

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

Řízení výkonových LED řetězců

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

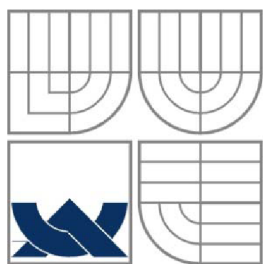
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

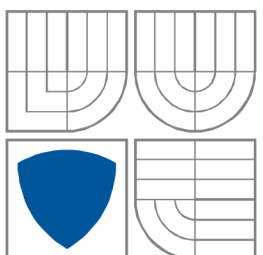
Tomáš Jaroš

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘÍCÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

Řízení výkonových LED řetězců

**THE POSSIBILITY OF COMPUTER GRAPHIC UTILIZATION AT POWER ELECTRICAL
ENGINEERING**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

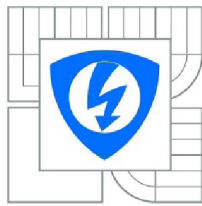
AUTHOR

Tomáš Jaroš

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Lukáš Kopečný, Ph.D.



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřicí techniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Automatizační a měřicí technika

Student: Tomáš Jaroš

ID: 134512

Ročník: 3

Akademický rok: 2013/2014

NÁZEV TÉMATU:

Řízení výkonových LED řetězců

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

V návaznosti na předchozí semestrální práci navrhnete a realizujete napájecí zdroj pro LED modul.

1. Navrhnete a popíšete elektrické schéma zařízení.
2. Zapojení realizujete (alespoň experimentálně).
3. Změřte a diskutujte parametry zdroje.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Allegro [online]. 2011 [cit. 2011-09-19]. LED Drivers. Dostupné z WWW:

<http://www.allegromicro.com/en/Products/Categories/Power_Management/LED-Drivers-Automotive.asp>.

Termín zadání: 12.2.2014

Termín odevzdání: 26.5.2014

Vedoucí práce: Ing. Lukáš Kopečný, Ph.D.

Konzultanti semestrální práce:

doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor semestrální práce nesmí při vytváření semestrální práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Práce se zabývá problematikou řízení výkonových LED diod. V úvodní části je probrána teorie a různé druhy a typy LED diod. V další části jsou probrány proudové zdroje. Jejich rozdělení a vlastnosti. Poté se zabýváme způsoby a možnostmi rozdělení proudu. V další kapitole se věnujeme spínaným zdrojům.

Hlavní částí práce je návrh zapojení pro výkonové řízení LED diod a výsledná realizace s navržením vhodného regulátoru.

Klíčová slova

LED; proudový zdroj; spínaný zdroj; mikrokontrolér; senzor osvětlení; VCNL4000; I2C

Abstract

The work deals with control of high power LED modules. The introductory part shows theory of LED diodes. Next part is dealing with source supplies, their kinds and attributes. Then we deal with possibilities of current limiting. Next chapter shows switching power supplies.

Aim of this work is to design wiring for power control LEDs and the resulting implementation by designing a suitable controller.

Keywords

LED; source supply; switching power supply; microcontroller; light sensor; VCNL4000; I2C

Bibliografická citace

JAROŠ, T. *Řízení výkonových LED řetězců*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2014. 45 s. Vedoucí semestrální práce Ing. Lukáš Kopečný, Ph.D..

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Řízení výkonových LED řetězců jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího semestrální práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této semestrální práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne

Podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu semestrální práce Ing. Lukáši Kopečnému, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne

Podpis autora

Obsah

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	8
SEZNAM TABULEK	10
1 ÚVOD.....	11
2 LED DIODY	12
2.1 PARAMETRY LED DIOD.....	12
2.2 DRUHY LED DIOD	13
2.3 VÝHODY LED DIOD	15
2.4 POUŽITÍ LED.....	15
3 ZDROJE PROUDU.....	16
3.1 IDEÁLNÍ ZDROJ PROUDU	16
3.2 REÁLNÝ ZDROJ PROUDU	17
3.3 OMEZENÍ PROUDU	18
3.3.1 OMEZENÍ PROUDU PŘEDŘADNÝM ODPOREM	18
3.3.2 OMEZENÍ PROUDU DIODAMI	19
3.3.3 OMEZENÍ PROUDU POMOCÍ ZPĚTNÉ VAZBY	20
3.3.4 OMEZENÍ PROUDU TRANZISTOREM.....	21
3.3.5 OMEZENÍ PROUDU POMOCÍ LM317	23
3.3.6 OMEZENÍ PROUDU POMOCÍ ZAPOJENÍ S OPERAČNÍM ZESILOVAČEM.....	24
3.4 SPÍNANÉ ZDROJE PROUDU	29
3.4.1 SNIŽUJÍCÍ MĚNIČ	29
3.4.2 ZVYŠUJÍCÍ MĚNIČ	30
3.4.3 BEZROZPTYLOVÝ MĚNIČ	31
4 VÝBĚR KOMPONENTŮ	32
4.1 SENZOR OSVĚTLENÍ	32
4.1.1 SENZOR OSVĚTLENÍ VCNL4000.....	32
4.2 LED DRIVER	33
4.2.1 ROZLOŽENÍ A POPIS PINŮ	34
4.2.2 POPIS FUNKCE ZAŘÍZENÍ	35
4.3 MIKROKONTROLÉR	36
4.3.1 SBĚRNICE I ² C	38
4.4 ZOBRAZOVACÍ JEDNOTKA.....	38
4.5 LED DIODY	40
4.5.1 OVĚŘENÍ SVĚTELNÉHO TOKU LED DIODY.....	40
5 NÁVRH OBVODU.....	42
5.1 STABILIZÁTOR.....	42
5.2 ZAPOJENÍ LED DRIVERU	42

5.3 ZAPOJENÍ MIKROKONTROLÉRU.....	43
5.4 NÁVRH REGULÁTORU	43
5.5 POPIS APLIKACE.....	44
5.6 HARDWEROVÉ ŘEŠENÍ.....	45
6 ZHODNOCENÍ.....	47
7 ZÁVĚR.....	51
LITERATURA	52
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....	54
SEZNAM PŘÍLOH.....	55

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1</i> Teplota chromatičnosti [2]	12
<i>Obr. 2</i> Schematická značka LED diody[3].....	13
<i>Obr. 3</i> Vnitřní struktura a realizace LED diody[4]	13
<i>Obr. 4</i> Struktura OLED diody[6]	14
<i>Obr. 5</i> Laserová dioda [9]	15
<i>Obr. 6</i> Schematické značky zdroje proudu	16
<i>Obr. 7</i> Ideální zdroj proudu se zatěžovacím odporem	16
<i>Obr. 8</i> Reálný zdroj proudu se zatěžovacím odporem.....	17
<i>Obr. 9</i> Schéma zapojení předřadného odporu	18
<i>Obr. 10</i> Voltampérové charakteristiky barevných diod[12]	18
<i>Obr. 11</i> Obvod pro omezení proudu diodami.....	19
<i>Obr. 12</i> Obvod pro omezení proudu se zpětnou vazbou.....	20
<i>Obr. 13</i> Schematické značky NPN a PNP tranzistorů.....	21
<i>Obr. 14</i> Zapojení se společným emitorem	21
<i>Obr. 15</i> Zapojení se společným kolektorem.....	22
<i>Obr. 16</i> Obvod pro omezení proudu pomocí tranzistoru	22
<i>Obr. 17</i> Popis integrovaného obvodu LM317[14]	23
<i>Obr. 18</i> Stabilizátor proudu pomocí LM317[15]	24
<i>Obr. 19</i> Schematická značka operačního zesilovače[17]	25
<i>Obr. 20</i> Schéma invertujícího zapojení	26
<i>Obr. 21</i> Schéma neinvertujícího zapojení	26
<i>Obr. 22</i> Schéma komparátoru	26
<i>Obr. 23</i> Schéma integračního členu	27
<i>Obr. 24</i> Schéma derivačního členu	27
<i>Obr. 25</i> Schéma převodníku napětí/proud	28
<i>Obr. 26</i> Omezení proudu pomocí operačního zesilovače.....	28
<i>Obr. 27</i> Blokové schéma spínaného napájecího zdroje	29
<i>Obr. 28</i> Snižující měnič	30
<i>Obr. 29</i> Snižující měnič s tranzistorem v záporné větvi	30
<i>Obr. 30</i> Zvyšující měnič.....	30
<i>Obr. 31</i> Bezrozptylový měnič.....	31

<i>Obr. 32</i>	<i>Typické zapojení snímače VLC4000[18]</i>	33
<i>Obr. 33</i>	<i>Snímač VCNL4000 od firmy SparkFun[19]</i>	33
<i>Obr. 34</i>	<i>Typické zapojení TPS61500[20]</i>	34
<i>Obr. 35</i>	<i>Rozložení pinů TPS61500[20]</i>	34
<i>Obr. 36</i>	<i>Blokové schéma TPS61500[20]</i>	36
<i>Obr. 37</i>	<i>Blokové schéma mikrokontroléru[21]</i>	37
<i>Obr. 38</i>	<i>Rozložení pinů MSP430G2452[21]</i>	37
<i>Obr. 39</i>	<i>Displej WH1602A[23]</i>	38
<i>Obr. 40</i>	<i>Zapojení displeje</i>	39
<i>Obr. 41</i>	<i>Zapojení stabilizátorů</i>	42
<i>Obr. 42</i>	<i>Zapojení obvodu s TPS61500</i>	43
<i>Obr. 43</i>	<i>Blokové schéma regulátoru</i>	44
<i>Obr. 44</i>	<i>Stavový popis aplikace</i>	45
<i>Obr. 45</i>	<i>Deska plošných spojů s modulem s TPS61500</i>	45
<i>Obr. 46</i>	<i>Návrh DPS</i>	46
<i>Obr. 47</i>	<i>Experimentální prostředí</i>	48

SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 1 Parametry obvodu LM317[15]</i>	23
<i>Tabulka 2 Porovnání snímačů osvětlení</i>	32
<i>Tabulka 3 Popis pinů displeje</i>	39
<i>Tabulka 4 Porovnání LED diod</i>	40
<i>Tabulka 5 Naměřené a vypočtené hodnoty zapojení</i>	47

1 ÚVOD

Výkonové řízení LED diod se v poslední době mnohem více začíná prosazovat na mnoha místech, jako jsou domácnosti, pouliční osvětlení, světla automobilů a podobně. Jejich nespočetnou výhodou je vysoká energetická účinnost a podstatně méně servisních zásahů.

V praxi jsou nejvíce využívány LED moduly, které vyžadují výkonné zdroje napájení. Práce se zabývá návrhem zdroje pro výkonové LED diody.

V začátku práce se zabírám technologií LED diod, jejich výhodami a použitím. V [kapitole 3](#) jsou rozebrány proudové zdroje a jejich vlastnosti. Dále jsou zmíněny možnosti omezování proudu podle způsobu provedení.

Hlavním cílem práce je navrhnout efektivního zdroje proudu pro řízení výkonových LED diod. [Kapitola č. 4](#) bude věnována správnému výběru všech potřebných komponentů, potřebné pro sestavení zapojení. Pro automatické řízení navrhne regulátor, který nám zajistí rychlou a plynulou regulaci požadované hodnoty na aktuální.

Práce se v [kapitole 4.5.1](#) zabývá ověřením a zhodnocením světelného toku námi zakoupené LED diody.

V [kapitole č. 5.1](#) je vyřešena stabilizace napětí na 5 V a 3,3 V, které jsou potřebné pro napájení logické části zapojení.

Výsledkem práce bude přeměření celého zapojení a následné dopočítání potřebných hodnot. Naměřené a vypočtené údaje prodiskutujeme a vyneseme do grafů.

2 LED DIODY

2.1 Parametry LED diod

V naší době je stále více rozšířená světelná technologie LED (Light Emitting Diode). Postupem času se stala dostatečně výkonným zdrojem světla, aby mohla nahradit klasické žárovky. Led světlo je možné mít v několika podobách můžeme jej mít jako žárovku, výbojku nebo také mohou být zasazeny v modulu atd.. Ale u každého z nich musíme rozlišit několik základních parametrů [1].

- **Světelný výkon:**

Světelný výkon se u LED diod uvádí v Lumenech (lm), čímž nám vzniká problém ve srovnávání LED diody s obyčejnou žárovkou, která se udává ve wattech (W). Každopádně si musíme uvědomit do jakého prostředí a na jaký účel ji chceme použít. Pro srovnání světelný výkon 100 W vakuové žárovky je zhruba 1300Lm.

- **Svítivost:**

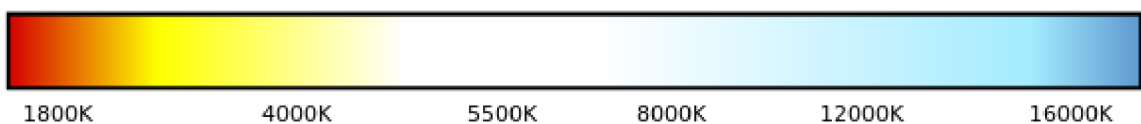
Můžeme ji charakterizovat jako hustotu světelných paprsků, která se udává s vyzařovacím úhlem. Svítivost se mimo tento základní úhel neuvádí. Svítivost se uvádí jako jedna hodnota co platí pro určitý úhel např. 45°. LED diody kvůli své poměrně nízké svítivosti se nejčastěji využívají k osvětlení místnosti či prostoru. Jednotka svítivosti je kandela (cd).

- **Světelná účinnost:**

Je to hodnota světelného výkonu na 1Watt spotřebované energie. U běžných vláknových žárovek se účinnost pohybuje v rozmezí od 10 do 18 lm/W

- **Barevná teplota:**

Barevná teplota neboli teplota chromatičnosti. Udává, jaký odstín má vyzařované světlo. Odstíny přecházejí od červeného zbarvení až do modrého. Výhodou LED diod je, že mají konstantní teplotu chromatičnosti. Oproti běžným žárovkám, u kterých se teplota chromatičnosti mění s velikostí jejich jasů. [1]

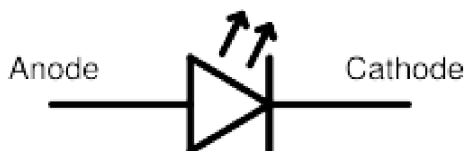


Obr. 1 Teplota chromatičnosti [2]

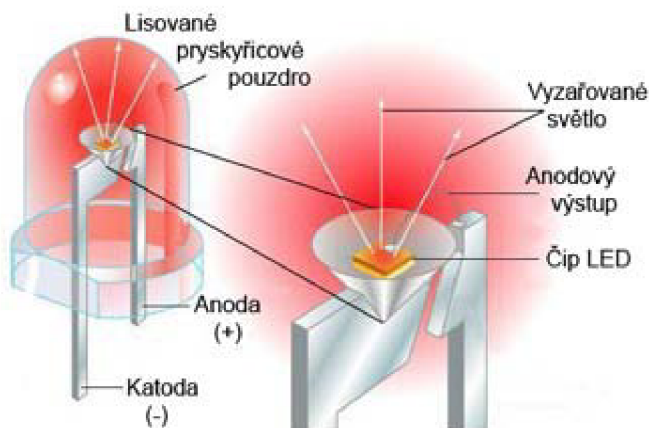
2.2 Druhy LED diod

- LED

Schematickou značku diody vidíme na Obrázku č. 2 a vnitřní strukturu a realizaci LED diody Obrázku č. 3.



Obr. 2 Schematická značka LED diody[3]

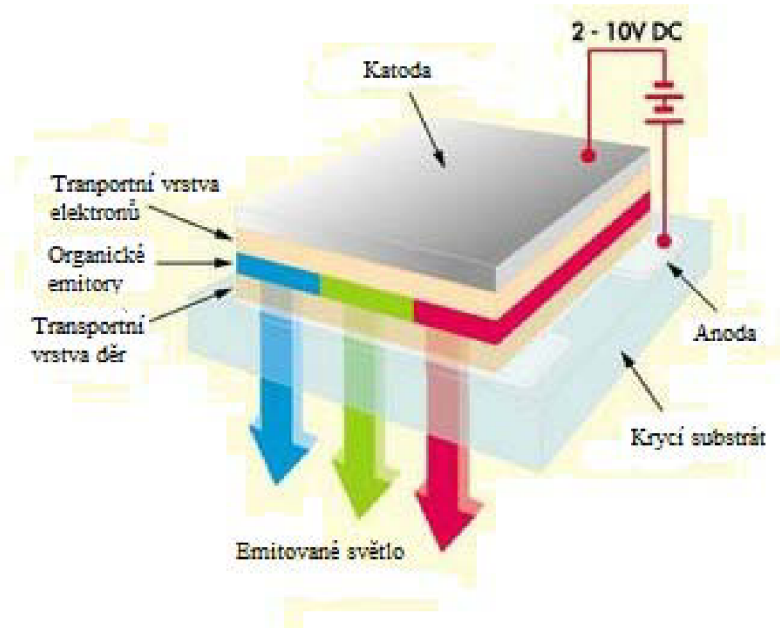


Obr. 3 Vnitřní struktura a realizace LED diody[4]

LED dioda je polovodičová součástka s jedním P-N přechodem. Skládá se z anody a katody, které jsou zataveny v průhledném vypouklém pouzdru z důvodu rozptylu světla do okolí. Pokud bude v propustném směru procházet proud tak nám dioda začne svítit. Pokud by jsme LED diodu zapojili opačně, tak nám nebude svítit z důvodu, že LED dioda má pouze jeden propustný směr. U LED diod se propustné napětí pohybuje zhruba od 0,5 V do 3 V podle toho jakou použijeme barvu.[4][5]

- OLED

OLED znamená Organic Light Emitting Diode. Jsou to polovodičové prvky, které vyzařují světlo, mají tloušťku mezi 100 nm – 500 nm. Mají sendvičovou strukturu. Jsou tvořené z několika vrstev organické hmoty na principu plastu nebo skla. Jejich strukturu můžeme vidět na Obrázku č. 4.

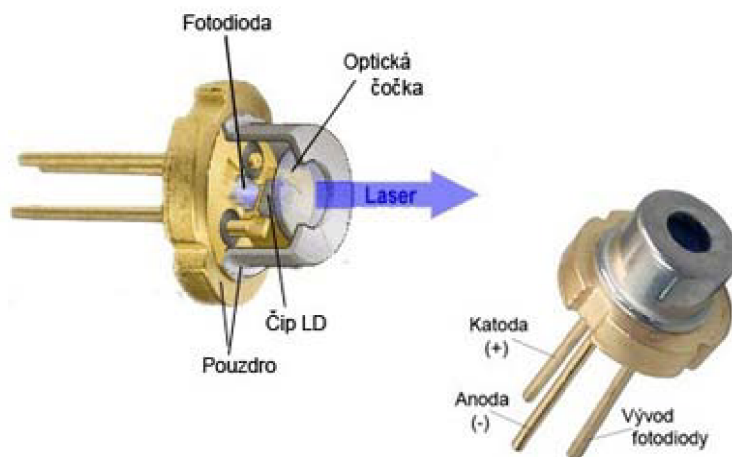


Obr. 4 Struktura OLED diody[6]

Vrchní a spodní ochranná vrstva musí být z nejsilnějších prvků, kvůli ochraně ultratenkých organických vrstev mezi nimi. Tloušťka zapouzdřených OLED se pohybuje okolo 200-250 μ m. Pomocí RGB barev se vytváří výsledné světlo. [7]

- **Laserové LED**

Laserové LED se také nazývají jako polovodičové lasery. Je to zařízení, které slouží ke generaci jednobarevného záření. Jeho uspořádání se neliší od LED, ale jeho funkce závisí na stimulované emisi. Záření je soustředěno do velice malého intervalu vlnových délek s malou rozbíhavostí. Při vzniku stimulované emise musí být přítomny dva fotony. Jeden, který je na vyšší energetické úrovni a druhý, který ji vyvolá. Foton se při naší stimulované emisi neabsorbuje jako u klasických LED diod, ale dále pokračuje s emitovaným fotonem, čímž dosáhneme zesílenému záření. Foton má uspořádaný směr, polarizaci i fázi. Jedná se o koherentní, divergentní a monochromatické záření, které je typické pro laserové diody. Důležitým parametrem funkčnosti je, aby v propustném směru tekla větší proud než prahový. Do doby, než v propustném směru proud překročí prahový proud, se bude chovat jako klasická LED dioda. Po překročení prahového proudu se bude intenzita vyzařovaného světla prudce zvyšovat, až do doby nasycení. Dále se již intenzita nezvyšuje. Dioda je v aktivním režimu. Laserová dioda může pracovat ve dvou režimech, v impulzním a kontinuálním. Impulzivní režim spočívá v nahromadění energie mezi dvěma impulzy a následném vyzáření. Délka impulzu závisí na výkonu laseru. Čím delší impulz, tím menší výkon. Kontinuální je režim nepřetržitého záření.[8]



Obr. 5 Laserová dioda [9]

2.3 Výhody LED diod

Při menší spotřebě energie jsou schopny vyprodukovat mnohem více světla, než obyčejné žárovky. Nejmodernější LED dioda je schopna vyprodukovat 100 lm/W. Což hlavně oceníme v zařízeních, které jsou napájeny bateriemi nebo v úsporných zařízeních. Nemusíme používat různých barevných filtrů, abychom dokázali vyzařovat světlo v požadované barvě. Velice praktické se stávají na místech, kde potřebujeme regulovat jejich svítivost. Při snižování jejich svítivosti se nám nemění jejich barva, na rozdíl od klasických žárovek, kde při snížení napájení nám světlo nemile žlutne. Mezi velké přednosti patří také jejich dlouhá životnost, která se udává mezi 100 000 – 1 000 000 hodin s výjimkou výkonových LED diod, kde může být jejich životnost podstatně menší. Nejčastější příčinou jejich selhání je postupné snižování jasu. Oproti běžným žárovkám, kde se většinou přeruší vlákno. Diody jsou poměrně odolné vůči mechanickým nárazům. Při jejich častém rozsvěcování a zhasínání trpí mnohem méně, než klasické žárovky, které mohou snadno shořet. Jsou malé a neobsahují rtuť [10].

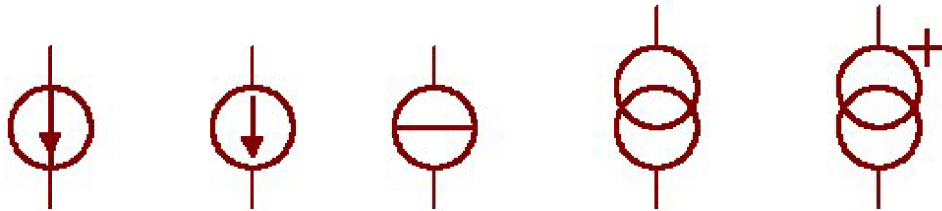
2.4 Použití LED

LED diody nás v poslední době obklopují na mnoha místech. Používáme je v architektonickém osvětlení, jako indikátory stavu různých elektrických zařízení, v automobilovém průmyslu, označení nouzových východů, různé žárovky, LED pásy a v neposlední řadě nacházejí svoje uplatnění v displejích a obrazovkách [10].

3 ZDROJE PROUDU

Následující kapitoly 3.1 a 3.2 byly čerpány z literatury: [\[11\]](#)

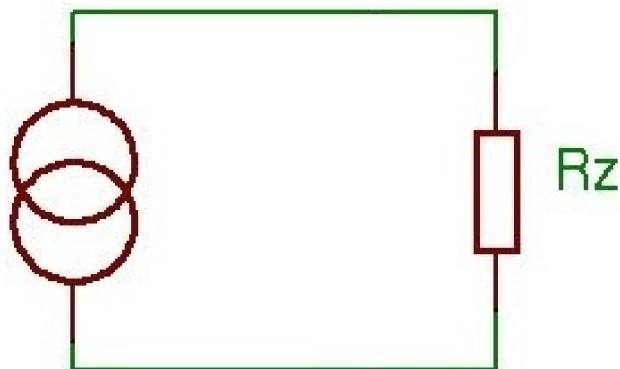
Zdroje proudu můžeme značit různými schematickými značkami, jak můžeme vidět na Obrázku č. 6.



Obr. 6 Schematické značky zdroje proudu

3.1 Ideální zdroj proudu

Ideální zdroj proudu má konstantní proud nezávisle na velikosti napětí a zátěže. Jeho vnitřní odpor je nekonečný a také napětí se blíží k nekonečnu. Na ideální zdroj nepůsobí parazitní vlivy, jako jsou např. šum, teplota.



Obr. 7 Ideální zdroj proudu se zatěžovacím odporem

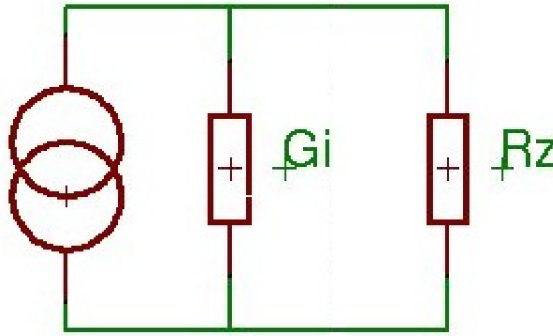
Na základě Ohmova zákona víme, že proud je roven napětí k odporu:

$$I = \frac{U}{R} [A] \tag{1}$$

Při změně našeho odporu R_z se nám bude měnit hodnota napětí U , ale výstupní proud zůstane stejný.

3.2 Reálný zdroj proudu

U reálného zdroje nemáme pouze zatěžovací odpor R_z , ale nám také přibývá ještě vodivost G_i (rezistor). Pokud vodivostí G_i protéká proud, vzniká nám na ní úbytek napětí. Tenhle úbytek napětí nám udává, jaká bude hodnota napětí na výstupu reálného zdroje proudu. Při nezatíženém zdroji proud protékající vodivostí G_i je roven proudu ideálního zdroje.



Obr. 8 Reálný zdroj proudu se zatěžovacím odporem

- Proud zdroje na krátko

$$I_k = I \quad (2)$$

- Výpočet napětí zdroje naprázdno

$$U_0 = \frac{I}{G_i} [V] \quad (3)$$

- Výpočet vnitřní vodivosti

$$G_i = \frac{1}{R} [S] \quad (4)$$

- Výpočet napětí na zátěži

$$U_{R_z} = \frac{I_{R_z}}{R_z} [V] \quad (5)$$

- Výpočet proudu tekoucího zátěží

$$I_{R_z} = I - I_{G_i} [A] \quad (6)$$

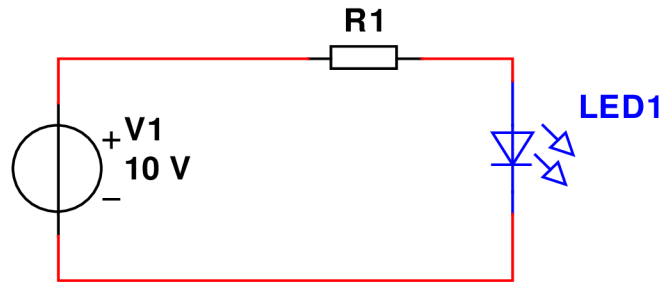
- Výpočet proudu tekoucího vnitřní vodivostí

$$I_{G_i} = U * G_i [A] \quad (7)$$

3.3 Omezení proudu

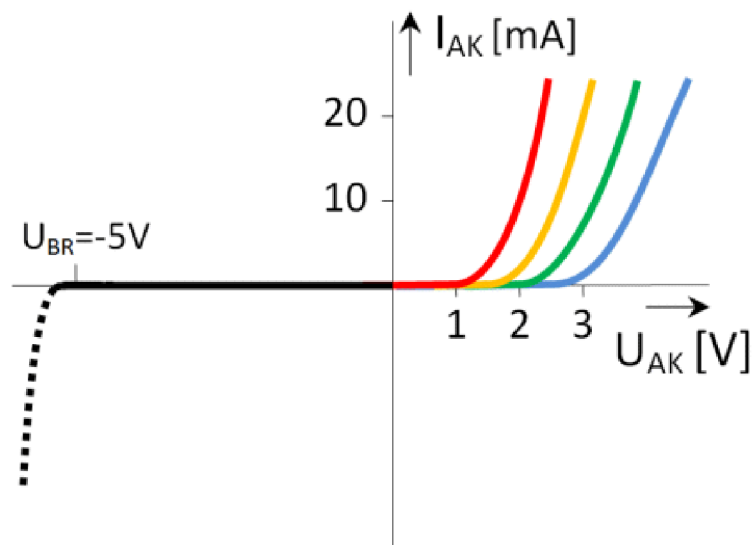
3.3.1 Omezení proudu předřadným odporem

Předřadný odpor se používá k tomu, aby omezil proud protékající diodou. Hodnota odporu musí být zvolena tak, aby proud nepřekročil maximální povolený proud, který může protékat diodou. Schéma zapojení předřadného odporu viz. Obrázek č. 9.



Obr. 9 Schéma zapojení předřadného odporu

Za LED diodu si zvolíme modrou, která má úbytek napětí 3V. Jak můžeme vidět na Obrázku č. 10



Obr. 10 Voltampérové charakteristiky barevných diod [12]

Výpočet předřadného odporu pro náš případ:

$$U_z = 10V \quad I_{\max} = 20mA \quad U_z = 7V \quad (8)$$

$$R = \frac{U_R}{I_{\max}} = \frac{7}{0,02} = 350\Omega \quad (9)$$

Vypočteme si výkon na diodě P_D a na odporu P_R :

$$P_D = U_D * I = 3 * 0,02 = 0,06W = 60mW \quad (10)$$

$$P_R = U_R * I = 7 * 0,02 = 0,14W = 140mW \quad (11)$$

Celkový výpočet výkonu:

$$P = P_D + P_R = 0,2W = 200mW \quad (12)$$

Výpočet účinnosti:

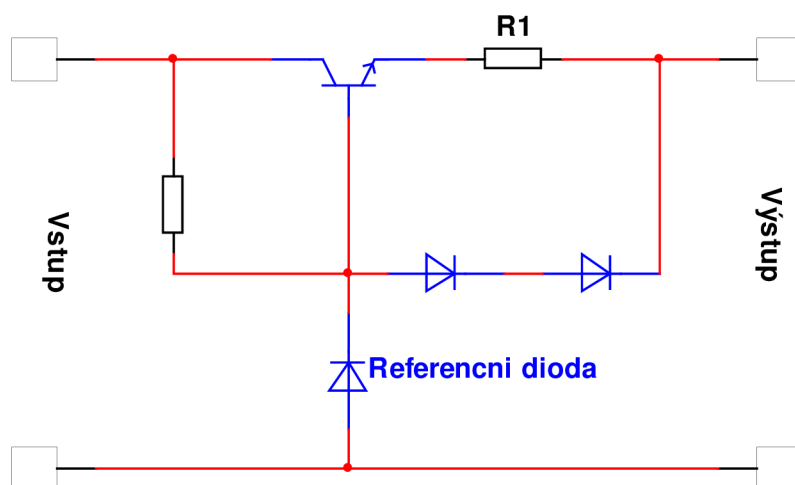
$$\eta = \frac{P_D}{P} * 100 = \frac{60}{200} * 100 = 30\% \quad (13)$$

Z našeho výpočtu jsme zjistili, že obvod je realizovatelný při našich podmínkách s odporem 350Ω , ale bohužel jsme dosáhli jen účinnosti 30%, což je poměrně málo. Varianta je sice velice levná a jednoduchá na realizaci, ale bohužel není tak efektivní.

3.3.2 Omezení proudu diodami

Následující kapitoly 3.3.2, 3.3.3 a 3.3.4 byly čerpány z: [\[13\]](#)

Zapojení na Obrázku č. 11 používá měření úbytku napětí na snímaném rezistoru, zapojeném v sérii s emitorem výkonového tranzistoru.



Obr. 11 Obvod pro omezení proudu diodami

Konstantní napětí na výstupu nám zajišťují dvě křemíkové diody zapojené do série a zároveň nám podporují funkci proudového omezení.

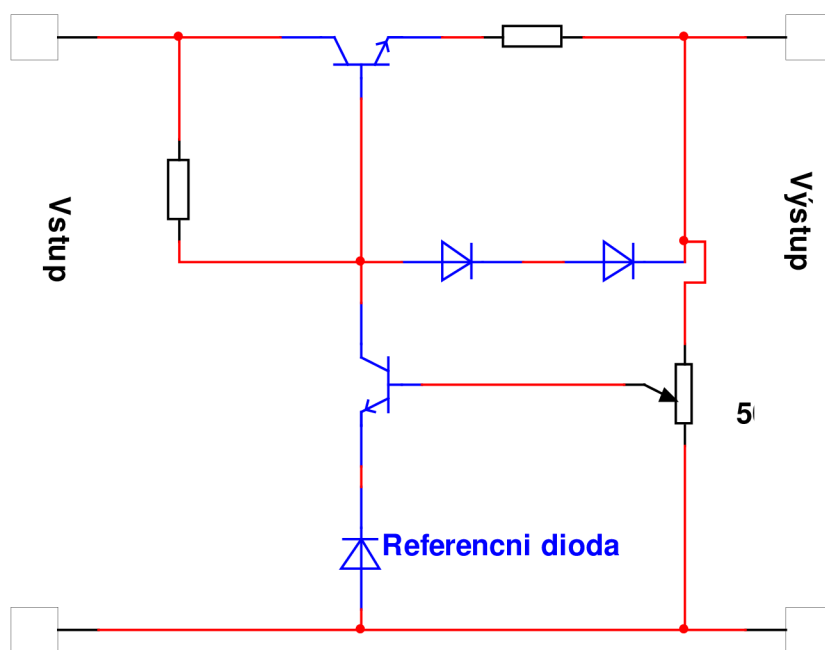
Za normálního provozu nám obvod pracuje v základním režimu. Na rezistoru dochází k malému úbytku napětí. Úbytek napětí je tak malý, že funkci obvodu neovlivňuje. Úbytek napětí včetně napětí na tranzistoru báze-emitor je menší, než konstantní úbytek napětí na dvou křemíkových diodách, které jsou momentálně uzavřené a proud nimi neprotéká.

Čím více zvyšuje napájecí proud obvodu, tím více stoupá úbytek na snímaném rezistoru.

Po dosažení úbytku napětí hodnoty přechodu obou diod, začne nimi protékat proud, který omezuje napětí na bázi výkonového tranzistoru. Následně nám dojde k omezení napětí na přechodu báze-emitor, který se začne uzavírat a tím začneme omezovat výstupní proud.

3.3.3 Omezení proudu pomocí zpětné vazby

K omezení proudu pomocí zpětné vazby využijeme zapojení na Obrázku č. 11, kde doplníme jen zpětnou vazbu, která nám zajistí mnohem přesnější regulaci výstupního napětí. Obvodem budeme tedy snímat hodnotu výstupního napětí, podle kterého můžeme regulovat výstupní proud.



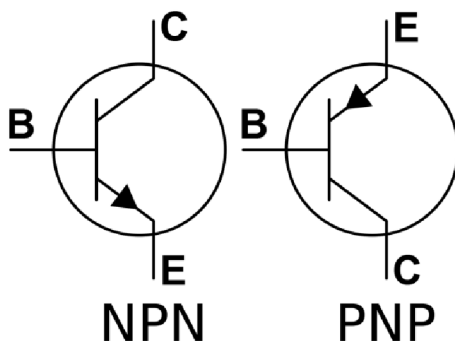
Obr. 12 Obvod pro omezení proudu se zpětnou vazbou

Omezení za pomoci zpětné vazby je ve srovnání s předchozím omezovačem na Obrázku č. 11 schopen mnohem lépe regulovat výstupní proud. Můžeme snadno kompenzovat úbytek na snímaném rezistoru, je-li dostatečný úbytek napětí na sériově zapojeném tranzistoru. Odporovým trimrem nastavujeme výstupní napětí.

3.3.4 Omezení proudu tranzistorem

3.3.4.1 Popis tranzistoru

Tranzistor je polovodičová součástka se dvěma přechody PN. Střední část krystalu tvoří báze. Od oblastí s opačnými vodivostmi je oddělují PN přechody, které označujeme jako kolektor a emitor. Oblast emitoru je zdaleka menší, než kolektoru. Tranzistory dělíme podle jejich typů vodivostí na NPN a PNP zobrazené na Obrázku č. 11.

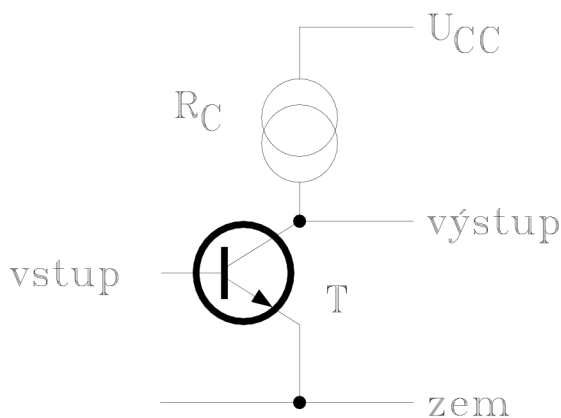


Obr. 13 Schematické značky NPN a PNP tranzistorů

Tranzistory mají dva vývody, vstupní a výstupní. Z toho plyne, že by měly mít čtyři vývody. Avšak tranzistor má pouze tři vývody (elektrody). Jedna elektroda je vždy společná dvěma obvodům. Proto také rozlišujeme zapojení tranzistoru.

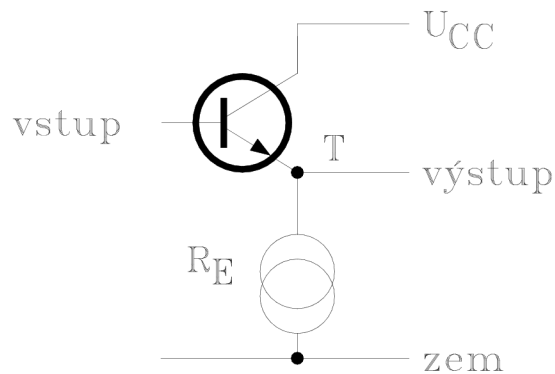
- **Zapojení se společným emitorem**

Zapojení se společným emitorem je případ, kdy potřebujeme odpor s velkým dynamickým odporem a nízkým odporem statickým.



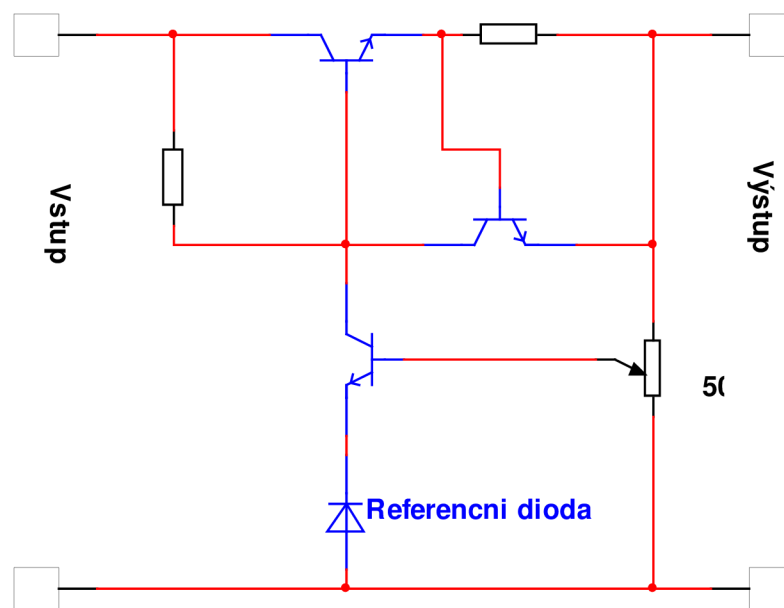
Obr. 14 Zapojení se společným emitorem

- **Zapojení se společným kolektorem**



Obr. 15 Zapojení se společným kolektorem

Při omezení proudu tranzistorem pouze upravíme předchozí zapojení na Obrázku č. 15 tím, že nahradíme dvě křemíkové diody jednoduchým tranzistorovým regulátorem na Obrázku č. 16.



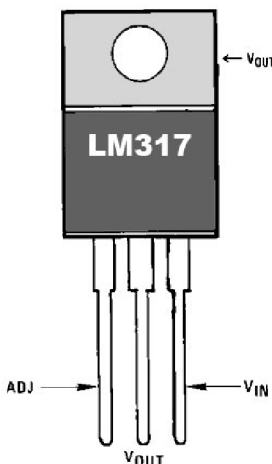
Obr. 16 Obvod pro omezení proudu pomocí tranzistoru

Výhodou obvodu na Obrázku č. 16 je, že nám stačí pouze úbytek napětí na snímaném rezistoru 0,6 V a tranzistor se začne otevírat. Poté se začne omezovat napětí na bázi výkonového tranzistoru. Vlivem omezování napětí na bázi začne docházet k omezování proudu na výstupu. Výhodou je, že doplněný tranzistor má dostatečně velkou kapacitu, aby mohl bezproblémově regulovat výkonový tranzistor. Hodnotu snímaného odporu zjistíme, že 0,6 V podělíme maximálním proudem. Vzhledem k tomu, že snímaný bod napětí je umístěn až za snímacím

odporem nebude mít jeho hodnota vliv na výstupní napětí. Úbytek napětí bude kompenzován tak dlouho, dokud bude na tranzistoru dostatečná napěťová rezerva.

3.3.5 Omezení proudu pomocí LM317

LM317 je integrovaný obvod. Patří mezi jeden z nejpoužívanějších tří svorkových stabilizátorů s možností nastavení velikosti výstupního napětí. Maximální zatěžovací proud je přibližně 1,5 A. Stabilizuje kladné napětí. Jeho opakem je LM337, která stabilizuje záporné napětí.



Obr. 17 Popis integrovaného obvodu LM317[14]

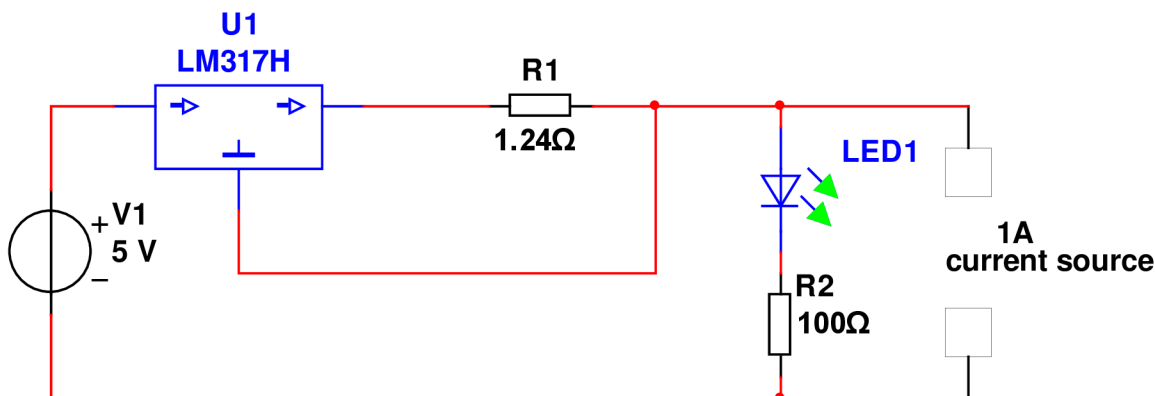
Základní parametry obvodu:

- **Výstupní proud:** 0,1 - 1,5 A záleží na přesném typu.
- **Výstupní napětí:** 1,2 – 37 V.
- 0,1% napájecí a zatížená regulace
- Plovoucí operace pro vysoké napětí.
- **Ochrany:** proudová, tepelná a SOA ochrana.

Tabulka 1 Parametry obvodu LM317[15]

Parametr	Symbol	Hodnota	Jednotka
Rozdíl mezi vstupním a výstupním napětím	$V_I - V_O$	40	V
Řídící teplota	T_{LEAD}	230	°C
Ztrátový výkon	P_D		W
Provozní rozsah teplot	T_j	0~+125	°C
Skladovací rozsah teplot	T_{STG}	-65~+125	°C
Teplotní koeficient výstupního napětí	$\Delta V_o / \Delta T$	+0.02	%/°C

Při využití integrovaného obvodu jako stabilizátoru proudu závisí na velikosti odporu zapojeného do série s výstupním obvodem. Odpor lze vypočítat pomocí Ohmova zákona. Proud na výstupu zapojení bude vždy stejný a není potřeba brát ohled na použitý napájecí zdroj, avšak výkonová ztráta na LM317 bude vždy taková, jako bychom použili předřadný odpor k diodě. Na Obrázku č.18 máme schematický obvod pro stabilizaci proudu pomocí LM317.



Obr. 18 Stabilizátor proudu pomocí LM317

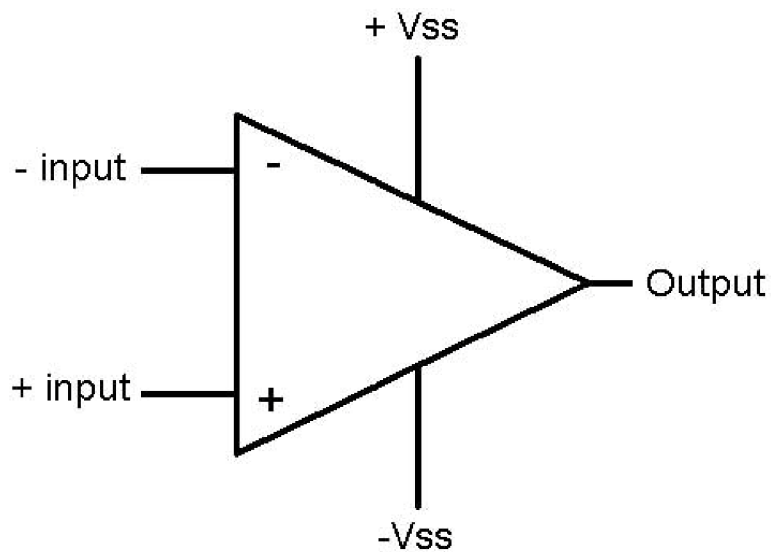
- Výpočet rezistoru R1 pro požadovaný proud na výstupu

$$R = \frac{1,25}{I_{OUT}} \quad (14)$$

3.3.6 Omezení proudu pomocí zapojení s operačním zesilovačem

3.3.6.1 Operační zesilovač[16]

Operační zesilovač je polovodičová součástka, která se vyrábí formou integrovaného obvodu, vynikající velkým napěťovým zesílením vstupního rozdílového napětí. Zesiluje střídavé i stejnosměrné napěťové signály. Ideální operační zesilovač by měl mít nekonečně velké zesílení a nekonečně velkou vstupní impedanci. Výstupní impedance by měla být nulová s nekonečně velkou rychlostí.



Obr. 19 Schematická značka operačního zesilovače [17]

Operační zesilovač má dva vstupy (invertující a neinvertující) a jeden výstup. Obsahuje také dva piny, které jsou určeny pro napájení.

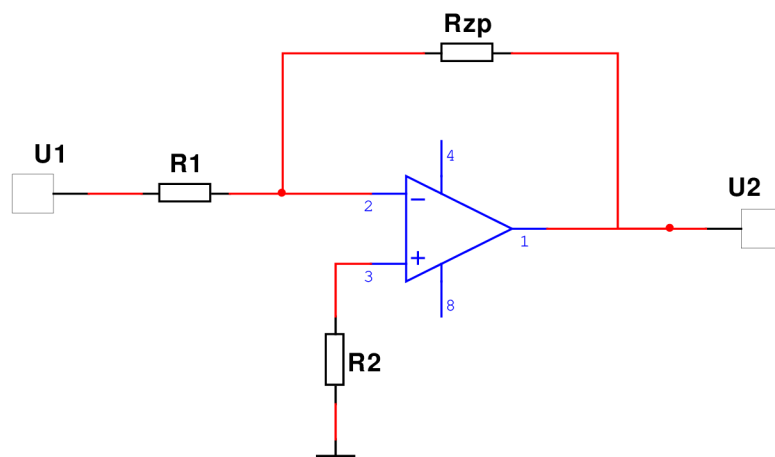
Vlastnosti operačních zesilovačů

- Velké napěťové zesílení A_u . Při reálných operačních zesilovačích je omezena velikost výstupního napětí podle velikosti vstupního napětí.
- U zesilování střídavého napětí se zesílení při vyšších kmitočtech zmenšuje.
- Operační zesilovač by měl mít co největší vstupní impedanci, nejlépe nekonečně velkou.
- Malá vlastní spotřeba řádově miliwattů.
- Mezi vstupním a výstupním napětím je fázový posun 0° nebo 180° .

Základní zapojení s OZ

- **Invertující zapojení**

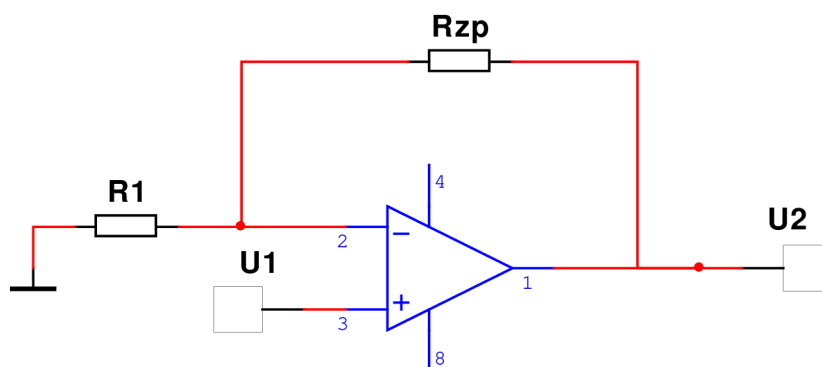
U invertujícího zapojení dochází k posunu fáze mezi vstupním a výstupním napětím o 180° . Např. pokud máme na vstupu kladné napětí, dostaneme na výstupu zesílené záporné napětí a obráceně.



Obr. 20 Schéma invertujícího zapojení

- **Neinvertující zapojení**

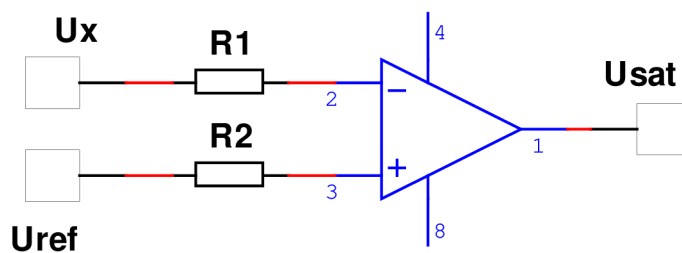
Vstupní napěťový signál je ve fázi se zesíleným napěťovým signálem. Na výstupu máme vždy napětí stejné polarity, jako na vstupu, jenom je zesílené.



Obr. 21 Schéma neinvertujícího zapojení

- **Komparátor**

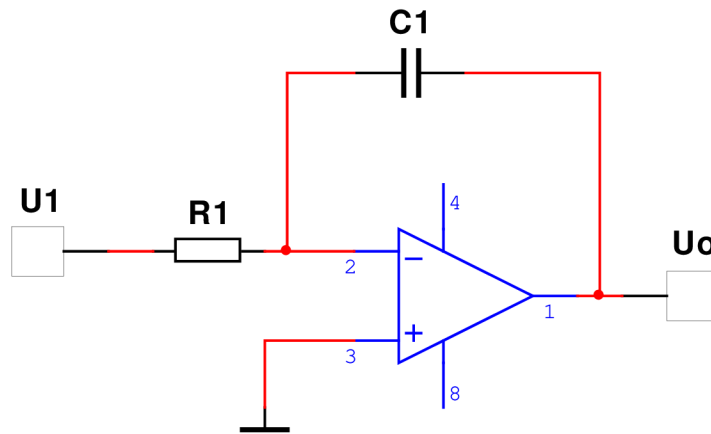
Používá se k porovnání dvou napěťových signálů. Používá se v obvodech číslicových voltmetrů. Převádí analogové hodnoty měřeného signálu na digitální.



Obr. 22 Schéma komparátoru

- **Integrační člen**

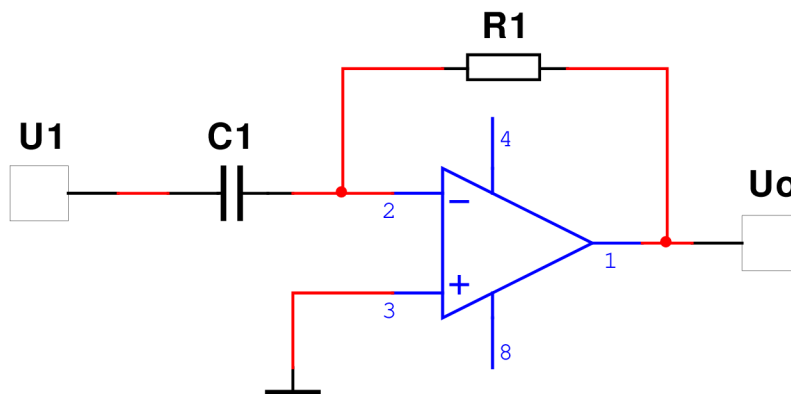
Po přivedení skokově proměnného napětí na operační zesilovač např. obdélníkový průběh, na výstupu získáme přibližně trojúhelníkový průběh vlivem nabíjení a vybíjení kondenzátoru, který je zapojen ve zpětné vazbě.



Obr. 23 Schéma integračního členu

- **Derivační člen**

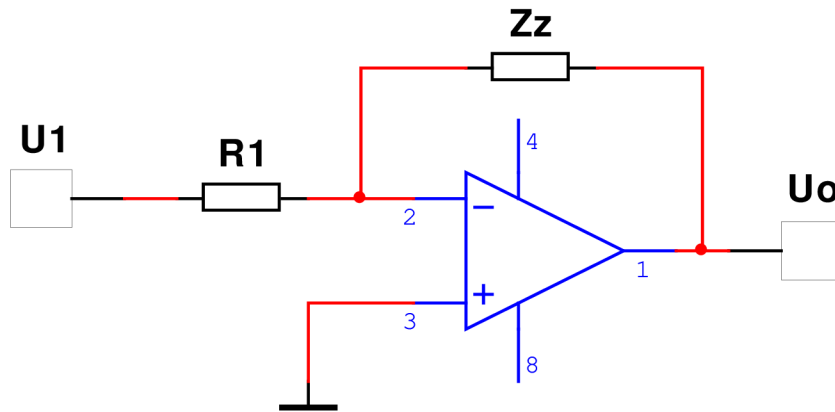
Jeho využití je v elektronických regulačních obvodech.



Obr. 24 Schéma derivačního členu

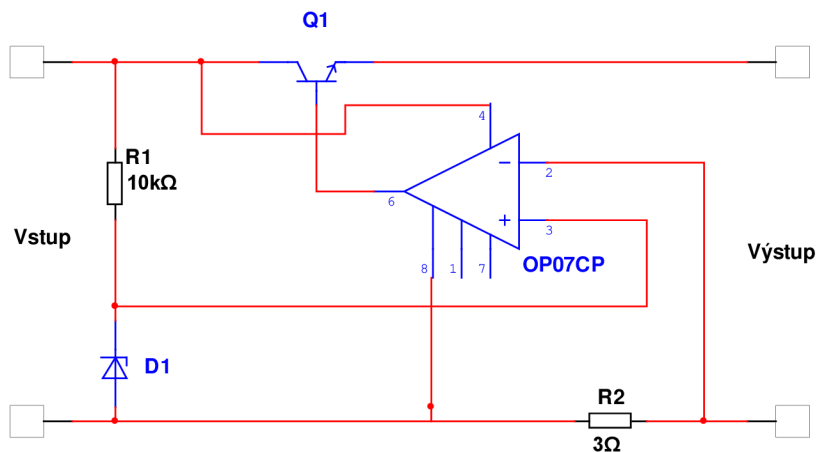
- **Převodník napětí/proud**

Využití najde v aplikacích, kde je potřeba zdroj konstantního proudu, jehož velikost je nutné řídit napětím.



Obr. 25 Schéma převodníku napětí/proud

Zapojení s operačním zesilovačem funguje na principu porovnávání známého napětí na zenerově diodě a úbytku napětí na sériově připojeném rezistoru o malé hodnotě. Operační zesilovač je na Obrázku č. 26 zapojen jako komparátor, který řídí tranzistor Q1. Pro zvýšení účinnosti je možné použít zenerovu diodu o menší hodnotě a zároveň zmenšit sériově připojený odpor. Další z možností je zesílení zpětné vazby pomocí dalšího operačního zesilovače, ale se zvyšujícím se zesílením se nám zesiluje i nežádoucí rušení. Návrh zapojení na Obrázku č. 26 provedeme tak, že zenerovu diodu zvolíme (např. 3 V) a R2 vypočítáme, jako podíl napětí na zenerově diodě k požadovanému proudu na výstupu.

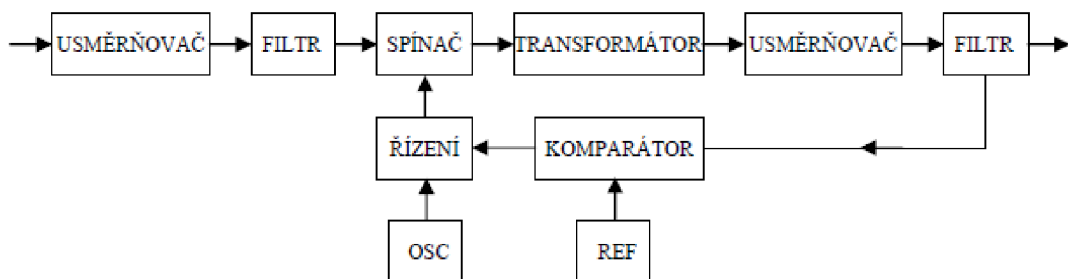


Obr. 26 Omezení proudu pomocí operačního zesilovače

3.4 Spínané zdroje proudu

Zdroje využívají střídače s bipolárními nebo unipolárními tranzistory, které pracují na vysoké frekvenci. Na řízení střídačů používáme zpětnou vazbu, která ovlivňuje frekvenci budících impulsů nebo střidu. Proto se nám zvyšuje účinnost. Nevýhodou součástek pro práci na vysokých frekvencích je jejich vysoká pořizovací cena. Nespornou výhodou spínaných zdrojů je fakt, že spínací prvky pracují ve stavech „plně otevřeno“, „plně zavřeno“. Díky tomu nevznikají citelné ztráty na prvcích spínaného zdroje a přenos výkonu do spotřebiče je ovlivněn pouze střídou spínání. Spínané zdroje lze dělit na zdroje s galvanickým oddělením a bez galvanického oddělení. V práci se budu zabývat pouze zdroji bez galvanického oddělení.

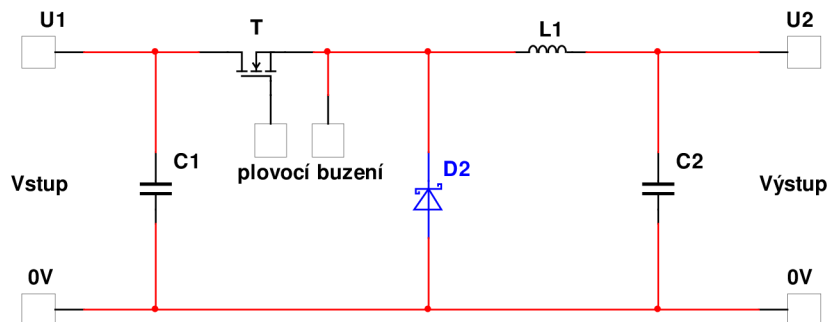
Blokové schéma spínaného zdroje je vidět na Obrázku č.10. Musíme také zmínit, že ne vždy bude blokové schéma vypadat stejně z důvodu velkého množství variant spínaných zdrojů.



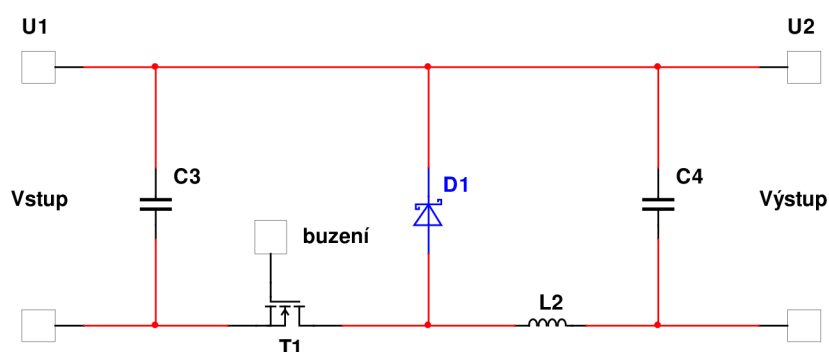
Obr. 27 Blokové schéma spínaného napájecího zdroje

3.4.1 Snižující měnič

Snižující měnič slouží ke snižování napětí. Jedná se o ekvivalentní náhradu ke stabilizátorům, jako je LM317, ale s větší efektivitou, protože se rozdíl napětí nepřeměňuje na teplo. Při sepnutí tranzistoru dochází k přechodovému jevu, kdy na začátku je na cívce rozdíl napětí U_1 a U_2 . Narůstá proud cívkou, dioda je uzavřena a v cívce narůstá energie. Při rozepnutí tranzistoru se polarita napětí na cívce otočí, dioda přejde do propustného stavu. Proud z cívky teče do kondenzátoru. Energie akumulovaná v cívce se přenáší do C_2 a do zátěže. Nevýhodou zapojení na Obrázku č. 28 je potřeba použít plovoucí buzení. S tím souvisí potřeba použití speciálních budících obvodů nebo budícího transformátoru. Problém s plovoucím buzením lze také obejít tím, že použijeme snižující měnič s tranzistorem v záporné větvi (viz. Obrázek č. 29), ale výstupní napětí nemá společnou zem a je proto nutné zapojit zpětnou vazbu pomocí optronu nebo jiného oddělení.



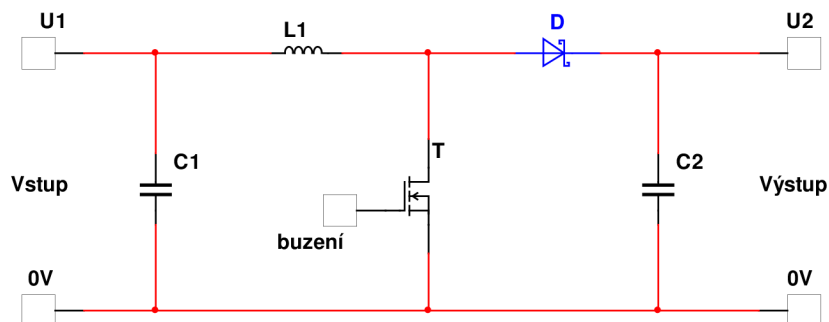
Obr. 28 Snižující měnič



Obr. 29 Snižující měnič s tranzistorem v záporné větvi

3.4.2 Zvyšující měnič

Zvyšující měnič je zapojení na Obrázku č. 30, které zvyšuje vstupní napětí $n-1$ násobně ke vstupnímu napětí. Při sepnutí tranzistoru je přiveden vstup na cívku, v cívce se akumuluje energie do té doby, než se tranzistor rozpojí. Potom se polarita napětí na cívce otočí, napětí cívky se přičte k napětí ze vstupu a proud teče přes diodu do kondenzátoru a zátěže. Energie na cívce klesá, až do té doby, než tranzistor zase sepne. Výhodou zapojení je, že tranzistor nepotřebuje plovoucí buzení. Nevýhodou je, že zapojení není odolné proti přetížení nebo zkratu, protože výstup je v podstatě spojen se vstupem.

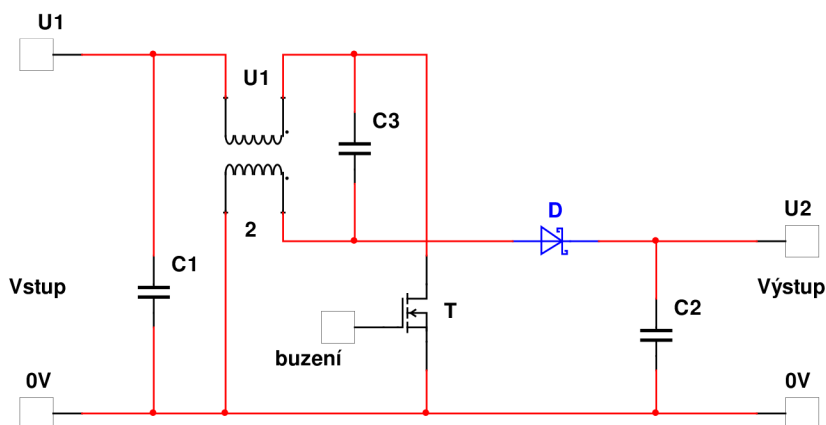


Obr. 30 Zvyšující měnič

3.4.3 Bezrozptylový měnič

Bezrozptylový měnič je zvláštní druh zapojení, které dovoluje použít vstupní napětí menší i větší, než očekáváme na výstupu. Zapojení tohoto měniče na Obrázku č.31 využívá zapojení tranzistoru bez plovoucího buzení. Na místo cívky je v zapojení použita tlumivka se dvěma vinutími. Výhodou je i to, že pokud chceme měnič provozovat v režimu zvyšujícího měniče, lze jej bez problému vypnout a není tak náchylný při zkratu na výstupu.

Zapojení bezrozptylového měniče vychází z principu spínaných zdrojů s galvanickým oddělením, ale záporné póly jsou spojeny. U tohoto zapojení se nepředpokládá velký rozdíl vstupního a výstupního napětí, a proto lze spojit kladné konce vinutí kondenzátorem s velkou kapacitou. Připojení kondenzátoru přináší několik výhod. Bude omezen rozptyl transformátoru a není proto potřeba chránit tranzistor před napěťovými špičkami. Dále se omezí povrchový jev neboli skin-efekt. Existuje také možnost zapojení, kdy je zdvojená tlumivka nahrazena dvěma samostatnými cívkami. Vazba poté probíhá jen přes kondenzátor spojující tato vinutí.



Obr. 31 Bezrozptylový měnič

4 VÝBĚR KOMPONENTŮ

Řízení LED diod budeme provádět v experimentálním prostředí osvětlené třemi LED diodami ze stropní části. Uprostřed stropu bude umístěno čidlo na snímání světelné intenzity, za jehož pomoci budeme regulovat osvětlení v daném prostoru. Velikost experimentálního prostředí bude 600x400x500 mm.

4.1 Senzor osvětlení

Snímač jsme vybírali z několika druhů, které by pro naše potřeby byly dostačující. Porovnání senzorů, z kterých jsme vybírali, jsou uvedeny v tabulce č. 2.

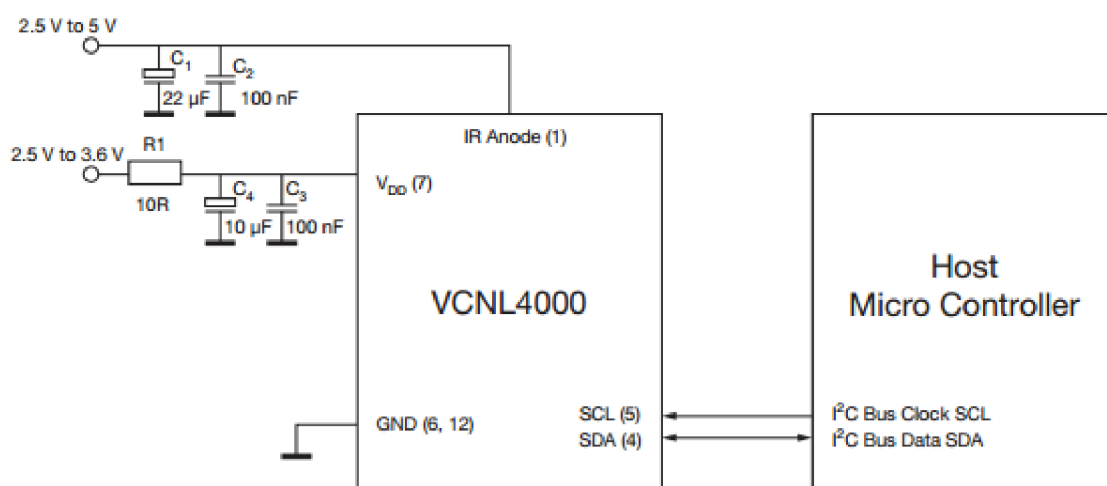
Tabulka 2 Porovnání snímačů osvětlení

Název čidla	Výrobce	Napájecí napětí U[V]	Rozsah okolního osvětlení [lux]	Rychlost odezvy [ms]	Proudový odběr [uA]	Výstup
VCNL 4000	Vishay	2,5-3,6	16353	100	1,5	Digital
LV0104CS	ONsemi	2,5-3,6	65535	200	100	Digital
TSL2560	Taos	2,7-3,6	65535	400	240	Digital
LX1977	Microsemi	3-4,5	5000	400	200	Digital
FW150	-		1000	60		Analog
BPN21	Siemens		1000			Analog

Hned ze začátku jsme vyřadili fotorezistor FW150 a fotodiodu BPN21 pro jejich malý rozsah okolního osvětlení a nižší citlivost, čímž nám zůstaly senzory pouze s digitálním výstupem. Ze zbylých senzorů jsme vybrali VCNL 4000, který je na naše potřeby dostatečně výkonný s rychlou odezvou a malou spotřebou. Ostatní dva senzory s vyšším rozsahem okolního osvětlení jsme nezvolili hlavně z důvodu pomalé odezvy a špatné dostupnosti na českém trhu.

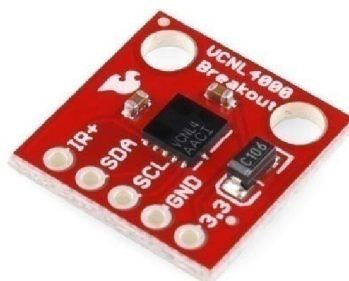
4.1.1 Senzor osvětlení VCNL4000

Jedná se o senzor okolního osvětlení a IR senzor přiblížení. Obsahuje dvanáct 8 bitových registrů pro řízení provozu a nastavení parametrů. Výsledek ukládá do vyrovnávací paměti. Všechny registry jsou přístupné přes I²C sběrnici. V pohotovostním režimu má snímač nejnižší spotřebu cca. 1,5 μ A. V tomto režimu je aktivní pouze I²C rozhraní. Měření okolního světla budeme provádět ve standardním režimu při pevně stanoveném časovém intervalu 100ms, kde se provede měření 32 hodnot, které se následně zprůměrují. Snímač bude s mikrokontrolérem komunikovat přes I²C sběrnici. Výsledné hodnoty osvětlení se budou zobrazovat na displeji v Luxech, což je intenzita osvětlení[18].



Obr. 32 Typické zapojení snímače VLC4000[18]

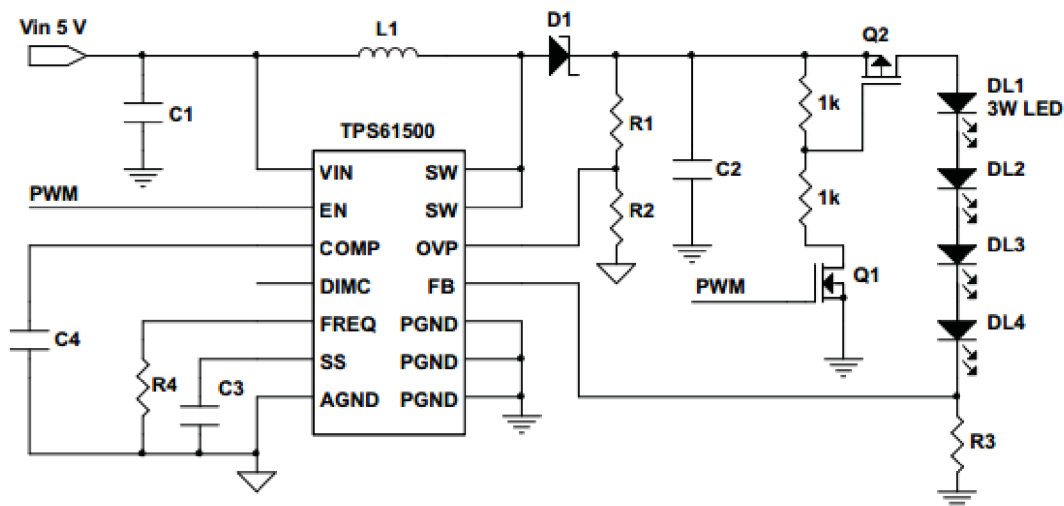
Pro velice malé rozměry snímače by byla montáž na desku plošných spojů obtížná až dokonce za našich podmínek nemožná. Proto jsme zakoupili osazený modul se snímačem od firmy SparkFun, která prodává snímač již přiletovaný na malé desce plošných spojů včetně všech potřebných vývodů.



Obr. 33 Snímač VCNL4000 od firmy SparkFun[19]

4.2 Led Driver

Výkonovou část zapojení realizujeme pomocí monolitického spínacího regulátoru TPS61500 od Texas Instruments. Zvolili jsme jej kvůli jeho vysoké účinnosti, která dosahuje až 93% a vysokému rozmezí napájecího napětí 2,9 V-18 V. Regulátor je určen převážně pro regulování jasu 1 W a 3 W LED diod. Na obrázku č. 34 je typické zapojení TPS61500 pro PWM metodu stmívání [20].

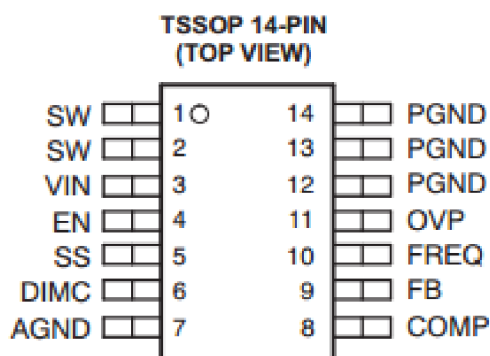


Obr. 34 Typické zapojení TPS61500[20]

Zařízení má široký rozsah vstupního napětí s ochranou proti přepětí. Proud na LED diodách nastavujeme pomocí nízké hodnoty odporu R3 a napěťové zpětné vazby. Přístroj je vybaven funkcí měkkého startu neboli soft-start z důvodu omezení spínacího proudu při startu. LED driver je vybaven tepelnou pojistkou, která při dosažení teploty 160°C jej vypne, dokud teplota neklesne aspoň o 15°C.

Regulace se provádí pomocí zpětné vazby na 200 mV k aktuálnímu režimu PWM. Ovládání jasu LED diod provádíme pomocí pulzní šířkové modulace PWM, která je generována mikrokontrolérem.

4.2.1 Rozložení a popis pinů



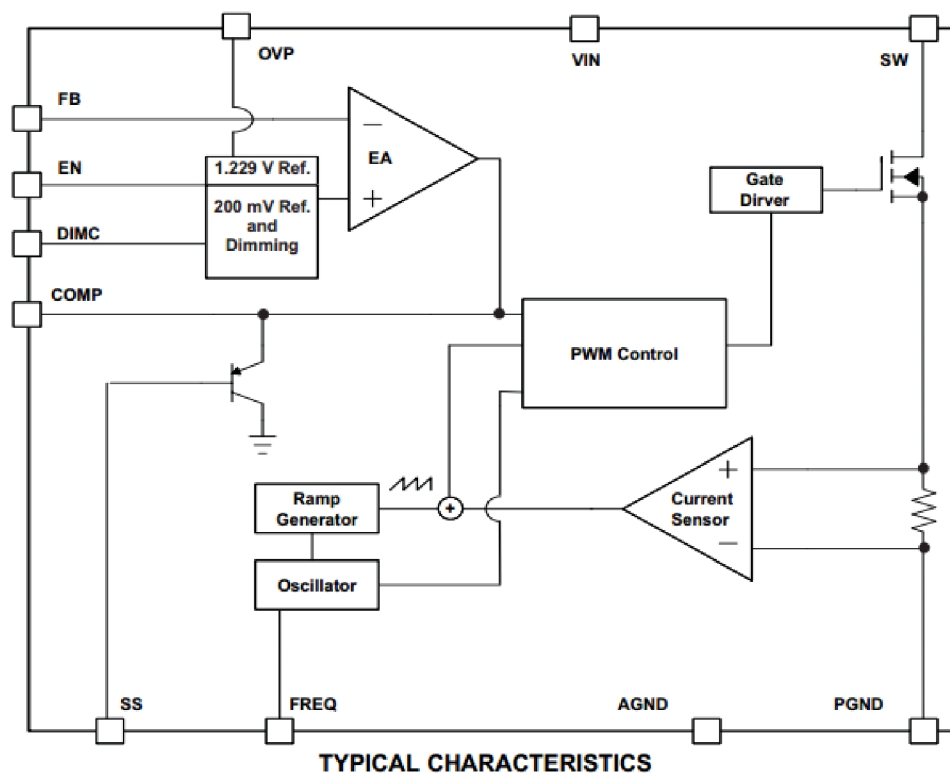
Obr. 35 Rozložení pinů TPS61500[20]

- **VIN** - přívod vstupního napětí v rozsahu 2,9 V až 18 V
- **SW** - přepínací uzel integrovaného obvodu
- **FB** - zpětná vazba
- **EN** - když se na pinu EN sníží napětí pod prahovou hodnotu na dobu delší, než 10 ms integrovaný obvod se vypne. Používá se také pro vstup PWM signálu na řízení jasu LED diod
- **COMP** - připojení externí RC sítě
- **SS** - pin pro měkký start programování
- **FREQ** - přepínání frekvence programu
- **AGND** - signálová zem integrovaného obvodu
- **PGND** - napájecí zem integrovaného obvodu
- **OVP** - ochrana proti přepětí pro LED driver
- **DIMC** - analogový způsob řízení jasu LED diod (NEZAPOJENO)

4.2.2 Popis funkce zařízení

Přístroj provádí regulaci pomocí pinu zpětné vazby na 200mV s aktuálním režimem PWM ovládání. Proud tekoucí LED diodami je snímán přes odpor s nízkou hodnotou umístěný v sérii s LED diodami.

Řídící obvod zapne přepínač na začátku každého spínacího cyklu. Vstupní napětí je aplikované přes cívku, kde uchovává energii, zatímco proud cívkou narůstá. V průběhu této části spínacího cyklu proudové zatížení zajišťuje výstupní kondenzátor. Jakmile indukční proud dosáhne na práh stanoveného výstupu chybového zesilovače, tak vypínač vypne a externí Schottkyho dioda je v propustném směru. Následně induktor převede uloženou energii na doplnění výstupního kondenzátoru a poskytne proud zátěži. Tato operace se opakuje každý spínací cyklus. Střída měniče je určena řídicím PWM komparátorem, který porovnává výstup chybového zesilovače a proudový signál. Spínací frekvence je naprogramována pomocí externího rezistoru. Náběhový signál z osciloskopu je přičten k proudové rampě. Tato kompenzace sklonu je nutná, aby se zabránilo sub-harmonickým kmitům, které jsou nedílnou součástí kontroly módu při střídě dosahující více než 50%. Zpětná vazba reguluje pin FB do referenčního napětí přes chybový zesilovač. Výstup chybového zesilovače je připojen k pinu COMP. Vnější kompenzace sítě je také připojena k pinu COMP pro optimalizaci zpětné vazby a z důvodu stability přechodové odezvy [20].



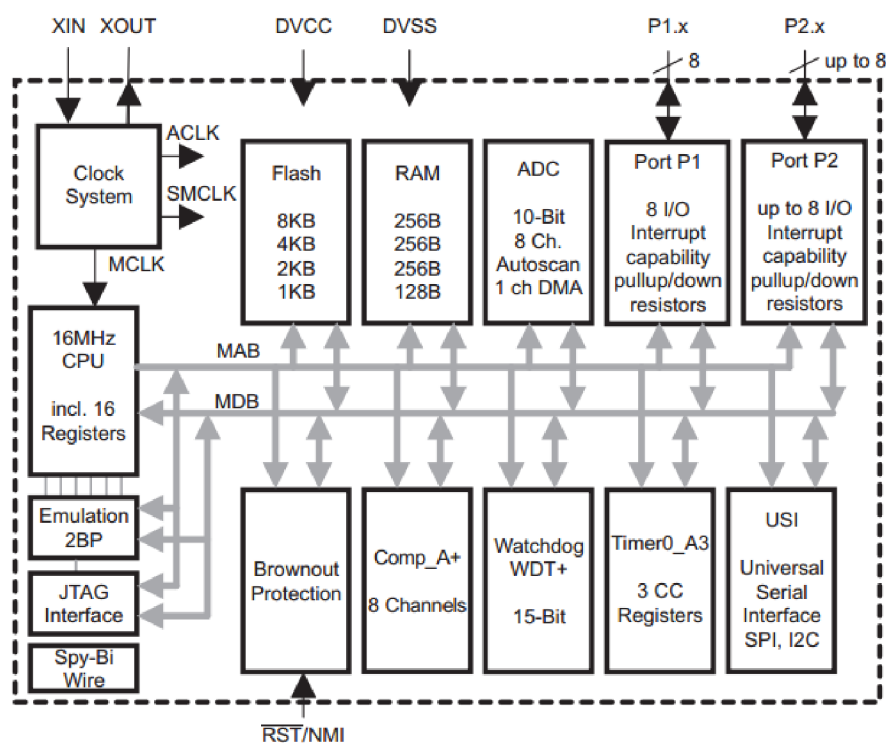
Obr. 36 Blokové schéma TPS61500[20]

4.3 Mikrokontrolér

Informace o mikroprocesoru jsme čerpaly z datasheetu, který lze najít na webu výrobce v [21]. Veškerou práci se snímačem a s daty je řízená mikrokontrolérem. Z důvodů zkušeností s mikrokontroléry od firmy Texas Instrument jsem zvolil Mikrokontrolér MSP430G2452. Hlavním důvodem zvolení této součástky bylo, že disponuje sériovou komunikací I²C, která je potřebná pro připojení snímače VNLC4000. A dostačující počet vstupních a výstupních pinů.

Mikrokontrolér se vyrábí ve více pouzdrech. Pro naše zařízení jsme zvolili 20 pinový s pouzdrem PDIP, který je pro naše potřeby dostačující, a můžeme ho pro odzkoušení snáze vložit do nepájivého pole.

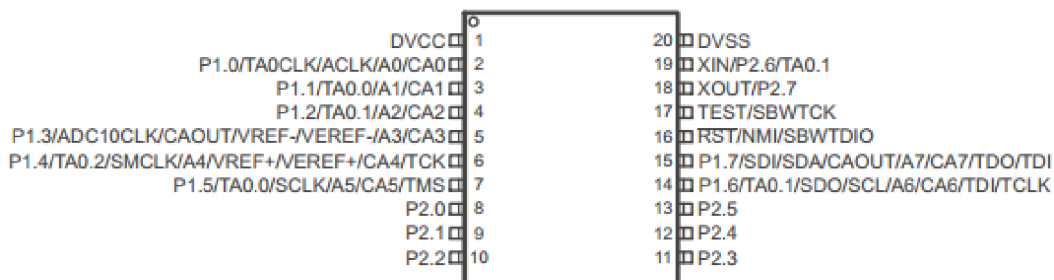
Nedílnou součástí u mikrokontroléru pro nás je možnost generování signálu PWM, kterým regulujeme svítivost LED diod. PWM signál generují pomocí časovače a dvou pomocných registrů, kde jeden udává velikost stídy a druhým se volí délka jedné periody.



Obr. 37 Blokové schéma mikrokontroléru [21]

Vlastnosti mikrokontroleru MSP430G2452

- taktovací frekvence 24MHz
- tři šestnácti bitové časovače
- 256B RAM paměti
- 14 programovatelných vstupů/výstupů s externím přerušením
- 8 kb programovatelné paměti FLASH
- 0,25 kb statické datové paměti SRAM
- dvě USI rozhraní I²C a SPI



Obr. 38 Rozložení pinů MSP430G2452 [21]

4.3.1 Sběrnice I²C

Jedná se o dvou vodičovou sběrnici typu master-slave, kterou vyvinula firma Philips. Slouží ke komunikaci a přenosu dat mezi jednotlivými integrovanými obvody. Hlavně mezi mikrokontroléry, LCD displeji, A/D a D/A převodníky, sériovými paměťmi a dalšími digitálně řízenými obvody. Hlavní výhodou je obousměrná komunikace pomocí dvou vodičů. Datový vodič pro přenos samotných dat SDA (seriál data) a časový pro přenos hodinového signálu SCL (seriál clock), čímž se převážně u mikrokontroléru optimalizují nároky na počet vstupních a výstupních pinů. Obvody jsou adresovány v základní verzi 7 bitově nebo v rozšířené verzi 10 bitově. Čímž můžeme připojit 128 respektive 1024 čipů s různou adresou na jednu sběrnici[22].

4.4 Zobrazovací jednotka

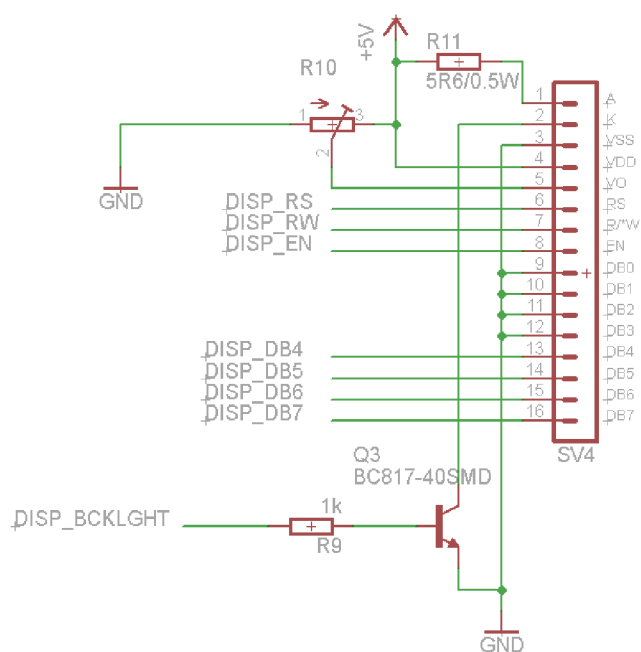
Zobrazení informací pro uživatele provádíme pomocí alfanumerického dvouřádkového LCD displeje s LED podsvícením 2x16 znaků s řadičem. Podsvícení nastavujeme pomocí externího napájení. Adresové informace se dočasně ukládají do RAM (DDRAM). Displej komunikuje s mikrokontrolérem pomocí 4 bitové sběrnice, čímž jsme ušetřili piny na mikrokontroléru, místo možné 8 bitové komunikace. Zbylé datové piny připojíme k zemi. Na připojení displeje s mikrokontrolérem slouží také ještě další řídicí vodiče R/W, RS a E. Přehled všech vývodů najdeme v tabulce č. 3.



Obr. 39 Displej WH1602A[23]

Tabulka 3 Popis pinů displeje

Číslo pinu	Symbol	Popis	Úroveň
1	A	Napájení podsvícení Anoda	-
2	K	Napájení podsvícení Katoda	-
3	V _{SS}	Zem	0 V
4	V _{DD}	Napájení logické části	-
5	VO	Provozní napětí pro LCD	Nastavitelné
6	RS	Registr výběru signálu H = Data L = vstupem je instrukce	H/L
7	R/W	H = zápis do LCD L = čtení z LCD	H/L
8	EN	Povolení signálu	H,H-->L
9	DB0	Datový bit	H/L
10	DB1	Datový bit	H/L
11	DB2	Datový bit	H/L
12	DB3	Datový bit	H/L
13	DB4	Datový bit	H/L
14	DB5	Datový bit	H/L
15	DB6	Datový bit	H/L
16	DB7	Datový bit	H/L



Obr. 40 Zapojení displeje

4.5 LED diody

Jelikož úkolem je řízení výkonových LED diod, tak jsme vybírali z několika 3 W LED diod, které pro nás budou nejvhodnější, jak svými parametry, tak i svou cenovou dostupností. Porovnání LED diod, z kterých jsme vybírali je uvedené v tabulce č. 4.

Tabulka 4 Porovnání LED diod

Název	Výrobce	Výkon [W]	Světelný tok [lm]	Vyzařovací úhel [°]	Typ	Cena
3VAC9CW3	Hebei	3	160-240	120	Teplá	188 Kč
GT-PO3W54	GETIAN	3	220-240	120	Studená	106 Kč
S12N3W6C	Hebei	3	100-160	120	Studená	52 Kč
GT-PO3W34	GETIAN	3	200-220	120	Teplá	60 Kč
S12N3W3C	Hebei	3	80-140	120	Teplá	52 Kč

Z výše uvedených LED diod jsme vybrali diodu GT-PO3W34 od firmy GETIAN, protože vyzařuje teplé světlo, což je příjemnější na pohled a její světelný tok patří mezi jeden z největších u srovnávaných LED diod. Nesmíme taky opomenout její nízkou cenu, za kterou nám dopřeje velký světelný tok i vyzařovací úhel.

4.5.1 Ověření světelného toku LED diody

Světelný tok lze měřit pomocí integrační koule. Což je zařízení, které umožní změřit celkový světelný tok přímo.

Bohužel integrační kouli nemáme, tak budeme postupovat tak, že proměříme postupně anizotropii vyzařování světelného zdroje.

Jedná se o pomyslnou kouli, v jejíchž středu je umístěn zdroj světla. Na povrchu koule budeme v konstantní vzdálenosti od zdroje světla pohybovat s naším senzorem VCNL4000. Pro snadnější vysvětlení postupu měření se budeme o kouli bavit jako o globusu s poledníky a rovnoběžkami. Světelný zdroj umístíme do středu koule, tak že jeho osa symetrie bude totožná se spojnicí pólů koule.

Všechny rovnoběžky jsou množinou bodů, u nichž je konstantní velikost úhlu α . Vzdalováním se od vrchu, se úhel zvyšuje od 0° do 180° s krokem 10° . Zvolíme jeden poledník, který bude mít $\varphi = 0^\circ$. Ke každému dalšímu poledníku budeme přičítat 15° . Místo, kde se protíná poledník s rovnoběžkou odpovídá povrchu koule, ve kterém luxmetrem změříme osvětlení E_i

Velikost světelného toku, kterým je osvětlena část povrchu koule je ΔS_i je přibližně $\Delta\Phi_i = E_i * \Delta S_i$. Hodnota E_i označuje světelný tok na dané ploše povrchu koule ΔS_i

$$\text{Výsledný světelný tok vypočítáme } \Phi = \sum_i \Delta\Phi_i = \sum_i E_i * S_i \text{ [lm]}$$

U naší 3 W LED diody nám vyšel světelný tok $\Phi = 146,12$ lm, což je 48,71 lumenů na 1 W. Výrobce nám udává světelný tok diody $\Phi = 200-220$ lm, tedy při nižší udávané hodnotě světelného toku by měl být 66,6 lumenů na 1 W.

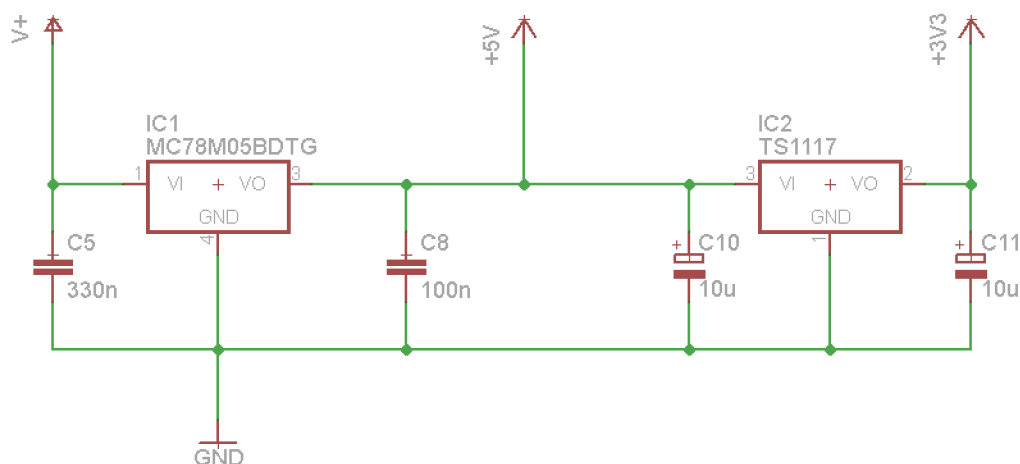
Na základě našeho měření se domnívám, že údaje uvedené výrobcem nejsou zcela pravdivé a dioda dosahuje menšího světelného toku. Samozřejmě musíme brát v úvahu možnou chybu našeho měření, které nebylo vykonáváno v profesionální laboratoři. Ovšem i za předpokladů, že měření nebylo prováděno v žádné odborně zařízené laboratoři, tak by neměl vzniknout tak markantní rozdíl mezi naměřenými a udávanými hodnotami.

5 NÁVRH OBVODU

Celé zapojení jsme se rozhodli napájet stabilizovaným impulzním zdrojem o maximálním výstupním napětí 12 V a proudem 1000 mA. LED driver napájíme 12 V, takže jej můžeme rovnou připojit na výstup zdroje.

5.1 Stabilizátor

Pro zobrazovací jednotku nám nevyhovuje napájecí napětí 12 V, tak jsme museli navrhnout stabilizátor, který nám usměrní napětí z 12 V na 5 V. K tomu jsme využili stabilizátor MC78M05BDTG, ke kterému jsme připojili filtrační kondenzátory $C_5 = 300 \text{ nF}$ a $C_8 = 100 \text{ nF}$. Napájení senzoru VCNL4000 a mikrokontroléru MSP430G2452 požaduje napětí 3,3 V, kterého dosáhneme připojením dalšího stabilizátoru TS1117 do série, ke kterému též připojíme stabilizační kondenzátory $C_{10} = 10 \text{ }\mu\text{F}$ a $C_{11} = 10 \text{ }\mu\text{F}$. Velkou výhodou těchto stabilizátorů je jednoduché a rychlé zapojení.



Obr. 41 Zapojení stabilizátorů

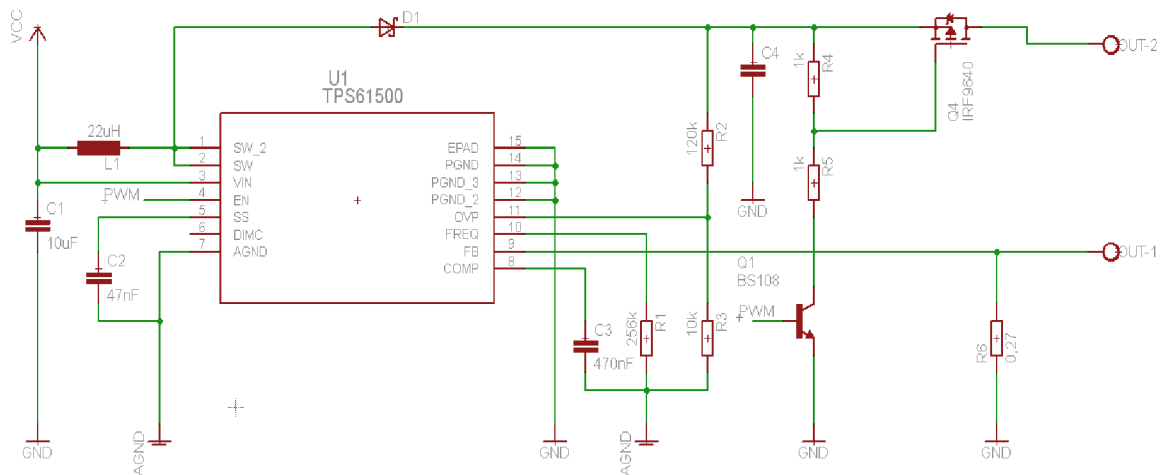
5.2 Zapojení LED driveru

Při navrhování zapojení LED driveru jsme vycházeli převážně z datasheetu dostupného na stránkách výrobce [20]. Spínací frekvence se nastavuje pomocí odporu R_4 , který jsme zvolili $R_4 = 256 \text{ k}\Omega$ čímž jsme stanovili, že spínací frekvence bude 400 kHz.

Na základě spínací frekvence jsme vybírali vhodnou tlumivku. Důležitým parametrem pro její výběr u nás byla hlavně měřicí frekvence, která pro správnou funkčnost obvodu se musela pohybovat okolo 2 MHz. Zvolili jsme tlumivku typu SMD od firmy MATSUTA s indukčností $22 \text{ }\mu\text{H}$ a měřicí frekvencí 2,52 MHz. Ochranu proti přepětí nastavíme pomocí odporů $R_2 = 120 \text{ k}\Omega$ a $R_3 = 10 \text{ k}\Omega$ na 16 V. Hodnotu odporu R_6 jsme dopočítali pomocí Ohmova zákona a proudu tekoucí LED diodami, jak udává výrobce viz. Rovnice č. 14.

$$I_{LED} = \frac{V_{FB}}{R_3} \Rightarrow R_3 = \frac{V_{FB}}{I_{LED}} = \frac{200mV}{750mA} = 0,26\Omega \quad (14)$$

Na LED driver a tranzistor Q1 přivedeme z mikrokontroléru signál PWM, kterým regulujeme výšku svítivosti LED diod. Výsledné zapojení výkonové části je vyobrazeno na Obrázku č. 41 a v [příloze B](#).



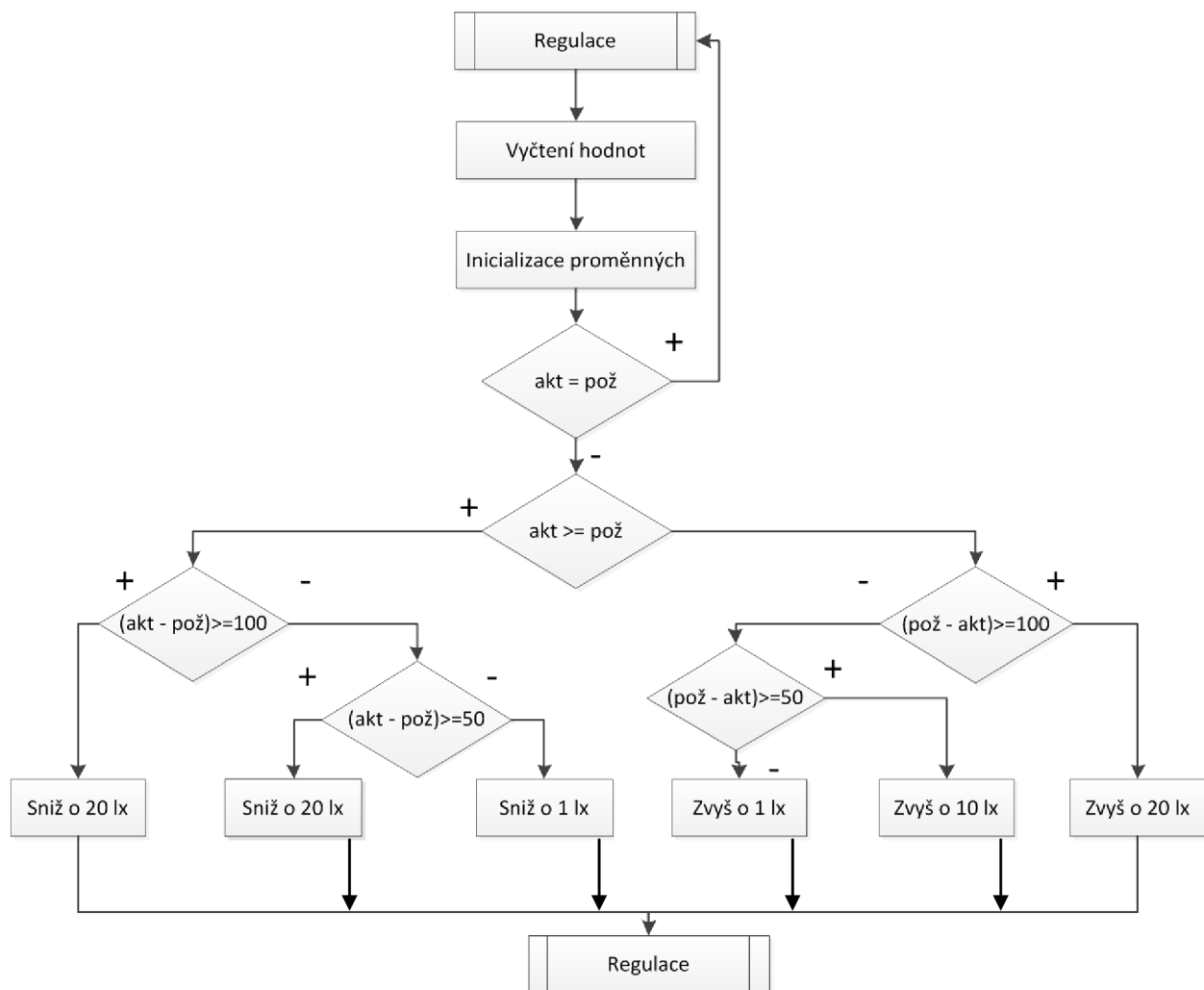
Obr. 42 Zapojení obvodu s TPS61500

5.3 Zapojení mikrokontroléru

LCD displej využívá na mikrokontroléru 8 pinů. Z toho čtyři piny jsou datové DISP_DB4 až DISP_DB7. Jeden pin slouží k podsvícení. Zbývající tři piny jsou řídicí. Z pinu číslo sedm generují PWM pro řízení LED diod. K mikrokontroléru je také na piny SDA a SCL připojen snímač VCNL4000. K ostatním volným pinům jsou připojena čtyři tlačítka sloužící k ovládní celého zapojení. Při navrhování zapojení jsme také neopomněli vyvést konektory pro snadné připojení programátoru bez nutnosti vyjmout mikrokontrolér z patice. Navrhnuté schéma mikrokontroleru je vyobrazeno v [příloze A](#).

5.4 Návrh regulátoru

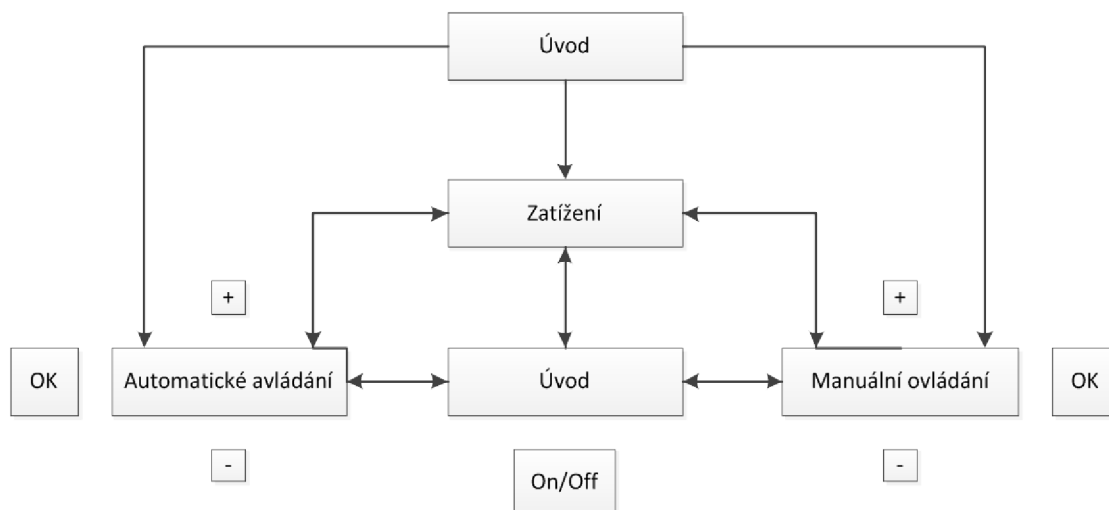
Pro automatické řízení bylo nutné navrhnout regulátor, který nám zajistí rychlou regulaci s aperiodickým dějem. Regulátor funguje na vzájemném porovnávání hodnot. Neustále porovnává hodnotu ze snímače, čili aktuální hodnotu s hodnotou požadovanou. V případě vstupu poruchy (setmění, či rozsvícení jiného zdroje světla) okamžitě zareaguje a aktuální hodnotu doreguluje na hodnotu požadovanou. Blokové schéma regulátoru je možno vidět na obrázku č. 43.



Obr. 43 Blokové schéma regulátoru

5.5 Popis aplikace

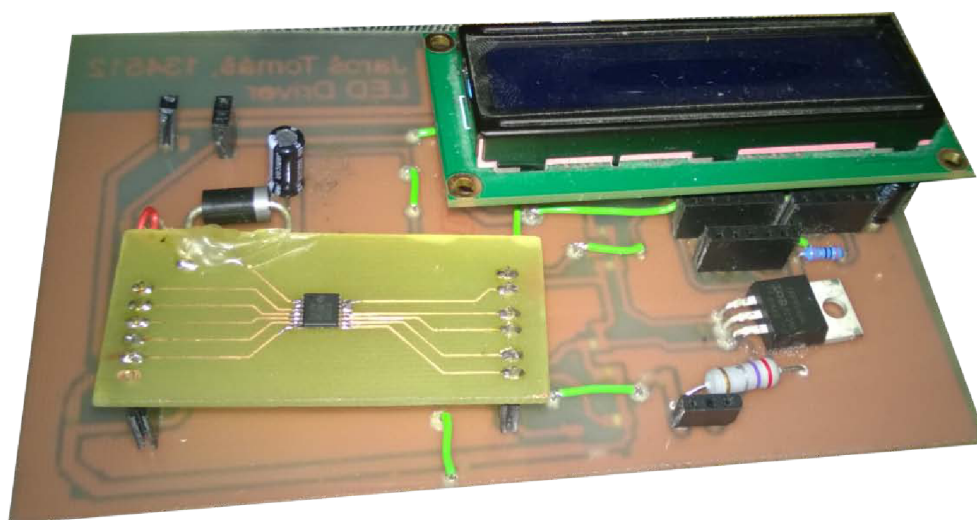
Pro ovládání jsme vytvořili jednoduché menu, kde se můžeme přepínat v jednotlivých způsobech ovládání, manuální a automatické. Jak při manuálním tak i automatickém ovládání máme na displeji vždy vyobrazenou žádanou hodnotu a hned pod ní je vyobrazena odchylka. Z obou způsobů ovládání se můžeme přepnout na obrazovku, která nám udává aktuální vytížení LED diod. Mezi obrazovkami se můžeme pohybovat nezávazně, aniž bychom při přepnutí na druhou obrazovku ukončili předchozí režim. Přepnutí z manuálního ovládání na automatické a opačně se provádí tak, že pomocí tlačítek přejdeme na námi požadovaný způsob ovládání a potvrdíme tlačítkem OK. Popis ovládání je vyobrazen na obrázku č. 44.



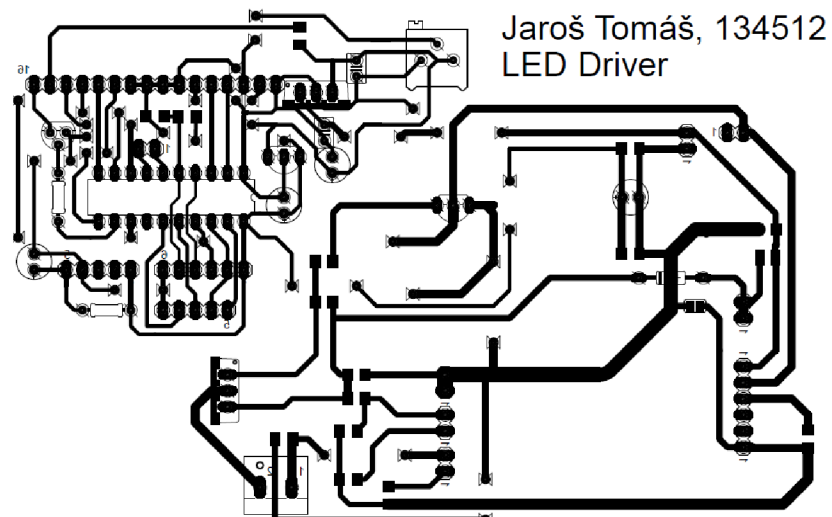
Obr. 44 Stavový popis aplikace

5.6 Hardwerové řešení

Celé zařízení se skládá z LED driveru TPS61500, 3 výkonových LED diod a mikrokontroléru MSP430G2452 se vstupně výstupními zařízeními (snímač VCNL4000, displej a čtyři ovládací tlačítka). Pro správnou funkčnost obvodu jsme museli navrhnout desku plošných spojů. Z důvodu odzkoušení obvodu na nepájivém poli jsme si vytvořili malou desku plošných spojů (modul), na kterém je umístěn pouze LED driver se vstupně výstupními konektory. Jelikož u LED driveru TPS61500 je velice důležité navrhnutí desky plošných spojů. Musí se dodržet pár pravidel, aby obvod fungoval správně. Velice důležité je umístění tlumivky a Schottkyho diody co nejbližší výstupnímu pinu SW a v co nejmenší vzdálenosti od sebe. Celou desku jsme vylili mědí, kterou jsme následně připojili na zem. K návrhu desky plošných spojů byl použitý freewarový Cadsoft program Eagle 5.3. Rozměr desky plošných spojů je 130x85 mm, k desce připojujeme modul s TPS61500, čímž ovlivňujeme negativně velikost desky. Na obrázku č. 43 je vyobrazen návrh DPS. Osazovací výkres a seznam součástek je uveden v [příloze C a D](#).



Obr. 45 Deska plošných spojů s modulem s TPS61500



Obr. 46 Návrh DPS

6 ZHODNOCENÍ

Zapojení pracuje ve dvou režimech, manuální a automatický. Při manuálním režimu lze pomocí tlačítek snižovat či zvyšovat osvětlení. U automatického režimu si nastavíme požadovanou hodnotu osvětlení daného prostoru. Senzor neustále posílá informace do mikrokontroléru a ten porovná, zda je naměřená hodnota shodná s požadovanou hodnotou. Pokud se hodnoty od sebe liší, regulátor doreguluje na požadovanou hodnotu.

Tabulka 5 Naměřené a vypočtené hodnoty zapojení

Střída [%]	U_{vst} [V]	I_{vst} [mA]	U_{vyst} [V]	I_{vyst} [mA]	Intenzita osvětlení [lx]	P_{vst} [W]	P_{vyst} [W]	Účinnost [%]
5	12,00	59	11,53	30	64	0,71	0,35	48,86
10	12,00	89	11,53	62	118	1,07	0,71	66,93
15	12,00	118	11,53	92	176	1,42	1,06	74,91
20	12,00	149	11,53	123	232	1,79	1,42	79,32
25	12,00	179	11,53	156	286	2,15	1,80	83,74
30	12,00	212	11,53	188	326	2,54	2,17	85,21
35	12,00	243	11,53	221	352	2,92	2,55	87,38
40	12,00	278	11,53	255	409	3,34	2,94	88,13
45	12,00	312	11,53	289	458	3,74	3,33	89,00
50	12,00	345	11,53	322	518	4,14	3,71	89,68
55	12,00	377	11,53	357	573	4,52	4,12	90,99
60	12,00	410	11,53	392	628	4,92	4,52	91,87
65	12,00	446	11,53	427	679	5,35	4,92	91,99
70	12,00	481	11,53	462	699	5,77	5,33	92,29
75	12,00	515	11,53	498	740	6,18	5,74	92,91
80	12,00	550	11,53	532	792	6,60	6,13	92,94
85	12,00	584	11,53	568	849	7,01	6,55	93,45
90	12,00	623	11,53	602	904	7,48	6,94	92,84
95	12,00	657	11,53	640	952	7,88	7,38	93,60
100	12,00	689	11,53	670	957	8,27	7,73	93,43

V grafu č. 1 můžeme vidět, že závislost proudu na střídě stoupá lineárně. Se zvětšující se střídou a proudem, se nám zvětšuje účinnost celého zapojení, jak můžeme vidět v grafu č 2 a 3. Při střídě vyšší než 30% proud stoupá nad hodnotu 200 mA a dosahuje účinnosti k 90%, jak udává výrobce. Se zvětšujícím se výkonem se zvětšuje intenzita osvětlení až na 957 lx, jak je možno vidět v grafu č. 4. Celkové zapojení je poměrně úsporné při maximální intenzitě osvětlení, která je 957 lx odebírá pouze 8.27 W. Pro srovnání jsem změnil intenzitu osvětlení 60 W žárovky, která dosahovala pouze 537 lx při oděru 60W. Regulátor v automatickém režimu pracuje tak, že

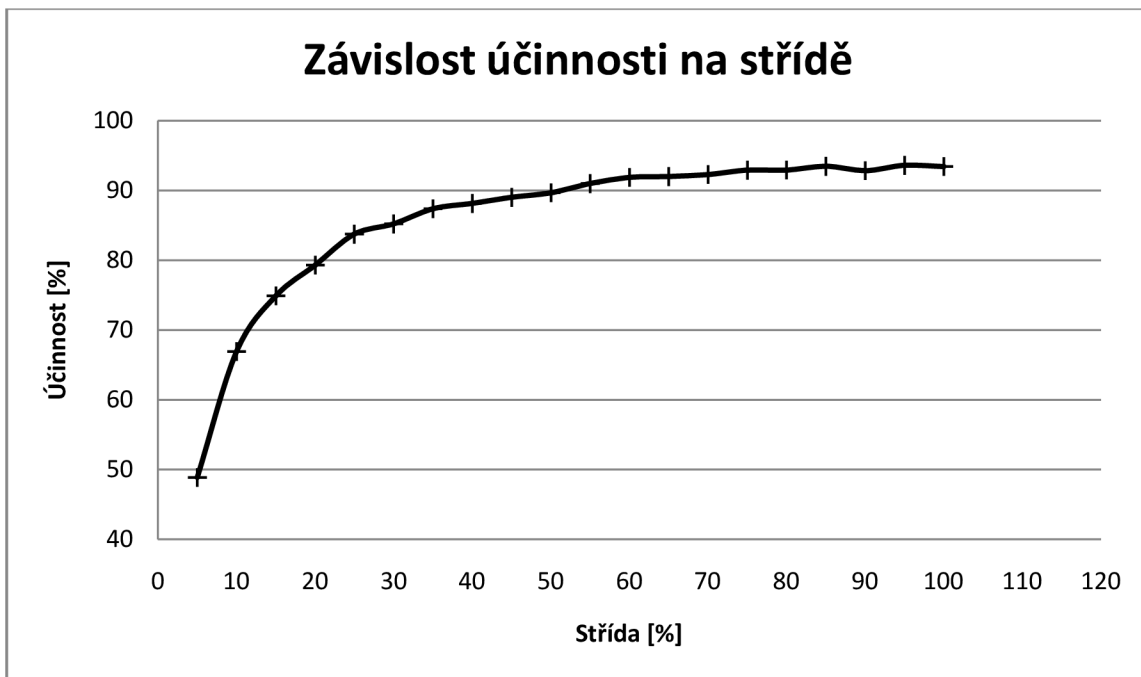
porovnává žádanou hodnotu s aktuální hodnotou. Naším cílem je dosáhnout co nejrychlejší regulace s aperiodickým přechodným dějem. Veškeré měření bylo prováděno v námi vyrobeném experimentálním prostředí, které mělo simulovat místnost. Vyobrazeno na obrázku č. 46. Na stropu místnosti byly umístěny LED diody. Senzor osvětlení jsme měli prve umístěn taktéž na stropě místnosti. Z důvodu měření jsme si senzor přemístili na spod místnosti, kde nám dopadá více světla z LED diod, a proto můžeme měřit hodnoty s větší intenzitou osvětlení.



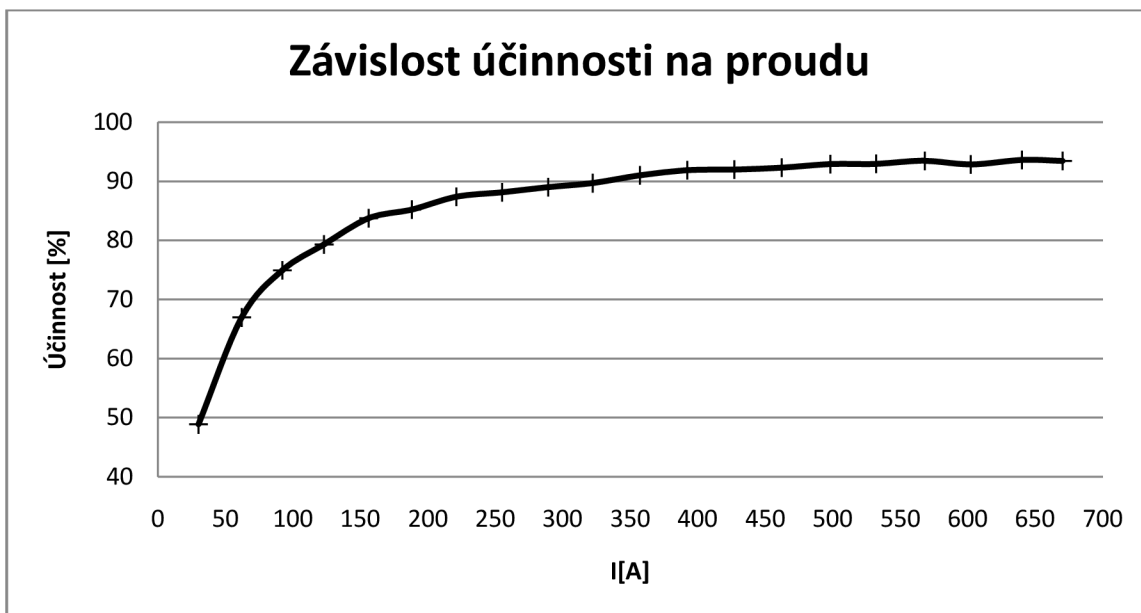
Obr. 47 Experimentální prostředí



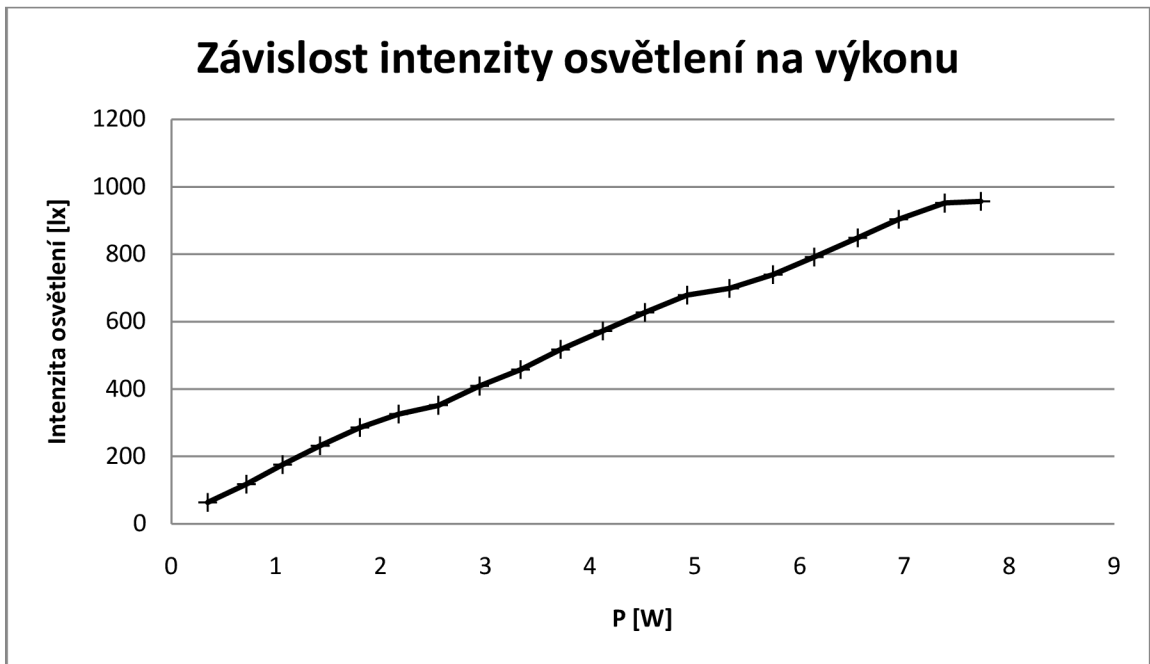
Graf 1 Závislost velikosti proudu na velikosti střídy



Graf 2 Závislost účinnosti na velikosti střídě



Graf 3 Závislost účinnosti na velikosti proudu



Graf 4 Závislost intenzity osvětlení na výkonu

7 ZÁVĚR

V práci se zabýváme návrhem zdroje pro výkonový LED modul. Začátkem teoretického rozboru jsme se věnovali jednotlivým typům LED diod a jejich uplatnění. Dále se v práci zabýváme jednotlivými zdroji proudu.

Hlavním úkolem práce bylo navrhnout efektivní zdroj proudu pro řízení výkonových LED diod. Pro řízení LED diod jsme zvolili monolitický spínaný regulátor TPS61500 od firmy Texas Instruments. Zvolili jsme jej hlavně kvůli jeho vysoké účinnosti, která by měla dosahovat až 93%. Spínací frekvenci jsme si zvolili 400 kHz. Při výběru tlumivky bylo nutné ohlížet se na velikost spínací frekvence. TPS61500 disponuje vstupním pinem pro PWM, díky němuž na něj můžeme snadno připojit řídicí mikrokontrolér.

Hned ze začátku jsme si vybrali senzor na snímání osvětlení, který bude komunikovat pomocí sběrnice I²C. Výběrem senzoru osvětlení jsme si hned zvolili jeden z důležitých parametrů pro výběr mikrokontroléru, který musí disponovat sériovou komunikací I²C. Neopomenuli jsme také potřebu generování PWM signálu pro LED driver.

Nedílnou součástí byl také výběr výkonových LED diod. V našem případě jsme zvolili tři 3 W LED diody. U jedné ze zakoupených LED diod jsme provedli měření na ověření světelného toku. Po dokončení měření a dopočítání všech potřebných hodnot jsme zjistili, že námi zjištěné hodnoty se zcela neshodují s údaji, které uvádí výrobce LED diod.

Pro správnou funkčnost obvodu jsme museli pomocí stabilizátorů stabilizovat napětí pro displej na 5 V a pro mikrokontrolér a senzor osvětlení na 3,3 V. Stabilizaci jsme provedli pomocí stabilizátoru MC78M05 a TS1117.

Nedílnou součástí pro správnou funkčnost byla tvorba desky plošných spojů, která musela splňovat určitá kritéria stanovená výrobcem LED driveru TPS61500, který musí mít co nejbližší výstupu připojenou tlumivku a Schottkyho diodu. Desku plošných spojů jsme tedy navrhli v programu Eagle 5. 3. a následně i vyleptali a osadili.

Výsledné zapojení je schopno pracovat ve dvou režimech, manuální a automatický. U manuálního režimu zvyšujeme nebo snižujeme pouze mikrokontrolérem střidu a tím zvětšujeme svítivost LED diod. Pro automatický režim bylo nutné navrhnout regulátor, kterým nám bude zajištěna rychlá a plynulá regulace bez větších překmitů. Pro snadné ovládání se nastavené hodnoty zobrazují na dvouřádkovém displeji společně s odchylkou.

LED diody a snímač osvětlení jsme umístili do námi vytvořeného experimentálního prostředí simulující místnost kde jsme uskutečnili měření, z kterého jsme si dopočítali výkon a následně i účinnost. Měření nám potvrdilo, že zapojení dosahuje vysoké účinnosti, tak jak udává výrobce. Celkové zařízení je také velice úsporné. Při odběru 8,27 W dosahuje svítivosti až 957 lx. Pro grafické znázornění jsme všechny naměřené a dopočítané hodnoty znázornili graficky.

LITERATURA

- [1] Parametry Led diod. LEBL, Radek. *Parametry Led diod* [online]. 2010. vyd. 2010, 18.8.2012 [cit. 2013-01-08]. Dostupné z: http://ledka.eu/Hlavn%C3%AD_strana/LED_parametry.html
- [4] Blogger. *Blogger* [online]. 2013. vyd. 8.1.2013 [cit. 2013-01-08]. Dostupné z: <http://owebu.blogger.cz/Hardware-a-mobily/Jak-funguje-LED-dioda>
- [5] Doc. Ing. JERHOT, J., DrSc.; Ing. JIRÁČEK, M., CSc. Optoelektronika. Plzeň: VSŠE, 1987. 124 s. ISBN 55-063-87
- [6] Obrazovky Notebooků. PÉDER, Viktor. *Obrazovky Notebooků* [online]. 2011-2013. 8.1.2013 [cit. 2013-01-08]. Dostupné z: <http://notebook.cz/clanky/technologie/2010/obrazovky-notebooku-cast2>
- [7] Ing. PUŽMANOVÁ, R., CSc. LED - světlo budoucnosti. *Světlo*. 2009, 2009/5, s. 74-76.
- [8] Mgr. LUKÁŠ, M. Laserové diody: Část 2. Funkce a základní parametry. *Světlo*. 2005, 2005/2, s. 54-56.
- DOLEČEK, J. Moderní učebnice elektroniky: Optoelektronika a optoelektronické prvky. Praha: BEN, 2007. 160 s. ISBN 80-7300-184-5.
- [9] Laserová dioda. *Laserová dioda* [online]. 27.5.2011 [cit. 2013-01-08]. Dostupné z: <http://home.zcu.cz/~houlec/www/htm/LD.htm>
- [10] ATARION, s.r.o. *ATARION, s.r.o.* [online]. 2008-2009, 27.5.2011 [cit. 2013-01-08]. Dostupné z: <http://www.led-moduly.cz/vse-o-led.html>
- [11] Zdroje proudu. *Zdroje proudu* [online]. 2008, 8.1.2013 [cit. 2013-01-08]. Dostupné z: <http://www.8bitu.cz/clanek/zaklady-elektrotechniky-8-zdroje-proudu/>
- [12] Základy elektroniky. *Základy elektroniky* [online]. 11.12.2012 [cit. 2013-01-08]. Dostupné z: <http://www.spsemoh.cz/vyuka/zcl/diody.htm>
- [13] Externamcurrentlimitigcircuit. *Externamcurrentlimitigcircuit* [online]. 2011, 29.12.2011 [cit. 2013-01-08]. Dostupné z: <http://www.aimtec.com/site/Aimtec/files/documents/ApplicationNotes/external%20current%20limiting%20circuit.pdf>
- [14] Allpinout. *Allpinout* [online]. 20.7.2012 [cit. 2013-01-08]. Dostupné z: <http://allpinout.blogspot.cz/2011/10/lm317-pinout.html>
- [15] LM317. *LM317* [online]. 7.12.2012 [cit. 2013-01-08]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/LM317>
- [16] Oz. *Oz* [online]. [cit. 2013-01-08]. Dostupné z: http://www.outech-havirov.cz/skola/files/knihovna_eltech/ea/oz.pdf

- [17] GT-TECH CZ. *GT-TECH CZ* [online]. 11.2.2010 [cit. 2013-01-08]. Dostupné z: http://www.gttech.cz/archives/2010/02/entry_1.html
- [18] VISHAY SEMICONDUCTOR. VCNL4000: FullyIntegratedProximity and Ambient Light Sensor [online]. 2012 [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: <http://www.vishay.com/docs/83798/vcni4000.pdf>
- [19] SPARKFUN. Sparkfun: VCNL4000 InfraredProximityBreakout [online]. [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: <https://www.sparkfun.com/products/10901>
- [20] TEXAS INSTRUMENTS. TPS61500: 3A BoostConverterforHighBrightness LED Driver withMultipleDimmingMethods [online]. 2008, 2012 [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps61500.pdf>
- [21] TEXAS INSTRUMENTS. MSP430G2x52: MIXED SIGNAL MICROCONTROLLER [online]. 2010, 2013 [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/msp430g2112.pdf>
- [22] Hrbáček, J.: Komunikace mikrokontroléru s okolím - 1. díl. BEN, Praha 1999. ISBN:80-86056-36-8.
- [23] X-ON ELECTRONIC SERVICES. LCD Character Display ModulesAccessories [online]. 2009 [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: <http://www.x-on.com.au/InventoryDetails.aspx?id=43622&s=0>

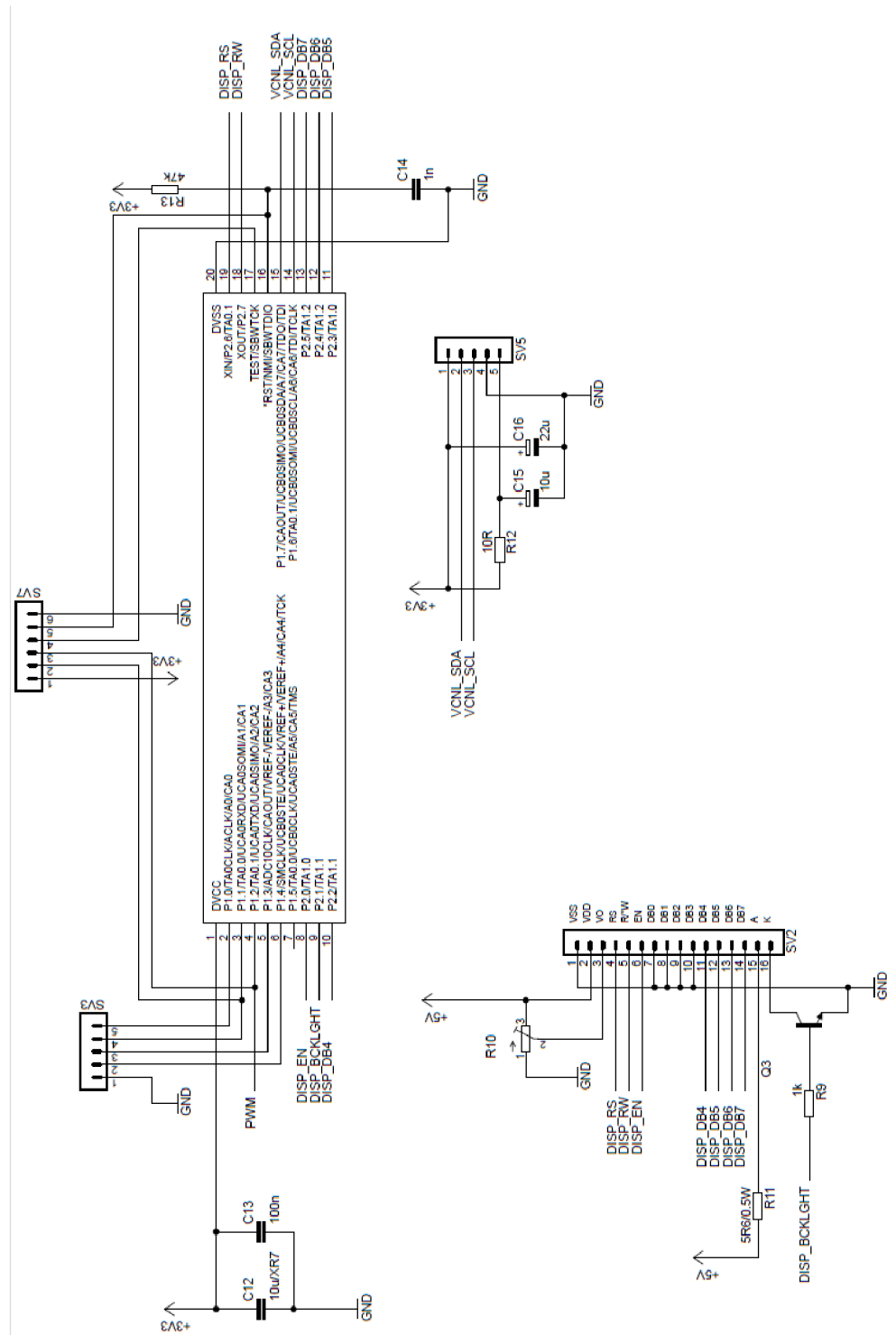
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

I2C	(Two wire interface)	Dvojvodičová sběrnice
LED	(Light Emitting Diode)	Svítilivá dioda
OLED	(Light emitting diode)	Typ displeje
OZ	(Operating amplifier)	Operační zesilovač
OSC	(Oscilloscope)	Osciloskop
PWM	(Pulse Width Modulation)	Pulzně šířková modulace
DPS		Deska plošných spojů
OVP	(Over voltage protection)	Ochrana proti přepětí
COMP	(External compenzation pin)	Pin externí kompenzace
FB	(Feedback)	Zpětná vazba
RAM	(Rando access memory)	paměť s přímým vstupem
FLASH	(Flash memory)	programovatelná paměť
SRAM	(Static Random Access Memory)	Statická paměť
SPI	(Seriál Peripheral Interfce)	Sériové periferní rozhraní
R/W	(Read/Write)	Výběr mezi čtením a zapisováním
RS	(Register select)	Výběr registru
E	(Enable)	Potvrzovací vstup
LCD	(Liquid crystal display)	Displej z tekutých krystalů
SMD	(Surface Mounted Device)	Součástka pro povrchovou montáž
SDA	(Seriál Data)	Datový vodič
SCL	(Seriál clock)	Hodinový vodič

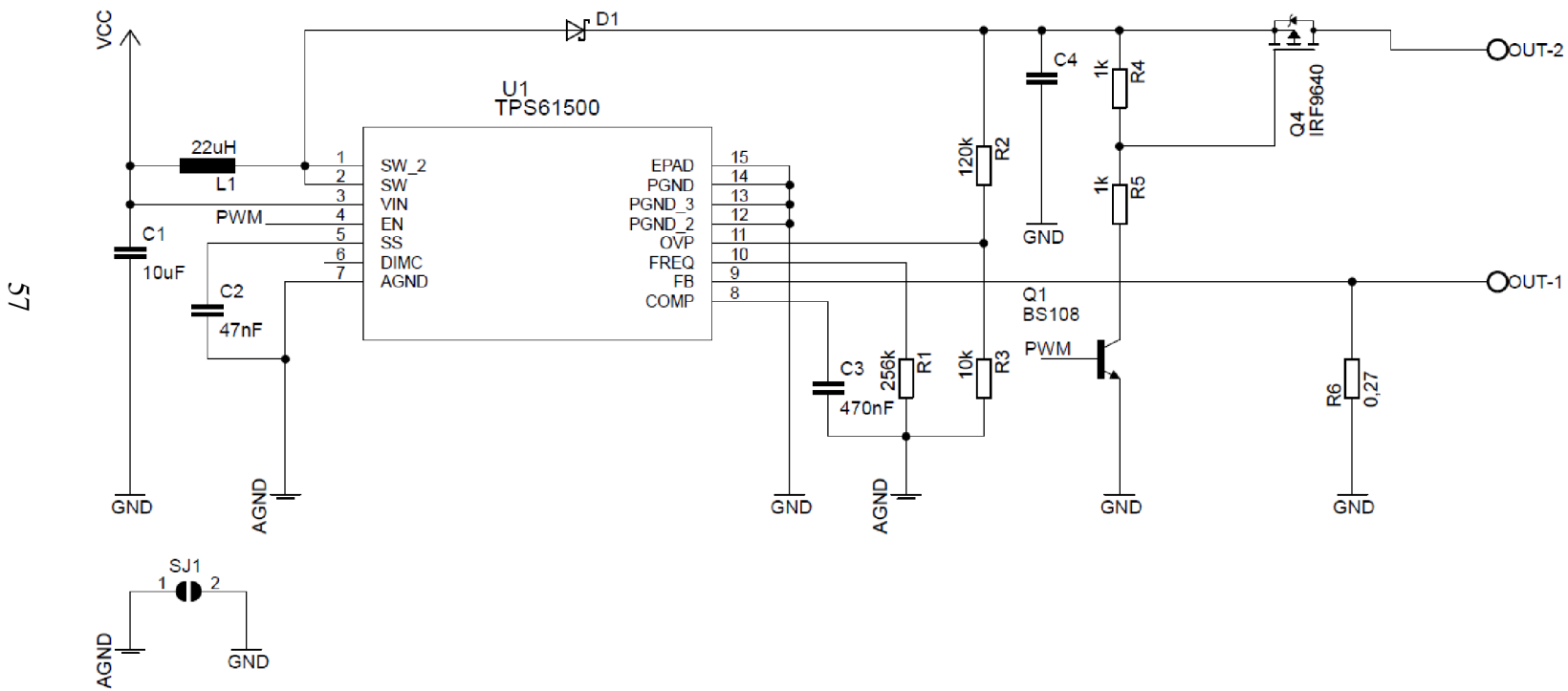
SEZNAM PŘÍLOH

<i>A Zapojení logické části</i>	56
<i>B Zapojení výkonové části.....</i>	57
<i>C Seznam součástí</i>	58
<i>D Osazovací výkres DPS</i>	59

A Zapojení logické části



B Zapojení výkonové části



C *Seznam součástek*

Označení	Hodnota	Pouzdro
C1	10 uF	1206
C2	47 nF	1206
C3	470 nF	1206
C4	10 uF	1206
C5	330 n	1206
C8	100 n	1206
C10	10 u	E2,5-6E
C11	10 u	E2,5-6E
C12	10 u/XR7	1206
C13	100 n	1206
C14	1 n	1206
C15	10 u	1206
C16	22 u	1206
D1	SB360	E2LINE
IC1	LM317LZ	TO92
IC3	LM317LZ	TO92
L1	22 uH	0204/5
OUT		W237-102
Q1	BS 108	TO5
Q3	BC 547	TO92
Q4	IRF9640	TO251AA
R1	256 k	1206
R2	120 k	1206
R3	10 k	1206
R4	1 k	1206
R5	1 k	1206
R6	0,27 R	0204/7
R9	1 k	1206
R10	50 k	RTRIM64P
R11	5R6/0.5W	0204/7
R12	10 R	1206
R13	47 k	1206
SJ1		SJ
SV1	MA02-1	MA02-1
SV2		MA08-1
SV3		MA05-1
SV5		MA05-1
SV7		MA06-1
U\$1	MSP430G2553- 20PIN	DIL20
U1	TPS61500	PWP14_2P31X2P46

D Osazovací výkres DPS

