

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

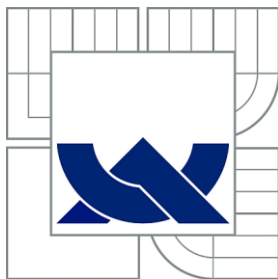
ELEKTRONICKÝ LUXMETR PRIPOJITELNÝ PŘES USB

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

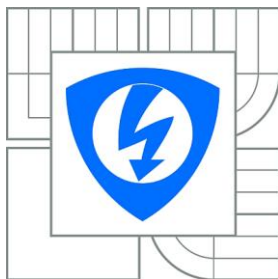
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

TOMÁŠ CSIKÓS

BRNO 2014



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

ELEKTRONICKÝ LUXMETR PRIPOJITELNÝ PŘES USB

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

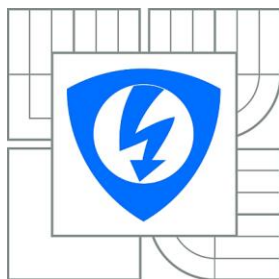
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

TOMÁŠ CSIKÓS

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. IVO LATTENBERG, Ph.D.

BRNO 2014



VYSOKÉ UCENÍ
TECHNICKÉ V BRNE

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Teleinformatika

Student: Tomáš Csikós
Ročník: 3

ID: 136507
Akademický rok: 2013/2014

NÁZEV TÉMATU:

Elektronický luxmetr připojitelný přes USB

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Realizujte zařízení, které bude pracovat jako elektronický luxmetr. Zařízení bude moci pracovat i samostatně - bez připojení k PC. Historii změřených údajů pak bude ukládat do vnitřní paměti. Luxmetr bude ovládán pomocí čtyř tlačítek, výsledky budou zobrazovány na jednořádkovém displeji. Vytvořte jednoduchý program pro PC, který bude zobrazovat údaje přenesené z luxmetru přes rozhraní USB.

DOPORUCENÁ LITERATURA:

[1]BRTNÍK, B., MATOUŠEK, D. Mikroprocesorová technika BEN - technická literatura, Praha 2011, 152 stran, ISBN 978-80-7300-406-4.

[2]MATOUŠEK, D. Práce s mikrokontroléry Atmel AVR. Nakladatelství BEN - technická literatura, Praha 2006, 376 stran, ISBN 80-7300-209-4.

Termín zadání: 10.2.2014

Termín odevzdání: 4.6.2014

Vedoucí práce: doc. Ing. Ivo Lattenberg, Ph.D.

Konzultanti semestrální práce:

doc. Ing. Jiří Mišurec, CSc.
Předseda oborové rady

UPOZORNENÍ:

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 následku porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení částí druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku c.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Táto bakalárska práca je venovaná problematike merania intenzity osvetlenia. Sú v nej analyzované vlastnosti rôznych meracích snímačov. Prvá časť popisuje základné veličiny svetelnej techniky. V druhej časti sú popísané jednotlivé senzory. Tretia časť obsahuje rozpis súčiastok a výber vhodných. Posledná časť projektu je zameraná na návrh luxmetra a programu s grafickým rozhraním pre spracovávanie dát.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

luxmeter, ATmega328, FTDI, LCD, USB

ABSTRACT

This project deals with the problem of measurement of light intensity. There are analyzed the properties of different measurement sensors. The first section describes basic variables of lighting equipment. In the second part the different light sensors are described. The third section contains schedule for components and the choice of the right ones. The last section is focused on the designing of lux meter and the program with graphic user interface for the data processing.

KEYWORDS

Light meter, ATmega328, FTDI, LCD, USB

Bibliografická citace:

CSIKÓS, T. *Elektronický luxmetr připojitelný přes USB*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2013. 29 s. Vedoucí semestrální práce doc. Ing. Ivo Lattenberg, Ph.D

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Elektronický luxmetr připojitelný přes USB jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské 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 bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (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

POĎAKOVANIE

Ďakujem vedúcemu bakalárskej práce pánovi doc. Ing. Ivomu Lattenbergovi, Ph.D. za účinnú metodickú, pedagogickú a odbornú pomoc a ďalšie cenné rady pri spracovaní mojej práce.

V Brně dne

.....
podpis autora

OBSAH

OBSAH	7
ZOZNAM OBRÁZKOV	9
ZOZNAM TABULIEK	9
ÚVOD	10
1 ZÁKLADNÉ VELIČINY Z OBORU SVETELNEJ TECHNIKY	11
1.1 Normála svietivosti	11
1.2 Svetelné žiarenie	12
1.3 Svetelný tok, svietivosť, intenzita osvetlenia, jas	13
1.4 Fotoelektrický jav	14
1.5 Typy osvetlenia	14
1.5.1 Denné osvetlenie.....	15
1.5.2 Umelé osvetlenie.....	15
1.6 Metódy merania osvetlenia	16
1.6.1 Luxmetre	16
1.6.2 Meranie umelého osvetlenia	16
1.6.3 Pripustné chyby luxmetrov	17
2 OPTOELEKTRONICKÉ SNÍMAČE	18
2.1 Tepelné detektory	18
2.2 Kvantové detektory.....	18
2.3 Fotorezistor	18
2.4 Fototranzistor.....	19
2.5 Fotočlánky.....	20
2.6 Fototyristor	20
2.7 Fotodioda.....	21
3 NÁVRH RIEŠENIA	22

3.1	Vlastnosti použitých súčiastok.....	22
3.1.1	Snímač intenzity osvetlenia	22
3.1.2	ATMEL 8-bit AVR mikrokontrolér – Atmega328.....	25
3.1.3	Spojenie s Počítačom	25
3.1.4	Zobrazovacia jednotka	26
3.1.5	Znakový LCD 2x8 - FDCC0802C.....	27
3.1.6	Lineárny napäťový regulátor - MCP1258	28
3.2	Použité Programy	29
4	REALIZÁCIA LUXMETRA	31
4.1	Softvér luxmetra	31
4.2	Hardvér Luxmetra	33
4.2.1	Prvá verzia hardvéru	33
4.2.2	druhá verzia hardvéru	33
4.2.3	Oživenie luxmetra	33
4.3	Softvér s grafickým rozhraním.....	34
5	ZÁVER.....	37
	POUŽITÁ LITERATÚRA	38
	ZOZNAM POUŽÍVANÝCH SYMBOLOV, VELIČÍN A SKRATIEK.....	40
	ZOZNAM PRÍLOH.....	41
	A NÁVRH ZARIADENIA	42
	B FOTOGRAFIE PRÍSTROJA	45
	C ZOZNAM SÚČIASTOK.....	46
	D OBSAH PRILOŽENÉHO CD	47

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr. 1: Digitálny luxmeter	10
Obr. 2: Normála svietivosti [8].....	11
Obr. 3: Rozloženie bariev v špektrálnom oblasti viditeľného žiarenia [8].....	12
Obr. 4 Fotoelektrický jav	14
Obr. 5: Rozdelenie kvantových detektorov	18
Obr. 6: Zapojenie fotorezistoru	19
Obr. 7: Elektrická schéma fototranzistoru [1]	20
Obr. 8: Typy kosínových nastavcov [5]	20
Obr. 9: Charakteristika fotodiódy.....	21
Obr. 10: Bloková schéma luxmetra	22
Obr. 11: Fotodióda BPW34[10]	23
Obr. 12: Fotodióda BPW21[11]	23
Obr. 13: Blokový diagram fotodiódy TSL2550 [12].....	24
Obr. 14: Blokový diagram snímača BH1750 [13].....	25
Obr. 15: Zapojenie MM232R s napájacím napätím 3,3V [16].....	26
Obr. 16: LCD display FDCC0802C a jeho používané vývody	28
Obr. 17: Typická aplikácia integrovaného obvodu MCP1258 [18]	29
Obr. 18: Vývojový diagram funkcie main.....	32
Obr. 19: Vývojový diagram GUI softvéra.....	35
Obr. 20: Grafické užívateľské rozhranie luxmetra	36
Obr. 21: Schéma zapojenia luxmetra.....	42
Obr. 22: PCB luxmetra, strana: TOP, 62,4 x 50,5 mm, M 1:1	43
Obr. 23: PCB luxmetra, strana: BOTTOM, 62,4 x 50,5 mm, M 1:1.....	43
Obr. 24: Osadzovací plán luxmetra, strana: TOP, M 1,5:1	44
Obr. 25: Fotografia hotového luxmetra	45

ZOZNAM TABULIEK

Tab. 1: Farebné tóny viditeľného svetla [8]	13
Tab. 2: Doporučené hodnoty intenzít osvetlenia [7]	15
Tab. 3: Doporučené hodnoty intenzít osvetlenia pracovných obytných miestností [7][8].....	15
Tab. 4: Závislosť počtu meracích bodov na činiteli miestnosti [8]	17
Tab. 5. Bežne používané materiály na výrobu fotodiód.....	21

ÚVOD

Zrak je jeden z najcitlivejších zmyslových orgánov ľudského tela. Pomocou zraku dostaneme takmer 80% informácií nášho okolia. Ľudský organizmus potrebuje dostatok osvetlenia aby fungoval dobre. Pri špatnom osvetlení sa zničí nielen zrak, ale zvyšuje sa aj únava. Preto boli zavedené normy pre osvetlenie pracovných miest. Aby bolo možné merať intenzitu osvetlenia, najprv bolo treba vymyslieť prístroj.

Tento prístroj vynášiel maďarský vynálezca Ödön Riszdorf v roku 1931. Svoj vynález, podľa dohody s KODAK-om, vyrábala vo vlastnej továrni. Od výroby prvého luxmetra prístroj rozvíjal mnohokrát. Prístroje dnešnej doby dokážu merať osvetlenie v rozsahu od 0,1 – 200.000 luxov.

Cieľom tejto bakalárskej práce je zoznámiť sa s metódou merania intenzity osvetlenia, navrhnúť digitálny luxmeter a jeho obvodové riešenie.



Obr. 1: Digitálny luxmeter

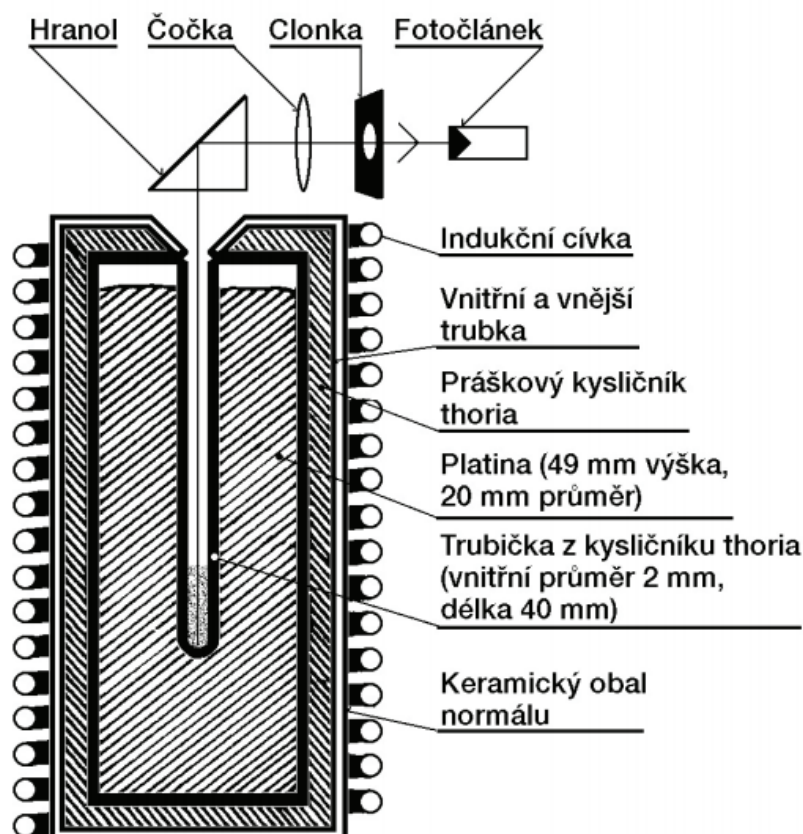
1 ZÁKLADNÉ VELIČINY Z OBORU SVETELNEJ TECHNIKY

Pre popis svetelného žiarenia a jeho parametrov je dôležité, aby boli použité fyzikálne veličiny a jednotky, ktoré platia všade na svete. U svetla tieto veličiny sú zjednotené pod vedením Medzinárodného Komisie pre osvetlenie CIE (Commission internationale de l'éclairage). Všetky veličiny a jednotky zavedené komisiou CIE sa vzťahujú na takzvaného normálneho fotometrického pozorovateľa. Tento pozorovateľ reprezentuje štandardné vlastnosti ľudského oka, lebo každý človek môže mať odlišnú reakciu k rôzne vlnové dĺžky svetla [8].

1.1 Normála svietivosti

Základným predpokladom pre realizovanie fotometrických meraní je súbor svetelných normálov svietivosti, svetelného toku, jas, chromatičnosti a ďalších.

Základným normálom fotometrického laboratória by mal byť normála svietivosti. Ten sa odvodzuje od normálu svietivosti na národnej úrovni, ktoré sú odvodené od etalónu svietivosti v medzinárodnej laboratórii vo Francúzsku [8].



Obr. 2: Normála svietivosti [8]

1.2 Svetelné žiarenie

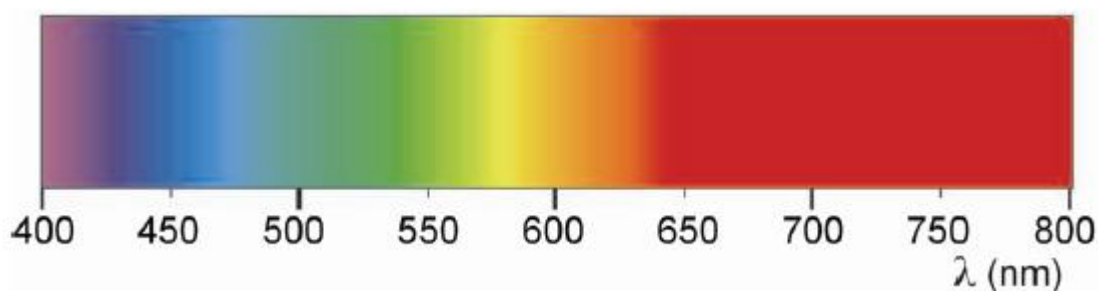
Svetlo je elektromagnetické žiarenie, ktoré je schopný prostredníctvom zrkového orgánu vybudit' zrkový dojem. Žiarenie je možné charakterizovať frekvenciou alebo vlnovou dĺžkou. Vlnové dĺžky viditeľného žiarenia sa nachádzajú v rozsahu $\lambda = 380 - 780 \text{ nm}$. Viditeľné žiarenie je časťou optického žiarenia, ktoré má kratšie vlnové dĺžky ako ultrafialové žiarenie, ale dlhšie ako infračervené žiarenie [8].

Ku vzniku svetla v súčasných elektrických svetelných zdrojoch dochádza na týchto základných princípoch:

- tepelným budením vznikajúcim pri zahriatí pevnej látky na vysokú teplotu,
- vybudením atómu v elektrickom výboji,
- luminiscenciou pevných látok,
- emisií fotónu pri prechode prúdu polovodičom.

Typickým predstaviteľom prvého typu elektrických svetelných zdrojov sú obyčajné a halogénové žiarovky. Dodávaná energia je tepelná energia, ktorá vzniká prechodom elektrického prúdu volfrámovým vláknom. Druhý typ predstavujú nízkotlakové a vysokotlakové výbojové zdroje (napríklad žiarivky). Svetlo vzniká pri nepružných zrážkach atómov, iónov a elektrónov v stĺpci výboja, ktorý sa nachádza v elektrickom poli. Tretí typ vzniku svetla je založený na princípe premeny žiarenie s kratšou vlnovou dĺžkou, napríklad ultrafialového na viditeľné žiarenie s dlhšou vlnovou dĺžkou. Tento jav sa volá fotoluminiscencie a nastáva v chemických látkach, ktoré sú označované ako luminofóry, čo je u výbojových zdrojov povlak nanosený na vnútorný povrch výbojovej trubice. Posledný princíp vzniku svetla predstavujú LED diódy (svetelné diódy) [8].

Žiarenie každej vlnovej dĺžky viditeľného svetla budí farebný vnem. Každému farebnému pocitu zodpovedá určitá spektrálnej farba, ktorú popisujeme farebným tónom. Zloženie viditeľného svetla je popísané a znázornené v tab. 1 a na obr. 3[8].



Obr. 3: Rozloženie bariev v spektrálnom oblasti viditeľného žiarenia [8]

Tab. 1: Farebné tóny viditeľného svetla [8]

Vlnová dĺžka $\lambda(\text{nm})$	Farebný tón špektrálnej farby
380 – 420	Fialová
420 – 440	Modrofialová
440 – 460	Modrá
460 – 510	Modrozelená
510 – 560	Zelená
560 – 590	Žltá
590 – 650	Oranžová
650 – 780	Červená

1.3 Svetelný tok, svietivosť, intenzita osvetlenia, jas

Svetelný tok je fotometrická veličina, ktorá označuje energiu, ktorú zdroj svetla vyžaruje za jednotku času. Táto energia je rozdelená z hľadiska citlivosti oka na rôzne vlnové dĺžky svetla. Jednotka svetelného toku je lumen [lm]. Svetelný tok patrí do skupín vedľajších jednotiek sústavy SI a udáva množstvo svetla, ktoré zdroj vyžaruje do všetkých smerov [1] [2].

Svietivosť udáva množstvo svetelného toku, ktoré je vysielané zdrojom do jednotkového priestorového uhla. Jednotka svietivosti je kandela [cd] a patrí medzi základné veličiny sústavy SI [1] [2].

Intenzita osvetlenia je fotometrická veličina, ktorá je definovaná ako svetelný tok dopadajúci na určitú plochu. Jednotka intenzity osvetlenia je lux [lx]. Osvetlenie s intenzitou jeden lux je spôsobené svetelným tokom 1lm dopadajúcim na plochu 1m² [1] [2].

$$E = \frac{\phi}{s} \quad (1)$$

Jas je fotometrická veličina, ktorá sa označuje s písmenom L. SI jednotka jasu je kandela na meter štvorcový [cd/m²] [1] [2].

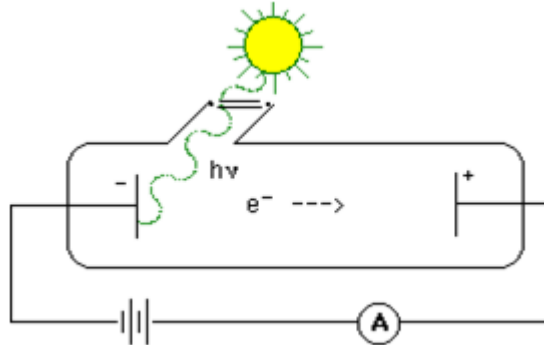
$$L = \frac{dI}{dS \cdot \cos\alpha} \quad (2)$$

1.4 Fotoelektrický jav

Fotoelektrický jav je experimentálne pozorovaný jav, kedy svetlo vhodnej vlnovej dĺžky pri dopade na kov alebo polovodič vyráža z atómov látky elektróny. Elektróny sa uvoľňujú vtedy, keď získajú dostatok energie na prekonanie sily, ktoré držia ich v látke.

Existujú dva typy fotoelektrického javu:

- vnútorný fotoelektrický jav – elektróny sa voľne pohybujú v látke,
- vonkajší fotoelektrický jav – elektróny opustia látku [1] [2].



Obr. 4 Fotoelektrický jav

Vnútorný fotoelektrický jav je základom väčšiny moderných fotosenzorov v optoelektronike. Vonkajší fotoelektrický jav má malé praktické využitie, najmä vo fotonásobičoch.

1.5 Typy osvetlenia

Osvetlenie môže byť sprostredkované denným svetlom, umelým svetlom alebo ich kombináciou. Úroveň viditeľnosti požadovaná pre pracovné priestory závisí od druhu a dobe trvania činnosti. Požiadavky na osvetľovanie pracovných priestorov sú stanovené normou.

Osvetlenie môžeme rozdeľovať podľa funkcie:

- hlavné,
- pomocné,
- bezpečnostné,
- núdzové.

Podľa zdrojov:

- denné,
- umelé,
- združené.

1.5.1 Denné osvetlenie

Naša hviezda, Slnko, je primárnym zdrojom denného osvetlenia. Svetlo je viditeľná časť spektra elektromagnetického žiarenia Slnka. Denné svetlo je dôležité k vytvoreniu zdravého prostredia pre živých organizmov. Dosiahnutie vhodných parametrov denného osvetlenia je zložitým úkolom a najmä preto, lebo sa stretávajú mnohokrát protichodné požiadavky pracovníkov rôznych profesií. Hlavné zložky denného svetla sú slnečné a oblohové svetlo.

Priemerný jas oblohy je takmer 4000 cd/m². Tento parameter závisí na čistote atmosféry, združených mrakov atď. Nároky pre denné svetlo sú uvedené v norme ČSN 360035 [8].

1.5.2 Umelé osvetlenie

Umelé osvetlenie vychádza z hľadiska zrakových náročností vykonávaných prác alebo z hľadiska psychologických. Je treba vytvoriť optimálne pracovné podmienky, ktoré zaisťujú bezpečnosť práce a prispievajú k zrakovej pohode človeka. Potrebné hladiny intenzity osvetlenia sú podľa normy ČSN 360046 rozdelené do šesť tried.

Tab. 2: Doporučené hodnoty intenzít osvetlenia [7]

Trieda	Požiadavky na Osvetlenie	Veľkosť kritického detailu d [mm] pozorovaného z vzdialenosti D		D/d	E (p = 0,35) lx
		D = 0,35 m	D = 1 m		
1	mimoriadne	0,1	0,3	3500	5000
2	veľmi vysoké	0,1 - 0,2	0,3 - 0,6	3500 - 1750	2000 - 5000
3	vysoké	0,2 - 0,4	0,6 - 1,2	1750 - 875	600 - 2000
4	priemerné	0,4 - 0,8	1,2 - 2,3	875 - 440	250 - 600
5	malé	0,8 - 1,5	2,3 - 4,4	440 - 230	100 - 250
6	veľmi malé	1,5 - 3,0	4,4 - 8,8	230 - 110	25 - 100

Priestory priemernou alebo vysokou zrakovou náročnosťou, v ktorých pracovníci zotrvávajú viac ako 50% pracovnej doby, majú mať minimálnu hladinu intenzity osvetlenia 160 lx. Doporučené hodnoty pre pracovné a obytné priestory sú uvedené v tabuľke 2[6].

Tab. 3: Doporučené hodnoty intenzít osvetlenia pracovných obytných miestností [7][8]

Priestor	E	Priestor	E
-	lx	-	lx
RTG ambulancia	1	Schodiská	150
Komunikačné priestory a chodby	100	Kuchyne	250
Šatne, umyvárne	200	Triedy, kabinety	300
Knižnice - police	200	Prednášková miestnosť	500
Galvanické pokovanie	300	Výroba jemnej mechaniky	1000
Študovne	500	Operačné stole	5000
Miestnosti na technické kreslenie	750	Operačné pole	25000

1.6 Metódy merania osvetlenia

Meranie je taká činnosť, ktorá má za účel určiť veľkosť fyzikálnych veličín. Výsledkom merania je číselné vyjadrenie meranej veličiny so stanovenou jednotkou. Meraním svetelných veličín sa zaoberá fotometria.

Meranie sa delí na:

- vizuálne meranie – využívajú sa vlastnosti ľudského oka,
- meranie s využitím fyzikálnych senzorov.

V praxi je možné používať rôzne fotoelektrické snímače, ktoré budú rozobraté v kapitole 2 tejto práce.

1.6.1 Luxmetre

Na meranie osvetlenia (rovinné, kolové, polo guľové, valcové, polovalcové aj.) sa používame luxmetre. Keď nie je uvedené inak, pod pojmom luxmeter sa myslí prístroj na meranie rovinného osvetlenia. Fotometrická hlava je obvykle vybavená filtrom pre prispôbenie spektrálnej citlivosti $V(\lambda)$ a difúznym nástavcom pre korekciu smerových chýb fotodetektora. Snímací uhol luxmetra pre meranie rovinného osvetlenia má byť vo všetkých rovinách kolmý k rovine, v ktorom sa určuje osvetlenie [8].

1.6.2 Meranie umelého osvetlenia

Pri meraní umelého osvetlenia sa postupuje podľa dvoch noriem. Prvá je norma ČSN 360011-1 Měření osvětlení a druhá je ČSN 360011-3 Měření umělého osvětlení. V týchto normách je definovaný postup pre meranie osvetlenia a vypracovanie dokumentov po meraní.

Meranie sa vykonáva v sieti kontrolných bodov v miestnosti. Táto sieť by mala byť pokiaľ možno štvorcová. Rozmery tejto siete sa určujú podľa veľkosti miestnosti. Vzájomná vzdialenosť jednotlivých bodov sa pohybuje od jedného do šiestich metrov, podľa rozľahlosti. Voľba počtu meracích miest je závislá na počte svietidiel a ich rozmiestení. Minimálny počet meracích bodov n môžeme určiť podľa vzťahu:

$$n = \frac{1}{k} = \frac{a \cdot b}{5 \cdot k \cdot (a+b)} \quad (3)$$

Kde:

- a, b – rozmery miestnosti [m],
- h – výška svietidla nad porovnávacou rovinou [m],
- k – činiteľ miestnosti [-].

Tab. 4: Závislosť počtu meracích bodov na činiteli miestnosti [8]

k	n
$k < 1$	36
$1 \leq k < 2$	25
$2 \leq k < 3$	16
$3 \leq k < 4$	9
$4 \leq k$	4

Pri meraní umelého osvetlenia miestností je treba vylúčiť účinky denného svetla. Preto sa prevádza pri zatemnení alebo v noci. Voľba počtu meracích miest je závislá na počte svietidiel a ich rozmiestení. Fotočlánok musí byť stabilne umiestnený v správnom výške a musí sa kontrolovať výška porovnávacej hladiny, pričom fotočlánok nesmie byť pri meraní ničím krytý. Namerané hodnoty sa následne spracovávajú a pomocou nich sú vypočítané niekoľko iných parametrov.

1.6.3 Priepustné chyby luxmetrov

Drahé prístroje väčšinou dosahujú väčšiu presnosť ako lacnejšie. Chybu meracieho prístroje môžeme popísať ako rozdiel medzi nameranou a skutočnou hodnotou. Chyby môžeme rozdeliť na absolútne a relatívne [8].

Absolútnu chybu je možné určiť pomocou vzťahu:

$$\Delta_x = x_m - x_s. \quad (4)$$

Kde: x_m – nameraná hodnota,

x_s – skutočná hodnota.

Relatívna chyba sa zisťuje z absolútnej chyby pomocou vzťahu:

$$\delta_x = \frac{\Delta_x}{x_s} = \frac{x_m - x_s}{x_s}. \quad (5)$$

Kde: δ_x – relatívna chyba.

Tabuľka 1: Priepustné chyby luxmetrov pre jednotlivé typy merania [8]

Presnosť	Typ Merania	Celková priepustná chyba luxmetra v %	Trieda
L	Laboratórne	± 3	1
A	Presné	± 5	2
B	Prevádzkové	± 10	3
C	Orientačné	± 20	4

2 OPTOELEKTRONICKÉ SNÍMAČE

Snímače či senzory sú prvky, ktoré pretransformujú energiu optického žiarenia na inú merateľnú veličinu. Delia sa na dve hlavné skupiny [3]:

- Tepelné detektory,
- Kvantové detektory.

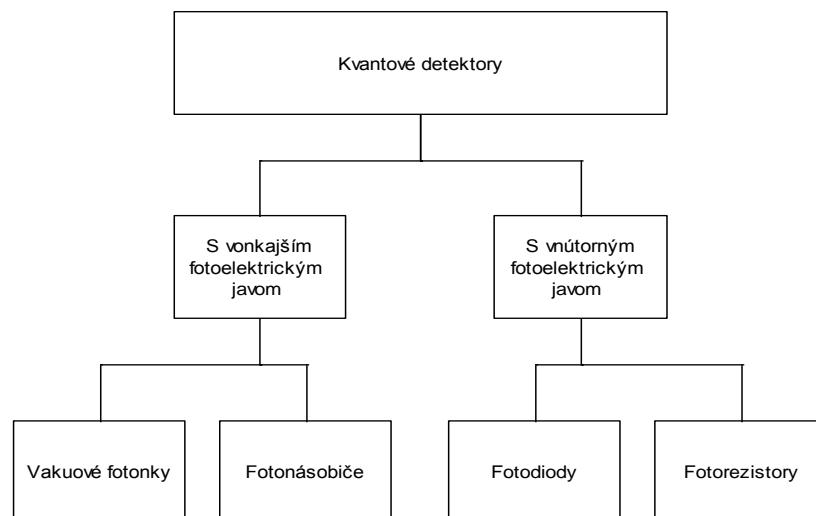
2.1 Tepelné detektory

Tepelné detektory využívajú prevod energie optického žiarenia na energiu tepelnú. Detekujú zvýšenie teploty niektorou svojou časťou. Tepelné detektory bývajú neselektívne v oblasti vlnových dĺžok optického žiarenia 0,2-50 mikrometrov.

Najpoužívanejšími tepelnými detektormi bývajú termistory, termočlánky a pyrometre. Najčastejšie sa používajú pre detekciu infračerveného žiarenia [3].

2.2 Kvantové detektory

U kvantových detektorov prichádza k priamemu interakciu medzi hmotou a fotónmi dopadajúceho elektromagnetického žiarenia [3].



Obr. 5: Rozdelenie kvantových detektorov

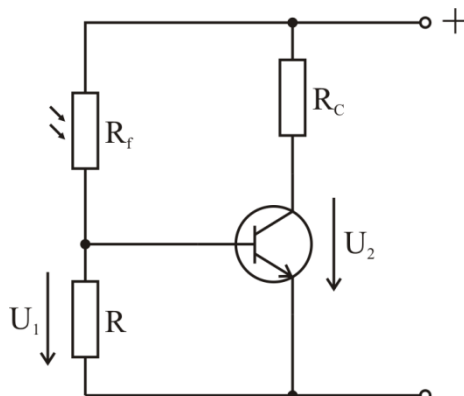
Ďalej sa budeme zaoberať len s kvantovými detektormi. Tepelné detektory nie sú vhodné pre luxmeter, najčastejšie sa využívajú ako normála alebo pre špeciálne účely. [1]

2.3 Fotorezistor

Fotorezistor je polovodičový prvok, jeho vodivosť sa zväčšuje pri dopade optického žiarenia. Fotorezistor je veľmi citlivý detektor osvetlenia a princíp fotorezistora je založený na vnútornom fotoelektrickom jave. Keď na jeho povrch dopadá svetlo dostatočne krátkej vlnovej dĺžky, dôjde ku generácii párov elektrón-diera, odpor vodiča klesá a zmení sa aj úbytok napätia

na záťaži R_f (obr. 6). Odpor fotorezistora klesá v závislosti od intenzity osvetlenia približne exponenciálne. Túto závislosť je možné do istej miery linearizovať [1] [2].

Podľa použitého materiálu je možné použiť fotorezistor na detekovanie širokého spektra svetla [1] [2].



Obr. 6: Zapojenie fotorezistoru

Výhody fotorezistora:

- dostatočná citlivosť,
- nízke výrobné náklady,
- jednoduché použitie v el. obvodoch,
- možnosť použitia v obvodoch jednosmerného aj striedavého prúdu.

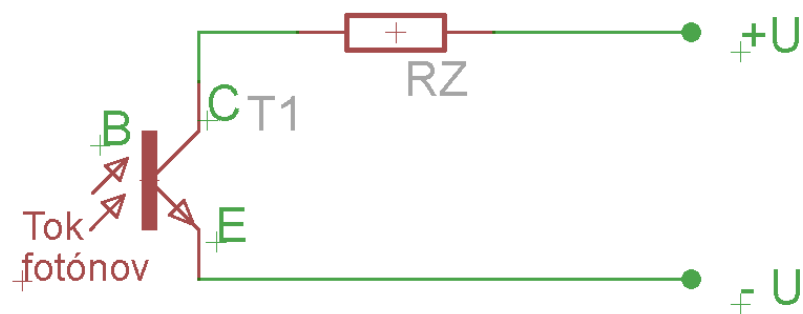
Nevýhody fotorezistora:

- pomalá odozva na zmenu intenzity osvetlenia (nevhodný na prenos dát),
- veľká tepelná závislosť odporu,
- fotorezistory v prevádzke starnú[9].

2.4 Fototranzistor

Fototranzistor je klasický tranzistor s rozdielom, že PN prechod ovládame svetelným žiarením. Rovnako ako aj u fotodiód, aj u fototranzistorov je využívaný vnútorný fotoelektrický jav. Podľa zmeny osvetlenia sa menia napäťové a prúdové parametre. Citlivosť fototranzistora pri rovnakej ploche je väčšia ako u fotodiódy, avšak iné parametre (najmä rýchlosť) sú horšie. Vypnutie tranzistora zo zapnutého stavu je možné realizovať iba znížením napätia na jeho anóde, alebo znížením pretekajúceho prúdu pod takzvanú prídružnú hodnotu I_H . Fototranzistor zapojíme do obvodu so spoločným emitorom a používa sa aj v optočládkoch.

Fototranzistor je možné jednoducho vytvoriť z obyčajného bipolárneho tranzistoru. Po vyvrtanie diery na kovovom vrstve a vložení LED diody dostaneme optočlen. Fototranzistory sú používané v miestach, kde je potreba takého obvodu, ktoré vie spracovávať aj také, menej premenlivé zmeny osvetlenia, ktoré fotodiódy už nie sú schopní. Fototranzistory sú používané v miestach, kde je potrebný obvod, ktorý dokáže spracovávať aj také menej premenlivé zmeny osvetlenia, na ktoré fotodiódy nie sú schopné [1] [2].

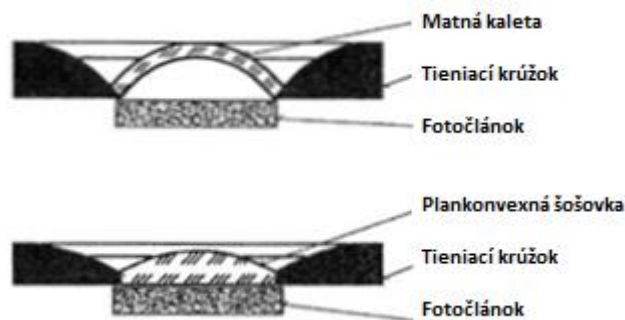


Obr. 7: Elektrická schéma fototranzistoru [1]

2.5 Fotočlánky

Pre objektívne svetelné meranie fotočlánkov je najčastejšie použitý senzor. Vždy obsahuje detektor, ktorý pretransformuje elektromagnetické žiarenie na elektrický signál. Fotočlánky sa vyrábajú najčastejšie z kremíka, zo selénu, sírnika kadmia, alebo galiumarsenidu. Fotočlánok samostatne je vhodné používať na meranie osvetlenia. [1]

Hradlový fotočlánok ešte nie je vhodný na meranie osvetlenia, lebo nemá spektrálne vlastnosti ľudského oka. Ak sa použije fotočlánok bez kosínivého nástavca, dochádza k chybe merania, ktorá sa zväčšuje s uhlom dopadu.



Obr. 8: Typy kosínových nástavcov [5]

2.6 Fototyristor

Štruktúra fototyristora je umiestnená v puzdre s dierkou, aby do oblasti prechodu mohol dostať elektromagnetické žiarenie. Dopadajúcim žiarením je možné fototyristor prepnúť do priepustného stavu z blokujúceho. Hlavným spôsobom zapínania fototyristora je zapínanie svetelným signálom. Citlivosť na dopadajúce žiarenie je možné meniť riadiacou elektródou.

Prepnutie je vyvolané žiarením, ktoré dopadá na strane katódy [1] [2].

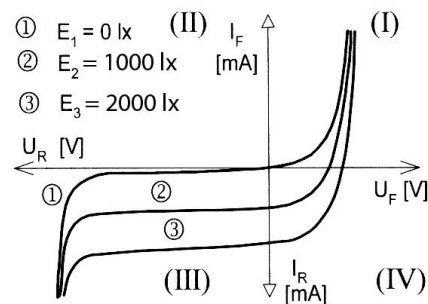
2.7 Fotodióda

Fotodióda je polovodičová dióda, konštruovaná tak, aby do oblasti PN dostávalo svetlo. Ak prechod nie je osvetlený, voltampérová charakteristika fotodiódy má rovnaký priebeh, ako má charakteristika bežnej plošnej diódy. Rozdiel medzi osvetleným a neosvetleným stavom je možné vidieť pri polarizácii diódy v spätnom smere, keď rovnomerné zväčšovanie osvetlenia má za príčinu takmer lineárny rast prúdu I_A , ako je vidno na obrázku 9. Reakcia fotodiódy na zmenu osvetlenia je veľmi rýchla. Fotodiódy sa používajú na meranie osvetlenia (niektoré kremíkové v hradlovom režime). Rýchle fotodiódy sú použité ako prijímače v optických spojoch.

Dôsledkom dopadajúceho elektromagnetického žiarenia v oblasti PN prechodu vznikajú páry elektrón-diera. Pri tomto dejí sa zvyšuje prúd v obvode [1] [2].

Tab. 5. Bežne používané materiály na výrobu fotodiód

Materiál	Rozsah vlnových dĺžok [nm]
Sulfid kademnatý	300–850
Kremík	190–1100
Germánium	400–1700
Indium-gallium-arzenid	800–2600
Galenit	<1000-3500
Indium-antimonid	1000-8000

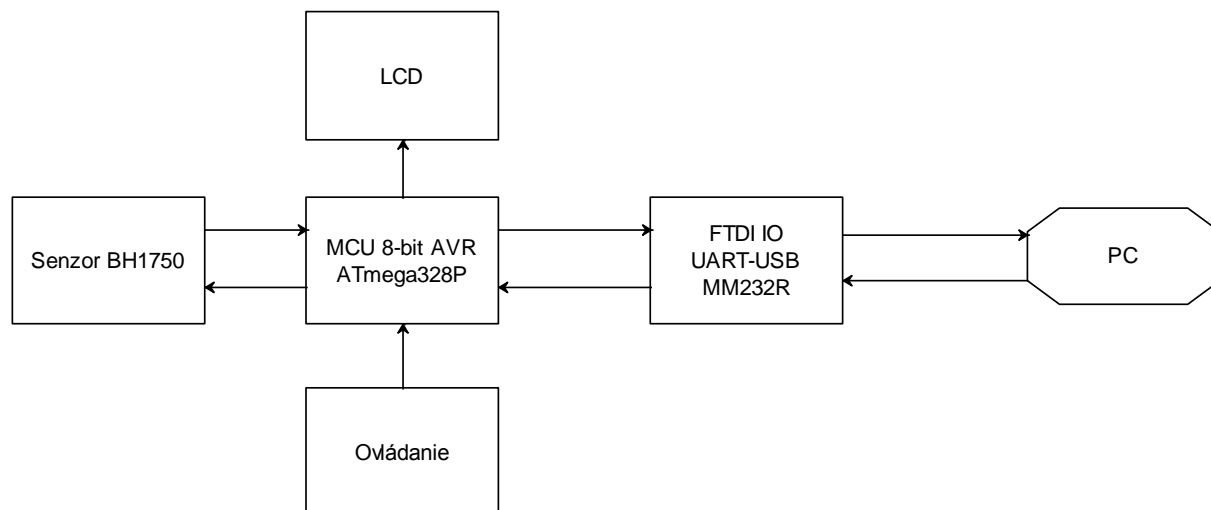


Obr. 9: Charakteristika fotodiódy

3 NÁVRH RIEŠENIA

Centrálnou jednotkou luxmetra, ktorý bude navrhnutý je 8-bitový AVR mikrokontrolér od firmy ATMEL. K analógovej časti je pripojený snímač BH1750 od ROHM Semiconductor. K digitálnej časti je pripojený LCD displej, na ktorom budú vypisované dáta merania. Okrem displeja mikrokontrolér komunikuje s jednotkou MM232R USB – Serial UART cez sériový kanál a je ľahko pripojiteľný k počítaču.

Blokový diagram luxmetra je možné vidieť na obrázku 10:



Obr. 10: Bloková schéma luxmetra

3.1 Vlastnosti použitých súčiastok

V nasledujúcej časti sú prezentované použité súčiastky pri realizácii luxmetra. Pri výbere vhodných súčiastok bolo brané do úvahy pohyblivosť, podľa katalógových listov všetky komponenty boli vybrané tak, aby boli funkčné s napájacím napätím 3,3V. Podmienka práce bolo mobilita, pričom bola daná pozornosť na menšiu hmotnosť prístroja. Obvod bol navrhnuté aby bolo možné jeho napájanie s ceruzkovými baterkami AA. Podľa toho bol vybraný aj napäťový regulátor.

3.1.1 Snímač intenzity osvetlenia

Najdôležitejšou súčiastkou luxmetra je senzor intenzity osvetlenia. Vybrať bolo možné od jednoduchých fotodiód až k hotovým modulom. Farebný korekčný filter slúži na to, aby snímač mal približne takú reakciu na svetlo, ako ľudské oko.

Prehliadnuté snímače sú rozpísané nižšie.

Fotodióda BPW34

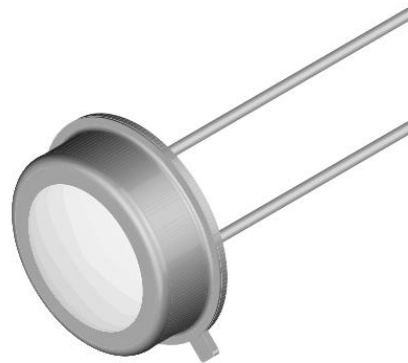
Fotodióda BPW 34 je vyrobená bez filtra vo firme Vishay Semiconductors. Tento detektor je vysoko citlivý, má nízku dobu odozvy. Sníma nielen viditeľné, ale aj infračervené žiarenie. Je napájaná napätím 5V [10].



Obr. 11: Fotodióda BPW34[10]

Fotodióda BPW21

Fotodiódu BPW21 vyrába firma Siemens. Súčiastka má v sebe vstavaný korekčný filter, ktorý upravuje jeho charakteristiku, aby bol podobný ako charakteristika spektrálnej citlivosti ľudského oka. Senzor je umiestnený vo vzduchotesnej uzavretom puzdre. Výhodou tejto fotodiódy je, že na výstupe má lineárnu závislosť prúdu od osvetlenia. Prevodom osvetlenia na prúd je ľahké merať osvetlenie. Pracuje napätím 1,2V [11].

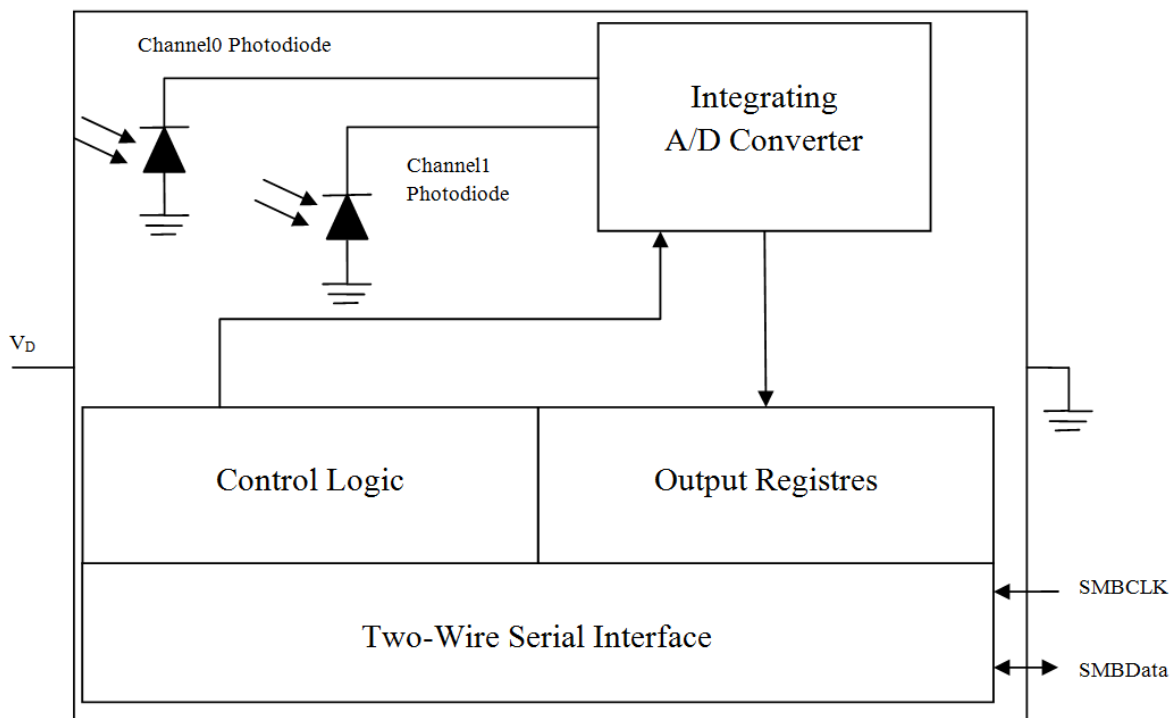


Obr. 12: Fotodióda BPW21[11]

Fotodióda TSL2550

Fotodióda TSL 2550 zahrňuje v sebe dve fotodiódy aj A/D prevodník v jednom integrovanom obvode. Detekuje široké pásmo svetla podobne, ako ľudské oko. Prvá fotodióda

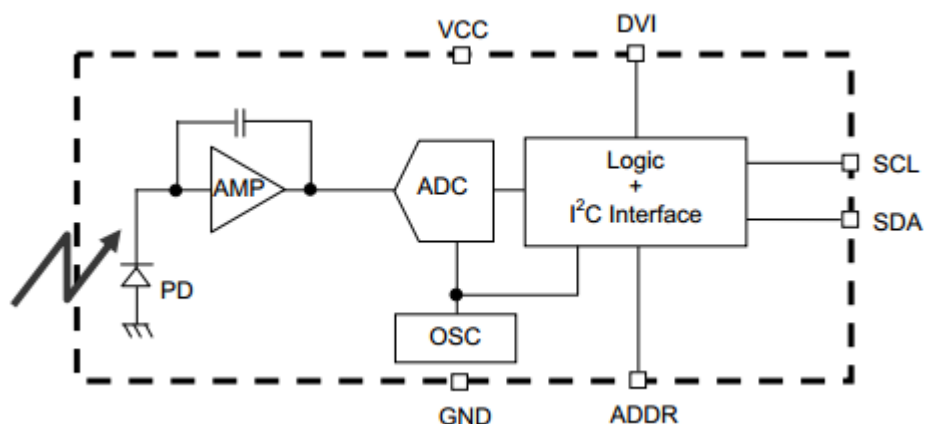
(channel 0) je konštruovaná tak, aby detekovala viditeľné svetlo aj infračervené žiarenie. Druhá fotodióda (channel 1) je citlivá primárne na infračervené žiarenie. Vstavaný A/D prevodník zaistí, že sa na výstupe objaví digitálny signál, ako je to viditeľné na obrázku 13. Pracovné napätie snímača je v rozsahu 2,7V – 5,5V [12].



Obr. 13: Blokový diagram fotodiódy TSL2550 [12]

Snímač intenzity osvetlenia bh1750

Po zdĺhavom uvažovaní som vybral senzor BH1750 od spoločnosti ROHM Semiconductor. Tento snímač bol najvhodnejší pre tento projekt, lebo dokáže merať intenzitu osvetlenia v širokom rozsahu. Intenzitu osvetlenia sníma fotodiódou podobne ako ľudské oko. Má vstavaný 16-bitový AD prevodník, ako je vidno na obrázku 14. Nie sú potrebné žiadne výpočty, na výstupe snímača je priamo hodnota osvetlenia v luxoch. Komunikácia medzi senzorom a AVR sa uskutoční na zbernici I²C. Je napájaný napätím 3,3V [13].



Obr. 14: Blokový diagram snímača BH1750 [13]

3.1.2 ATMEL 8-bit AVR mikrokontrolér – Atmega328

ATmega328P patrí do rodiny 8-bitových RISC CMOS mikrokontrolerov, ktoré vyrába spoločnosť ATMEL od roku 1996. Skrátenie RISC (Reduced Instruction Set Computer) ukazuje na mikroprocesory so zníženou inštrukčnou sadou. To znamená, že väčšina inštrukcií má rovnakú dĺžku a príkazy sa vykonávajú za jeden inštrukčný cyklus [11] [16].

Inštrukčná sada ATmega328P sa skladá z 131 príkazov. Obsahuje aj 32x8 pracovných registrov. Ako bolo vyššie uvedené, ATmega328 je schopný vykonať jednu inštrukciu za jeden hodinový signál. Použitím kryštálu s frekvenciou 20MHz je možné dosiahnuť až 20 MIPS výkon. V názve uvedené číslo „32“ ukazuje na veľkosť vnútornej pamäte Flash v kilobytoch. AVR ďalej obsahuje 2 kB vnútornú pamäť SRAM a 1 kB EEPROM. Dáta uložené do pamäte EEPROM ostávajú zachované aj v prípade, keď čip nie je pod prúdom. V mene ATmega328P, písmeno P ukazuje na puzdro typu PDIP [16].

Zvolený mikrokontrolér má celkom 28 vývodov. Fyzicky sú k dispozícii 3 porty, každý má 5 vstupno-výstupných vývodov, takže celkom môžeme voľne používať 15 vývodov. Ďalšie sú využité na napájanie, pripojenie externého oscilátora, resetovanie a iné účely [16].

3.1.3 Spojenie s Počítačom

Na realizáciu komunikácie s počítačom sme mali dve možnosti:

- VUSB,
- UART – USB.

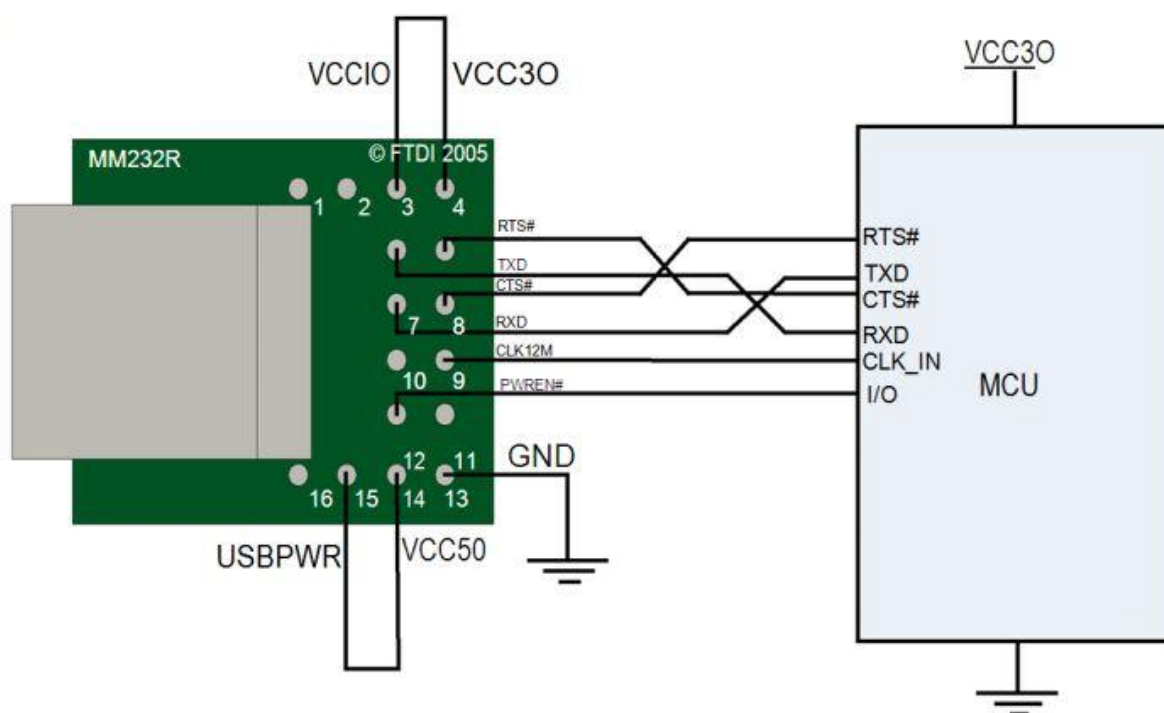
VUSB je softvérová realizácia pre Atmel AVR. Je kompatibilné s takmer všetkými mikrokontrolérmi, ktoré majú aspoň 2kB Flash pamäť, 128 byte RAM a hodinový signál s kmitočtom 12Mhz. V-USB je možné voľne použiť pod licenciou GNU (General Public License). V rýchlosti nie je veľký rozdiel od FTDI, ale softvérová strana je trochu zložitejšia [17].

UART – USB od firmy FTDI (Future Technology Devices International Ltd.) je lepšia voľba. Aj pri výbere FTDI máme dve možnosti, buď vybrať hotový modul, alebo navrhnuť zapojenie s FTDI čipom.

Vybratý bol hotový modul kvôli šetreniu miesta na plošnom spoji, ktorý ani cenovo nie je až tak náročný.

FTDI modul MM232R

Prenos dát prebieha na úrovni TTL a podporuje modulačnú rýchlosť od 300 baud až 3 Mbaud. Podporuje operačné systémy Windows, Mac OS a Linux. Ovládače sú k dispozícii na webovej stránke výrobcu. Po pripojení zariadenia a nainštalovaní ovládačov obvod bude automaticky rozpoznávaný. Pre spojenie s počítačom bol vybraný MM232R, ktorý je hotový FTDI modul. Obsahuje pamäť EEPROM s veľkosťou 1024 bajtov. Jeho napájanie je možné realizovať viacerými metódami. Ako je znázornené aj na dolu uvedenej obrázku 15, vybraté bolo napájanie cez USB zbernicu, len so zmenou, aby namiesto 5V napätia bolo napájané s napätím 3,3V. Rozdiel napätia by odpálil AVR. Tento modul má zabudovaný USB2.0 B konektor. Obvod má vnútorný oscilátor, ktorý sa dá použiť s frekvenciou 6Mhz, 12MHz, 24MHz, 48Mhz. Štandardne je to nastavené na 12 Mhz a je dostupné na výstupe CLK12 [16].



Obr. 15: Zapojenie MM232R s napájacím napätím 3,3V [16]

3.1.4 Zobrazovacia jednotka

Z troch možností som mohol vybrať:

- 7 segmentový displej,

- znakový,
- grafický LCD.

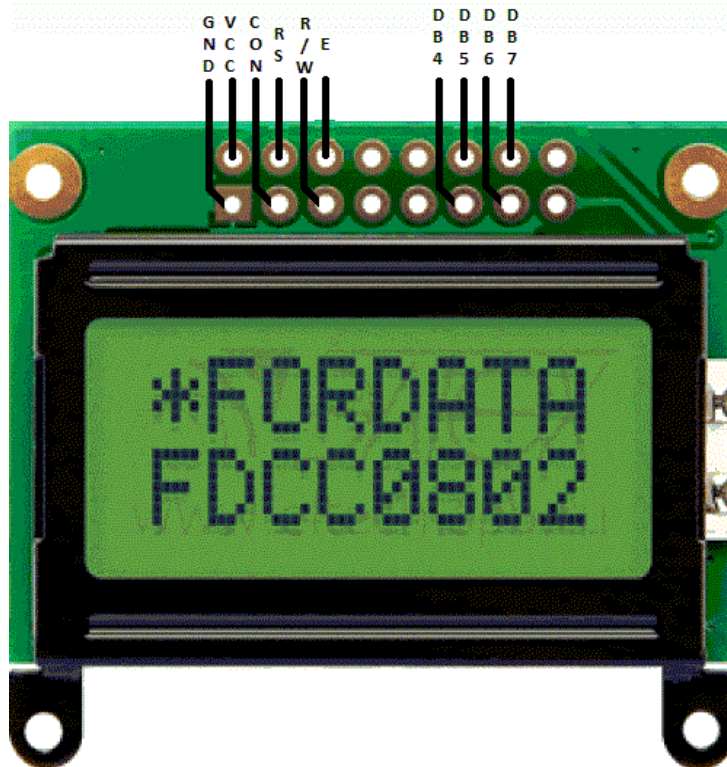
Segmentové displeje sa skladajú zo segmentov a sú schopný zobrazovať čísla, písmená alebo znaky. Najznámejším je 7 segmentový displej, ktorý slúži najmä na zobrazovanie číslíc, niekedy je doplnený ôsmym segmentom, desatinnou čiarkou. Rozšírením sú 14- a 16-segmentové displeje, ktoré dokážu zobrazit' všetky veľké písmená latinky. Veľkou nevýhodou je zložitost'. Cieľom práce bolo, aby luxmeter vedel zobrazovať uložené dáta. Na zobrazenie menu potrebujeme minimálne osem charakterov, s použitím 7 segmentových displejov zapojenie by bolo dost' veľké a zbytočne veľmi náročné.

Ďalším typom zobrazovacích jednotiek je znakový LCD modul. Okrem číslíc je schopný zobrazovať aj charaktery a slová. Vyrábajú sa s rôznymi veľkosťami, až štyri riadkové displeje. V mene LCD modul spomínaný „modul“ naznačuje, že neovládame priamo segmenty LCD displeja, ale modul má v sebe zabudovaný integrovaný obvod, ktorý má za úlohu riadiť zobrazovaciu jednotku. Alfanumerické LCD moduly majú 16 vývodov, kde posledné dva slúžia na podsvietenie. Tie typy ktoré nemajú zabudované podsvietenie, často majú taktiež 16 vývodov, aby boli kompatibilné s konektormi pre podsvietené moduly.

Posledným typom displeja, o ktorý bolo uvažované sú grafické displeje. Tento typ, ako je zrejmé aj z názvu, je schopný zobrazovať nielen charaktery, ale aj charakteristiky a grafiky. Nevýhodou grafických displejov je, že keď chceme vypisovať na ne text, aj to musíme definovať ako grafiku a tým sa stane vypisovanie dát na obrazovke náročnejším.

3.1.5 Znakový LCD 2x8 - FDCC0802C

Zvolený bolo znakový LCD display s označením FDCC0802C-RNNYBH-16LE, ktorý je schopný zobrazit' 8 charakterov v 2 riadkoch, ako je viditeľné na obrázku 16. Má 16 kontaktov, z ktorých je možné použiť 14. Tie sú rozdelené na 3 napájacie, 3 riadiace a 8 dátové. Na napájanie vyžaduje napätie v rozsahu 2,7 až 4,5V. Kontrast je možné nastavovať pomocou potenciometra. Tento LCD nemá zabudované podsvietenie, avšak aj bez toho je dobre čitateľný a šetrí aj batériu prístroja. Z vnútornej pamäti je schopný zobrazit' 192 alfanumerických charakterov, symbolov a špeciálnych charakterov [15].



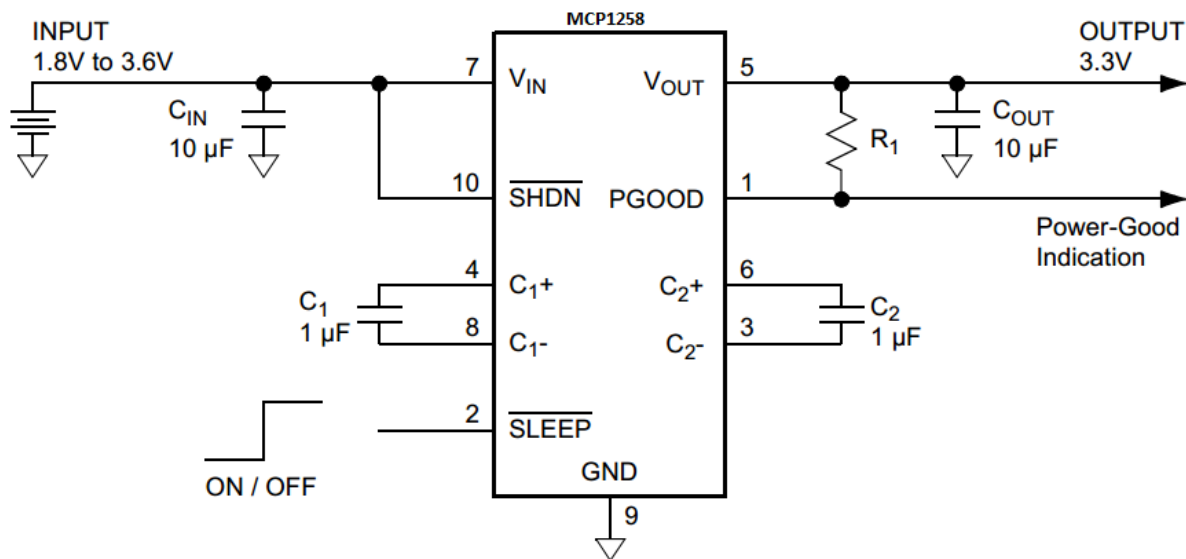
Obr. 16: LCD display FDCC0802C a jeho používané vývody

3.1.6 Lineárny napät'ový regulátor - MCP1258

Pri návrhu meracích prístrojov je veľmi dôležité, aby napájacie napätie bolo stabilné. Toho docielime použitím stabilizátora. Najčastejšie sa používajú lineárne trojbodové stabilizátory.

Zvolil som obvod MCP1258, ktorý nielen stabilizuje výstupné napätie, ale reguluje napätie dvoch AA bateriek, alebo jednej gombíkovej batérie s menovitým napätím 3V na 3,3V. Tento obvod je odporúčaný pre použitie prenosných meracích prístrojov.

V stabilizátore sa pri normálnom stave bez prerušenia striedajú dve fázy: nabíjanie a prenos. V prvej fáze je prenesené napätie zo vstupu na lietajúce kondenzátory C_1 a C_2 (viď na obr. 17). Náboj je určený zo vzorky a spätnej väzby z výstupného napätia na začiatku fáze. Keď je prvá fáza dokončená, začína sa fáza prenosu. Vo fáze prenosu sa prenáša napätie z lietajúcich kondenzátorov na výstup. Obidve fázy nastanú za jednu periódu interného oscilátora. Keď sa skončila druhá, cyklus sa opakuje [18].



Obr. 17: Typická aplikácia integrovaného obvodu MCP1258 [18]

3.2 Použité Programy

Cadsoft EAGLE v 6.5.0

Pre návrh a realizáciu elektrických obvodov je veľa softvérových nástrojov CAD. Vybral som EAGLE od firmy CadSoft, s ktorým je možný nielen návrh schémy, ale následne aj návrh plošného spoja. Tento program je kompatibilný s hlavnými operačnými systémami Mac, Linux a Windows. Obsahuje širokú paletu súčiastok a vytvorenie chýbajúcich tiež nie je náročné. V programe je aj možnosť kontroly prípojev (ERC – Electrical Rule Check).

EAGLE sa skladá z 2 funkčných modulov:

- Schematic Editor - vytvorenie schémy,
- Layout Editor - vyhotovenie PCB plánov podľa schém.

Pri navrhovaní obvodu luxmetra bolo treba dodržať pravidlá vydané Vysokým Učením Technickým (VUT). Najviac problémov sa vyskytlo pri práci so súčiastkou MCP1258, lebo vzdialenosť medzi jeho vývodmi je len 0,5 mm. Väčšina súčiastok je vo veľkosti puzdra SMD z dôvodu minimalizácie rozmerov plošného spoja PCB. Atmega328 je v puzdre DIL, aby bolo ľahko vymeniteľné v prípade zlyhania jednočipu. Keramický kondenzátor C_6 je treba umiestniť čo najbližšie k napájaciemu vstupu Atmega328 kvôli filtrácii. Na čo najviac miestach je treba vytvoriť prekrvenie medzi cestami GND.

AVR Studio 4

Pre písaniu programu pre mikrokontrolér AVR bolo treba tak isto zvoliť vývojové prostredie, ktoré umožňuje prekompiláciu z napísaného zdrojového kódu v programovacom jazyku C použiteľný pre MCU. Na tento cieľ je vhodný softvér, ktorý bol vydaný firmou

ATMEL pod názvom AVR Studio. Pomocou prekladača vygeneruje súbor typu hex, ktorý je už možné nahráť do mikrokontroléra.

AVR Studio 4 je kompatibilné so systémami Windows 9x/ME/NT/2000/XP/VISTA/7.

Microsoft Visual Studio 2012

V rámci tejto práce bolo vytvorené aj interaktívne grafické užívateľské rozhranie na spracovávanie nameraných hodnôt z luxmetra. Dáta z jednočipu sú vysielané cez virtuálne sériové komunikačné kanály (COM porty).

Visual Studio je vývojové prostredie od spoločnosti Microsoft. Je vhodné pre vývoj aplikácií s grafickým rozhraním. Podporuje viacerých programovacích jazykov, ako C++, C#, Visual Basic, XML a F#.

Pre vývoj grafického rozhrania luxmetra bol vybraný programovací jazyk C#. Ľahko sa zaobchádza zabudovaným našepkávačom IntelliSense-om, ktorý automaticky ponúkne preddefinované funkcie a premenné a s tým uľahčí vývojový proces.

4 REALIZÁCIA LUXMETRA

4.1 Softvér luxmetra

Softvér luxmetra bol písaný v jazyku C vo vývojovom prostredí AVR Studio 4. Vygenerovaný súbor hex bol naprogramovaný pomocou modifikovaného programátora typu STK500. Tento programátor obsahoval serial - UART typu FT232BM, čo umožnil použiť programátor bez portu RS232, priamo cez USB.

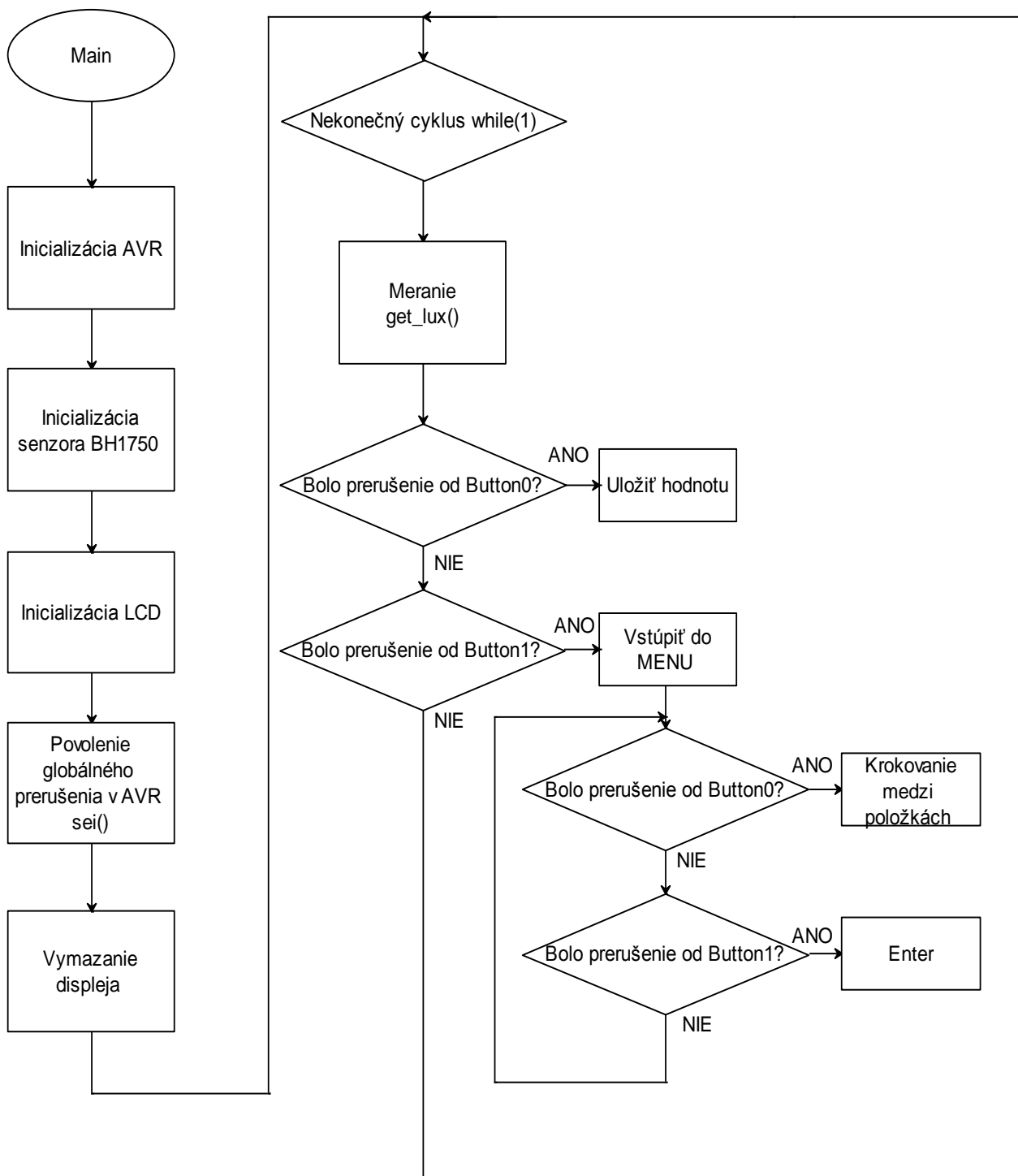
Základ softvéru predstavuje súbor `luxmeter_v1`. V tomto súbore sa nachádza funkcia `main`. Na začiatku je deklarovaná inicializácia hardvéru pomocou súborov `lcd.h`, `bh1750.h`, `uart.h`, `lcd.c`, `bh1750.c`, `uart.c`. Knížnice pre LCD, UART a senzor BH1750 boli vopred definované, neboli vytvárané počas tohto projektu a boli len použité v zdrojovom kóde. Funkcia `init_io()` nastavuje vývody mikrokontroléra, prerušenie INT0 a INT1 na zostupnú hranu. Funkcia `init_USART()` inicializuje sériovú komunikáciu. Softvér AVR inicializuje LCD s funkciou `lcd_init()`, potom vymaže obrazovku a kurzor nastaví do začiatkovej polohy.

Pri spustení luxmetra softvér vypíše verziu a množstvo uložených dát na LCD displej, potom začne merať. Meranie je realizované tak, že na začiatku zdrojového kódu je zvolená konštanta `AVARAGEING`, ktorá udáva koľko meraní bude vykonaná v jednom cykle. V tomto prípade bola nastavená na 10 meraní. Na konci desiateho merania výslednú hodnotu delí s konštantou `AVARAGEING`. Na displej vypíše už tú priemernú hodnotu s presnosťou na jedno desatinné miesto. Toto bolo nastavené kvôli tomu, aby namerané hodnoty boli viditeľné na displeji luxmetra.

```
float get_lux(void){
#ifdef __LEDS_IN_USE
LED_1_ON(); //signalizácia merania
#endif
float new_lux=0;
//averaging measue
for(int i=0; i<AVARAGEING; i++){
    new_lux += bh1750_getlux(); //pridať novú hodnou k predošlej
    _delay_ms(MEASURE_DELAY); //čakanie na senzor
}
new_lux = new_lux/AVARAGEING;
new_lux = new_lux/LUX_COMPENSATION;
#ifdef __LEDS_IN_USE
LED_1_OFF();
```

Program je napísaný tak, že luxmeter hneď po spojení s počítačom na virtuálnom sériovom porte pošle uložené dáta pomocou funkcie `sendEepromToPc`. Na začiatku funkcie prekontroluje či sú v pamäti EEPROM dáta. Keď je pamäť prázdna pošle správu `!empty eeprom`. Avšak keď sú platné hodnoty v pamäti, začne ich čítať a prepošle ich na sériový port. Pred poslaním prekonvertuje hodnoty z premennej float na string pomocou funkcie

dtostrf(). Formát hodnôt bol nastavený na 5 celých čísiel a 1 desatinnú, lebo náš senzor dokáže merať v rozsahu 1-65535 lx. Jednotlivé hodnoty sú oddelené znakom „ > “ kvôli lepšiemu spracovateľnosti.



Obr. 18: Vývojový diagram funkcie main

4.2 Hardvér Luxmetra

4.2.1 Prvá verzia hardvéru

V prvej časti návrhu som luxmeter oživil na testovacom paneli. Jednočip som osadzoval do vývojovej desky Arduino UNO. Programovanie som vykonával cez ICSP porty pomocou programátora STK500. Obvod bol napájaný cez USB port. V prvej fáze som mal spojený s AVR len senzor a meranie som sledoval pomocou terminálu na počítači. Ostatné periféria, ako LCD displej a ovládacie tlačítka som priebežne spájoval na vývody jednočipu pri písaní zdrojového kódu.

4.2.2 druhá verzia hardvéru

Podľa realizovaného zapojenia na testovacom paneli som navrhol zapojenie obvodu v programe Eagle. Prepojenie hlavných súčiastok, ako jednočip, LCD displej, senzor a FTDI modul som realizoval s rôznymi dutinkovými lištami, pre umožnenie ľahkej výmeny v prípade chyby.

Výroba hardwarovej časti luxmetra bola realizovaná podľa návrhu v programe CadSoft Eagle. Návrh plošného spoja bol kontrolovaný podľa noriem určenej inštitúciou VUT. Výroba obojstranného prekovaného plošného spoja sa konala v školskej dielni a tu bola napájaná aj súčiastka MCP1258. Napájanie tejto súčiastky bolo problematické kvôli malým rozmerom.

4.2.3 Oživenie luxmetra

Pri oživení luxmetra na vyrobenom plošnom spoji bolo narazené na problém, že navrhnuté zapojenie je nefunkčné. Bral som do úvahy viacerých možností, čím by to mohlo byť spôsobené:

- chyba pri vyrobení plošného spoja,
- pre napájanie obvodu nie je dostatočné napätie 3,3V,
- nezhoda zapojenia a plošného spoja.
- nesprávny výber stabilizátora.

Prvú možnosť som rýchlo overil premeraním plošného spoja multimetrom. V zapojení bola nájdená chyba. Uzemnenie súčiastky MCP1258 nebolo zapojené na rozpustený zem. Vada bola opravená, ale zariadenie bolo stále nefunkčné.

Programátor Arduino UNO, v ktorom je osadené jednočip ATmega328 dokáže poskytnúť nielen napájanie s 5V napätia, ale aj s 3,3V. Pri skúšaní zmeny veľkosti napájacieho napätia som zistil, že síce všetky súčiastky sú kompatibilné s 3,3V ale zapojenie nevie pracovať s takým malým napätím. Problém mohol spôsobiť to, že vybrané súčiastky spolu by potrebovali viacej prúdu, než 2 baterky AA môžu poskytnúť. Prerúšením vedenia na plošnom spoji bolo skúsené napájať obvod napätím 5V z programátora. Prerušenie bolo treba urobiť, aby rozdiel napätia nepoškodil súčiastky v zapojení.

S týmto vedomím bolo zistené, že chyba musela byť urobená pri návrhu plošného spoja. Pri prehliadnutí zapojenia som zistil, že lietajúce kondenzátory súčiastky MCP1258 som navrhol zle. Táto chyba bola opravená, ale zariadenie na plošnom spoji luxmetra zostal nefunkčné.

Pri kontrole súčiastok bolo zistené, že výber stabilizátora MCP1258 bol nevhodný, kvôli tomu, že tento typ nedokáže pridať dostatok prúdu do obvodu.

Z časového dôvodu nemohol byť návrh nového zapojenia realizovaný, takže luxmeter bol nechaný na testovacím paneli, lebo takto bol plne funkčný.

4.3 Softvér s grafickým rozhraním

V nasledujúcej časti bol navrhnutý softvér s grafickým rozhraním, aby uložené hodnoty intenzity svetla boli možné preniesť cez USB perifériu do počítača. Vhodným riešením je virtuálna sériová komunikácia (COM).

Aby došlo k správnej prevádzke virtuálneho sériového portu, je treba vhodne nastaviť parametre v registri AVR a PC.

Zvolené nastavenia:

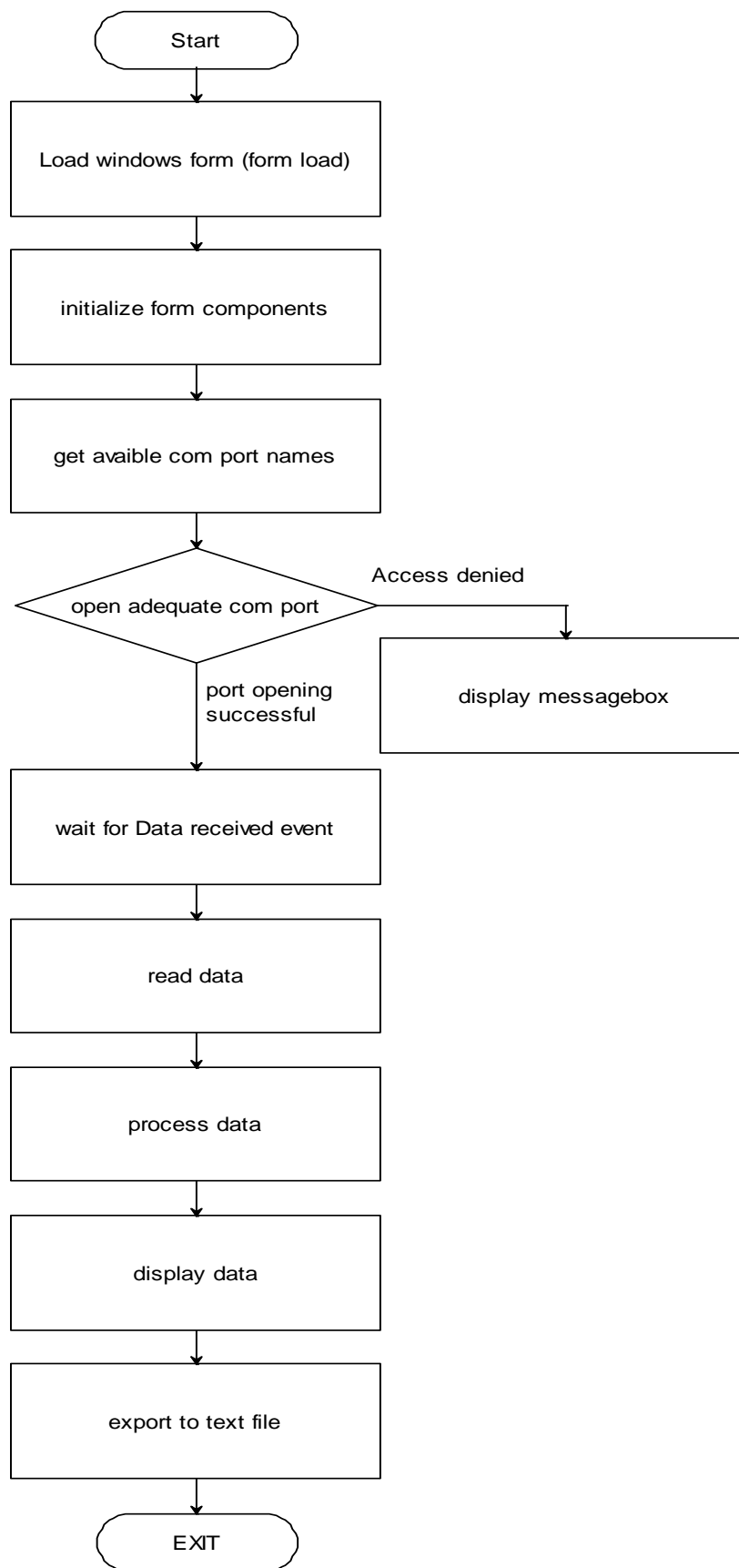
- znaková rýchlosť (Baud rate): 19200 bit/s,
- parita: žiadna,
- data bity: 8,
- stop bity: 1,
- handshake: žiadna.

Pri spúšťaní aplikácie treba zvoliť komunikačné rozhranie (COM), ktoré riadi čítačku. Komunikačné nastavenia sú vopred definované, netreba ich nastavovať. Keď komunikačné rozhranie (COM) nie je prístupné z dôvodu, že ho používa iný program, vyhodí chybovú hlášku. Dovtedy kým je sériový port zaneprázdnený, program nie je možné používať. Keď je zvolený komunikačný port, funkcia `cPort_DataReceived` spracováva dáta poslané luxmetrom vo formáte:

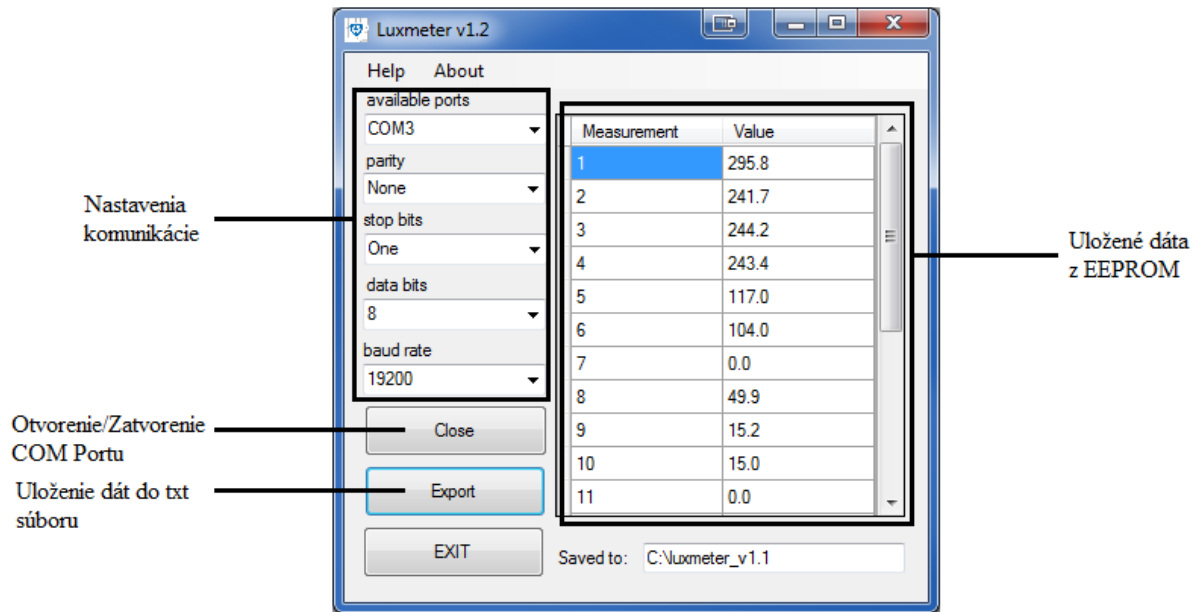
```
!from eeprom: > 295.8 > 241.7 > end!
```

Zo správy orezáva začiatok, koniec, linefeed a carriage return. Jednotlivé hodnoty rozdeľuje do tabuľky pomocou znaku „>“.

Pomocou exportu je možné uložiť namerané hodnoty do textového súboru na pevný disk počítača.



Obr. 19: Vývojový diagram GUI softvéra



Obr. 20: Grafické užívateľské rozhranie luxmetra

5 ZÁVER

Táto bakalárska práca je rozšírením semestrálneho projektu. Cieľom práce bol oboznámiť sa s vlastnosťami svetla, najmä s osvetlenosťou a podrobne popísať návrh a realizáciu funkčného luxmetra. Počas práce som získal hlbšie vedomosti z oblasti programovania AVR v jazyku C a programovania grafických rozhraní v jazyku C#. Dostal som možnosť navrhnuť zapojenie v Cadsoft Eagle s SMD súčiastkami a získať skúsenosti spájania SMD súčiastok.

V prvej časti sú popísané základné pojmy a veličiny svetla. Je rozobraté, aké osvetlenosti by mali byť v rôznych obytných a pracovných priestoroch. Práca obsahuje stručný popis luxmetra a metódu merania osvetlenosti.

Ďalšie časti boli venované vlastnostiam jednotlivých súčiastok a výbere vhodného typu. V pokračovaní je popis zdrojového kódu luxmetra a popis grafického rozhrania.

Výsledkom je funkčný luxmeter na testovacom paneli, ktorý je schopný uložiť namerané hodnoty osvetlenia a tie hodnoty poslať na počítač cez virtuálny sériový port do spracovávacieho softvéru. Softvér bežiaci sa na osobnom počítači umožňuje spracovávanie uložených hodnôt a ich vyexportovanie do textového súboru. Prístroj je použiteľný aj bez osobného počítača. Uložené dáta sú zobraziteľné na LCD displeji pomocou navigačných tlačítok.

V dnešnej dobe, keď skoro každý má prenosný počítač, prístroj by mohla byť realizovaná spolu s originálnym Arduino UNO programátorom v prehľadnom, či neprehľadnom toku a napájaná priamo cez USB port.

V prílohe je uvedená schéma zapojenia, návrh plošného spoja a zoznam súčiastok potrebných k realizácii hardvéru. Z dôvodu veľkého rozsahu kódu softvéru AVR a grafického rozhrania sú uvedené v elektronickej prílohe.

POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1] BRTNÍK, B., MATOUŠEK, D. Mikroprocesorová technika BEN - technická literatura, Praha 2011, 152 stran, ISBN 978-80-7300-406-4.
- [2] MATOUŠEK, D. Práce s mikrokontroléry Atmel AVR. Nakladatelství BEN - technická literatura, Praha 2006, 376 stran, ISBN 80-7300-209-4.
- [3] Vítek, J. Luxmetr. Brno, 2011. Bakalárska práce. FEKT VUT Brno
- [4] Hrbáček, M. Luxmetr. Brno, 2012. Bakalárska práce. FEKT VUT Brno
- [5] DEGRO, Ján. Souhrnný sborník Veletrhu nápadů učitelů fyziky: Experimentujeme s luxmetrom a osvětlením. [online]. [cit. 2012-11-10]. Dostupné z: <http://vnuf.cz/sbornik/prispevky/12-16-Degro.html>
- [6] ROZMAN, Jiří. Diagnostika životního prostředí. 1. vyd. Brno: VUT, 2000, 136 s. ISBN 80-214-1771-4.
- [7] PLCH Jiří. Světelná technika v praxi. 1. vyd. Praha: IN-EL, 1999, 210 s. ISBN 80-862-3009-0.
- [8] SOKANSKÝ, Karel, Tomáš NOVÁK, Marek BÁLSKÝ, Zdeněk BLÁHA, Zbyněk CARBOL, Daniel DIVIŠ, Blahoslav SOCHA, Jaroslav ŠNOBL, Jan ŠUMPICH a Petr ZÁVADA. *Světelná technika*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011, 255 s. ISBN 978-80-01-04941-9.
- [9] POOLE, Ian. Light dependent resistor, photo resistor, or photocell. [online]. [cit. 2014-05-31]. Dostupné z:
http://www.radio-electronics.com/info/data/resistor/ldr/light_dependent_resistor.php
- [10] Váňa, V. Mikrokontrolery ATMEL AVR - popis procesorů a instrukčního souboru. BEN Praha 2003. ISBN: 80-7300-083-0.
- [11] What is RISC?. [online]. [cit. 2014-05-28]. Dostupné z:
<http://cs.stanford.edu/people/eroberts/courses/soco/projects/2000-01/risc/whatis/>
- [12] Vishay Semiconductors. Ucm.es [online]. 1999 [cit. 2012-11-21]. BPW34. Dostupné z:
<http://www.ucm.es/info/electron/laboratorio/componentes/81521.pdf>
- [13] Siemens. Datasheetcatalog.com [online]. 1998 [cit. 2012-11-21]. BPW21. Dostupné z:
<http://www.vishay.com/docs/81519/bpw21r.pdf>
- [14] TAOS Inc. Farnell.com [online]. 2004 [cit. 2012-11-21]. TSL2550. Dostupné z:
<http://www.farnell.com/datasheets/48715.pdf>
- [15] Digital 16bit Ambient Light Sensor IC. [online]. [cit. 2014-05-27]. BH1750. Dostupné z:
<http://www.elechouse.com/elechouse/images/product/Digital%20light%20Sensor/bh1750fvi-e.pdf>
- [16] Atmel Corporation. Atmel.com [online]. Rev. 8161D–AVR–10/09 [cit. 2013-12-17]. ATmega328P. Dostupné z: <http://www.atmel.com/Images/doc8161.pdf>
- [17] MIDAS COMPONENTS LTD. Farnell.com [online]. 2008 [cit. 2012-11-21]. FDCC0802CRNNYBH-16LE. Dostupné z: <http://www.farnell.com/datasheets/653645.pdf>
- [18] Future Technology Devices International Limited. *Ftdichip.com* [online]. Version 2.10. 2010, 2010 [cit. 2012-11-17]. MM232R - USB UART ICs. Dostupné z:
http://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/Modules/DS_MM232R.pdf.

[19] OBJECTIVE DEVELOPMENT SOFTWARE GMBH. Virtual USB port for AVR microcontrollers [online]. [cit. 2014-05-31]. Dostupné z:

<http://www.obdev.at/products/vusb/index.html>

[20] Regulated 3.3V, Low-Ripple Charge Pump with Low- Operating Current SLEEP Mode or BYPASS Mode. MICROCHIP TECHNOLOGY INC. [online]. [cit. 2014-05-31]. Dostupné z:

<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21989a.pdf>

ZOZNAM POUŽÍVANÝCH SYMBOLOV, VELIČÍN A SKRATIEK

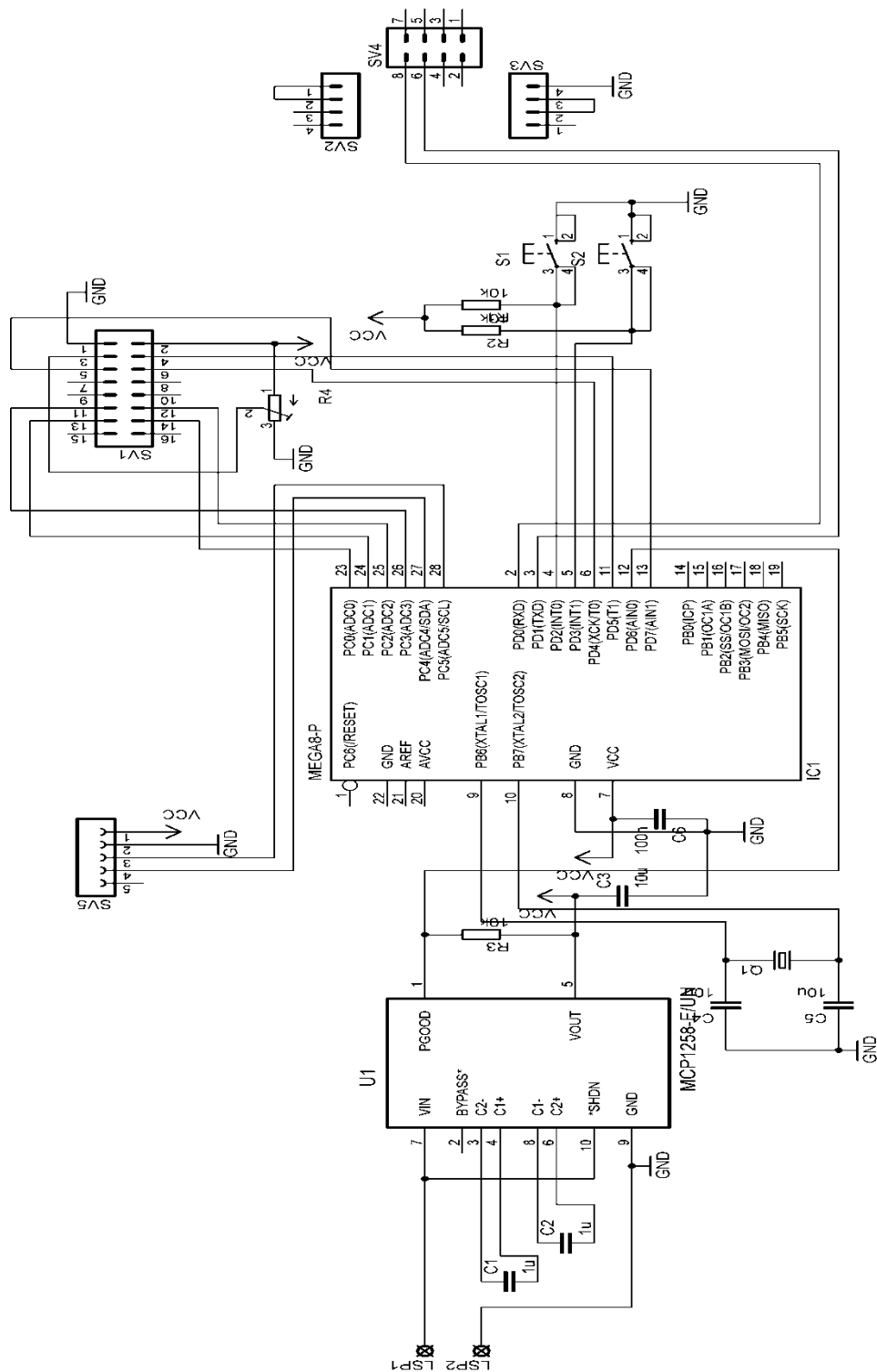
E	intenzita osvetlenia
Φ	svetelný tok
S	plocha
Lx	lux
L	jas
I	svietivosť
α	uhol dopadu
cd	kandela
PN	prechod medzi polovodiče typu P a typu N
AVR	označení pre rodinu 8bitových mikročipov typu RISC
A/D	analog-to-digital converter, Analógovo-digitálny prevodník
I ² C	Inter-Integrated Circuit
RISC	Reduced instruction set computer, počítač s obmedzenou sadou inštrukcií
I/O	input/output, vstup/výstup
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory,elektricky mazateľná pamäť ROM
SRAM	Static Random Access Memory
DIP	Dual in-line package, typ puzdra
VUSB	Virtual USB port
USB	Universal Serial Bus, Univerzálna Sériová Zbernica
LED	Light Emitting Diode, elektroluminiscentná dióda
LCD	Liquid Crystal Display, displej s kvapalnými kryštálmi
FTDI	Future Technology Devices International
TTL	Transistor-Transistor-Logic, tranzistorovo-tranzistorová logika
UART	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter
PCB	Printed circuit board, Doska plošných spojov
GND	Ground, zemnenie
SMD	surface mount devices

ZOZNAM PRÍLOH

A NÁVRH ZARIADENIA	40
A.1 SCHÉMA ZAPOJENIA	40
A.2 DOSKA PLOŠNÉHO SPOJA – PCB	41
A.3 OSADZOVACIE PLÁNY S ORIENTÁCIOU SÚČIASTOK	42
B FOTOGRAFIA PRÍSTROJA	42
C ZOZNAM SÚČIASTOK	43
D OBSAH PRILOŽENÉHO CD.....	44

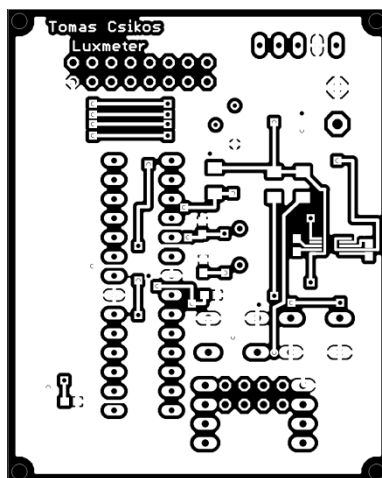
A NÁVRH ZARIADENIA

A.1 Schéma zapojenia

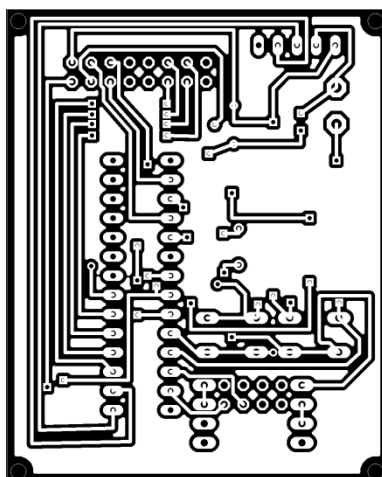


Obr. 21: Schéma zapojenia luxmetra

A.2 Doska plošného spoja - PCB

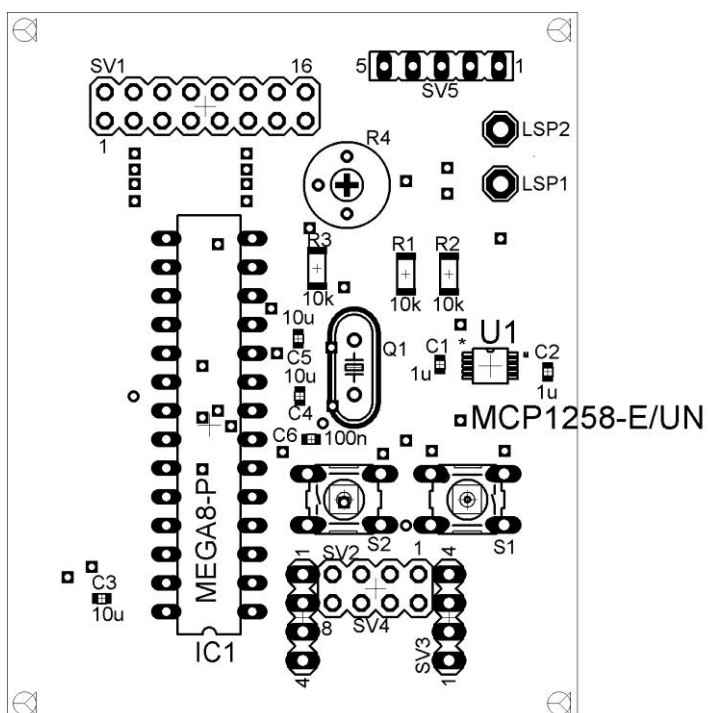


Obr. 22: PCB luxmetra, strana: TOP, 62,4 x 50,5 mm, M 1:1



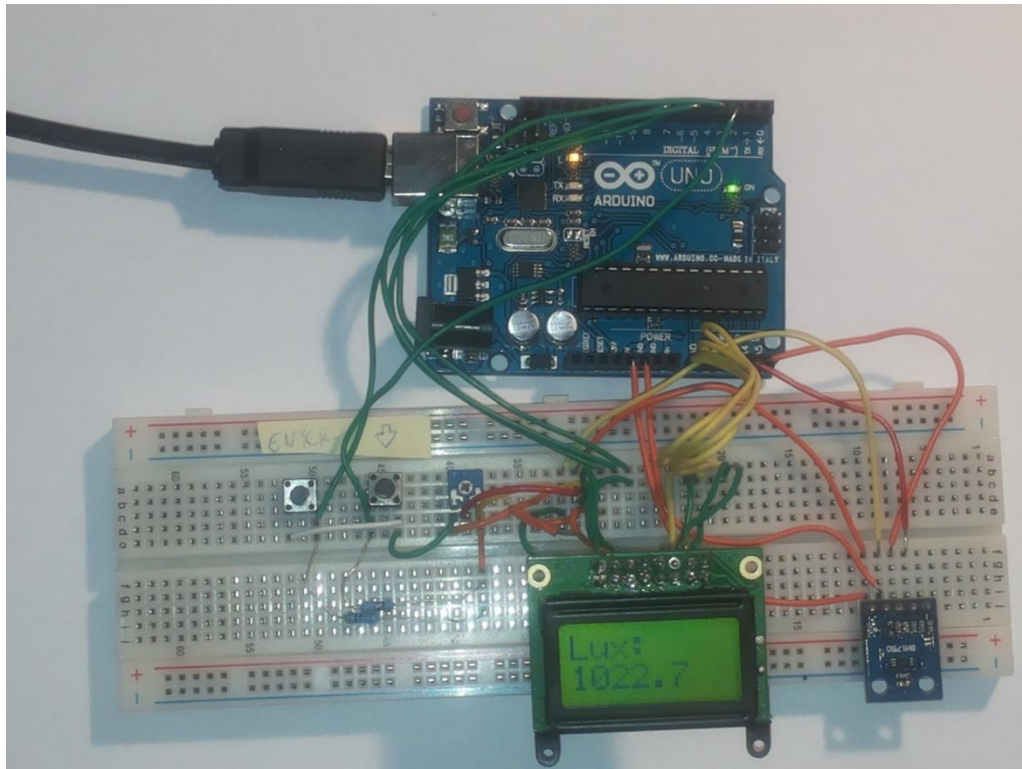
Obr. 23: PCB luxmetra, strana: BOTTOM, 62,4 x 50,5 mm, M 1:1

A.3 Osadzovacie plány s orientáciou súčiastok



Obr. 24: Osadzovací plán luxmetra, strana: TOP, M 1,5:1

B FOTOGRAFIE PRÍSTROJA



Obr. 25: Fotografia hotového luxmetra

C ZOZNAM SÚČIASTOK

Part	Value	Device	Package	Description
C1	1u	C-EUC0603	C0603	
C2	1u	C-EUC0603	C0603	
C3	10u	C-EUC0603	C0603	
C4	22p	C-EUC0603	C0603	
C5	22p	C-EUC0603	C0603	
C6	100n	C-EUC0603	C0603	
IC1	MEGA8-P	MEGA8-P	DIL28-3	ATmega328P
LSP1	SE14	SE14	SE14	VCC
LSP2	SE14	SE14	SE14	GND
Q1	8MHz	XTAL	Q	
R1	10K	R-EU_M1406	M1406	
R2	10K	R-EU_M1406	M1406	
R3	10K	R-EU_M1406	M1406	
R4	10K	R-TRIMM3339P	RTRIM3339P	
S1		10-XX	B3F-10XX	Button0
S2		10-XX	B3F-10XX	Button1
SV1		MA08-2	MA08-3	LCD Displej
SV2		MA04-1	MA04-1	FTDI modul
SV3		MA04-1	MA04-1	FTDI modul
SV4		MA04-2	MA04-2	FTDI modul
SV5		FE05-1	FE05-2	BH1750
U1	MCP1258- E/UN	MCP1258-E/UN	SOP50P490X110- 10N	

D OBSAH PRILOŽENÉHO CD

Bakalárska práca v elektronickej forme

Návrh luxmetra a jeho komponentov v programu Eagle 6.5.0

Softvér luxmetra písaný v jazyku C, v programu AVR Studio 4

Preložený .hex súbor - programovateľný do AVR

GUI softvér na spracovávanie nameraných hodnôt v PC, písaný v jazyku C#, v programe Microsoft Visual Studio 2010

Preložený .exe súbor – riadiaci softvér čítačky na PC (x86)

Technická dokumentácia použitých súčiastok