonisel 14 on toodud väljundvool valgusdioodidel  $D=50\%$  korral, mis võrdub  $153.10\text{ mA}$ .

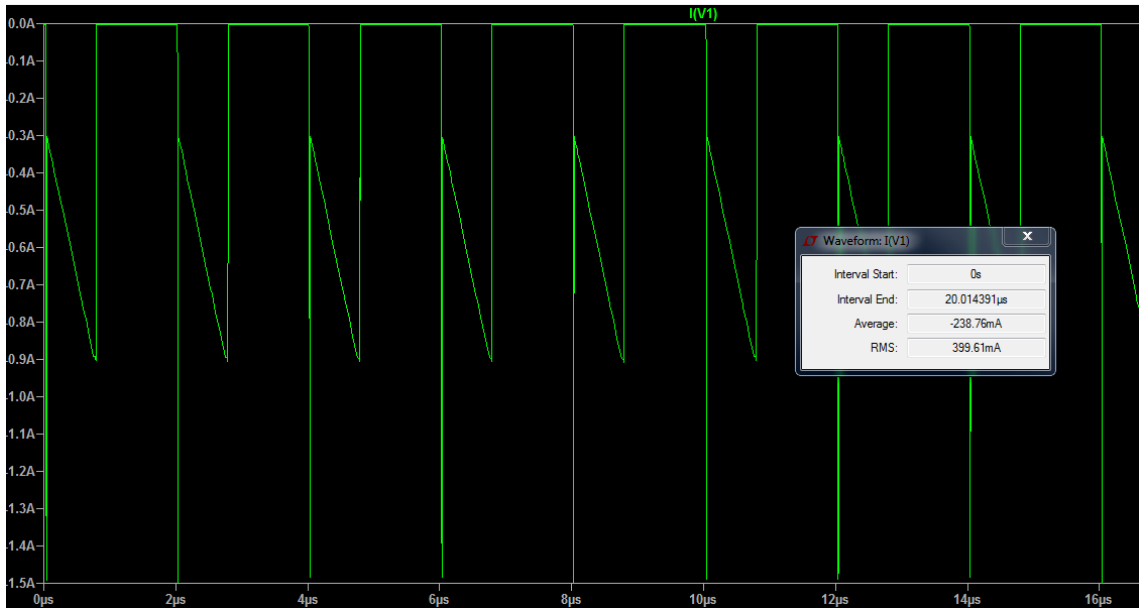
Tabel 3. Väljundvool ühel valgusdiodide jadal erinevate sisendpingete ja täitetegurite korral.

D [%]	V <sub>in</sub> [V]	I <sub>Ix4</sub> [mA]
1	36	153.55
	26	153.82
	16	153.06
50	36	153.10
	26	152.38
	16	151.45
99.6	36	152.89
	26	152.43
	16	151.39

Tabelis 3 on toodud simuleerimise teel saadud voolud ühel valgusdiodide jadal erinevate sisendpingete ja täitetegurite korral. Tulemustest võib järeldada, et väljundvool muutub, aga mitte kriitiliselt ning on vahemikus 151-154 mA, mis vastavalt ülesannele on lubatav.

#### 4.6 LED driver'i kasutegur

Leiame LED driver'i kasuteguri, et saada teada, kui efektiivselt töötab projekteeritud seade. Selle leidmiseks oli kasutatud simuleerimisest saadud väljundpinge 13.30 V ja erinevate sisendpingete korral keskmised sisendvoolud.

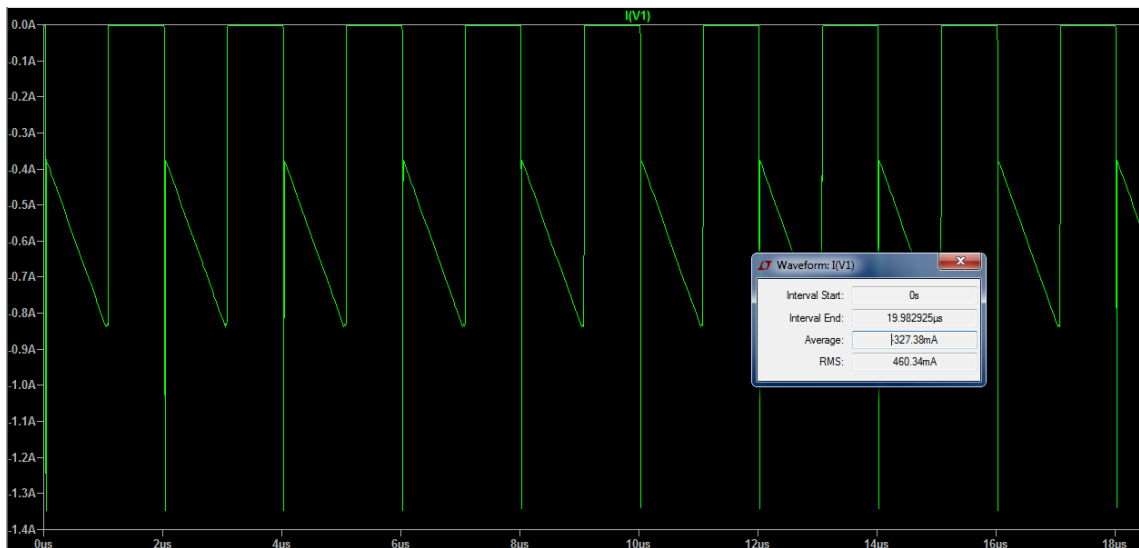


Joonis 15. Keskmine sisendvool 36 V sisendpingel.

Joonisel 15 on kujutatud keskmine sisendvool 36 V sisendpinge korral. On saavutatud keskmiseks sisendvooluks 0.239 A. Arvutame kasuteguri valemi (4.4) abil:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{13.3 \text{ V} \times 0.6 \text{ A}}{36 \text{ V} \times 0.239 \text{ A}} \times 100\% = \frac{7.98 \text{ W}}{8.604 \text{ W}} = 0.927 \times 100\% = 92.7\% \quad (4.4)$$

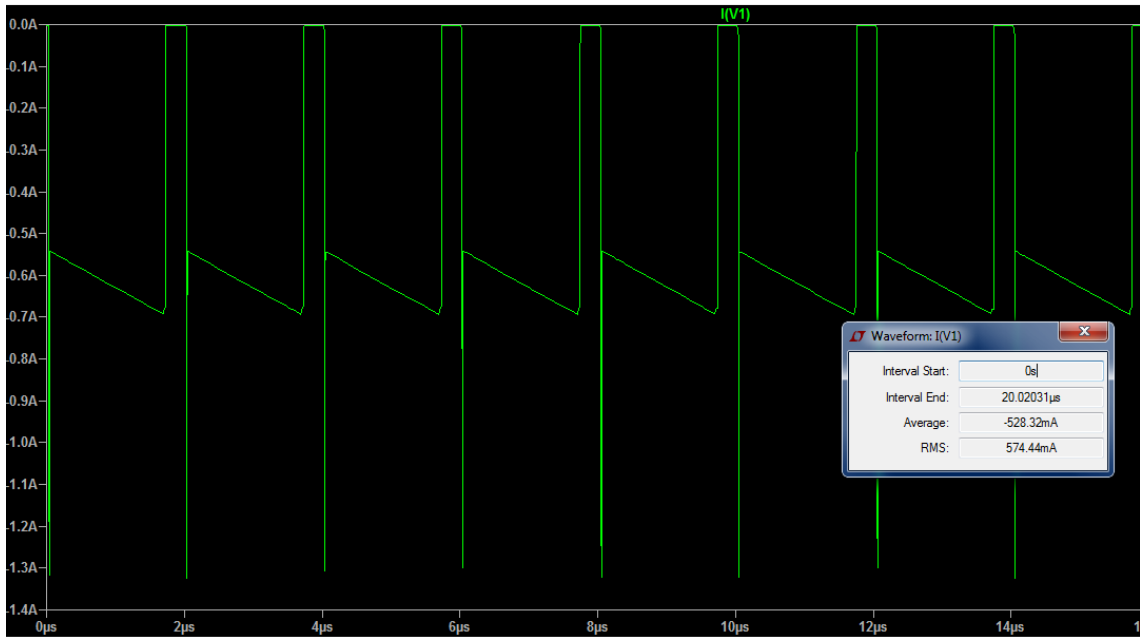
kus  $P_{out}$  on väljundvõimsus [W],  $P_{in}$  on sisendvõimsus [W].



Joonis 16. Keskmine sisendvool 26 V sisendpingel.

Joonisel 16 on kujutatud keskmine sisendvool 26 V sisendpinge korral. On saavutatud keskmiseks sisendvooluks 0.327 A. Arvutame kasuteguri valemi (4.5) abil:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{13.3 \text{ V} \times 0.6 \text{ A}}{26 \text{ V} \times 0.327 \text{ A}} = \frac{7.98 \text{ W}}{8.502 \text{ W}} = 0.9386 \times 100\% = 93.86\% \quad (4.5)$$



Joonis 17. Keskmine sisendvool 16 V sisendpingel.

Joonisel 17 on kujutatud keskmine sisendvool 16 V sisendpinge korral. On saavutatud keskmiseks sisendvooluks 0.528 A. Arvutame kasuteguri valemi (4.6) abil:

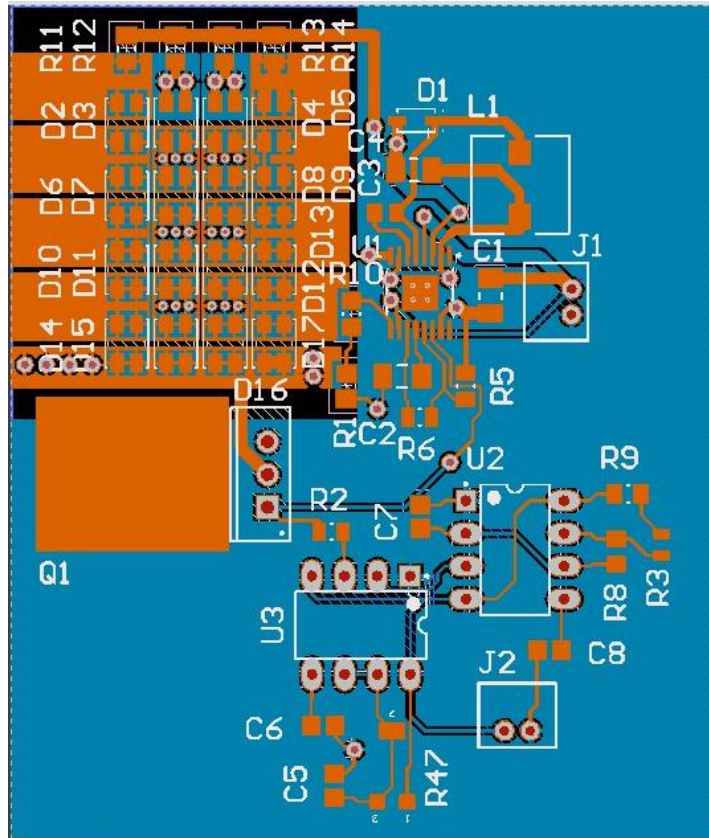
$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{13.3 \text{ V} \times 0.6 \text{ A}}{16 \text{ V} \times 0.528 \text{ A}} = \frac{7.98 \text{ W}}{8.448 \text{ W}} = 0.9446 \times 100\% = 94.46\% \quad (4.6)$$

LED driver'i kasutegur on üle 90% erinevate sisendpingete korral ning võib teha järeldust, et see töötab väga efektiivselt.

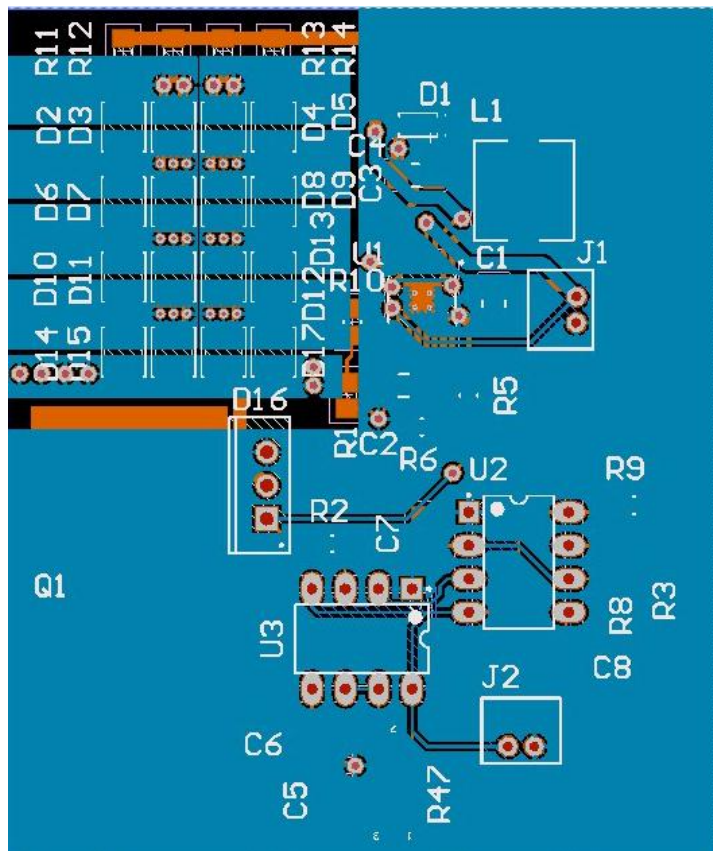


## 5 Trükkplaadi disain

Trükkplaadi projekteerimiseks oli kasutatud vabavaraline tarkvara CircuitMaker. Trükkplaat on kahekihiline. Toide ühendamiseks olid kasutatud konnektorid. Toide, GND, valgusdiodide ja drosseli korral rajad peavad olema võimalikult laiad kuna on tegemist suuremate vooludega. Radade laius on arvestatud maksimaalse neid läbiva voolu järgi ning võetud 1mm, mis lubab läbida 1 A voolule. Kuna suur osa seadmet läbiv vool on alla 200 mA, siis nende ühenduste jaoks olid valitud 0.25 mm rajad. Vastavalt andmelehele [3] olid võetud X7R tüüpi keraamilised kondensaatorid, töösageduse määrava takistile on lisatud eraldi GND, drossel ja kondensaatorid on võimalikult mikroskeemi lähedal. Tulemusena plaadi suurus on 54.50 mm x 64.50 mm. Joonisel 18 on toodud trükkplaadi ülemine kiht ja joonisel 19 alumine:

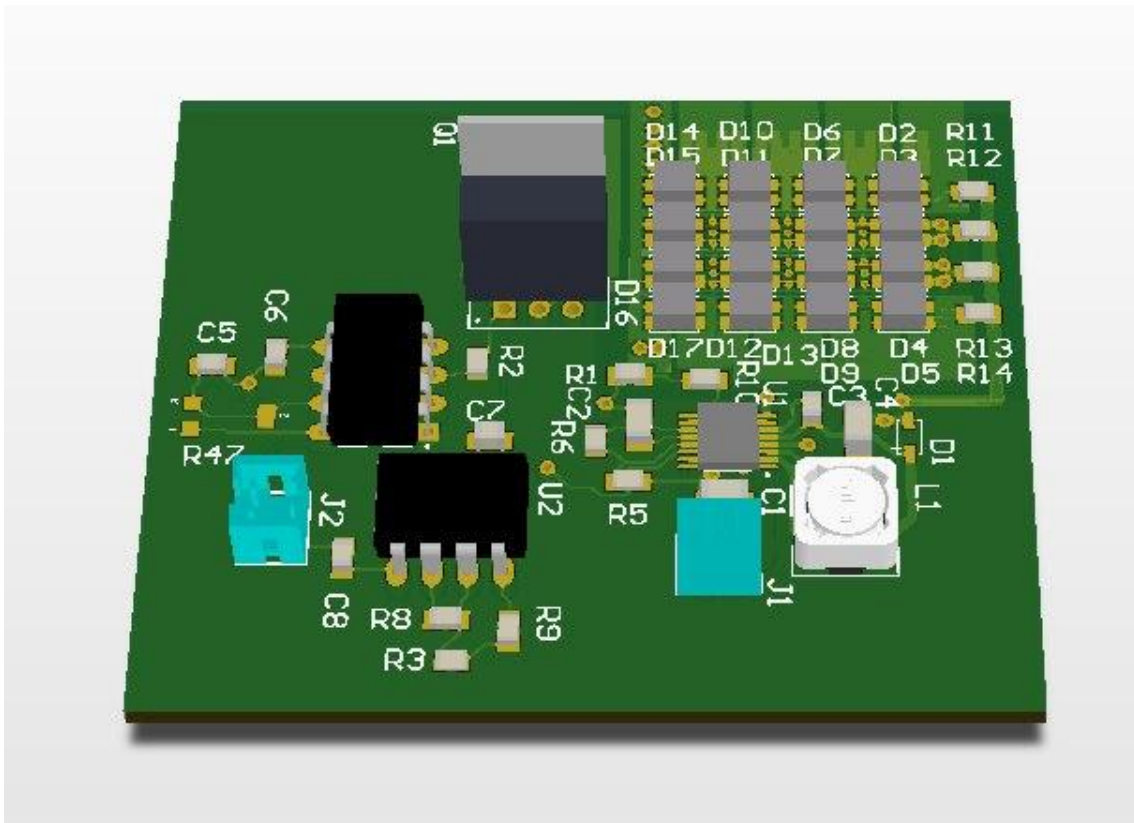


Joonis 18. Trükkplaadi ülemine kiht.



Joonis 19. Trükkplaadi alumine kiht.

CircuitMaker tarkvaras on võimalus analüüsida projekteeritud trükkplaadi kolmemõõtmelises mudelis. See funktsioon on kasulik selleks, et hinnata komponentide paigaldust ning võimalikke raskusi, mis võivad tekkida trükkplaadi valmistamisel. Joonisel 20 on saadud kolmemõõtmeline mudel:



Joonis 20. Trükkplaadi kolmemõõtmeline mudel.

## 6 Majanduslik osa

Projekteeritud leedvalgusti komponendid on saadavad Mouser'i poest. Hinnakiri on arvutatud vastavalt 13.05.2017 kuupäevale ning on esitatud tabelis 4:

Tabel 4. Trükkplaadi komponentide hinnakiri.

Nimetus	Väärtus	Korpus	Kogus, tk	Tüki hind, €	Hind kokku, €
<b>Takistid</b>					
Panasonic ERJ6ENF7502V	75 kΩ	0805	1	0,0261	0,0261
Vishay CRCW08055K60FKEA	5.6 kΩ	0805	1	0,094	0,094
Vishay CRCW080510R0FKEA	10 Ω	0805	1	0,094	0,094
Vishay CRCW080510R0FKEA	100 kΩ	0805	1	0,094	0,094
Vishay CRCW08056K20FKEA	6.2 kΩ	0805	1	0,094	0,094
Panasonic ERJ- 6ENF1001V	1 kΩ	0805	2	0,094	0,188
Vishay CRCW080510K0FKEA	10 kΩ	0805	1	0,094	0,094
Vishay CRCW08051R00FKEA	1 Ω	0805	4	0,094	0,376
Vishay CRCW080515K0FKEA	15 kΩ	0805	1	0,094	0,094
<b>Potentiomeeter</b>					
Bourns Inc. 3269W-1-154	150 kΩ		1	4,57	4,57
<b>Kondensaator</b>					
Murata Electronics GRM31CR72A225KA73L	2.2 μF 100V	1206	2	0,594	1,188
Murata Electronics GRM21AR72A224KAC5L	0.22 μF 100V	0805	1	0,311	0,311
Murata Electronics GCM21BR72A104KA37K	0.1 μF 100V	0805	1	0,16	0,16

Murata Electronics GCM216R72A223KA37D	0.022 $\mu$ F 100V	0805	1	0,217	0,217
Murata Electronics GCM216R72A103KA37D	0.01 $\mu$ F 100V	0805	3	0,141	0,423
<b>Drossel</b>					
Würth Electronics 7447779127	27 $\mu$ H 1.24 A 0.15 $\Omega$		1	2,02	2,02
<b>Taimer</b>					
Texas Instruments NE555PSR		SOP-8	2	0,339	0,678
<b>Konnektor</b>					
Hirose DF3-2P-2DSA(01)			2	0,45	0,90
<b>Valgusdiiod</b>					
Avago ASMT-QWBF- NKL0E	0.150 A 3.3 V	PLCC-4	16	0,79	12,673
<b>Väljatransistor</b>					
Infineon Technologies IRFZ44NPBF	55 V 41 A 17.5 m $\Omega$	TO-220-3	1	0,858	0,858
<b>LED driver</b>					
LT3474EFE#PBF		TSSOP-16	1	6,16	6,16
<b>Schottky diiod</b>					
Fairchild Semiconductor MBR0540	40 V 0.5 A	SOD-123	1	0,321	0,321
				<b>Kokku:</b>	31,64

## **Kokkuvõte**

Töö eesmärgiks oli vaja projekteerida väikese energiatarbega ja stabiilselt töötav seade, mida oleks võimalik rakendada paljudes valgustusprojektides. Vastavalt kirjeldatud struktuurskeemile oli valitud seadme elektriskeemi lahendus. Valgusdiodid olid valitud neutraalse valgustemperatuuriga, madala hinnaga ning suure valgusvooga võrreldes teiste pakutud Eesti poodides alternatiividega. PWM regulaatorina olid valitud taimerid, millega vastavalt simuleerimisele oli võimalik reguleerida heledust vahemikkus 1-99.6%. LED driver'iks oli valitud LT3474, mis lubab suure toitepinge diapasoni ning nõutud voolu seadmist. Projekteeritud LED driver'i kasutegur on üle 90% erinevate sisendpingete korral. Elektrikomponentide valik oli põhjendatud ja arvutatud vastavalt andmelehtede nõuetele. Elektriskeemi töötamist oli kontrollitud simulatsiooni teel ning oli saavutatud stabiilne vool nõutud diapasonis erinevate toitepingete ja täitetegurite korral.

Töö viimaseks etapiks oli trükkplaadi projekteerimine ja komponentide hinna arvutused. Kõik algusel püstitatud ülesanded olid täidetud ning seadet on võimalik tellida ja kasutada tootmises.

## Kasutatud kirjandus

- [1] Valgusdiod. [WWW] <https://et.wikipedia.org/wiki/Valgusdiod> (22.05.2017)
- [2] LT3474 andmeleht. [WWW] <http://cds.linear.com/docs/en/datasheet/3474fd.pdf> (22.05.2017)
- [3] Регулирование яркости света. [WWW] <http://elektrik.info/main/praktika/824-regulirovanie-yarkosti-svetodiodov.html> (22.05.2017)
- [4] NE555 andmeleht. [WWW] <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ne555.pdf> (22.05.2017)
- [5] Digi-Key Electronics. [WWW] <https://www.digikey.ee/> (22.05.2017)
- [6] Mouser Electronics. [WWW] <http://www.mouser.ee/> (22.05.2017)
- [7] Valgusviljakus. [WWW] <https://et.wikipedia.org/wiki/Valgusviljakus> (22.05.2017)
- [8] IRFZ44N andmeleht. [WWW] <https://cdn.instructables.com/ORIG/FRZ/FM2B/I64XDOJP/FRZFM2BI64XDOJP.pdf> (22.05.2017)
- [9] Цветовая температура светодиодных ламп и светильников. [WWW] <http://www.altie.ru/articles/351-tsvetovaya-temperatura-svetodiodnih-lamp-i-svetilnikov.html> (22.05.2017)
- [10] Basic 555 astable circuit. [WWW] [https://en.wikibooks.org/wiki/Practical\\_Electronics/Astables/555](https://en.wikibooks.org/wiki/Practical_Electronics/Astables/555) (22.05.2017)