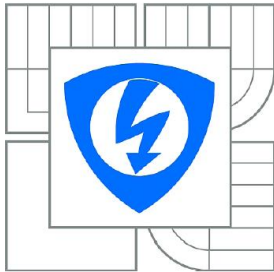


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

## ŘÍZENÝ ZDROJ OPTICKÉHO ZÁŘENÍ

CONTROLLED LIGHT SOURCE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

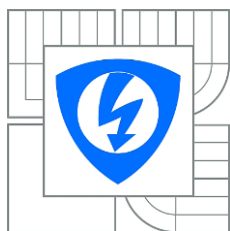
Bc. TOMÁŠ PAZDESKÝ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PAVEL ŠKARVADA, Ph.D.

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNE

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor  
**Telekomunikační a informační technika**

**Student:** Bc. Tomáš Pazderský  
**Ročník:** 2

**ID:** 119569  
**Akademický rok:** 2013/2014

## NÁZEV TÉMATU:

**Řízený zdroj optického záření**

## POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Cílem je navržení a realizace počítačem řízeného optického zdroje záření. Zařízení bude mít uvnitř několik LED (15-20) o vhodně zvolených vlnových délkách od viditelné oblasti až do blízké infračervené. Proud jednotlivými LED bude možné nastavit z připojeného PC, takže bude možné nezávisle měnit svítivost jednotlivých LED. Na optickém výstupu zařízení tedy bude možné docílit požadovaný průběh zářivého toku v závislosti na vlnové délce. Pro účely kalibrace bude zařízení vybaveno kalibrovaným fotodetektořem pro přesné nastavení požadovaného průběhu. Proudové zdroje budou řízeny mikrokontrolérem, který bude zpracovávat požadavky z uživatelského programu na PC.

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] ČERNÁ, L. Fotometrie, radiometrie a spektroskopie: Měření neelektrických veličin.
- [2] VÁŇA, V. Atmel AVR programování v jazyce C.

**Termín zadání:** 10.2.2014

**Termín odevzdání:** 30.5.2014

**Vedoucí práce:** Ing. Pavel Škarvada, Ph.D.

**Konzultanti diplomové práce:**

**doc. Ing. Jiří Mišurec, CSc.**

*Předseda oborové rady*

## UPOZORNĚNÍ:

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

## **ANOTACE**

Cílem diplomové práce je návrh a realizace počítačem řízeného optického zdroje záření. V teoretické části jsou popsány fotometrické, radiometrické veličiny, použité součásti jako je LED dioda, fotodioda, mikrokontrolér a používané způsoby řízení jasu LED. Praktická část postupně popisuje vývoj zdroje záření od výběru jednotlivých LED až po celkovou konstrukci a programování zařízení. Na jednotlivých LED byly provedeny měření jejich vlastností. Byl navržen a následně zhotoven obvod s mikrokontrolérem. Zařízení bylo naprogramováno pro komunikaci a řízení z PC. Celé zařízení je vloženo do kovové konstrukční krabičky a odzkoušeno.

## **Klíčová slova**

LED, mikrokontroler, zářivý tok, pulsně šířková modulace, zdroj proudu

## **ABSTRAKT**

The aim of the Master's thesis is proposing and implementation of computer controlled optical radiation source. The theoretical part describes the photometric, the radiometric quantities, applied components such as LED, the photodiode, the microcontroller and possible methods for the LED brightness control. The development of the device is described from the selection of the individual LEDs to the end of the device assembling and programming. On the several LEDs were made properties measurement. A circuit with microcontroller was designed and then was fabricated. The device was programmed for communication and control from the PC. The entire electronic is fitted in the metal frame of the construction box and finally the device functionality is tested.

## **Keywords**

LED, microcontroller, radiant flux, pulse width modulation, current source

PAZDERSKÝ, T. *Řízený zdroj optického záření*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2014. 57 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Pavel Škarvada, Ph.D..

## Prohlášení

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci na téma „**Řízený zdroj optického záření**“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové 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 diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil(-a) autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl(-a) nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom(-a) následku porušení ustanovení §11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonu (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne.....

.....

podpis autora

## Poděkování

Děkuji vedoucímu práce Ing. Pavlu Škarvadovi, Ph.D. za velmi užitečnou metodickou pomoc a cenné rady při zpracování diplomové práce.

V Brně dne .....

.....

podpis autora

Experimentální část této diplomové práce byla realizována na výzkumné infrastruktuře  
vybudované v rámci projektu CZ.1.05/2.1.00/03.0072

**Centrum senzorických, informačních a komunikačních systémů (SIX)**  
operačního programu Výzkum a vývoj pro inovace.

# OBSAH

ÚVOD.....	10
<b>TEORETICKÁ ČÁST.....</b>	<b>11</b>
<b>1 Měření neelektrických veličin.....</b>	<b>11</b>
1.1 Fotometrické veličiny.....	11
1.1.1 Světelný tok.....	11
1.1.2 Svítivost.....	11
1.1.3 Osvětlení.....	12
1.1.4 Světlení.....	12
1.1.5 Jas.....	12
1.2 Radiometrické veličiny.....	12
1.2.1 Zářivý tok.....	12
1.2.2 Zářivost.....	13
1.2.3 Ozáření.....	13
1.2.4 Intenzita vyzařování.....	13
1.2.5 Měrná zářivost.....	13
1.3 Měření spektra.....	14
<b>2 Popis elektroniky a řízení.....</b>	<b>15</b>
2.1 LED dioda.....	15
2.2 Řízení jasu LED.....	16
2.3 Pulsně šířková modulace.....	17
2.4 Fotodioda.....	17
2.5 AVR mikrokontrolér.....	17
<b>PRAKTICKÁ ČÁST.....</b>	<b>19</b>
<b>3 Volba zdroje záření.....</b>	<b>19</b>
3.1 Výběr LED.....	19
3.2 Měření spektra vybraných LED.....	19
3.3 Měření světelného výkonu.....	20
<b>4 Možnosti regulace intenzity vyzařování.....</b>	<b>25</b>

4.1	Pomocí IO obvodu.....	25
4.2	Pomocí řízeného zdroje proudu.....	26
<b>5</b>	<b>Návrh elektroniky .....</b>	<b>28</b>
5.1	Schéma zapojení zařízení .....	28
5.1.1	Mikrokontrolér ATmega128A .....	29
5.1.2	USB převodníku FT232BL .....	30
5.1.3	Násobný zdroj proudu s LED.....	31
5.1.4	Teplotní senzor .....	32
5.1.5	Zapojení fotodiody .....	32
5.1.6	Napájení obvodu .....	33
5.2	Návrh desky plošného spoje .....	34
5.3	Uspořádání a zapojení součástek v krabičce .....	37
<b>6</b>	<b>Návrh software.....</b>	<b>39</b>
6.1	Programovací softwar pro mikrokontrolér .....	39
6.1.1	Sériová komunikace .....	40
6.1.2	Softwarové PWM.....	43
6.1.3	Textový komunikační protokol.....	45
6.2	Grafické rozhraní pro ovládání zařízení .....	49
<b>7</b>	<b>Ověření vlastností zařízení.....</b>	<b>52</b>
	<b>ZHODNOCENÍ.....</b>	<b>53</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>54</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH VELIČIN A ZKRATEK .....</b>	<b>56</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>57</b>



## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2.1: Luminiscence na PN přechodu .....	15
Obr. 2.2: Schematická značka a uspořádání LED diody .....	16
Obr. 3.1: Spektrální charakteristika jednotlivých diod .....	20
Obr. 3.2: Vyrobený měřicí přípravek.....	21
Obr. 3.3: Schéma zapojení při měření diod .....	22
Obr. 3.4: Závislosti zářivého toku jednotlivých diod na proudu .....	23
Obr. 4.1: Blokované zapojení SCT2026 [8] .....	25
Obr. 4.2: Navržené schéma zapojení s OZ .....	26
Obr. 4.3: Převodní charakteristika napětím řízeného zdroje proudu .....	27
Obr. 5.1: Blokované schéma zapojení obvodu .....	28
Obr. 5.2: Schéma zapojení řídicího obvodu ATmega128A.....	29
Obr. 5.3: Schéma zapojení USB převodníku FT232BL .....	30
Obr. 5.4: Schéma zapojení zdrojů proudu s LED .....	31
Obr. 5.5: Schéma zapojení teplotního senzoru TMP75 .....	32
Obr. 5.6: Schéma zapojení fotodiody FDS100 .....	32
Obr. 5.7: Schéma zapojení 12 V externího zdroje .....	33
Obr. 5.8: Schéma zapojení 5 V zdroje .....	33
Obr. 5.9: Návrh desky tištěného spoje, vrstva TOP.....	35
Obr. 5.10: Návrh desky tištěného spoje, vrstva BOTTOM .....	35
Obr. 5.11: Návrh desky tištěného spoje fotodiody FDS100 .....	36
Obr. 5.12: Uspořádání 16 LED .....	36
Obr. 5.13: Vnitřní uspořádání v krabici .....	37
Obr. 5.14: Přední panel .....	38
Obr. 5.15: Zadní panel .....	38
Obr. 6.1: Grafické rozhraní pro ovládání zařízení .....	49
Obr. 7.1: Ukázka komunikace pomocí hyperterminálu .....	52
Obr. 7.2: Ukázka rozsvícené LED 450 nm na 100 %.....	52

## ÚVOD

Všechny měřicí přístroje je nutné nechat po určité době překalibrovat, protože časem ztrácí svoji přesnost, ať už používáním či stárnutím. K procesu kalibrace se používají etalony s odpovídajícími hodnotami. Závěrem kalibračního procesu je kalibrační list přístroje. Pro kalibraci spektrometrů se používají jednak spektrální výbojky, které mají spektrální špičky na definovaných pozicích, nebo spektrální lampy s definovaným spektrem. Zatímco s využitím spektrálních výbojek je možná kalibrace frekvenční, s využitím kalibrované spektrální lampy je možné provést tzv. absolutní kalibraci. V ideálním případě by se nejdříve měla provádět frekvenční kalibrace a následně kalibrace absolutní.

Pro laboratorní použití je možné vytvořit vlastní spektrální lampu, ať už jen z důvodu kontroly správnosti měření, nebo právě pro adjustaci daného měřicího přístroje. S výhodou lze použít přípravek, jehož parametry přesně určíme s využitím kalibrované fotodiody. Následně je tedy možné provést kalibraci vlastního spektrometru.

Tato práce se zabývá návrhem řízeného zdroje zářivého toku. Toto zařízení umožní plynule nastavit hodnotu zářivého toku v rozsahu vlnových délek od ultrafialového záření 400 nm až po infračervené záření 1300 nm. Přípravek bude možné použít nejen ke kalibraci spektrometru, ale také k laboratornímu testování fotocitlivých prvků a jejich odezvy na konkrétní vlnové délky.

# TEORETICKÁ ČÁST

## 1 MĚŘENÍ NEELEKTRICKÝCH VELIČIN

Světlo je určitou formou energie, kterou můžeme kvantitativně změřit. Při měření, kde zohledňujeme vliv lidského oka a měříme relativní veličiny, mluvíme o fotometrii. Když měříme energii přímo, jedná se o radiometrii [3].

### 1.1 Fotometrické veličiny

Fotometrie je část optické vědy zabývající se měřením světla s ohledem na vnímání jasu a působení na zrakový orgán. Fotometrické veličiny tedy zohledňují lidský vjem.

#### 1.1.1 Světelný tok

Světelný tok je definován jako množství světelné energie, která projde určitou plochou za jednotku času. Může být označován také jako světelný výkon. Značí se  $\Phi$  a jednotkou je lumen (značka jednotky: lm). V SI je 1 lm definován jako světelný tok, který izotropní zdroj o jednotkové svítivosti vysílá do jednotkového prostorového úhlu [3].

$$\Phi = I\Omega \quad (1.1)$$

#### 1.1.2 Svítivost

Svítivost je schopnost vyjadřující prostorovou hustotu světelného toku zdroje v daném směru, respektive prostorovém úhlu  $\Omega$ . Značí se  $I$  a jednotkou je kandela (značka jednotky: cd). Patří mezi základní jednotky soustavy SI [3].

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega} \quad (1.2)$$

### 1.1.3 Osvětlení

Osvětlení vyjadřuje světelný tok dopadající na osvětlovanou plochu. Značí se  $E$  a jednotkou je lux (značka jednotky: lx). Lux je definován jako světelný tok 1 lm dopadající na plochu 1 m<sup>2</sup>[3].

$$E = \frac{d\Phi}{dS} \quad (1.3)$$

### 1.1.4 Světlení

Světlení  $H$  je definováno pro plošný zdroj záření. Světelný tok emitovaný plochou zdroje  $S$  do poloprostoru vně zdroje. Plocha  $S$ , je plocha, ze které světlo vychází. Jednotkou je lm·m<sup>-2</sup> [3].

$$H = \frac{d\Phi}{dS} \quad (1.4)$$

### 1.1.5 Jas

Jas se označuje  $L$  a jednotkou je nit (značka jednotky: nt) definován jako cd·m<sup>-2</sup>. Úroveň svítivosti plošky  $dI$  a povrchu plošného zdroje  $dS$  ve směru úhlu  $\alpha$  s vnější normálou k ploše. Světelný tok do jednotkového prostorového úhlu na "promítnutou" jednotkovou plochu zdroje [3].

$$L = \frac{dI}{dS} \quad (1.5)$$

## 1.2 Radiometrické veličiny

Radiometrie je optická věda, zabývající se měřením elektromagnetického záření včetně spektrální oblasti viditelného světla. Radiometrie se zabývá měřením elektromagnetického záření v prostoru a používá absolutní veličiny. Radiometrické veličiny charakterizují množství energie k ozařování tělesa.

### 1.2.1 Zářivý tok

Zářivý tok je energie vyzářená bodovým zdrojem světla do daného prostorového úhlu za jednotku času. Značí se  $\Phi_e$  a její jednotkou je watt (značka jednotky: W).

### 1.2.2 Zářivost

Zářivost vyjadřuje zářivý tok vyzářený do jednotkového prostorového úhlu ve směru daném vektorem  $\vec{n}$ . Značí se  $I_e$  a jednotkou je  $\text{W}\cdot\text{sr}^{-1}$ [3].

$$I_e = \frac{d\Phi_e}{d\Omega} \quad (1.6)$$

### 1.2.3 Ozáření

Ozáření (intenzita záření) vyjadřuje energii dopadající na jednotku povrchu ozařovaného tělesa za jednotku času. Značí se  $E_e$  a jednotkou je  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$  [3].

$$E_e = \frac{d\Phi_e}{dS} \quad (1.7)$$

### 1.2.4 Intenzita vyzařování

Energie vyzářená do volného poloprostoru jednotkou povrchu plošného zdroje za jednotku času. Nezahrnuje odražené záření. Značí se  $H_e$  a jednotkou je  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$  [3].

$$H_e = \frac{d\Phi_e}{dS'} \quad (1.8)$$

### 1.2.5 Měrná zářivost

Měrná zářivost (také zář) vyjadřuje zářivost části povrchu plošného zdroje o jednotkovém průmětu do roviny kolmé k zadanému směru paprsků záření. Zářivost generovaná z definované části povrchu  $dS$  plošného zdroje světla do roviny kolmé ke zvolenému směru záření. Označení  $dS$  je element plochy povrchu zdroje a úhel  $\alpha$  svírá paprsek ve zvoleném směru s normálou k elementu této plochy. Značí se  $L_e$  a jednotkou je  $\text{W}\cdot\text{sr}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ . Kde  $dS$  je [3].

$$dS_{\perp} = dS \cos \alpha \quad (1.9)$$

Měrná závislost  $L_e(\alpha)$  vyjadřuje vztah [2]

$$L_e(\alpha) = \frac{dI_e(\alpha)}{dS \cos \alpha} \quad (1.10)$$

### 1.3 Měření spektra

Spektrum zahrnuje elektromagnetické záření všech možných vlnových délek a dělí se na několik kategorií. Pro nás důležitá oblast spektra je kategorie infračerveného, viditelného a ultrafialového záření. Jednotkou spektra je vlnová délka  $\lambda$ .

- Infračervené záření, vlnová délka 760 nm až 1 mm. Dělí se na blízké střední a vzdálené.
- Viditelné světlo je v rozmezí 400 až 800 nm. Viditelné proto, že na tuto část spektra je lidské oko citlivé. Viditelné světlo je taktéž označováno jako světelné spektrum.
- Ultrafialové záření, vlnová délka 400 až 10 nm. Rozděluje se na UVA, UVB a UVC

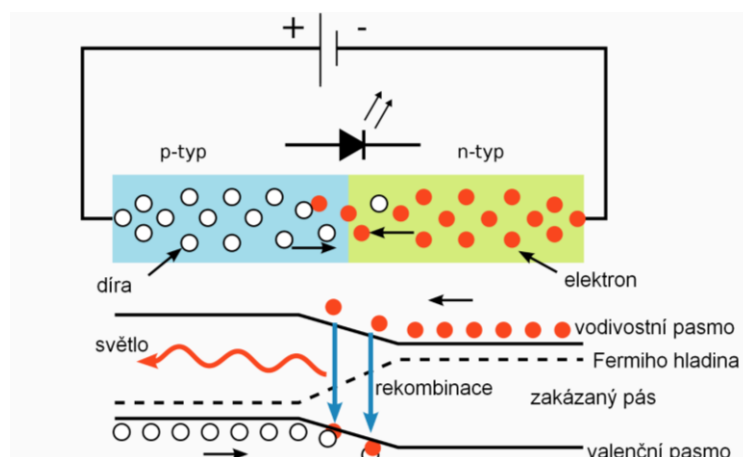
K měření spektra využíváme spektrometry. V nejjednodušším případě obsahují difrakční element a lineární pole fotodiod, nebo CCD čip. Záření vstupující do spektrometru je rozloženo na difrakčním prvku a následně měřeno na poli světlocitlivých detektorů. Výstupní hodnota jednotlivých detektorů odpovídá spektrálnímu rozložení intenzity měřeného záření. Tento spektrometr by ovšem pro správnou funkci bylo nutné ještě kalibrovat v rámci vlnových délek, ale také absolutních hodnot. Důvodem nutnosti absolutní kalibrace je různá citlivost detektoru na různou vlnovou délku, spektrální účinností difrakčního elementu, spektrální odrazivostí zrcadel a spektrálního koeficientu transmitance případného přívodního světlovodu či sklíčka.

## 2 POPIS ELEKTRONIKY A ŘÍZENÍ

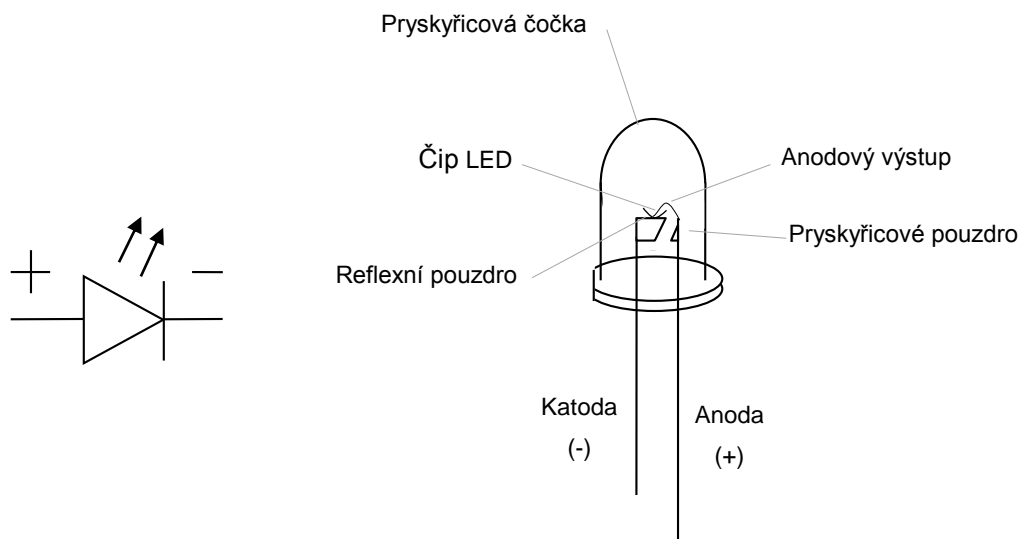
### 2.1 LED dioda

LED (light-emitting diode) je světlo emitující diodou a jedná se o polovodičový zdroj světla tzv. svítivé diody. LED jsou nejčastěji využívány jako kontrolky v zařízeních. V dnešní době jsou stále více využívány pro osvětlení, ať už dekorativní nebo klasické. První LED byla objevena v roce 1962. Dnešní nabídka LED je natolik široká, že pokrývá vlnové délky od ultrafialové až po infračervené záření s velmi vysokou svítivostí.

Svítivé diody jsou zdrojem luminiscenčního světla. Základem LED je PN přechod, při jehož dostatečné propustné polarizaci externím elektrickým napětím dochází k injekci minoritních nosičů přes vyčerpanou oblast. Tyto nosiče následně rekombinují, čímž je uvolňována energie ve formě fotonů. Tento efekt se nazývá elektroluminiscence zobrazen na Obr. 2.1. Schematická značka a vnitřní uspořádání LED diody je vidět na Obr. 2.2. Emitovaná vlnová délka je dána šířkou zakázaného pásu. Barva vyzářeného světla je tedy dána použitým polovodičem, nicméně u některých diod je využíván i luminofor.



Obr. 2.1: Luminiscence na PN přechodu



Obr. 2.2: Schematická značka a uspořádání LED diody

## 2.2 Řízení jasu LED

Jas LED je možné řídit pomocí množství protékajícího proudu, tzn. omezit proud na konkrétní hodnotu a tím snížit jas diody. Nejjednodušší způsob, jak omezit protékající proud, je za pomoci předřadného odporu v sériovém zapojení s diodou. Toto omezení proudu se běžně používá při zapojení diod, ale nelze ho považovat za efektivní způsob řízení, protože hodnota odporu je neměnná. Existují sice digitálně řízené rezistory, ale vzhledem k jejich ceně a nízkému maximálnímu proudu nejsou vhodnou volbou. Další možností je použít zapojení tranzistoru jako zdroje proudu, přičemž digitálním potenciometrem v bázi regulujeme bázevý proud, a tedy i zesílený kolektorový proud. Dnes asi nejrozšířenějším způsobem je použití řízení jasu LED s využitím PWM (pulse width modulation) popsáném v kapitole 2.3. Principem je spínání led na takové frekvenci, kterou lidské oko již nevnímá jako blikání a dle použité střídy signálu oko vnímá pouze střední hodnotu jasu. Toto uspořádání je levné a efektivní řešení řízení jasu pro multimediální techniku, avšak není v souladu se zadáním této práce.



### **2.3 Pulsně šířková modulace**

Pulsně šířková modulace, neboli PWM, je modulační technika používající obdélníkový signál s konstantní periodou a šířkou pulsu na základě informací signálu modulátoru. Střední hodnota takového průběhu napětí je pak přímo úměrná velikosti střídavy. Střída je poměr délky pulsu a periody. Stejnoseměrný pracovní bod LED se nastaví na maximum a s pomocí PWM je možné intenzitu vyzařování LED pouze snižovat. Pro účely přímého přepočtu je nutné znát poměr mezi skutečnou hodnotou zářivého toku a procentuálním vyjádřením hodnoty PWM pro přesnou regulaci (dáno právě maximální hodnotou budicího proudu a bitovou hloubkou modulace). Spínací frekvence PWM musí být dostatečně vysoká, aby nebylo ovlivněno spínané zařízení, nebo se neprojevila nespojitost PWM [9].

### **2.4 Fotodioda**

Fotodioda je polovodičová dioda upravená takovým způsobem, aby na PN přechod mohlo dopadat světlo. Voltampérová charakteristika při neosvětleném PN přechodu je shodná s charakteristikou běžné diody. Ke svojí funkci využívá vnitřní fotoelektrický jev, kdy závěrný proud fotodiody je významně závislý na intenzitě osvětlení přechodu. Fotodiody jsou používány k měření osvětlení, v automatizaci a rychlé diody se používají v optických spojích. Schématická značka fotodiody je podobná jako LED, jak je zobrazeno v Obr. 2.2, s tím rozdílem, že šipky (světlo) směřují na diodu.

Můžeme se také setkat s PIN diodou, která obsahuje oproti standardní fotodiodě mezi vrstvou P a N ještě vrstvu intrinzického polovodiče. Na nízkých frekvencích se dioda chová obdobně jako obyčejná fotodioda, avšak na vysokých frekvencích je možné ji použít jako prvek s proudem řízenou rezistencí.

### **2.5 AVR mikrokontrolér**

Mikrokontroléry AVR jsou postaveny na modifikované koncepci harvardské architektury. To znamená, že paměť programová a datová je fyzicky oddělena. Jádro AVR je složeno z 8-bitových pracovních registrů. Tyto registry mohou obsahovat data

i adresy. AVR jsou vyráběny v několika řadách, výjimkou nejsou ani AVR pro konkrétní aplikace. Vyráběné řady se liší v počtu instrukcí, velikosti paměti, počtem vývodů a periférií. Mezi hlavní patří čítač/časovač s rozlišením 8 a 16 bitů, systém přerušení, A/D převodník, PWM generátor, jednotka USART, sběrnice SPI, I2C a také Watchdog. Veškeré důležité parametry a informace jednotlivých kontrolérů je možné dohledat na stránkách výrobce v katalogových listech konkrétních produktů [1].

Mikrokontrolér pracuje se strojovým cyklem, který přímo odpovídá hodinovému cyklu. Hodinový signál procesoru řídí časování jádra a následně jsou odvozeny časovací signály pro všechny periferie. Možnosti generování hodinového signálu jsou:

- externí zdroj hodinového signálu, například krystal,
- vnějším RC oscilátor,
- interní RC oscilátor (běžné hodnoty 1, 2, 4, 8MHz, není potřeba žádné externí součásti).

Mikrokontroléry AVR obsahují tři integrované druhy paměti [7]:

- Programová paměť Flash – Slouží k uložení instrukcí programu. Tuto paměť je možné programovat v programátoru, ale i přímo v systému. Programování je umožněno po jednotlivých adresách. Avšak při mazání se musí smazat celá paměť. Paměti o velké kapacitě jsou rozděleny na sektory, které je možné programovat a mazat jednotlivě.
- Paměť RAM (SRAM) – Tato paměť slouží pro uchování dočasných dat a je závislá na napájení. To znamená, že paměť je po připojení napájení prázdná. Obsah paměti SRAM je stabilní, dokud není přepsán, a to dokud je paměť napájena.
- Paměť EEPROM – Je ekvivalent k paměti Flash. Obsah paměti je programován po jednotlivých adresách, vždy celé slovo. Tato paměť slouží v uživatelských aplikacích většinou k uložení konfiguračních dat a po odpojení napájení jsou data uchována v paměti. Nevýhodou je limitovaný počet přepsání.

# PRAKTICKÁ ČÁST

## 3 VOLBA ZDROJE ZÁŘENÍ

### 3.1 Výběr LED

Dle zadání práce má zařízení obsahovat takové množství diod, aby pokrylo vlnové spektrum od viditelné až do blízké infračervené oblasti. Po prozkoumání aktuální nabídky svítivých diod bylo zjištěno, že dnes jsou běžně vyráběny LED od 245 nm až po 4500 nm. Diody do 375 nm a od 1600 nm jsou drahé a většinou vyráběny ve speciálním pouzdře. Tyto diody jsou pro naše účely nevhodné. Jednotlivé diody byly vybrány tak, aby jejich vlnové délky byly co nejvíce rozprostřeny ve spektru od 400 nm do 1300 nm, s rozumným krokem. Celkový počet vybraných diod nepřekročil 16 diod. Zvolené LED jsou zobrazeny v Tab. 3.1.

Tab. 3.1: Seznam vybraných LED

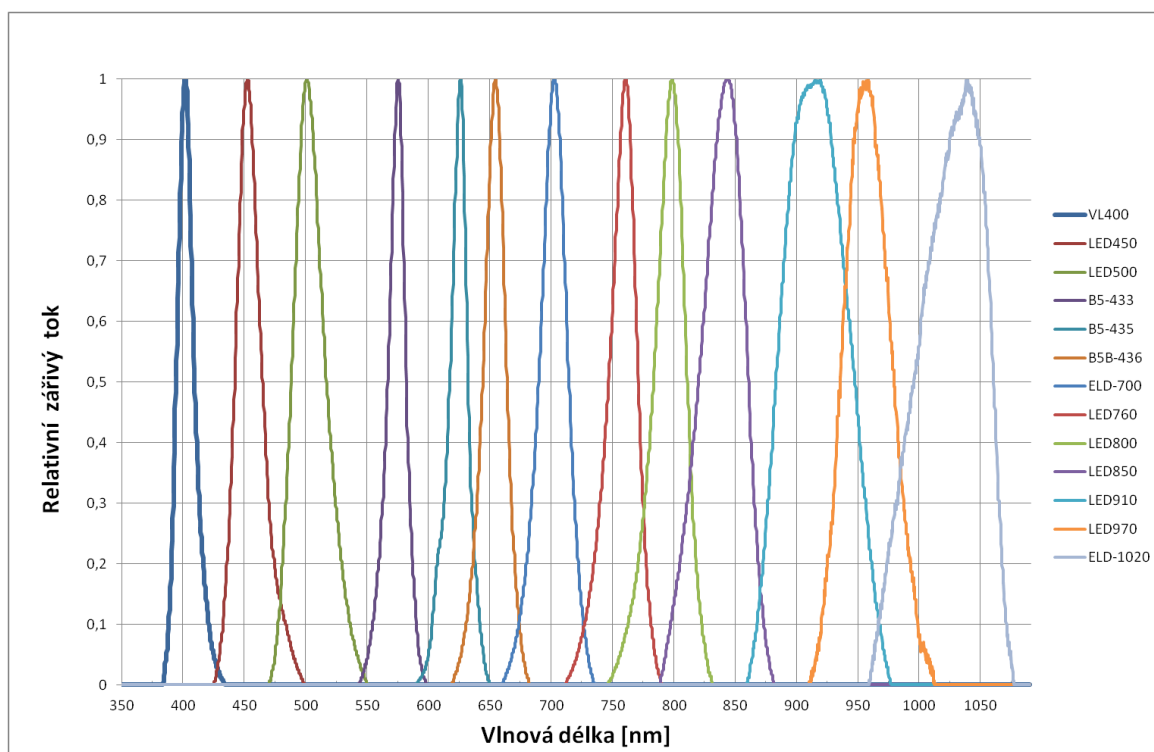
Typ diody	Vlnová délka	Typ diody	Vlnová délka
	[nm]		[nm]
VL400-5-15	400	LED800-01AU	800
LED450-03	450	LED850-03UP	850
LED500-10-30	500	LED910-01	910
B5-433-20	572	LED970-02	970
B5-435-30	625	ELD-1020-525	1020
B5b-436-30	660	ELD-1060-525	1060
ELD-700-524	700	LED1200-03	1200
LED760-03AU	760	ELD-1300-525	1300

### 3.2 Měření spektra vybraných LED

První krokem bylo u zvolených LED otestovat jejich funkčnost a změřit parametry. Pro toto ověření jsem postupně jednotlivé LED zapojil k laboratornímu zdroji, na němž jsem nastavil omezení odpovídající maximální hodnotě proudu a napětí. Tyto hodnoty byly zjištěny z katalogového listu diod. Při tomto testování funkčnosti diod bylo za pomoci mřížkového CCD spektrometru SPM-002-E změřeno spektrum diod.

Spektrometr SPM-002-E je schopen změřit vlnové délky od 200–1090 nm, takže bylo změřeno spektrum diody pouze do 1020 nm, kde už měl spektrometr malou citlivost z důvodu horní hranice vlnové délky, které je schopen křemíkový čip zaznamenat. Spektrometr není absolutně kalibrován, takže vypovídající je pouze spektrální oblast emise. Dominantní vlnové délky jednotlivých LED je možné vidět v Obr. 3.1. Jednotlivá spektra diod jsou i z výše popsaného důvodu v grafu normalizována. Z grafu je patrné, že:

- vlnové délky vybraných diod odpovídají katalogovým hodnotám,
- vybrané vlnové délky LED jsou dostatečně rovnoměrně rozprostřeny v celém zvoleném spektru,
- šířka pásma jednotlivých diod není konstantní.



Obr. 3.1: Spektrální charakteristika jednotlivých diod

### 3.3 Měření světelného výkonu

Pro pozdější použití a vlastní řízení optického výkonu diod bylo zapotřebí změřit emitovanou energii u všech diod. Pro toto měření byla zvolena kalibrovaná fotodioda

FSD100. Pro vlnové délky větší jak 1100 nm byl použit vysokorychlostní světelný detektor PDA255. Fotodioda FSD100 má rozsah vlnových délek, na které reaguje 350–1100 nm. Světelný detektor PDA255 reaguje na 700–1800 nm.

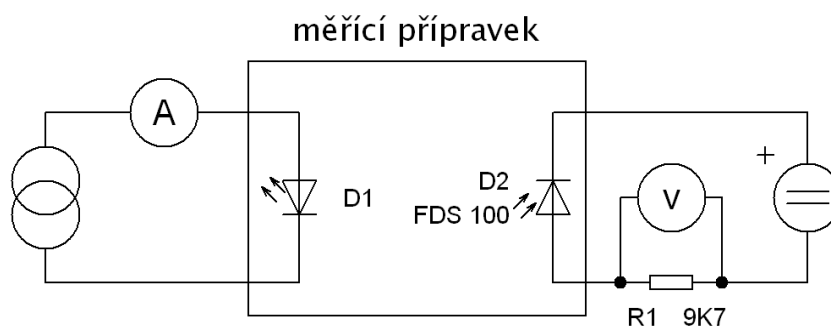
Pro přesnější měření bylo nutné docílit toho, aby měření bylo co nejméně ovlivněno okolním osvětlením a současně byla vzdálenost mezi LED a kalibrovaným fotodetektozem konstantní i po výměně jednotlivých LED. Toho bylo dosaženo vyroběním jednoduchého měřicího přípravku. Zároveň byl vyroben s ohledem na vyzařovací úhel diod tak, aby většina emitovaného světla dopadala na zadní plochu přípravku a ne na stěny. V přípravku jsou na čelní i zadní straně vyvrtány otvory. Jeden otvor přesně odpovídá průměru LED,  $d = 5$  mm. Druhý otvor má průměr  $d = 8,3$  mm pro detektor FSD100. Tyto otvory jsou vyvrtány v ose, protože většina LED má největší vyzařovací výkon ve středu vyzařovaného prostorového úhlu. Přípravek je z obou stran pevně uzavřen, aby do něj nevnikalo okolní světlo. Zamezení případného odrazu světla uvnitř přípravku bylo dosaženo nalepením vrstvy matně černěného papíru. Tento přípravek je vidět na Obr. 3.2.



Obr. 3.2: Vyrobený měřicí přípravek

Měření bylo provedeno podle schématu zapojení, které je ukázáno na Obr. 3.3. LED je zasunuta do měřicího přípravku, připojena na zdroj proudu, a je měřen proud

procházející diodou pomocí ampérmetru. Světlo vyzařované diodou dopadá na fotodiodu FDS100, která je umístěna proti LED ve vzdálenosti 11,5 cm. K fotodiodě je sériově připojený snímací rezistor o hodnotě  $9770 \Omega$ , paralelně k němu je připojen voltmetr. Fotodioda s odporem je napájena ze zdroje napětí o hodnotě  $U = 20 \text{ V}$ .



Obr. 3.3: Schéma zapojení při měření diod

Měření probíhalo tak, že fotodioda se vložila do měřícího přípravku z odpovídající strany, a na odporu o známé hodnotě zapojeném v sérii s fotodiodou bylo měřeno napětí. S využitím Ohmova zákona byl vypočten proud procházející diodou, který byl následně přepočítán přes aktivní plochu diody a spektrální křivku odezvy na hodnotu zářivého toku. Na druhé straně měřícího přípravku se vkládaly jednotlivé LED, které byly připojeny na ampérmetr a zdroj proudu. Na zdroji proudu byla nastavována hodnota proudu od nejvyšší dovolené hodnoty dané katalogovým listem diody až do 0.

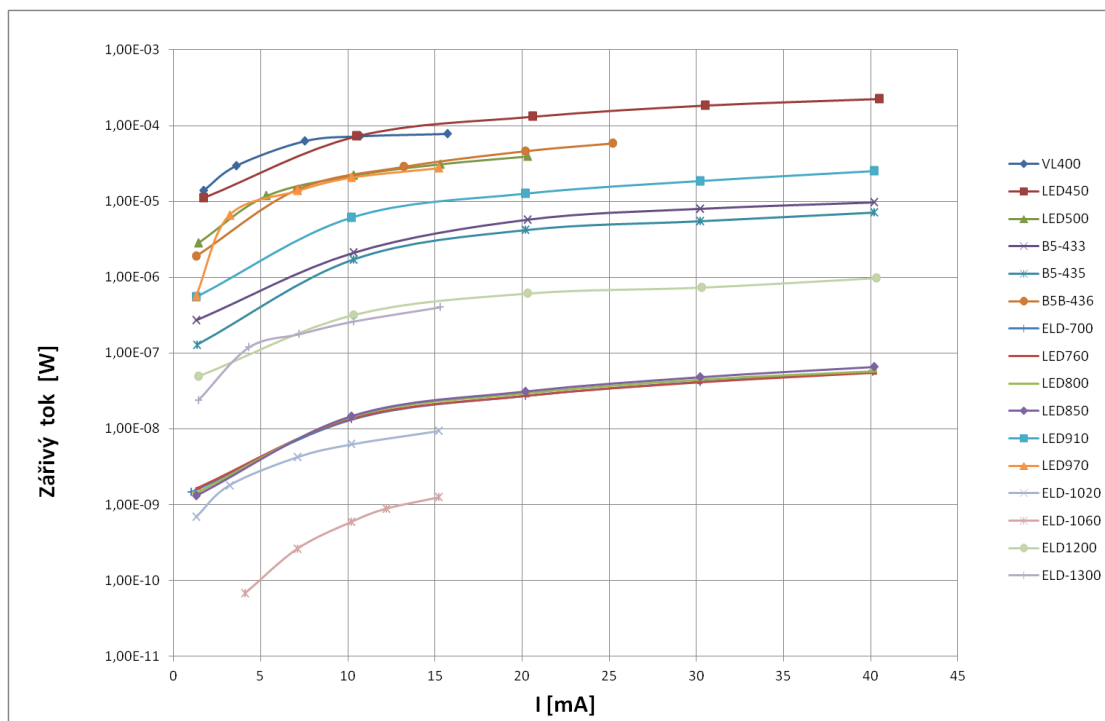
Zapojením LED do obvodu začne na fotodiodě vlivem záření z LED procházet proud, čímž dojde ke změně hodnoty napětí na odporu zapojeném v sérii. Aktivní plocha fotodiody má plochu  $S = 13 \text{ mm}^2$ . Z této plochy se měří dopadající světelná energie vyzářená diodou. K výpočtu zářivého toku LED bylo potřeba znát hodnotu responsivity  $R_\lambda$  (tj. citlivosti  $\text{A/W}$  na určité vlnové délky), kterou je možné zjistit z kalibračního grafu diody. Po změření a dohledání všech potřebných hodnot vyjdeme z rovnice (3.1) [10], kde  $\Phi$  je zářivý tok,  $I$  je proud diodou.

$$R_{\lambda} = \frac{I_p}{\Phi} \quad (3.1)$$

Rozepsáním hodnoty proudu diodou dle Ohmova zákona můžeme psát rovnici (3.2), pomocí které určíme konkrétní zářivý tok  $\Phi$ , pro daný proud diodou.

$$\Phi = \frac{U}{R_{\lambda}} \quad (3.2)$$

Vypočtené a naměřené hodnoty jsou uvedeny v Tab. 3.2. Následně jsou tyto hodnoty vyneseny do Obr. 3.4 jako závislost vypočteného zářivého toku na nastaveném proudu LED. Z grafu je patrné, že se nejedná o lineární závislost, tak jak lze u luminiscenčních diod předpokládat. To znamená, že největší změna svítivosti diody nejvíce roste do první třetiny až poloviny maximálního proudu. Tohoto zjištění bude následně možné využít pro pozdější aplikaci při řízení svítivosti LED.



Obr. 3.4: Závislosti zářivého toku jednotlivých diod na proudu

Tab. 3.2: Naměřené a vypočtené hodnoty jednotlivých LED

VL400			LED450			LED500			B5-433		
$I$	$U$	$\Phi_e$	$I$	$U$	$\Phi_e$	$I$	$U$	$\Phi_e$	$I$	$U$	$\Phi_e$
mA	mV	W	mA	mV	W	mA	mV	W	mA	mV	W
16	51	7,784E-05	41	260	0,0002236	20	67	3,919E-05	40	24	9,714E-06
11	47	7,245E-05	31	213	0,0001832	15	53	3,094E-05	30	20	7,988E-06
7,5	40	6,228E-05	21	152	0,0001307	10	38	2,193E-05	20	14	5,74E-06
3,6	19	2,944E-05	11	84	7,225E-05	5,3	20	1,176E-05	10	5,2	2,087E-06
1,7	8,9	1,372E-05	1,7	13	1,118E-05	1,4	4,8	2,807E-06	1,3	0,7	2,689E-07
B5-435			B5B-436			ELD-700			LED760		
$I$	$U$	$\Phi_e$	$I$	$U$	$\Phi_e$	$I$	$U$	$\Phi_e$	$I$	$U$	$\Phi_e$
mA	mV	W	mA	mV	W	mA	mV	W	mA	mV	W
40	22	7,091E-06	25	204	5,8E-05	40	380	5,556E-08	40	402	5,414E-08
30	17	5,455E-06	20	161	4,578E-05	30	283	4,138E-08	30	301	4,054E-08
20	13	4,171E-06	13	100	2,843E-05	20	185	2,705E-08	20	200	2,694E-08
10	5,3	1,701E-06	7,1	50	1,422E-05	10	90	1,316E-08	10	100	1,347E-08
1,4	0,4	1,283E-07	1,3	6,6	1,876E-06	1	10	1,462E-09	1,3	12	1,616E-09
LED800			LED850			LED910			LED970		
$I$	$U$	$\Phi_e$	$I$	$U$	$\Phi_e$	$I$	$U$	$\Phi_e$	$I$	$U$	$\Phi_e$
mA	mV	W	mA	mV	W	mA	mV	W	mA	mV	W
40	445	5,693E-08	40	540	6,502E-08	40	149	2,521E-05	15	172	2,742E-05
30	346	4,427E-08	30	396	4,768E-08	30	110	1,861E-05	10	129	2,057E-05
20	228	2,917E-08	20	257	3,095E-08	20	75	1,269E-05	7,1	86	1,371E-05
10	111	1,42E-08	10	121	1,457E-08	10	36	6,09E-06	3,2	41	6,537E-06
1,3	11	1,407E-09	1,3	11	1,3E-09	1,3	3,2	5,414E-07	1,3	3,5	5,58E-07
ELD-1020			ELD-1060			LED1200			ELD-1300		
$I$	$U$	$\Phi_e$	$I$	$U$	$\Phi_e$	$I$	$U$	$\Phi_e$	$I$	$U$	$\Phi_e$
mA	mV	W	mA	mV	W	mA	mV	W	mA	mV	W
15	93	9,342E-09	15	13	1,236E-09	40	8	9,756E-07	15	3,4	0,0000004
10	62	6,222E-09	12	9,1	8,787E-10	30	6	7,317E-07	10	2,2	2,588E-07
7,1	42	4,215E-09	10	6,1	5,89E-10	20	5	6,098E-07	7,2	1,5	1,765E-07
3,2	18	1,786E-09	7,1	2,7	2,607E-10	10	2,6	3,171E-07	4,3	1	1,176E-07
1,3	6,8	6,824E-10	4,1	0,7	6,759E-11	1,4	0,4	4,878E-08	1,4	0,2	2,353E-08

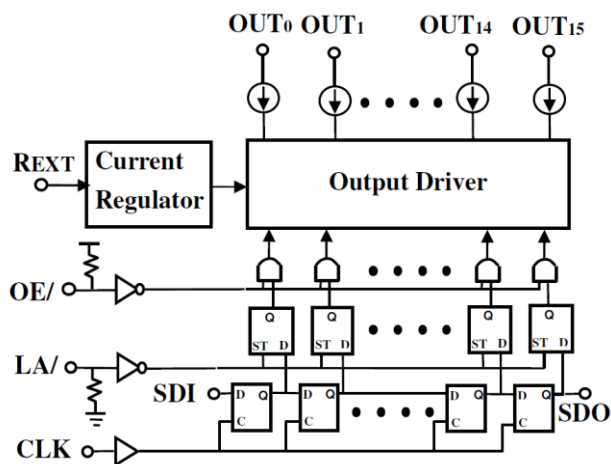


## 4 MOŽNOSTI REGULACE INTENZITY VYZAŘOVÁNÍ

### 4.1 Pomocí IO obvodu

Řízení a regulaci diod je možné realizovat pomocí dvou integrovaných obvodů, a to mikrokontroléru a LED driveru (budič LED) s proudovým zdrojem. Vhodnou kombinací těchto obvodů je možné ovládat a regulovat odpovídající množství LED, nebo sestavit budič jednoduchého LED displeje.

Budič LED je integrovaný obvod, který má různé množství výstupních kanálů a možnost nastavení proudu. Pro naše účely by byl potřeba obvod s 16 kanály a s výstupním proudem  $I = 50 \text{ mA}$ . Tomuto kritériu by odpovídalo několik obvodů různých firem s podobným vnitřním uspořádáním. Pro další rozbor byl vybrán obvod od firmy StarChips technology SCT2026, obsahující právě 16 kanálů, kde výstupní proud na kanál je 5–60 mA. Obvod by zjednodušil a zpřehlednil celé zapojení. Nastavení maximální hodnoty proudu je nastavováno za pomoci externího odporu. Nastavení jiného proudu, pro každou jednotlivou diodu, by touto cestou nebylo možné. Pro řízení výstupního proudu je nutné použít přímo PWM. Při zvolení této možnosti řízení se externím odporem nastaví maximální proud a zbylé nastavení proudu je řešeno za pomoci PWM přiváděným na vstup OE/, který spíná výstupní kanály, jak je vidět na Obr. 4.1. Po bližším prozkoumání se využívá toho, že při dostatečně vysoké frekvenci PWM lidské oko nepozná, že ve skutečnosti LED bliká. Pro naše užití v laboratorních podmínkách není tento jev vhodný, a proto toto řešení nebylo použito.

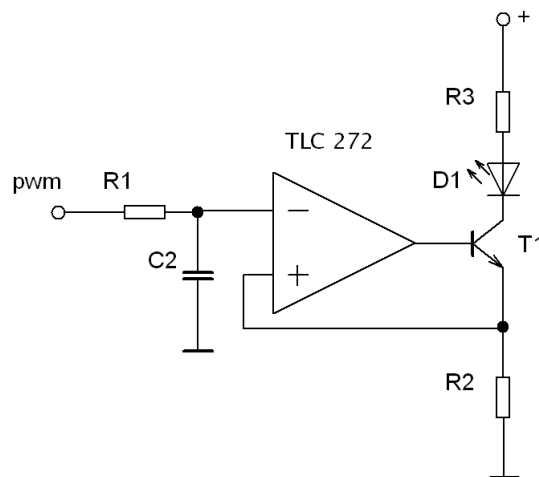


Obr. 4.1: Blokové zapojení SCT2026 [8]

## 4.2 Pomocí řízeného zdroje proudu

Jako další možnost řízení je vytvoření několikanásobného napětím řízeného zdroje proudu. Výchozí myšlenka byla, že řídicí obvod bude mikrokontrolér a na jednotlivých pinech budou řízeny diody samostatně. Nicméně kontrolér nabízí jako pseudo-analogový výstup pouze PWM. Dle katalogových listů mikrokontroléru je navíc výstupní proud na pin 20 mA, což je sice dostačující pro rozsvícení obyčejných svítivých diod, ale nedostačující pro rozsvícení zvolených LED. Tato metoda řízení je pro naše použití tedy opět nevhodná. Další možností je použít analogově-digitální převodník s dostatečným počtem výstupních kanálů. Cena takového převodníku s rozumnou bitovou hloubkou již není zanedbatelná, a proto bylo zvoleno řešení, kdy kontrolér softwarově generuje PWM na šestnácti kanálech současně.

K řízení bylo navrženo uspořádání, kdy je PWM generováno softwarově a počet výstupních signálů je tedy omezen pouze počtem výstupních bran. Takto generovaný signál je přiveden na RC filtr, který slouží jako dolní propust a výstupem je analogová hodnota napětí. Ta je přiváděna na napětím řízený zdroj proudu tvořený operačním zesilovačem, tranzistorem  $T_1$  a rezistorem  $R_2$ . Výstupní proud operačního zesilovače otevírá tranzistor a hodnota protékajícího proudu je zavedena do neinvertujícího vstupu operačního zesilovače. Schéma zapojení jednoho kanálu navrhovaného obvodu je na Obr. 4.2.

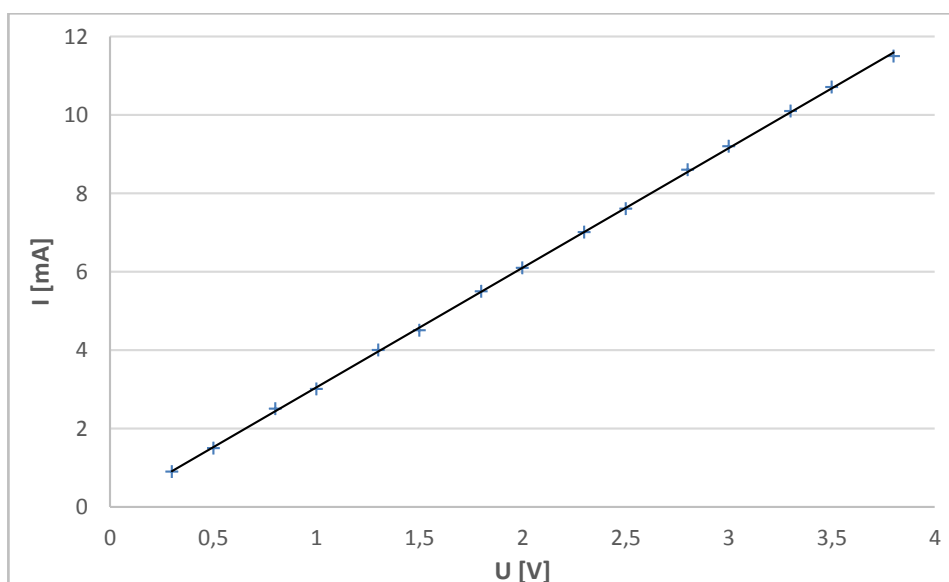


Obr. 4.2: Navržené schéma zapojení s OZ

Pro ověření funkčnosti jsem tento obvod sestavil a odzkoušel. Jako zdroj signálů jsem naprogramoval dostupný mikrokontrolér ATmega8 a použil výstupní pin, na kterém bylo možné přímo generovat PWM signál. Při změně střídy signálu se měnila svítivost LED a dle měřících přístrojů byla hodnota proudu časově stálá a bez výrazného zvlnění. Pro ověření, že řízení proudu tímto zapojením bude lineární, jsem provedl jednoduché měření. Na vstupu zesilovače jsem přiváděl napětí a na výstupu následně měřil proud. Tyto hodnoty jsou uvedeny v Tab. 4.1. Z naměřených hodnot jsem vynesl převodní charakteristiku navrženého zapojení, zobrazenou v Obr. 4.3. Dále jsem experimentálně zjistil, že napájecí napětí pro diodu zapojenou do tohoto zdroje proudu musí být dostatečně velké, aby nedošlo k limitaci výstupního proudu ještě předtím, než je dosažena maximální hodnota na výstupním pinu kontroléru.

Tab. 4.1: Naměřené hodnoty OZ

U [V]	0,3	0,5	0,8	1,0	1,3	1,5	1,8	2,0	2,3	2,5	2,8	3,0	3,3	3,5	3,8
I [mA]	0,9	1,5	2,5	3,0	4,0	4,5	5,5	6,1	7,0	7,6	8,6	9,2	10,1	10,7	11,5



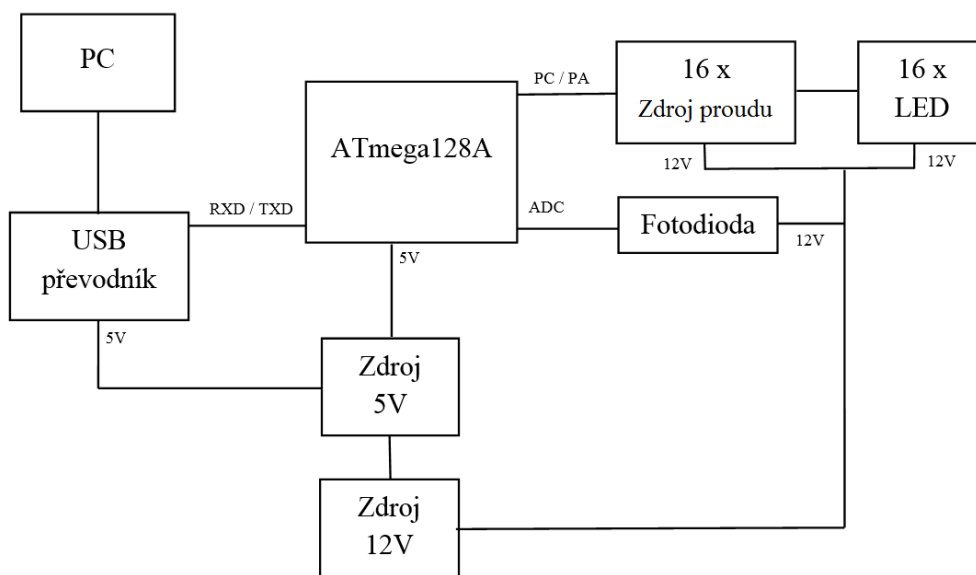
Obr. 4.3: Převodní charakteristika napětím řízeného zdroje proudu

## 5 NÁVRH ELEKTRONIKY

### 5.1 Schéma zapojení zařízení

Zadáním této práce je návrh a realizace počítačem řízeného zdroje optického záření. Navrhl jsem zapojení, které je znázorněno v blocích na Obr. 5.1. Toto zapojení splňuje požadavky stanovené v zadání práce. Požadavky jsou: vhodný počet LED s rozložením vlnových délek od viditelné až do blízké infračervené oblasti, nezávislé řízení jednotlivých LED, ovládání zařízení z PC pomocí komunikačního protokolu, obsažený fotodetektor a řízení zařízení pomocí mikrokontroléru. Zařízení je napájeno externím zdrojem 12V stejnosměrného napětí. Před realizací kompletního návrhu bylo nutné zvolit vhodný zdroj proudu pro jednotlivé LED, jak je popsáno v kapitole 4.

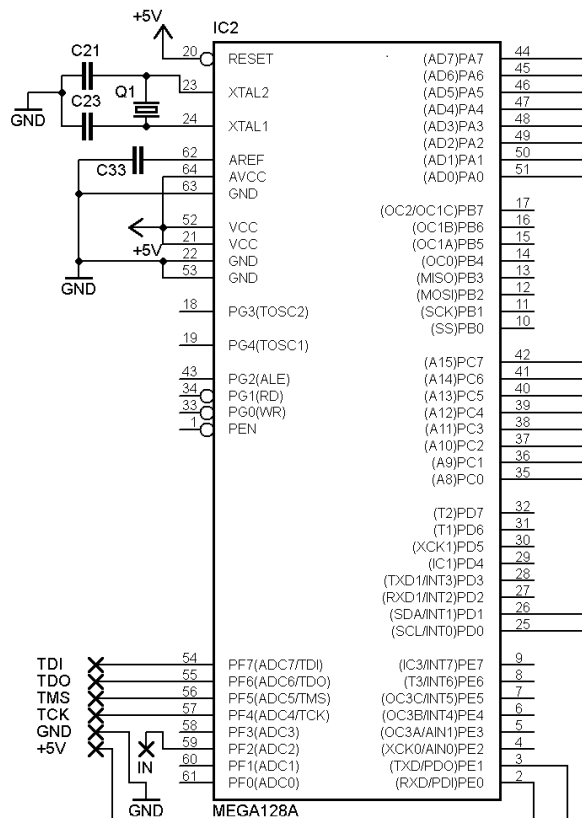
V následujících kapitolách jsou popsány schémata zapojení jednotlivých bloků obvodu. Celé schéma zapojení obvodu je v příloze A. Schéma zapojení byly vytvořeny s využitím programu Eagle 6.5.0.



Obr. 5.1: Blokové schéma zapojení obvodu

### 5.1.1 Mikrokontrolér ATmega128A

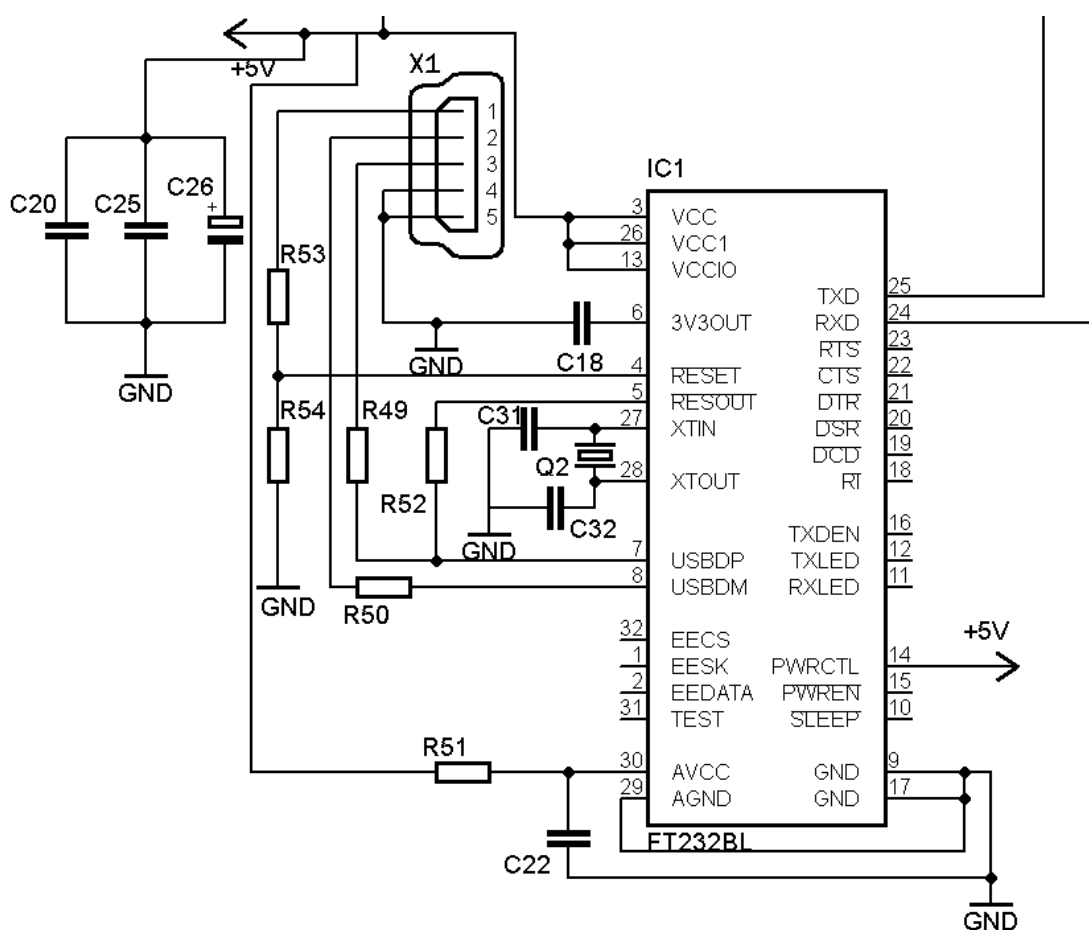
Řídicím obvodem celého zařízení je mikrokontrolér firmy Atmel typu AVR s označením ATmega128A. Obvod je připojen na 5V napájení na příslušných pinech dle katalogového listu [2] pro korektní funkčnost vnitřních obvodů. Pin RESET je přímo připojen na  $U_c = 5\text{ V}$ , čímž je blokován. Pin AREF je připojen na keramický kondenzátor  $C = 100\text{ nF}$  v souladu s katalogovým listem, pro správné fungování A/D převodníku s vnitřní referencí  $U_{REF} = 2,56\text{ V}$ . Mezi piny XTAL1 a XTAL2 je připojen krystal o hodnotě 16 MHz a přes keramické kondenzátory o hodnotě 12 pF jsou připojeny na GND. Mikrokontrolér je programován skrze rozhraní JTAG, umožňující také debugování přímo v systému. JTAG piny PF4-PF7 jsou vyvedeny na lištu pinů k připojení programátoru. Na vstup pinu PF2 je přiveden signál z fotodiody pro zpracování na A/D převodník. Piny PE1(TXD) a PE0(RXD) jsou propojeny s odpovídajícími piny USB převodníku FT232BL. Pro komunikaci skrze USB je využito rozhraní USART0. Piny PD1 a PD2 jsou použity pro připojení teplotního senzoru. Skupina pinů PA a PC je využita jako výstupní pro řízení jednotlivých LED. Zapojení je uvedeno na Obr. 5.2.



Obr. 5.2: Schéma zapojení řídicího obvodu ATmega128A

### 5.1.2 USB převodníku FT232BL

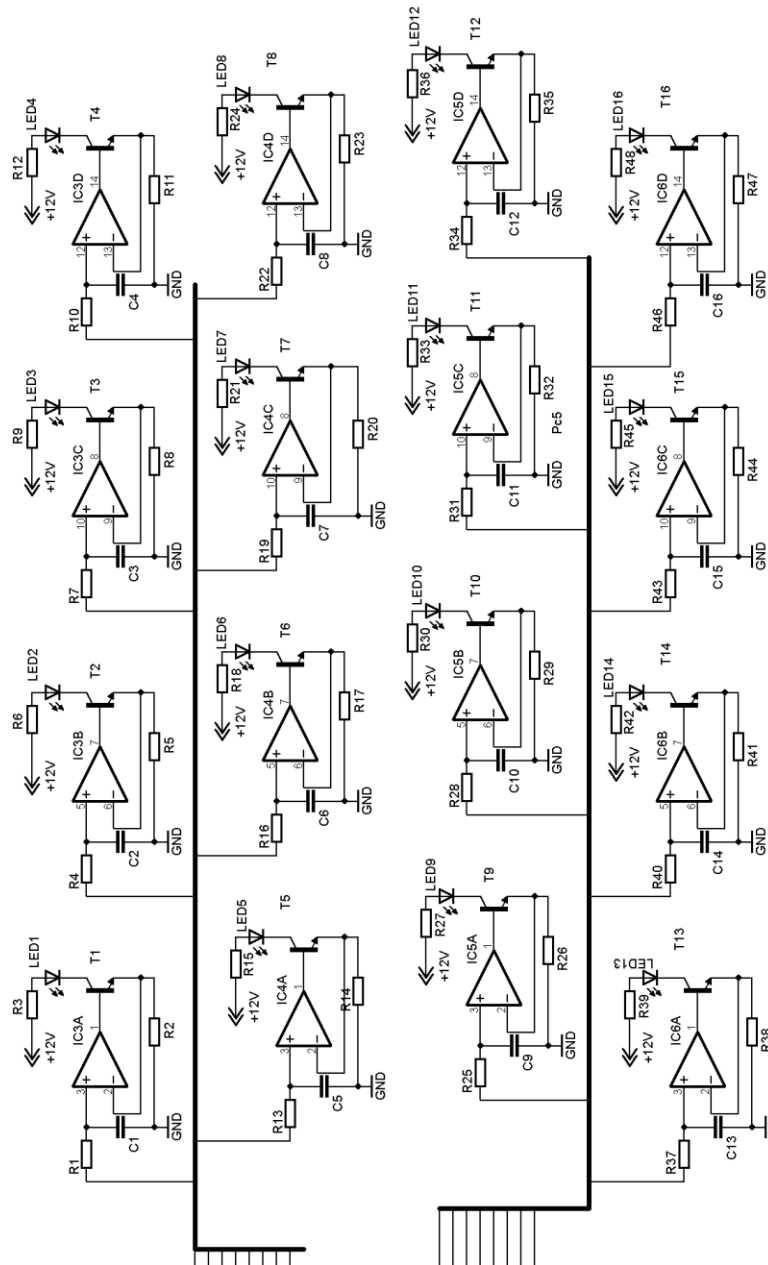
Pro komunikaci s počítačem byl vybrán obvod FT232BL, zajišťující převod komunikace mezi USB a sériovou linkou UART. Napájení obvodu je zvoleno v konfiguraci „self powered configuration“ a připojení datových vodičů z USB je zapojeno dle katalogového listu [5]. Propojení s kontrolérem je realizováno na pinech 24(RXD) a 25(TXD). Jedná se o variantu obvodu, která vyžaduje vlastní hodinový krystal. Schéma zapojení je na Obr. 5.3.



Obr. 5.3: Schéma zapojení USB převodníku FT232BL

### 5.1.3 Násobný zdroj proudu s LED

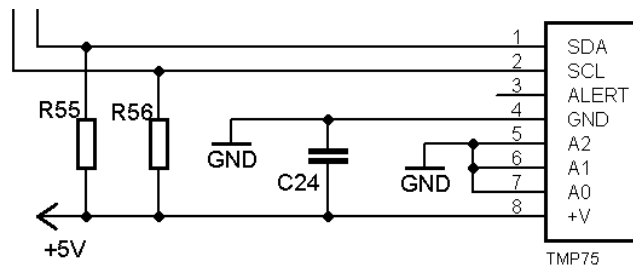
Výstup z kontroléru je přiveden do navrženého zdroje proudu popsaného v kapitole 4.2. Toto zapojení je vytvořeno šestnáctkrát pro každou diodu samostatně s odpovídajícími hodnotami součástek podle konkrétní LED. Schéma zapojení je na Obr. 5.4. Rezistory v anodě LED mají čistě ochranný charakter, aby při případném proražení tranzistoru nedošlo k překročení maximálního proudu LED.



Obr. 5.4: Schéma zapojení zdrojů proudu s LED

### 5.1.4 Teplotní senzor

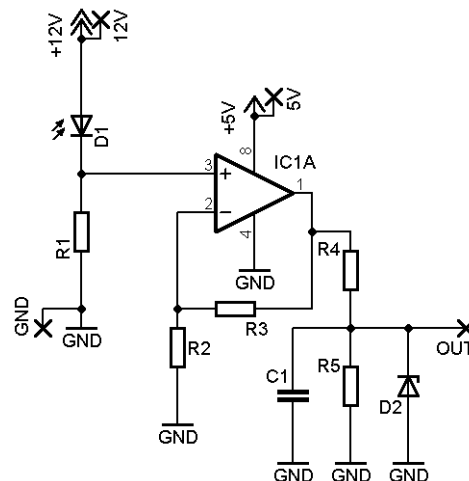
Teplotní senzor TMP75 je s kontrolérem propojen piny 1 a 2 zajišťující přenos hodnot odpovídající teplotě. Tento obvod je v zapojení zahrnut s ohledem na možnou potřebu korekcí hodnot s rostoucí teplotou projevující se na vlastnostech součástek. V praxi jsem ovšem tento vliv během testování nepozoroval, proto nebyl tento senzor zařazen do finální konstrukce. Schéma zapojení je zobrazeno na Obr. 5.5.



Obr. 5.5: Schéma zapojení teplotního senzoru TMP75

### 5.1.5 Zapojení fotodiody

Z důvodu možnosti umístění fotodiody na panel, není toto zapojení zahrnuto do návrhu s celkovým zapojením. Fotodioda je zapojena dle katalogového listu [10] a výstupní hodnota z fotodiody je oddělena a zesílena s využitím OZ. A až poté je analogový signál přiveden do kontroléru.  $D_2$  je ochranná zenerova dioda s pracovním napětím zvoleným tak, aby nedošlo k překročení napájecího napětí kontroléru (při využití vnitřní reference se napětí bude pohybovat do 2,56 V).

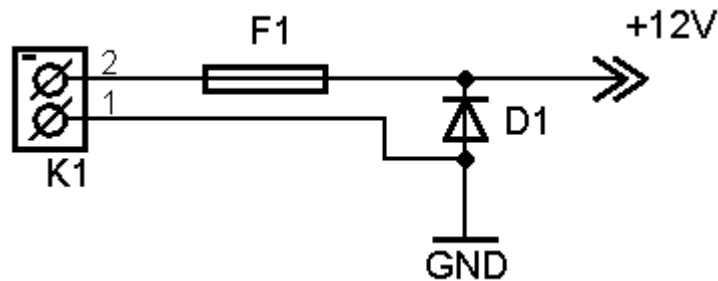


Obr. 5.6: Schéma zapojení fotodiody FDS100



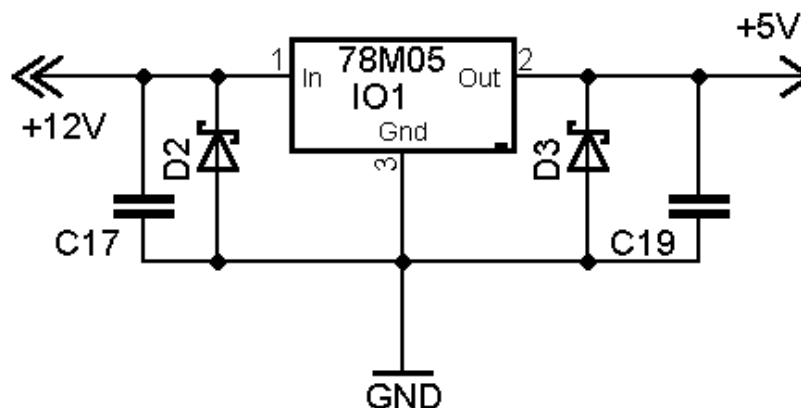
### 5.1.6 Napájení obvodu

Napájení zařízení je realizováno externím 12 V/1,5 A stejnosměrným zdrojem adaptérového typu. Na vstupu je v sérii připojena proudová pojistka a dioda v závěrném směru jako ochrana obvodu proti nežádoucímu přepólování, jak je vidět na Obr. 5.7.



Obr. 5.7: Schéma zapojení 12 V externího zdroje

Pro napájení logických obvodů je nutné napájení 5 V. A proto jako zdroj napájení těchto obvodů jsem zvolil lineární regulátor napětí 78M05, na jehož výstupu je 5 V. Dle doporučení z katalogového listu [6] je na vstupu stabilizátoru připojen kondenzátor o hodnotě 330 nF a na výstupu kondenzátor o hodnotě 100 nF, navíc jsem z bezpečnostního důvodu připojil transily na vstup i výstup stabilizátoru s odpovídající hodnotou napětí 15 V respektive 6,5 V. Schéma zapojení této části je ukázáno na Obr. 5.8.



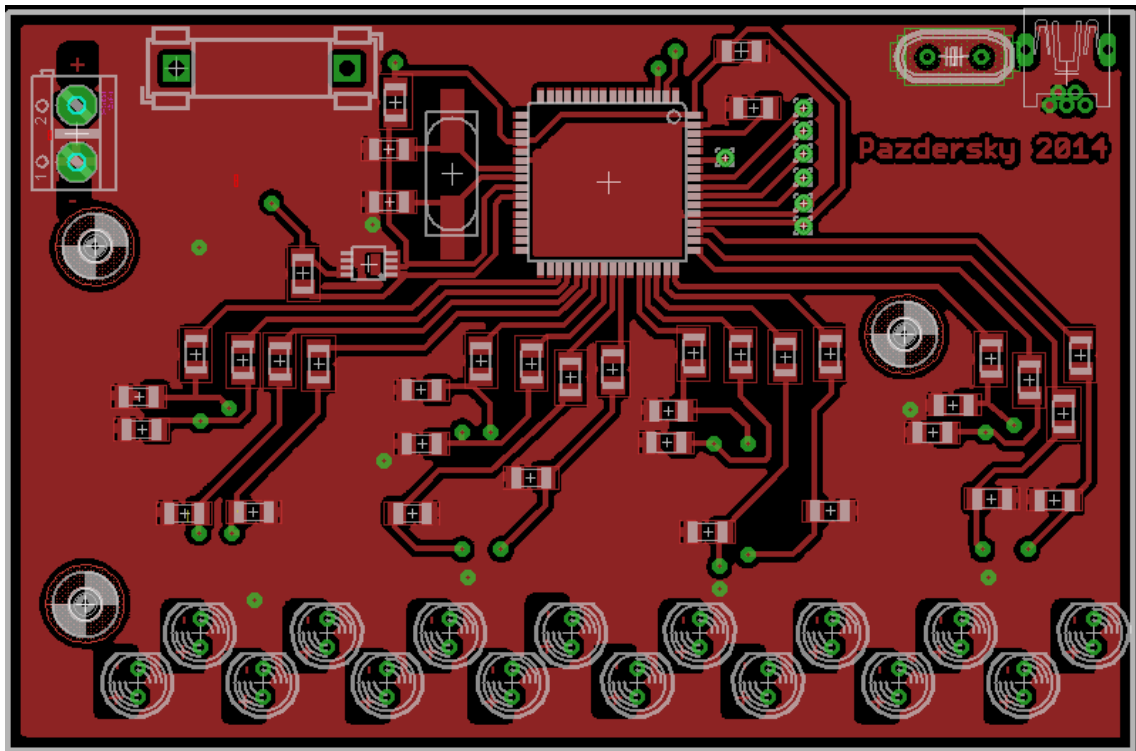
Obr. 5.8: Schéma zapojení 5 V zdroje

## 5.2 Návrh desky plošného spoje

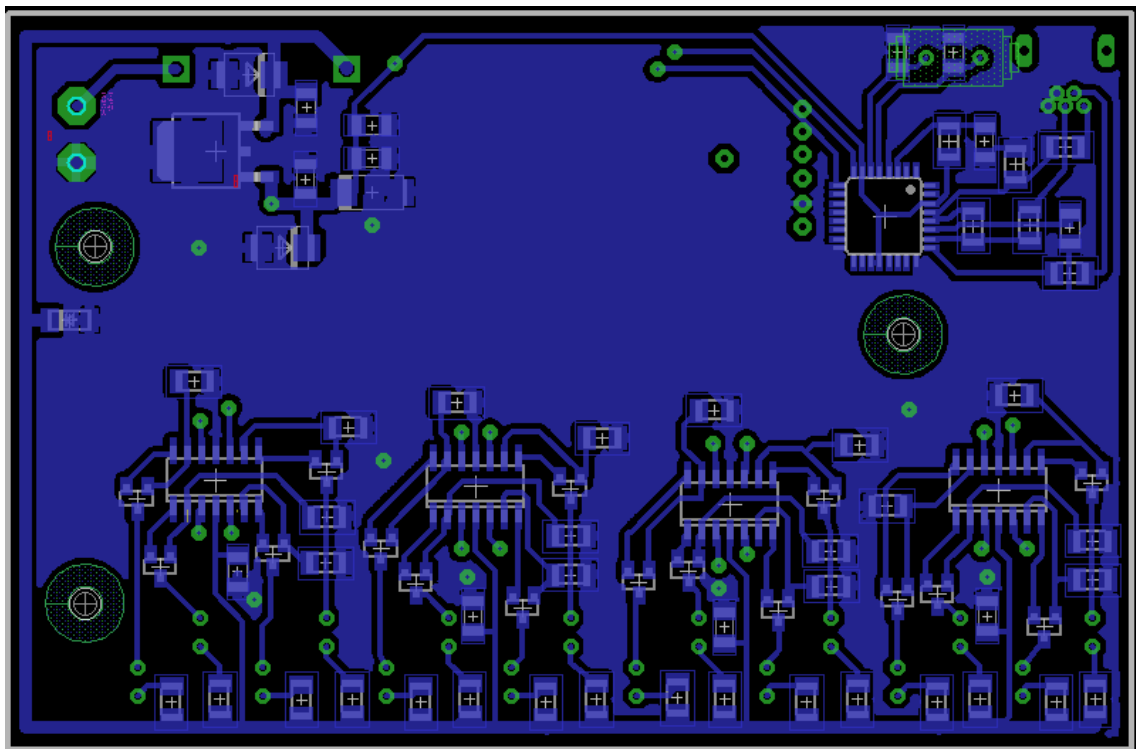
Pro návrh byl použit program Eagle 6.5.0, ve kterém bylo realizováno schéma zapojení a následně z tohoto schématu vytvořena deska plošného spoje DPS. Vzhledem k většímu počtu součástek, z nichž většina je v provedení SMD, a omezenému rozměru byl navržen oboustranný plošný spoj s prokovy. Rozměr DPS je 10 x 6,5 cm<sup>2</sup> a prokovy jsou ručně propojeny drátky a napájeny. Návrh jsem vytvořil s ohledem na logické uspořádání součástek. Seznam použitých součástek je v příloze B.

Horní vrstva TOP je ukázána na Obr. 5.9, v daném zobrazení jsou vidět i veškeré součástky horní strany spoje, ke kterým je nutný přístup po zabudování do krabičky. Tyto součástky jsou: pojistka, napájecí konektor (následně odstraněn a napájení připájeno napevno, napájecí konektor umístěn v čele krabičky), konektor USB (z konstrukčních důvodů připájen napřímo kabel s koncovkou) a programovací piny rozhraní JTAG. Na této straně desky je hlavní ovládací obvod ATmega128A s RC filtry jednotlivých signálů a propojení s LED.

Spodní vrstva spoje BOTTOM je na Obr. 5.10. Na této straně DPS je realizováno propojení klasických součástek se součástkami v provedení SMD. Dále je zde osazen lineární regulátor 78M05 zajišťující zdroj 5 V pro napájení logických obvodů, převodník FT232BL umožňující komunikaci skrze USB a řízené zdroje proudu pro jednotlivé LED.

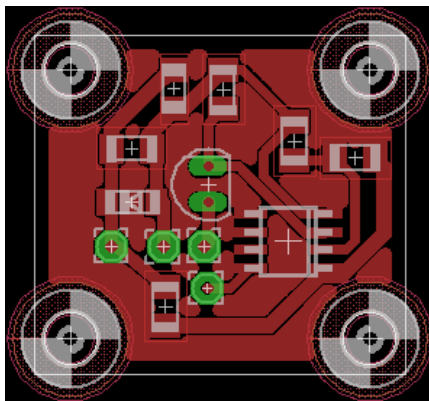


Obr. 5.9: Návrh desky tištěného spoje, vrstva TOP

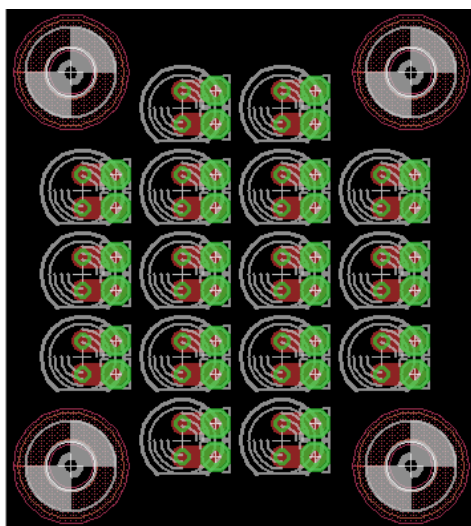


Obr. 5.10: Návrh desky tištěného spoje, vrstva BOTTOM

Jak již bylo řečeno v přechozí kapitole, fotodioda je z konstrukčních důvodů umístěna zvlášť na samostatné DPS Obr. 5.11, stejně tak, jako všechny LED viz Obr. 5.12. Bylo nutné vytvořit tyto samostatné desky z důvodu manipulace a vhodného umístění v krabičce s ohledem na optické konektory. Rozměr DPS s fotodiódou je  $2,5 \times 2,4 \text{ cm}^2$ , rozměr DPS s LED je  $3,5 \times 4 \text{ cm}^2$ .



Obr. 5.11: Návrh desky tištěného spoje fotodiody FDS100



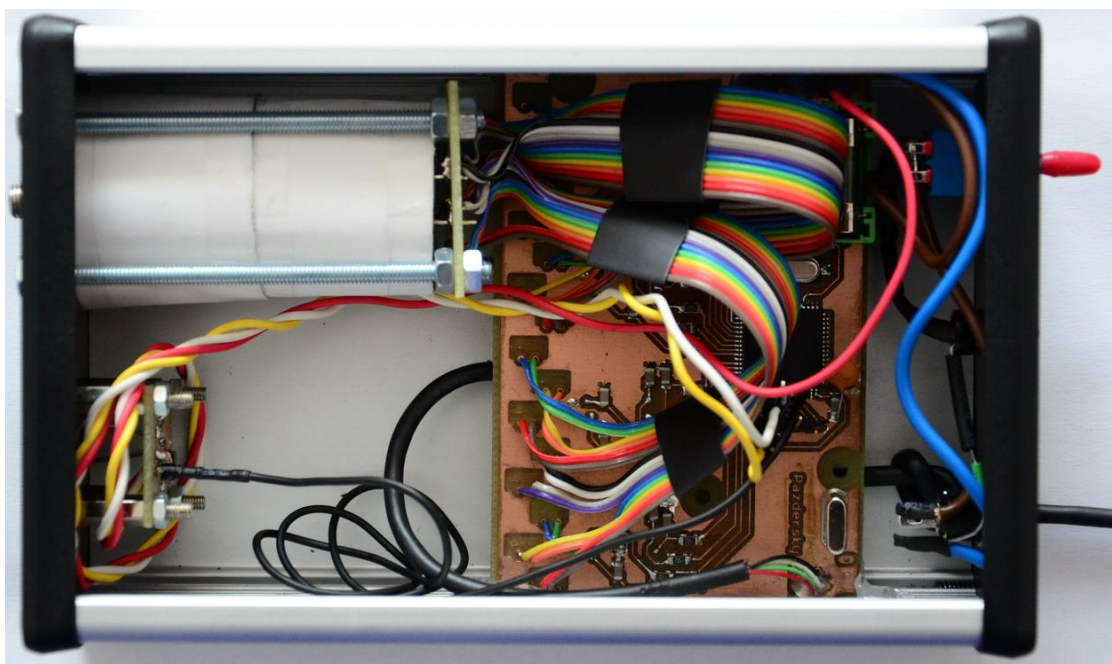
Obr. 5.12: Uspořádání 16 LED

### 5.3 Uspořádání a zapojení součástek v krabičce

Pro toto zařízení jsem vybral kovovou krabičku skládající se ze 4 částí, dvou samostatných čelních panelů těla a vrchní výsuvné desky. Díky konstrukci, která je zcela rozebíratelná, není problémem případná výměna pojistky, oprava zapojení, nebo přeprogramování mikrokontroléru. Programovací rozhraní JTAG vyvedené na plošném spoji není dále vyvedeno do panelu, protože se nepočítá s uživatelským programováním zařízení přes toto rozhraní. Hlavní DPS je v těle krabičky upevněn v drážkách těla, k zajištění bylo použito tavné lepidlo. Vzhledem k vnitřnímu uspořádání součástek, jak je vidět na Obr. 5.13, je na jedné straně krabičky funkční vstup a výstup optické části, a druhá obsahuje napájecí a ovládací části.

Spojení DPS s LED je provedeno dvakrát plochým 16 žilovým kabelem. Každá LED je zapojena samostatně do hlavního plošného spoje.

Propojení DPS fotodiody je realizováno 4 kabely a to následovně: červený 12 V, žlutý 5 V, bílý GND a černý kabel přivádí analogovou hodnotu z fotodiody do mikrokontroléru.



Obr. 5.13: Vnitřní uspořádání v krabičce

Přední panel Obr. 5.14 obsahuje vypínač, kontrolní LED indukující zapnutí, napájecí konektor a vyvedený USB kabel přes gumovou průchodku.



Obr. 5.14: Přední panel

Na zadním panelu Obr. 5.15 je optický vstup a výstup s konektorem optického vlákna typu SMA. LED na DPS jsou uspořádány a nasměrovány takovým způsobem, aby jejich zářivý tok směřoval ke středu optického konektoru. K vlastní fokusaci do vlákna je použita 1“ plankonvexní čočka s ohniskovou vzdáleností  $f = 25$  mm. Použití čočky umožní zvýšit výkon navázaný do vlákna. DPS s diodami je přišroubován na závitových tyčích, které umožnily vhodné nastavení vzdálenosti DPS od optického konektoru a zároveň fixaci stínícího tubusu, který je z vnitřní strany opatřen odrazivým materiálem, aby nedocházelo ke zbytečné ztrátě zářivého výkonu LED.



Obr. 5.15: Zadní panel

## 6 NÁVRH SOFTWARE

### 6.1 Programovací softwar pro mikrokontrolér

Mikrokontroléry ATMEL AVR jsou v dnešní době stále více využívány v jednoduchých konstrukcích různých zařízení ať už využívány profesionály nebo amatéry. V zařízení s mikrokontroléry je podstatnou částí jejich programové vybavení (firmware). Pro účely vytvoření firmware lze využít vývojového prostředí zdarma poskytovaného výrobcem, které obsahuje vývojové nástroje a překladač do strojového kódu mikrokontroléru. Základním způsobem programování mikrokontrolérů je využití jejich instrukční sady a program vytvořit s využitím těchto instrukcí v assembleru. Jedná se o nízkoúrovňový programovací jazyk, není přenositelný mezi procesory s různou architekturou, a není vhodný pro vytváření rozsáhlejších programů. Na druhou stranu může ve specifických úlohách být efektivnějším řešením, než program přeložený z jazyka C. Pro rychlejší a jednodušší užití byly vytvořeny překladače pro mikrokontroléry z vyšších programovacích jazyků jako je například C [11]. AVR obsahují redukovanou instrukční sadu RISC a výrobce uvádí, že lze tak dosáhnout vysoké efektivity programu i při programování v jazyce C.

Pro programování jsem použil Atmel Studio ve verzi 6.1 a programátor AVR JTAGICE mkII. Program je po zaregistrování volně dostupný na stránkách výrobce. Při spuštění Atmel Studia se založí nový projekt, kde je možnost zvolit programovací jazyk a to C nebo assembler. V podnabídce je možnost zvolit prázdný, nebo předvyplněný soubor s hlavičkou nebo konkrétní vývojovou desku. Další krok je volba verze mikrokontroléru, který bude programován. V mém případě je verze kontroléru ATmega128A. Po odsouhlasení vybraného kontroléru se vytvoří soubor s předvyplněnou hlavičkou a je nutné v nastavení „tool“ položka „programmer“ vybrat programátor. V mém případě AVR JTAGICE mkII, nebo pro případné testování je možné zvolit simulátor. Simulátor umožňuje odladit program, ale protože se jedná o simulaci, případné vnější podněty je nutné zadávat přes panel IO view. Program se pak chová stejným způsobem, jako kdyby běžel ve fyzicky připojeném zařízení. Dále je potřeba nastavit, případně zkontrolovat nastavení pojistek (Fuses) kontroléru, kde se nastavuje zdroj

hodinového signálu (oscilátoru), rozhraní JTAG, watchdog a některé další vlastnosti. Před vlastním překladem a programováním je nutné ještě zvolit míru optimalizace překladu. Volba optimalizace se nachází v položce „Toolchain“ záložka „optimization“ a může mít značný vliv na rychlost běhu programu, ale v některých specifických případech také na jeho funkčnost.

V rámci práce byly vytvořeny tři hlavní soubory s programem. První soubor obsahuje funkce zprostředkovávající komunikaci přes sériový kanál UART, druhý soubor obsahuje funkce řízení svitu jednotlivých LED a ve třetím je obsaženo zpracování komunikačního protokolu zpracovávajícího příchozí příkazy. Všechny tyto soubory jsou k dispozici v příloze C na CD.

### **6.1.1 Sériová komunikace**

Sériovou komunikaci mikrokontroléru s PC obstarává soubor pojmenovaný USART\_COM.h. Následuje stručný popis funkcí obsažených v tomto souboru.

Před použitím USART kanálu je nutné nastavit komunikační parametry spojení. Zvolil jsem tyto základní parametry spojení:

- asynchronní režim,
- přenosová rychlost: 9600 Bd/s,
- formát rámce: 8 datových bitů, 1 stop bit, parita žádná.

Pro spojení s PC je nutné nastavit stejné parametry také v PC. V Ukázka programu 6.1 jsou parametry nastavující sériovou komunikaci. V registrech UBRR0H a UBRR0L se nastavuje přenosová rychlost komunikace. Hodnota zapsaná v těchto registrech je vypočtena dle vztahu (6.1) převzatého z [2]. Do registru je možné zapsat pouze celočíselné hodnoty, tudíž je potřeba zanedbat desetiny. Tím se dopouštíme chyby, která způsobí nepřesnost nastavení komunikační rychlosti. Pokud není tato chyba větší než několik procent, komunikace nebude selhávat. Při vyšších chybách je jedinou možností změnit komunikační rychlost, případně takt kontroléru.



$$UBRR = \frac{f_{osc}}{16BAUD} - 1 = \frac{16 \times 10^6}{16 \times 9600} - 1 = 103.17 \approx 103, \quad (6.1)$$

kde:  $f_{osc}$  je frekvence oscilátoru a  $BAUD$  je přenosová rychlost.

Funkce `USART0_Init(uint16)` inicializuje nastavení komunikačních parametrů. Vstupním parametrem funkce je proměnná „`baud`“ (16 bit), která obsahuje přednastavení komunikační rychlosti, je na řádcích 4 a 5 rozdělena na dvě 8 bitová slova a zapsána do registrů `UBRR0L` a `UBRR0H`. Tento zápis je možné provést také přímo zápisem 16 bitové hodnoty do registru `UBRR0`. V registru `UCSR0B` se dále povolí vysílání a příjem dat. Poslední registr `UCSR0C` v Ukázka programu 6.1 je nastaven dle technické dokumentace kontroléru tak, aby komunikační parametry odpovídaly požadovaným hodnotám přenosového rámce.

```

1 void USART0_Init(uint16_t baud)
2 {
3     // Nastavení přenosové rychlosti
4     UBRR0H = (uint8_t)(baud>>8);
5     UBRR0L = (uint8_t)baud;
6     // Povolení přenosu
7     UCSR0A = (1<<U2X0);
8     UCSR0B = (1<<TXEN0)|(1<<RXEN0);
9     // Nastavení rámce
10    UCSR0C = (3<<UCSZ00);

```

Ukázka programu 6.1: Nastavení komunikačních parametrů UART

Pro odesílání znaku přes UART je použita funkce `USART0_Transmit_char(uint8)`. Funkce nejdříve čeká na odeslání případného předchozího odesílaného znaku (odesílání probíhá dle komunikační rychlosti, tedy daleko pomaleji, než je hodinový signál kontroléru). Následně je odesílaný znak zapsán do registru `UDR`. Funkce je ukázána v Ukázka programu 6.2.

```

1 void USART0_Transmit_char( uint8_t tdata )
2 { while (!(UCSR0A & (1<<UDRE0)))//čekání na prázdný vysílací buffer
3     UDR0 = tdata;
4 }

```

Ukázka programu 6.2: Vysílání znaku

Nevýhodou tohoto řešení je, že ve chvíli odesílání znaku (čekání na odeslání předchozího znaku) není možné obsluhovat žádnou jinou úlohu. V dané aplikaci se nepředpokládá odesílání většího objemu dat, takže toto řešení vyhoví, ale pro příjem dat není tento způsob vhodný. Mikrokontrolér by musel stále čekat na přijetí dat a nemohl by obsluhovat žádnou jinou úlohu. Řešením je použití systému přerušení, které se vyvolá v okamžiku příchozích dat do vyrovnávací paměti. Přijatá data se automaticky ukládají softwarově vytvořeného kruhového registru. Z něj je možné tato data vyčíst s využitím funkce `USART0_get_char()`. Obě metody jsou dále popsány.

Ukládání přijatých znaků do kruhové fronty typu FIFO je popsáno v Ukázka programu 6.3. Fronta pracuje s předem definovaným bufferem o velikosti 128 b `rxbuf0`. V případě přicházejících znaků se volá přerušení `USART0_RX_vect`. Kontroluje se volné místo a znaky se postupně zapisují do fronty. Po každém kroku se příchozí ukazatel inkrementuje a tímto je dosaženo postupné naplnění fronty.

```
1   ISR(USART0_RX_vect) //obsluha preruseni od uart rx
2   {
3   if ((rxbuf0_in - rxbuf0_out) < rxbuf0_size )
4   {
5       rxbuf0[(rxbuf0_in & (rxbuf0_size-1))] = UDR0;
6       rxbuf0_in++;
7   }
8   }
```

Ukázka programu 6.3: Ukládání dat do fronty

Pro vyčítání dat z fronty je použita funkce zobrazená v Ukázka programu 6.4. Příkazem `USART0_get_char()` se vyčítají znaky z fronty podobným způsobem, jak se data do fronty ukládají. První krok je podmínka testující naplnění fronty. Když fronta neobsahuje žádná data, funkce vrátí hodnotu větší jak 255. V opačném případě data ukládá do proměnné `atempdata`.

```
1  uint16_t USART0_get_char( void )
2  {
3  uint16_t atempdata=0xff00;
4  cli();
5
6  if ((rxbuf0_in - rxbuf0_out) == 0x00)
7      atempdata=0xffff;
8  else{
9      atempdata = (uint16_t)(rxbuf0 [(rxbuf0_out & (rxbuf0_size-1))]);
10     rxbuf0_out++;
11     }
12 sei();
13 return(atempdata);
14 }
```

Ukázka programu 6.4: Vyčítání dat z fronty

### 6.1.2 Softwarové PWM

Softwarové PWM je využito pro řízení úrovně jasu jednotlivých LED. Je realizováno v souboru `systeme_drv.h`, který obsahuje také funkce systémových hodin pro orientační měření časových úseků. Následuje popis funkcí tohoto souboru.

Mikrokontrolér obsahuje přímo výstupní piny, na nichž je možný hardwarový výstup PWM generátoru, avšak jejich počet je omezený. ATmega128A obsahuje pouze 6 těchto pinů. Z důvodu nezávislého řízení všech 16 LED byl vytvořen soubor realizující softwarové PWM. Pro tento účel je použit volně běžící časovač s přerušením, jehož inicializace je provedena funkcí `SYSTIME_INIT(void)` jak je zobrazeno v Ukázka programu 6.5. Na řádce 4 je nastaveno povolení přetečení přerušení a na řádce 5 je nastavena dělička kmitočtu na 8. Při vyvolání přerušení je automaticky zavolána funkce přerušení, zobrazena v Ukázka programu 6.6.

```

1 void SYSTIME_INIT(void)
2 {
3     systime8=0;
4     TIMSK|=(1<<TOIE2);
5     TCCR2=(1<<CS21);
6 }

```

Ukázka programu 6.5: Nastavení časovače

V přerušení je pravidelně inkrementována proměnná „systime8“. V rámci ukázky časovač čítá do 255 (defaultní nastavení hloubka=255), poté je nulován. Nicméně softwarově je možné měnit bitovou hloubku, a proto je nulování realizováno vlastní podmínkou na řádcích 4-9, kde jsou současně nastaveny výstupní piny softwarového PWM do výchozí hodnoty. Informace o nastavení jednotlivých LED je uložena do pole DIODA\_pole[], kde každá buňka pole odpovídá konkrétní LED. Do pole je zapisováno funkcí komunikačního protokolu pouze mimo přerušení tak, aby nedocházelo ke kolizím. Ukázka programu 6.6 znázorňuje postup softwarového PWM dvou LED. Pokud hodnota proměnné „systime8“ překročí nastavenou hodnotu intenzity konkrétní LED, je dioda zhasnuta až do opětovného nulování proměnné „systime8“.

```

1 ISR(TIMER2_OVF_vect)
2 {
3     systime8++;
4     if (systime8==hloubka)
5     {
6         systime8=0;
7         PORTC= 0xFF;
8         PORTA= 0xFF;
9     }
10    if (systime8>=DIOA_pole[0])
11    {
12        PORTC &= ~(1 << PC1); // UROVEŇ SVÍCENÍ LED1
13    }
14    if (systime8>=DIOA_pole[1])
15    {
16        PORTC &= ~(1 << PC2); // UROVEŇ SVÍCENÍ LED2
17    }
18 }

```

Ukázka programu 6.6: Nastavení úrovně svícení jednotlivých LED

### 6.1.3 Textový komunikační protokol

Hlavní soubor programu obsahuje funkce realizující textový komunikační protokol. Tedy za pomoci souboru USART\_COM.h přijímá systém jednotlivé znaky a vlastně celé příkazy skrze USB. Tyto znaky jsou ukládány do kruhového bufferu, odkud jsou postupně vyčítány do příkazového registru, ve kterém jsou jednotlivé příkazy vyhledávány. Pokud je příkaz identifikován, vyvolá se požadovaná akce. Následuje stručný popis jednotlivých příkazů textového protokolu.

#### **info**

Tento příkaz slouží jako nápověda. Vypíše všechny příkazy s popisem.

#### **rychlostx**

Rychlost je příkaz pro změnu přenosové rychlosti komunikačního kanálu. Za písmeno x se dosazuje 1 až 3 podle zvolené komunikační rychlosti následovně: 1 = 9600 Bd/s, 2 = 19 200 Bd/s, 3 = 38400 Bd/s.

#### **hloubkax**

Tímto příkazem je možnost změny bitové hloubky PWM. Místo písmen x se zadává požadovaná hodnota bitové hloubky v rozmezí 0 až do mezí 16 b čísla. Defaultně je tato hodnota nastavena na 255.

#### **LEDXY**

Příkaz LED je hlavním příkazem, který rozsvěcuje zadanou LED podle zadaných parametrů. Za příkazem LED se za X dosadí písmeno A až P dle vybrané LED. Přiřazení písmen k odpovídající LED je ukázáno v Tab. 6.1. Za Y se dosazuje číslo odpovídající úrovni svícení 0–255 analogicky 0–100 % zářivého toku při zanechání původní bitové hloubce PWM.

Tab. 6.1: Seznam označení LED odpovídající vlnové délce

Označení LED	Vlnová délka [nm]	Označení LED	Vlnová délka [nm]
A	400	I	800
B	450	J	850
C	500	K	910
D	572	L	970
E	625	M	1020
F	660	N	1060
G	700	O	1200
H	760	P	1300

### **zmer**

Změří aktuální hodnotu na A/D převodníku, tedy hodnotu fotodiody.

Příkazy posílané skrze komunikační rozhraní UART se musí nějakým způsobem ukončovat. V rámci vytvořeného komunikačního protokolu jsem použil ukončovací znaky označené v ASCII tabulce následovně: 0x0d nazýván „Carriage return“ (CR), netisknutelný řídicí znak vracející kurzor na začátek řádku a 0x0a nazýván „Line feed“ (LF), netisknutelný řídicí znak posunující kurzor na další řádek. V Ukázka programu 6.7 je načtení jednotlivých příkazů a otestování na ukončovací znaky. Nejdříve je načten znak z kruhového bufferu. Pokud je buffer prázdný, je vrácena hodnota větší než 8 bit. Pokud buffer obsahuje platný znak, tento je přes další dvě pomocné proměnné „tempznak“ a „tester1“ uložen do příkazového bufferu „data“ typu FIFO. Důvodem je jednoduchá identifikace ukončovacích znaků, které tímto způsobem navíc nebudou zapsány do příkazového bufferu. Příkazový buffer se plní odzadu, a také tímto způsobem se příkazy testují. Důvodem tohoto přístupu je jednoduchost identifikace znaku a především použití vestavěné funkce pro práci s textovými řetězci, která hledá pouze první výskyt zadaného textového řetězce. Pokud by tedy uživatel zapsal dva příkazy a ukončovací znaky by byly odeslány pouze za druhým z nich, funkce by nesprávně identifikovala první příkaz, který musí být přirozeně považován za neplatný.

```

1     tester=USART0_get_char();
2         if (tester<0x0100)
3             {
4                 for(uint8_t pocitadlo=velikost-1; pocitadlo>0; pocitadlo--)
5                     {
6                         data[pocitadlo]=data[pocitadlo-1];
7                     }
8                 data[0]=tempznak;
9                 tempznak=tester1;
10                tester1=tester;
11                if ((tempznak==0x0d)&&(tester1==0x0a))
12                { // testuj zpravu

```

Ukázka programu 6.7: Rozlišení příchozích příkazů

Po přijetí příkazu s ukončovacími znaky následuje porovnání se známými příkazy v textovém protokolu. Existuje více způsobů, jak porovnat přijatý příkaz s možnými příkazy. Já jsem vybral řešení pomocí funkce strstr. Tato funkce porovnává dva textové řetězce. Návrátová hodnota funkce je ukazatel na začátek výskytu hledaného řetězce, nebo NULL, pokud není řetězec nalezen. Od návratové hodnoty se odečte adresa paměti první buňky pole, aby výsledkem byla přímo hodnota počtu znaků za příkazem. V případě, že za příkazem není žádný parametr, hodnota se rovná 0. V opačném případě vrací hodnotu větší jak 0 podle množství parametrů za příkazem (počtu znaků). Testování probíhá způsobem ukázaným v Ukázka programu 6.8, kde se jedná o porovnání přijatého příkazu pro nastavení úrovně zářivého toku konkrétní LED, příkaz „LED“. První krok je, jak již bylo popsáno výše porovnání příkazu s příkazovým bufferem. Příkaz LED by měl obsahovat více parametrů, proto výsledek porovnání musí být větší jak 1. První parametr je volba konkrétní LED a druhý parametr je úroveň zářivého toku a s těmito hodnotami se musí dále pracovat. Aby se parametry nepletly, zvolil jsem způsob označení LED jako abecední označení. V ASCII tabulce jsou znaky seřazeny postupně a jsou zastoupeny čísly. Této skutečnosti jsem využil a odečtením hodnoty „A“ od přijatého znaku se přímo získá hodnota 0–15 (řádek 4). Následuje kontrola platnosti označení LED (kontrola rozsahu 0-15). V kladném případě se pokračuje k určení úrovně zářivého toku. Úroveň může při bitové hloubce 8 bitů nabývat hodnot 0–255 a toto číslo může být zadáno jedním až třemi znaky. Proto je zaveden cyklus for (řádek 7-15) převádějící jednotlivé znaky (čísla), která jsou omezena na 0–9, čemuž odpovídá podmínka `0x30>data[aaa]>0x39`, kde tyto hodnoty odpovídají číslům v ASCII tabulce. Při splnění podmínky se čísla vynásobí

řádem a výsledkem je celé číslo. Při splnění všech podmínek se hodnoty zapíší do funkce „zapis“ kde: „číslo“, tedy odpovídá konkrétní LED a „uroven“ je velikost zářivého toku nastavující se v souboru systime\_drv.h. Funkce zapis() provede uložení přijaté hodnoty konkrétní LED do pole DIODA\_pole[], a to mimo přerušení. Po úspěšné identifikaci příkazu a nastavení se odešle do PC potvrzení ve formě textového řetězce „OK“ a v opačném případě, kdy není splněna některá z podmínek, odesílá se textový řetězec „ERROR“. Tímto způsobem je tvořena zpětná vazba při ovládání zařízení.

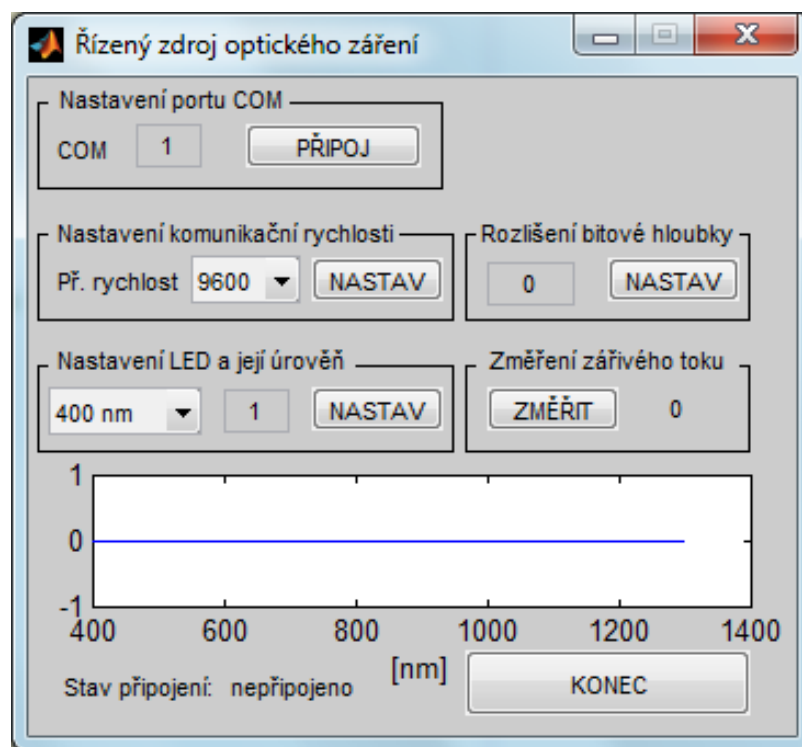
```
1   porovnani_vystup=strstr(&data[0], "DEL")-(&data[0]);
2       if (porovnani_vystup>1)
3       {
4           cislo=(data[porovnani_vystup-1]-('A'));
5           if ((cislo>=0)&&(cislo<16))
6           {
7               for(int8_t aaa=porovnani_vystup-2; aaa>=0; aaa--)
8               {
9                   if((data[aaa]<0x30)|| (data[aaa]>0x39))
10                  {
11                      cislo_trig=0xff;
12                  }
13                  uroven=(uroven*a+(data[aaa]-0x30));
14                      a=10;
15                }
16            if(cislo_trig==0)
17            {
18                zapis(cislo, uroven);
19                send_OK();
20        }
```

Ukázka programu 6.8: Zpracování příkazu LED



## 6.2 Grafické rozhraní pro ovládání zařízení

Samotná komunikace se zařízením skrze hyperterminál pro častější používání není příliš vhodná. Tento způsob komunikace je vhodný pro testování případně odzkoušení funkčnosti jednotlivých příkazů. Pro plnohodnotné využití a pohodlnější ovládání zařízení jsem vytvořil ovládací rozhraní v programu Matlab verze R2010b. GUI vytvořené za pomoci tzv. „nested functions“ [4] jsem uspořádal následným způsobem, jak je zobrazeno na Obr. 6.1.



Obr. 6.1: Grafické rozhraní pro ovládání zařízení

GUI obsahuje jednotlivé položky uspořádané odshora dolů. První je připojení na COM port, po připojení se ve spodní části změní stav připojení a můžeme ovládat zařízení, popřípadě změnit komunikační rychlost mezi PC a zařízením. Pro lepší názornost je vložen graf, na kterém se vykreslují zadané hodnoty nastavení LED. V této ovládací aplikaci by bylo možné zohlednit veškeré provedené měření, a do zařízení posílat upravené hodnoty dle provedených měření. Nicméně toto zařízení bude integrováno do již vytvořeného testovacího systému, a proto provedená měření nejsou

zahrnuta v testovacím GUI. Rozšířením systému o zdroj optického záření bude usnadněna práce při testování. Při vlastní kalibraci systém vyšle zařízení příkaz rozsvícení konkrétní LED a to na úroveň 100 %. Zařízení rozsvítí požadovanou LED a pošle zpět potvrzení. Systém provede vlastní nastavení a vyžádá si od zdroje záření hodnotu získanou z fotodiody. Z přijaté hodnoty se určí nutné procentuální rozsvícení LED, aby odpovídalo požadované hodnotě zářivého toku. Zařízení tedy bude schopné na výstupu optického vlákna po kalibraci vždy získat konstantní hodnotu zářivého toku i v případě, kdy dojde k výměně optického vlákna.

Následuje stručný popis jednotlivých funkčních bloků GUI:

### **Nastavení COM portu**

V této položce volíme konkrétní port, na kterém máme připojené zařízení. Číslo portu zjistíme ve správci zařízení podsložka Porty (COM a LPT). Po zadání správného čísla se po kliknutí na tlačítko PŘIPOJ, naváže spojení se zařízením a PC.

### **Nastavení komunikační rychlosti**

Po navázání spojení je možnost zvolit si komunikační rychlost mezi volbou 9 600, 19 200, 38 400 Bd/s. Po stisknutí tlačítka NASTAV, se naváže nové spojení s nově zvolenou komunikační rychlostí.

### **Rozlišení bitové hloubky**

Touto hodnotou lze změnit rozlišovací schopnost úrovně zářivého toku. Defaultně je nastaveno na 255, ale podle uvážení je možná libovolná změna. V případě změny zapíšeme do editačního okna zvolenou hodnotu a potvrdíme tlačítkem NASTAV.

### **Nastavení LED a její úroveň**

Tato volba je hlavní ovládací část. Zde z roletové nabídky vybíráme konkrétní LED a k ní zapíšeme požadovanou úroveň zářivého toku. Tlačítkem NASTAV se příkaz odešle do zařízení a provede požadovanou akci.

## Změření zářivého toku

Po stisknutí tlačítka se odešle příkaz do zařízení pro změření aktuální hodnoty na fotodiodě a ta je následně poslána zpět a zobrazena vedle tlačítka.

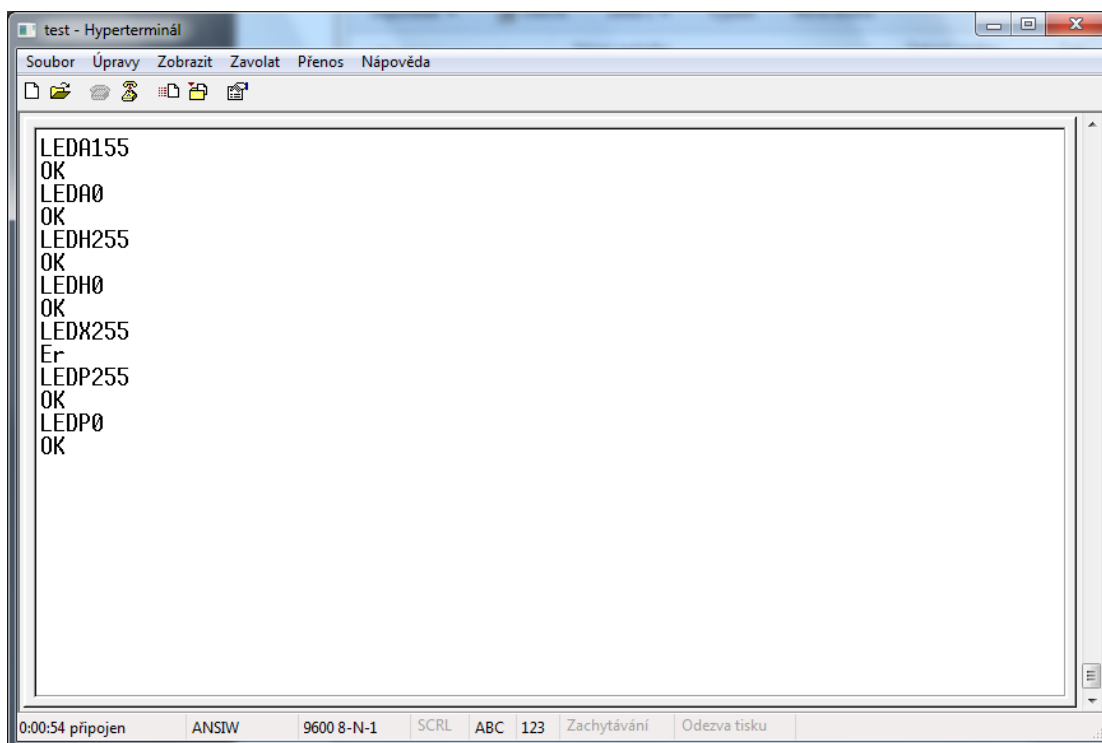
V Ukázka programu 6.9 je znázorněn zjednodušený kód pro odeslání příkazu s parametry pro nastavení LED v Matlabu. Volba LED je řešena formou rozbalovacího menu, které obsahuje výběr LED podle vlnové délky v nm. Softwarově je tato volba řešená pomocí funkce switch jak je vidět v první části kódu. Úroveň zářivého toku se zadává do editačního pole pojmenovaného `uroven_led`. Po načtení této hodnoty je provedeno sloučení všech potřebných částí do výsledného příkazu `led` na řádce 6. Následuje vykreslení v grafu řádek 10–12. Nyní se přes vytvořené spojení UART odešle celý příkaz. Čeká se na odpověď ze zařízení, jestli vše proběhlo v pořádku.

```
1 function btn_led_callback(~,~)
2     ld=char(get(led_popup, 'Value')+64);
3
4     uroven=get(uroven_led, 'string');
5     num_uroven=str2double(uroven);
6     led = ['LED' ld uroven char '\n'];
7
8     if((num_uroven>=0) && (num_uroven<=1000))
9
10    tempdata=get(p, 'YData');
11    tempdata(get(led_popup, 'value'))=num_uroven;
12    set(p, 'YData', tempdata);
13
14    fprintf (uart, '%s', led);
15    znak=fscanf(uart)
16    ok = strcmp(znak, 'OK');
17 end
```

Ukázka programu 6.9: Příklad odeslání příkazu pro LED v Matlabu

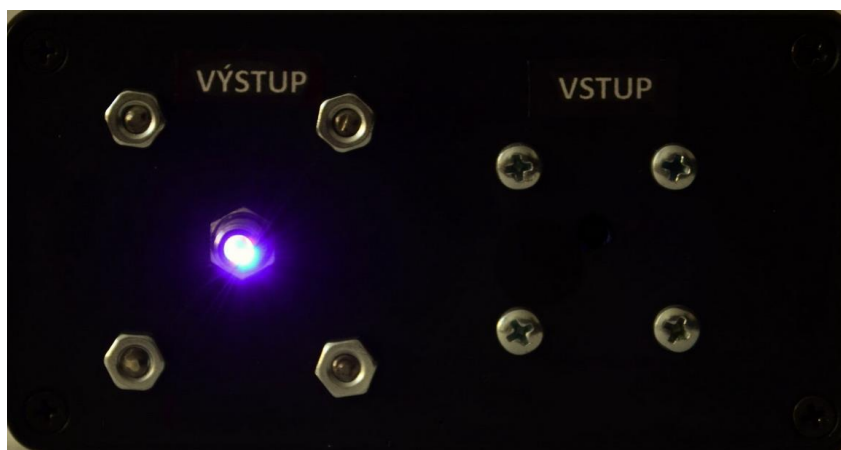
## 7 OVĚŘENÍ VLASTNOSTÍ ZAŘÍZENÍ

Na Obr. 7.1 je znázorněna komunikace skrz hyperterminál. Jak je vidět při zadání příkazu ve správném formátu zařízení odpoví potvrzením OK. A když zadáme nesprávně příkaz, například písmenko pro LED, tak vypíše Er.



Obr. 7.1: Ukázka komunikace pomocí hyperterminálu

Jako důkaz, že zařízení opravdu funguje, je přiložen Obr. 7.2.



Obr. 7.2: Ukázka rozsvícené LED 450 nm na 100 %

## ZHODNOCENÍ

Práce byla rozdělena na 2 části. Na teoretickou částí zabývající se popisem veličin a metod použitých v řešení práce. Druhou byla praktická část zabývající se návrhem a konstrukcí samotného zdroje optického záření.

V teoretické části jsou popsány fotometrické, radiometrické veličiny a měření spektra, které byly použity při měření parametrů LED. Jsou zde popsány použité součásti: LED, fotodioda a mikrokontrolér. A dále jsou zde popsány metody řízení jasu LED.

V praktické části jsem vybral vhodné LED diody, které umožnily pokrýt požadovanou oblast vlnových délek dle zadání. Diody jsem otestoval, u každé z nich změřil emitované spektrum a závislost zářivého toku na procházejícím proudu. Navrhl jsem obvod řízení zářivého toku jednotlivých LED bez nežádoucího blikání a přímého použití PWM, které jsem následně otestoval. Pro laboratorní účely, pro které je zařízení plánováno, není blikání diod dle zadání přípustné. Převodní charakteristika vytvořeného napětím řízeného zdroje proudu je lineární a umožňuje tedy plynulou regulaci jednotlivých LED. Dále jsem navrhl celkové schéma zapojení obsahující mikrokontrolér jako řídicí obvod, USB převodník zprostředkující komunikace s PC, fotodiodu a 16 nezávislých zdrojů proudu se samotnými LED. Z tohoto schématu byla navržena a následně vytvořena deska plošného spoje. Po osazení a oživení zařízení byl naprogramován a odladěn firmware mikrokontroléru skrz programovací rozhraní JTAG za pomoci externího programátoru a PC s programem Atmel Studio. Ovládání zařízení je uskutečněno za pomoci naprogramovaného textového protokolu. Pro ovládání zařízení bylo vytvořeno v programu MATLAB ovládací GUI usnadňující ovládání. Po zapojení všech součástí a naprogramování všech potřebných funkcí bylo zařízení vloženo do konstrukční krabičky. Z čelní strany, je osazen optický konektor, do kterého je navázáno světlo z LED. Vedle výstupního konektoru je obsažen optický vstup na fotodiodu pro zpětné měření. Zadní strana obsahuje napájecí konektor, USB kabel, vypínač a signalizační diodu. Zařízení bylo propojeno s PC a byla odzkoušena komunikace a funkčnost celého zařízení.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] *Architektura AVR v kostce* [online]. 2000 [cit. 2014-05-19]. Dostupné z: [http://avr.hw.cz/architektura/arch\\_avr.html](http://avr.hw.cz/architektura/arch_avr.html)
- [2] ATMEL. *8-bit Microcontroller with 128KBytes In-System Programmable Flash:ATmega128A* [online]. 2011 [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: <http://www.atmel.com/Images/doc8151.pdf>
- [3] ČERNÁ, Ladislava. *Fotometrie , radiometrie a spektroskopie: Měření neelektrických veličin* [online]. 2011 [cit. 2014-05-19]. Dostupné z: <http://pasan.feld.cvut.cz/dokumenty/fotometrie.pdf>
- [4] Documentation Center. *MathWorks: MATLAB and Simulink for Technical Computing* [online]. 2014 [cit. 2014-05-26]. Dostupné z: <http://www.mathworks.com/help/matlab/index.html>
- [5] FTDICHIP. *FT232BL/BQ USB UART IC* [online]. 2011 [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: [http://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/ICs/DS\\_FT232BL\\_BQ.pdf](http://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/ICs/DS_FT232BL_BQ.pdf)
- [6] KEC: *Stabilizátor pevného napětí 7805 DPAK SMD* [online]. 2002 [cit. 2014-05-19]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/img/cache/doc/934/051/7805-dpak-smd-datasheet-1.pdf>
- [7] PINKER, Jiří. *Mikroprocesory a mikropočítače*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2004, 159 s. ISBN 80-730-0110-1.

- [8] STARCHIPS TECHNOLOGY. *16-bit Serial-In/Parallel-Out Constant-Current LED Driver: SCT 2026* [online]. 2008 [cit. 2014-05-19]. Dostupné z: [http://www.image.micros.com.pl/\\_dane\\_techniczne\\_auto/uisct2026cssg.pdf](http://www.image.micros.com.pl/_dane_techniczne_auto/uisct2026cssg.pdf)
- [9] ŠIMEK, Milan. *Bezdrátové a senzorové sítě*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2013. ISBN 978-80-214-4638-0.
- [10] THORLABS. *Si Photodiode 350-1100 nm: FDS100* [online]. 2013 [cit. 2014-05-19]. Dostupné z: <http://www.thorlabs.com/thorcat/0600/FDS100-CAL-SpecSheet.pdf>
- [11] VÁŇA, Vladimír. *Mikrokontroléry ATMEL AVR: programování v jazyce C : popis a práce ve vývojovém prostředí CodeVisionAVR C*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2003, 215 s. ISBN 80-730-0102-0.

## SEZNAM POUŽITÝCH VELIČIN A ZKRATEK

$\lambda$	[nm]	vlnová délka
<i>BAUD</i>	[Bd/s]	přenosová rychlost
<i>E</i>	[lx]	osvětlení
<i>E<sub>e</sub></i>	[W/m <sup>2</sup> ]	ozáření
<i>f</i>	[mm]	ohnisková vzdálenost
<i>f<sub>osc</sub></i>	[Hz]	frekvence oscilátoru
<i>H</i>	[lm/m <sup>2</sup> ]	světlení
<i>H<sub>e</sub></i>	[W/m <sup>2</sup> ]	intenzita vyzařování
<i>I</i>	[cd]	svítivost
<i>I<sub>e</sub></i>	[W/sr]	zářivost
<i>L</i>	[nt]	jas
$\Phi$	[lm]	světelný tok
$\Phi_e$	[W]	zářivý tok
<i>S</i>	[mm <sup>2</sup> ]	plocha
<i>U</i>	[V]	elektrické napětí

A/D	Analog to digital converter
CCD	Charge-coupled device
DPS	Deska plošného spoje
EEPROM	Electrically erasable programmable read-only memory
FIFO	First in, first out
GND	GrouND
JTAG	Joint test action group
LED	Light emitting diode
PWM	Pulse width modulation
SRAM	Static random access memory
UART	Universal asynchronous receiver/transmitter
USART	Universal synchronous/asynchronous receiver/transmitter
USB	Universal serial bus



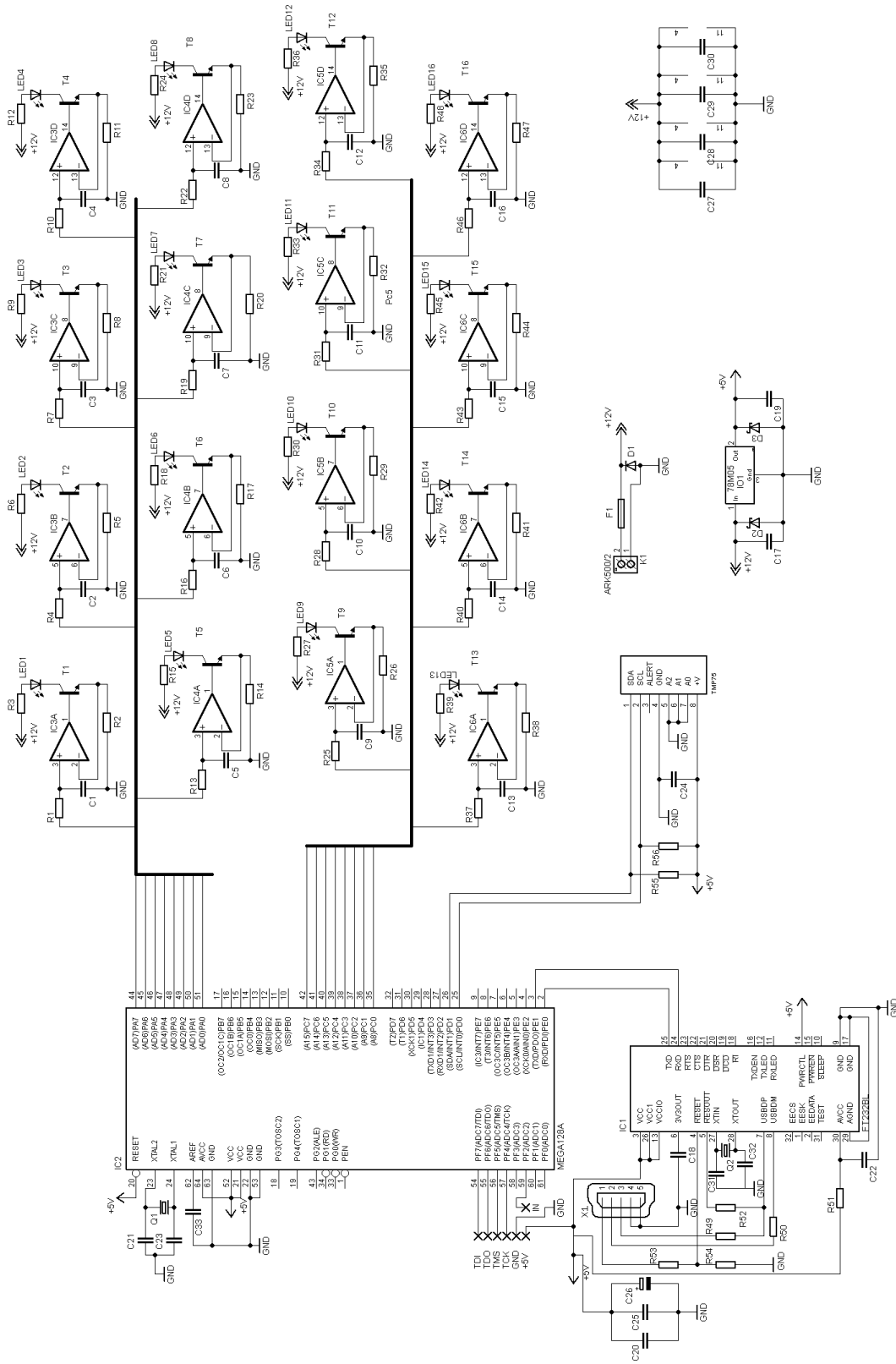
## **SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha A – Celkové schéma zapojení

Příloha B – Seznam použitých součástek

Příloha C – Soubory přiložené na CD

# Příloha A – Celkové schéma zapojení



## Příloha B – Seznam použitých součástek

Označení	Hodnota/Typ	Pouzdro
C1 - 16	100n	1206
C17	330n	1206
C18	33n	1206
C19, 20, 22, 24	100n	1206
C25, 27 - 30, 33	100n	1206
C21,23	12p	1206
C26	10u	1206
C31, 32	27p	1206
D1	1N4148W	SOD123
D2	SMBJ12A	SMB
D3	SM6T6B8	SMB
F1	1A	5X20
IC1	FT232BL	LQFP-32
IC2	ATmega128A	TQFP64
IC3-6	TLC274SMD	SO14
IC7	7805	D2PAK
IC8	TMP75	MSOP-8
LED1	VL400-5-15	5mm
LED2	LED450-03	5mm
LED3	LED500-10-30	5mm
LED4	B5-433-20	5mm
LED5	B5-435-30	5mm
LED6	B5-436-30	5mm
LED7	ELD-700-524	5mm
LED8	LED760-03au	5mm
LED9	LED800-01au	5mm
LED10	LED850-03up	5mm
LED11	LED910-01	5mm
LED12	LED970-02	5mm
LED13	ELD-1020-525	5mm
LED14	ELD-1060-525	5mm
LED15	LED1200-03	5mm
LED16	ELD-1300-525	5mm
Q1	16MHz	HC49USSMD
Q2	6MHz	HC49U

<b>Označení</b>	<b>Hodnota/Typ</b>	<b>Pouzdro</b>
R1, 4, 7, 10, 13, 16, 19, 22, 25	15k	1206
R2, 8, 38, 41, 47	240R	1206
R3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27	47R	1206
R5, 11, 14, 20, 23, 26, 29, 32, 35, 44	100R	1206
R17	150R	1206
R28, 31, 34, 37, 40, 43, 46	15k	1206
R30, 33, 36, 39, 42, 45, 48	47R	1206
R38	240R	1206
R49, R50	27R	1206
R51	470R	1206
R52	1k5	1206
R53, R55, R56	4k7	1206
R54	10k	1206
T1 - 16	BFN26	SOT23

## **Příloha C – Soubory přiložené na CD**

- Elektronická verze diplomové práce
- Návrh zapojení a desky plošného spoje v programu Eagle 6.5.0
- Zdrojové kódy vytvořené v Atmel Studiu 6.1
- GUI, zdrojový kód vytvořený v prostředí Matlab R2010b