

Senzor světla, barvy a překážek pro robotické aplikace

Richard Goldman

Bakalářská práce
2017



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Richard Goldmann**
Osobní číslo: **A14092**
Studijní program: **B3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Informační a řídicí technologie**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Senzor světla, barvy a překážek pro robotické aplikace**
Téma anglicky: **A Proximity, Colour and Ambient Light Sensor – for Robotic Applications**

Zásady pro vypracování:

1. **Prostudujte dostupné implementace senzorů barvy a světla.**
2. **Vyberte vhodné komponenty a navrhňte zapojení senzoru.**
3. **Realizujte navržené zapojení na desce plošných spojů.**
4. **Implementujte SW ovladač senzoru.**
5. **Otestujte senzor v různých podmínkách okolního osvětlení.**

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. ROSS, Larry T. Laboratory manual Robotics technology: theory and industrial applications. 2nd ed. Tinley Park, Ill.: Goodheart-Willcox Co., c2011. ISBN 978-1605253220.
2. ROLLINS, Mark. LEGO technic robotics. Berkeley, CA: Apress, 2013. ISBN 978-143-0249-818.
3. MARTINEK, Radislav. Senzory v průmyslové praxi. Praha: BEN - technická literatura, 2004. ISBN 978-80-7300-114-4.
4. VÁŇA, Vladimír. ARM pro začátečníky. Praha: BEN - technická literatura, 2009. ISBN 978-80-7300-246-6
5. PINKER, Jiří. Mikroprocesory a mikropočítače. Praha: BEN - technická literatura, 2004. ISBN 80-730-0110-1.
6. NOVÁK, Petr. Mobilní roboty: pohony, senzory, řízení. Praha: BEN - technická literatura, 2005. ISBN 80-730-0141-1.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Tomáš Dulík, Ph.D.

Ústav informatiky a umělé inteligence

Datum zadání bakalářské práce:

24. února 2017

Termín odevzdání bakalářské práce:

24. května 2017

Ve Zlíně dne 24. února 2017



doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.
děkan



prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
ředitel ústavu

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen přípouští-li tak licenční smlouva uzavřená mezi mnou a Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně s tím, že vyrovnání případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na diplomové/bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně, dne 22.5.2017


.....
podpis diplomanta

ABSTRAKT

Cílem této bakalářské práce je navrhnout senzor pro robotické aplikace, který bude schopen detekovat přítomnost překážky před ním, barvu překážky a její odstín šedi a také snímat intenzitu okolního světla.

Senzor je realizován na desce plošných spojů s vlastním mikropočítačem, který celý senzor řídí a naměřené výsledky odesílá po sériovém rozhraní.

Klíčová slova: Senzor barev, detektor překážek, Arduino, mikropočítač, ATmega328.

ABSTRACT

The goal of this bachelor thesis is to design sensor for robotic applications, which can detect presence of obstacles, color of an obstacle, its brightness and also can measure intensity of ambient light.

An implementation of this sensor on a PCB was made with microcomputer controlling the sensor and sending results via serial interface.

Keywords: Color sensor, obstacle detector, Arduino, microcomputer, ATmega328.

Děkuji vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Tomáši Dulíkovi, Ph.D. za cenné rady, připomínky a poskytnutou laboratoř využívanou při vypracování mé bakalářské práce. Dále děkuji své rodině a kamarádům, kteří byli ochotni mi pomáhat, radit a podporovat mě. Bez pomoci všech výše zmíněných by nebylo možné mou práci dokončit.

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 BARVA	11
2 FOTOCITLIVÉ PRVKY	12
2.1 FOTOREZISTOR	12
2.2 FOTODIODA	15
2.3 FOTOTRANZISTOR	17
3 LED DIODA	19
3.1 PRAHOVÉ NAPĚTÍ	19
3.2 ZAPOJOVÁNÍ LED DIOD	20
3.3 ŘÍZENÍ JASU.....	22
3.3.1 Pulzně šířková modulace.....	22
3.4 VYUŽITÍ LED DIOD	23
4 MIKROPOČÍTAČ	24
4.1 INSTRUKČNÍ SADA	24
4.1.1 CISC	24
4.1.2 RISC	24
4.2 ORGANIZACE PAMĚTI	24
4.2.1 Von Neumannova.....	24
4.2.2 Harvardská	25
4.3 VSTUP VÝSTUPNÍ PERIFERIE	26
4.3.1 Digitální vstupy a výstupy	26
4.3.2 Analogové vstupy a výstupy	26
4.3.2.1 A/D převodník	26
4.3.2.2 D/A převodník	28
4.3.3 Sériová komunikace	28
4.3.4 PWM výstupy.....	28
II PRAKTICKÁ ČÁST	29
5 KOMERČNĚ DOSTUPNÉ IMPLEMENTACE SENZORŮ BAREV	30
5.1 TCS3472.....	30
5.2 MINDSTORM EV3 COLOR SENSOR.....	30
5.3 TCS3200.....	31
6 ARDUINO	33

6.1	ARDUINO NANO	33
6.2	ARDUINO BOOTLOADER	34
6.3	MIKROPOČÍTAČ ATMEGA328.....	34
6.4	NAHRÁVÁNÍ ARDUINO BOOTLOADERU DO ATMEGA328.....	35
6.5	NAHRÁVÁNÍ PROGRAMŮ DO MIKROPROCESORU ATMEGA328.....	36
7	NÁVRH VLASTNÍHO ŘEŠENÍ SENZORU	38
7.1	PROTOTYP S FOTOREZISTOREM	38
7.2	VÝBĚR SOUČÁSTEK PRO REALIZACI SENZORU	38
7.3	NÁVRH ZAPOJENÍ	39
7.4	PROTOTYP NAVRŽENÉHO ZAPOJENÍ S FOTODIODOU	42
7.5	REALIZACE DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ	43
8	REŽIMY PRÁCE	46
8.1.1	Režim 0: čekání	46
8.1.2	Režim 1: snímání barev s manuální kalibrací	46
8.1.3	Režim 2. snímání barev s automatickou kalibrací	47
8.1.4	Režim 3. snímání barev v odstínech šedi s manuální kalibrací.....	47
8.1.5	Režim 4. snímání barev v odstínech šedi s automatickou kalibrací.....	47
8.1.6	Režim 5. snímání okolního osvětlení	47
8.1.7	Režim 6. detekce překážek.....	47
9	NÁVRHY NA ZDOKONALENÍ	48
	ZÁVĚR	51
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	52
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	56
	SEZNAM OBRÁZKŮ	57
	SEZNAM PŘÍLOH.....	59

ÚVOD

Robotika je v současné době extrémně rychle rostoucím odvětvím, vyskytuje se v průmyslu, vesmírném programu nebo jen v garáži obyčejných nadšenců. Aby byl robot schopný interagovat se svým okolím, musí mít o něm informace. Například, kde se nachází, co je před ním, jak rychle se pohybuje, jaká je okolní teplota, jaký tvar má místnost, ve které se nachází. To vše, a ještě mnohem více informací může robot využívat ke své práci a pohybu. Aby získal takové informace, musí proto mít vhodné senzory, snímače a čidla, které jsou schopny mu takové informace poskytnout ve formě, jíž je schopen rozumět.

Roboti jsou zpravidla ovládáni mikropočítačem, který vykonává svůj program a ten se většinou na základě jeho vstupů. Robota lze tedy ovládat třeba pouze bezdrátově, aniž by měl robot jakýkoli vlastní senzor, ale tím se neodstraní potřeba člověka, který ho bude neustále ovládat. Aby byl robot skutečně samostatnou jednotkou, která je schopná vykonávat určitou činnost, ať už jde jen o řešení Rubikovy kostky nebo tweetování z povrchu Marsu, musí mít co nejvíce informací o svém okolí, na základě kterých se může rozhodovat.

Právě proto je potřeba velkého množství senzorů, které mu takové informace poskytnou. Naneštěstí jsou ale takové snímače obvykle velmi drahé a schopné snímat jen jednu veličinu. Aby se jich dalo dát co nejvíce na co nejmenšího robota, musí být malé, lehké a ideálně i multifunkční. Proto bych chtěl navrhnout senzor, který bude mít tato vlastnosti. Měl by být malý, lehký, levný a schopný zastoupit funkci hned několika senzorů.

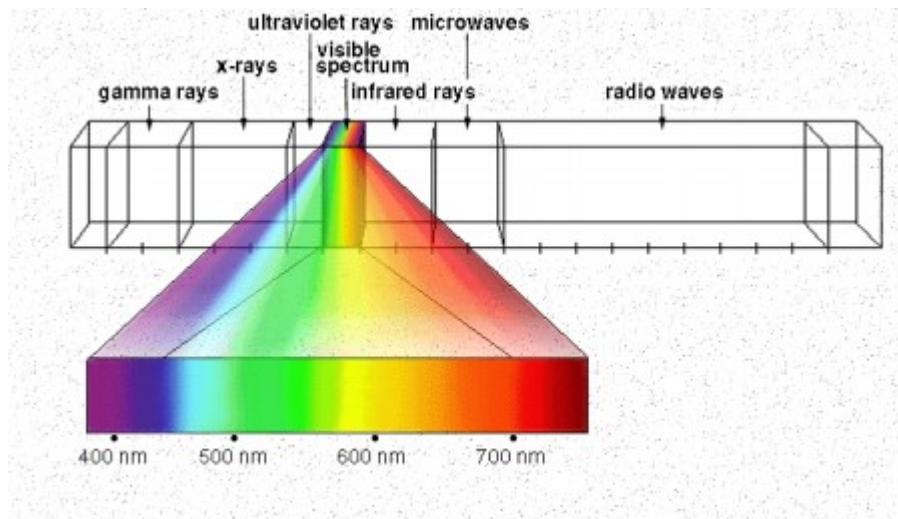
Aby senzor mohl sám vyhodnocovat výsledky a posílat je v pochopitelné formě do jiného mikropočítače po sériové lince, bude sám řízen mikropočítačem. Pro takové aplikace je dnes populární použít Arduino, to je ovšem zbytečně drahé, universální a velké. Proto si senzor vyrobím z mikropočítače ATmega328.

Protože členové kroužku Programování a robotiky na FAI UTB ve Zlíně by potřebovali přesně takový senzor, budu jej navrhovat tak, aby byl kompatibilní s jejich dosavadním hardwarem. Bude se tedy připojovat konektorem RJ-11, který je na jejich desce „LETS GO“ standardním konektorem pro připojování vnějších periférií a bude pracovat s napětím 5V, které je zde k dispozici.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 BARVA

Barva je lidská interpretace různých vlnových délek světla dopadajícího do lidského oka. Světlo je příčné elektromagnetické vlnění, které je charakteristické svou vlnovou délkou (frekvencí). Vyskytuje se ve velkém rozsahu vlnových délek, ale lidské oko je schopné vnímat pouze velmi malou oblast. [1]



Obrázek 1 Spektrum vlnových délek světla [4]

Když světlo dopadne na předmět, odrazí od něj především to světlo, které má stejnou barvu jako daný předmět, na který dopadlo. Bílé předměty odrážejí světlo všech barev a předměty černé všechny barvy pohlcují. Samotná barva předmětu je pak ovlivněna jeho povrchovými vlastnostmi. [2]

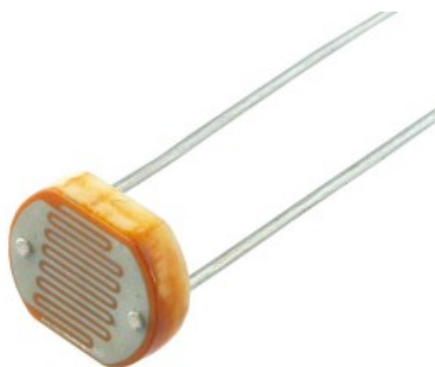
K samotnému snímání barev je tedy za potřebí zdroj světla a prvek, který je schopný snímat intenzitu odraženého světla.

2 FOTOCITLIVÉ PRVKY

Fotocitlivé prvky jsou zařízení, která jsou schopná měnit své vlastnosti v závislosti na množství dopadajícího světla. Vyrábí se pro různé oblasti vlnových délek a mají různé citlivosti na různé vlnové délky.

2.1 Fotorezistor

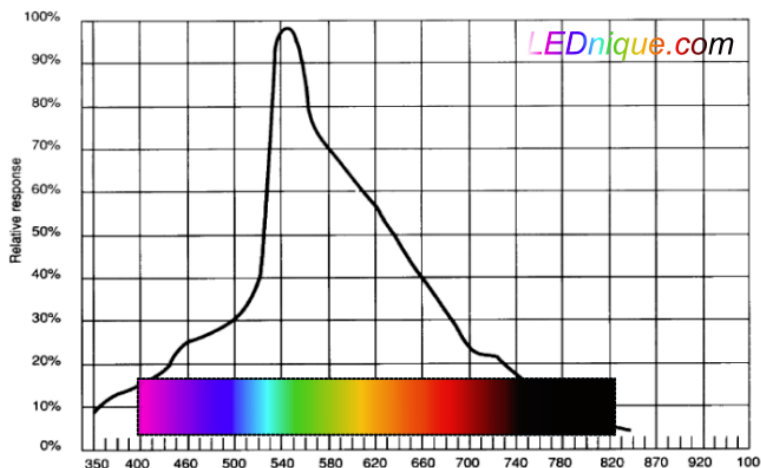
Fotorezistor je symetrická dvoupólová součástka, která v závislosti na množství dopadajícího světla snižuje svůj elektrický odpor. Vyrábí se z polovodičových materiálů (nemá PN přechod). Pokud je fotorezistor ve tmě, má vysoký odpor a s rostoucí intenzitou světla jeho odpor klesá. Za účelem zvýšení odporu součástky se polovodičová vrstva napařuje ve tvaru meandru. [6]



Obrázek 2 Fotorezistor [3]

Spektrální charakteristika

Fotorezistory mohou být citlivé na různé vlnové délky. Některé reagují na viditelné spektrum, jiné pouze na oblast infračerveného záření. Vlnové délky, na kterých je fotorezistor závislý, záleží na použitých materiálech při jejich výrobě.



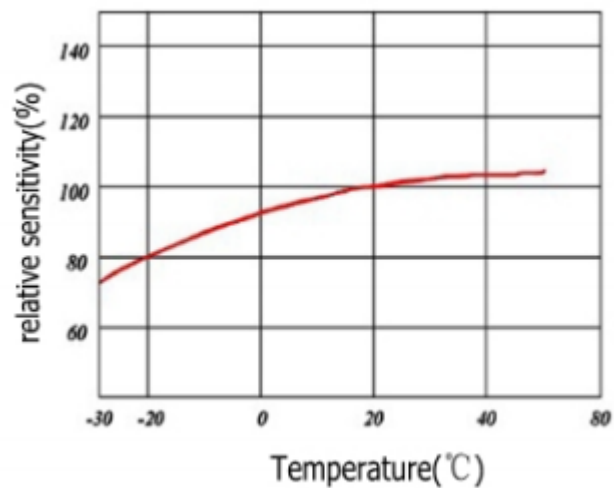
Obrázek 3 Spektrální charakteristika CdS fotorezistoru [8]

Rychlost odezvy

Fotorezistory mají typicky velmi vysoké odezvy na změnu intenzity světla. Její velikost závisí na materiálu, z kterého je fotorezistor zhotoven a na vlnové délce dopadajícího světla. Rychlost odezvy se dále dělí na rychlost náběhu a dobu sestupné hrany. Rychlost náběhu je doba, za kterou fotorezistor ustálí svůj odpor po jeho náhlém osvětlení, například 30ms. Doba sestupné hrany je doba, za kterou fotorezistor ustálí svůj odpor po jeho zatemnění, například 40ms. [5] [6]

Odpor fotorezistoru

Pokud je rezistor ve tmě, je jeho odpor typicky v řádech $M\Omega$, při osvětlení je jeho odpor řádově $k\Omega$. Hodnoty odporu se značně liší v závislosti na použité technologii výroby. Fotorezistory jsou také velmi teplotně závislé.



Obrázek 4 Teplotní závislost fotorezistoru [7]

Výhody

- Velmi levné.
- Velký poměr odporu při světle a ve tmě.
- Mohou pracovat v obvodech stejnosměrného i střídavého napětí.

Nevýhody

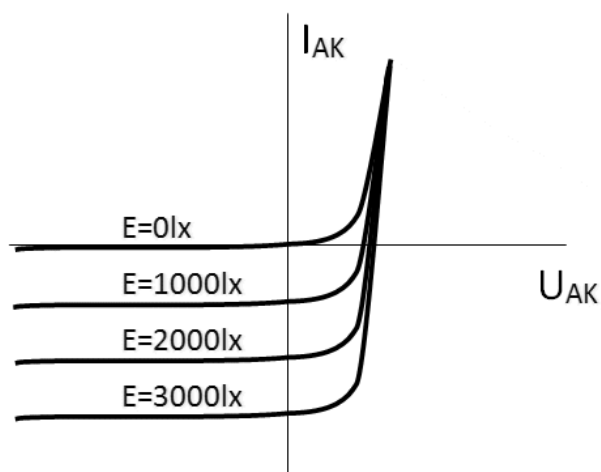
- Velmi dlouhá doba odezvy.
- Velká závislost na teplotě.
- Má paměťový jev, tedy pamatuje si hodnotu odporu, kterou měl v době skladování.

2.2 Fotodioda



Obrázek 5 Fotodioda [41]

PN přechod fotodiody může absorbovat dopadající foton a tím vznikne volný elektron a díra. Tím se buď v polovodiči vytvoří napětí, nebo se zvedne jeho vodivost. Fotodiody mohou pracovat ve třech režimech.



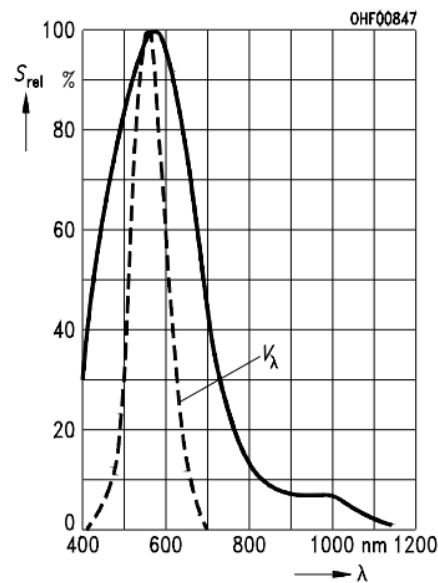
Obrázek 6 Charakteristika fotodiody [9]

V I. kvadrantu funguje fotodioda obdobně jako normální usměrňovací dioda a v tomto režimu se fotodioda nepoužívá. Ve III. kvadrantu se fotodioda chová podobně jako fotorezis-

tor, její elektrický odpor je závislý na intenzitě dopadajícího světla, takovému režimu se říká odporový režim. Ve IV. kvadrantu funguje fotodioda jako zdroj elektrické energie, při kterém je velikost napětí úměrná intenzitě dopadajícího světla. Tento režim se nazývá fotovoltaický. [9] [10]

Spektrální charakteristika

Stejně jako fotorezistory reagují fotodiody jen na určité vlnové délky světla a na různé vlnové délky různě.



Obrázek 7 Relativní spektrální citlivost fotodiody [11]

Rychlost odezvy

Fotodiody jsou značně rychlejší než fotorezistory, rychlost náběhu i doba sestupné hrany jsou řádově 10^{-6} s až 10^{-9} s. [12]

Výhody

- Extrémně rychlé.
- Absence paměťového jevu.

Nevýhody

- Dražší.
- Nelze používat ve střídavých obvodech.

2.3 Fototranzistor

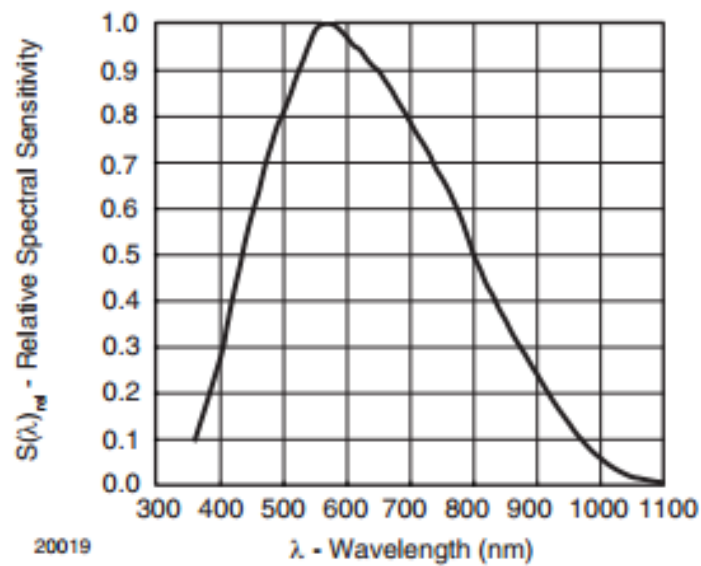


Obrázek 8 Fototranzistor [42]

Fototranzistor je obdobou NPN tranzistoru. Místo vyvedené nožičky báze je zde ale okénko na PN přechod. Světlo, které na tento přechod dopadá, následně fototranzistor otevírá stejně jako jsou normální tranzistory otevírány bázovým proudem. Existuje i varianta fototranzistorů, které mají vyvedenou i nožičku báze, ta umožňuje nastavit výslednou citlivost tranzistoru. Pokud na fototranzistor bude dopadat více světla, než je jeho maximum, kolektorem už nebude narůstat proud, tranzistor je totiž v saturaci. [13]

Spektrální charakteristika

Fototranzistory mají stejně jako fotorezistory a fotodiody danou citlivost na konkrétní vlnovou délku.



Obrázek 9 Relativní spektrální citlivost fototranzistoru [14]

Rychlost odezvy

Fototranzistory jsou podstatně rychlejší než fotorezistory, ale nedosahují rychlosti fotodiody. Rychlost náběhu může být například $6\mu\text{s}$ a doba sestupné hrany $5\mu\text{s}$. [15]

Výhody

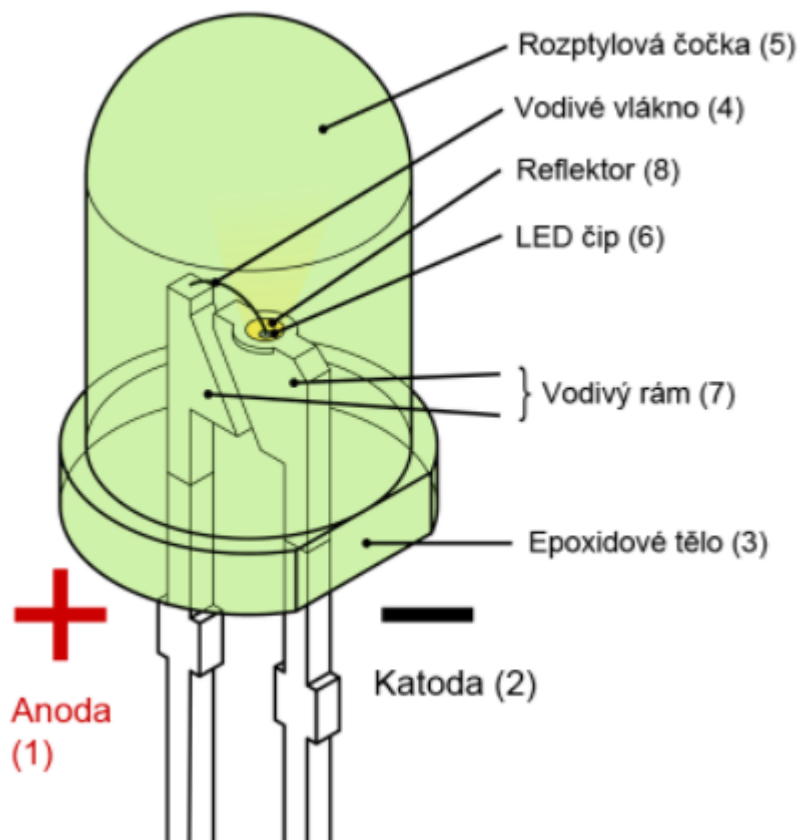
- Velmi rychlé.
- Levné.
- Absence paměťového jevu.

Nevýhody

- Nelze používat ve střídavých obvodech.
- Značná nelinearita.

3 LED DIODA

LED dioda je polovodičová součástka jejíž pouzdro je z průhledného materiálu. Při průchodu elektrického proudu přes PN přechod LED diody v propustném směru, dochází k emitování fotonů. Emitované světlo je nekoherentní a má úzké spektrum vlnových délek. Konkrétní vlnová délka emitovaného světla se odvíjí od použitých materiálů při její výrobě. Voltampérová charakteristika LED diody je obdobná běžné usměrňovací diodě. Rozdíl je ovšem v tom, že LED diody mají velmi nízké průrazné napětí v závěrném směru, informaci o velikosti maximální napětí v závěrném směru lze získat z katalogu výrobce. Při překročení maximálního napětí v závěrném směru začne přes LED diodu téct velký proud a je trvale poškozena. [16]



Obrázek 10 LED dioda [44]

3.1 Prahové napětí

Každá LED dioda má v technických specifikacích udávaný parametr jejího prahového napětí. Běžná usměrňovací křemíková dioda má prahové napětí 0,5V a LED diody mezi 1,6V až 3,5V. Velikost prahového napětí u LED diod je nepřímo úměrná vlnové délce světla,

keré vyzařuje. Pokud je na diodě v propustném směru napětí menší jak její prahové napětí, tak přes PN přechod neteče téměř žádný proud. Pokud napětí na diodě roste a přesáhne úroveň prahového napětí, začne přes PN přechod téct proud, který velmi rychle roste úměrně s napájecím napětím. Při zapojování LED diod je tedy nutno vždy dát do obvodu rezistor, který bude omezovat proud LED diodou. [17]

3.2 Zapojování LED diod

Např. za účelem získání vyšší svítivosti je zapotřebí zapojovat více LED diod dohromady. Toho lze docílit třemi způsoby.

Sériové zapojení

K napěťovému zdroji se dá do série jeden rezistor a n LED diod. Přes všechny LED diody tak teče stejný proud, který je omezován rezistorem. Nevýhoda tohoto zapojení je, že s více LED diodami roste požadavek na velikost napájecího napětí. Vztah pro výpočet předřadného rezistoru je následující.

$$R = \frac{U_{cc} - n * U_d}{I}$$

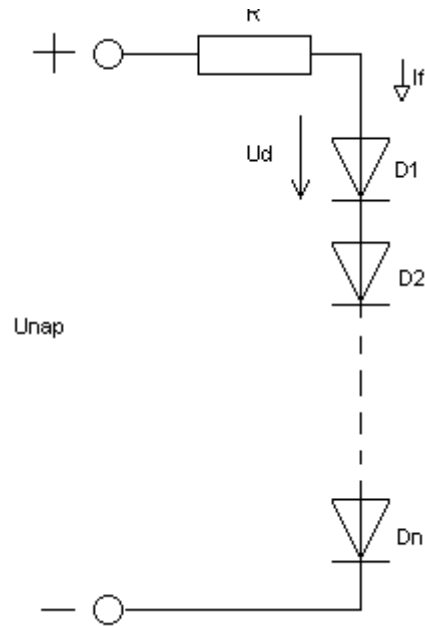
R - předřadný odpor

U_{cc} – napájecí napětí

n – počet LED diod

U_d – prahové napětí LED diody

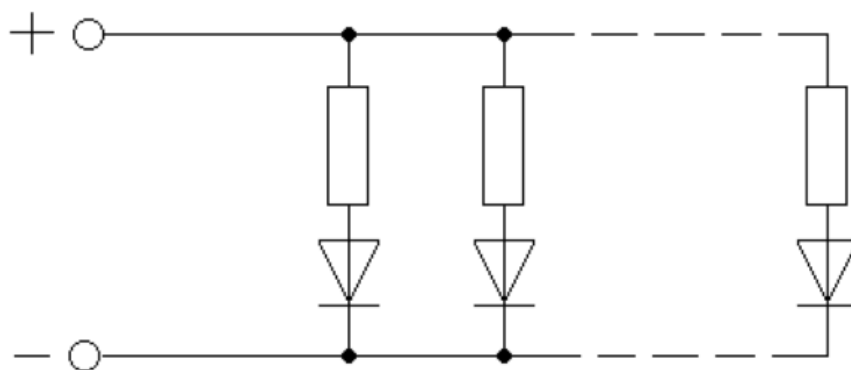
I – proud LED diodou



Obrázek 11 Sériové zapojení LED diod [18]

Paralelní zapojení

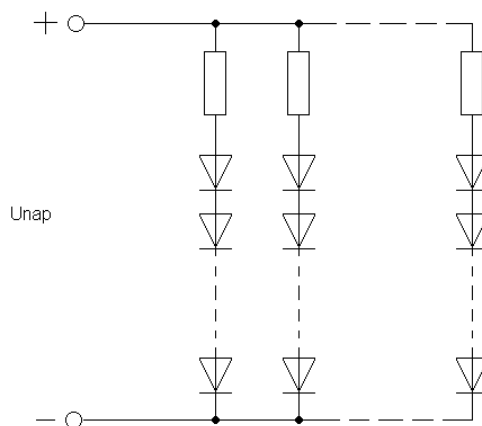
Při paralelním zapojení je potřeba, aby každá paralelní LED dioda měla vlastní předřadný odpor. Každá LED dioda má kvůli výrobním nepřesnostem trochu jiné prahové napětí, kvůli tomuto faktu by při paralelním zapojení s pouze jedním rezistorem, přes každou LED diodu tekla jiný proud. Svítily by nerovnoměrně a především byly jinak tepelně namáhány. Nevýhodou tohoto zapojení je tedy potřeba relativně velkého množství rezistorů. [18]



Obrázek 12 Paralelní zapojení LED diod [18]

Sérioparalelní zapojení

Sérioparalelní zapojení kombinuje výhody i nevýhody sériového a paralelního zapojení



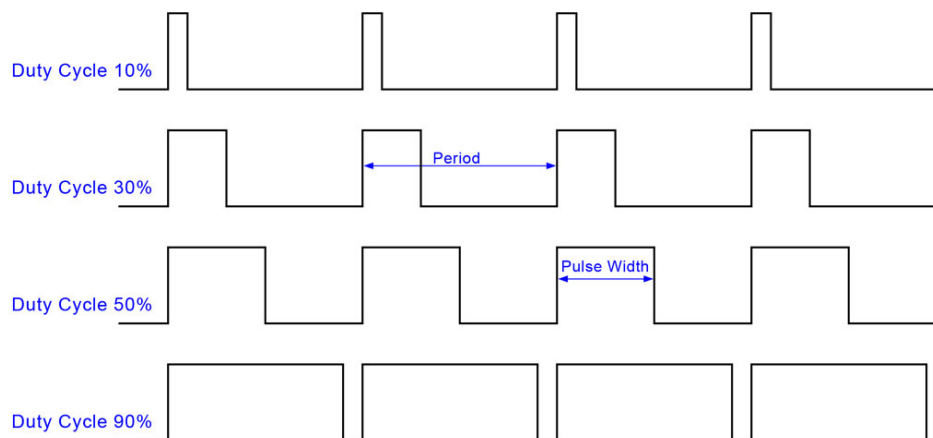
Obrázek 13 Sérioparalelní zapojení
LED diod [18]

3.3 Řízení jasu

Jas LED diody lze řídit množstvím proudu tekoucí přes ní. Vyšší proud znamená, že dioda bude svítit více a menší proud znamená, že bude svítit méně. Jedna z velkých výhod LED diod je, že je schopná velmi rychle měnit svůj jas a to je jedna z vlastností, díky kterým má tak široké využití. Regulace jasu pomocí změny proudu má ovšem negativní vliv na barvu vyzařovaného světla, protože velikost proudu má na barvu vyzařovaného světla malý vliv. Tento negativní vliv lze odstranit využitím pulzně šířkové modulace proudu. S využitím pulzně šířkové modulace lze měnit jas LED diody bez změny její barvy. [19]

3.3.1 Pulzně šířková modulace

Pulzně šířková modulace (PWM) je jeden ze způsobů řízení výkonu elektrických spotřebičů. Využívá pouze dvou hodnot (logická 1 a logická 0) přičemž logická 1 a logická 0 představuje sepnutí nebo vypnutí zdroje napětí, proudu atd. Výsledný výkon dodávaný do zátěže je tedy určen poměrem logická 0 a logická 1 na výstupu. Tento poměr je nazýván střída a nabývá hodnoty 0 až 1. Pokud je střída rovna 0, tak je výstup zcela vypnutý, pokud je 0,5 tak je výstupní výkon 50 % a nakonec pokud je střída 1, tak je výstupní výkon maximální, tedy 100 %. Přepínání logických 0 a 1 probíhá velmi rychle a opakovaně. Délce jednoho cyklu, při kterém se prostřídá logická 0 a 1, se říká perioda. [20]



Obrázek 14 Ukázka průběhu pulzně šířkové modulace [21]

3.4 Využití LED diod

V současné době jsou LED diody velmi široce využívány téměř ve všech odvětvích. Nízko-příkonové se využívají například jako indikační prvky na elektronických zařízeních, jako zdroje infračerveného světla pro dálkové ovladače např. televize. Velmi často jsou také využity v displejích a mnoha dalších aplikacích. Výkonové LED diody pak pomalu nahrazují jiné zdroje světla v domácnostech i v pouličním osvětlení. Využity jsou také v ručních svítilnách, automobilech a fotoblecích na chytrých telefonech. [22]

Výhody

- Velmi vysoká účinnost.
- Vysoká mechanická odolnost.
- U indikačních LED diody je extrémně dlouhá životnost, u výkonových je pak životnost stále vyšší než u žárovek.
- Rychlé rozsvícení.
- Neobsahují rtuť.
- Lze je často vypínat a zapínat bez zkracování životnosti.

Nevýhody

- Práce s LED diodami je složitější jak s žárovkami.
- Mají horší poměr cena/svítivost.
- Značná závislost na teplotě okolí. [23]

4 MIKROPOČÍTAČ

Mikropočítače, označovány také jako mikrokontrolery, mají v rámci jednoho pouzdra potřebné součásti a periferie, aby mohly pracovat jako samostatný celek. Mikropočítače se využívají ve vestavěných systémech a díky masové výrobě mohou stát jen pár desítek korun. Mohou se lišit v pracovním napětí (většina mikropočítačů pracuje s napětím 3,3V nebo 5V), počtu vstupně výstupních periférií, dle svého pouzdra, výkonu, architektury, instrukční sady atd.

4.1 Instrukční sada

4.1.1 CISC

Zkratka CISC znamená Complex Instruction Set Computing, tedy se jedná o složitou sadu instrukcí. Zpočátku počítačového průmyslu neexistovaly vysokoúrovňové programovací jazyky a většina programování probíhala v assembleru (jazyku symbolických adres). Proto se výrobci procesorů snažili usnadnit práci programátorů tím, že dělali procesory, které měly více složitějších instrukcí. Přístup CISC procesorů je tedy snaha minimalizovat množství instrukcí v programu a tím zmenšit jeho délku a množství paměti, které zabere. Na úkor toho pak vykonání samotného programu trvá víc strojových cyklů. [24]

4.1.2 RISC

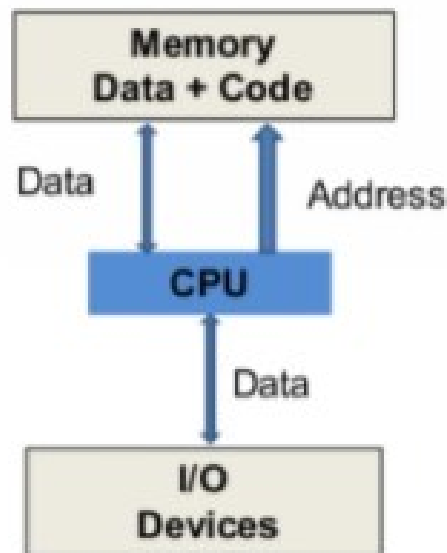
Zkratka RISC znamená Reduced Instruction Set Computing a jde o redukovanou sadu instrukcí. RISC procesory jsou založeny na rychlejším zpracování jednoduchých instrukcí. Pokud je potřeba vykonat instrukci, která není v instrukční sadě RISC procesoru, je instrukce nahrazena několika jednoduššími instrukcemi, které procesor podporuje. Provedení takhle nahrazené instrukce je sice podstatně pomalejší, ale vzhledem k tomu že je potřeba je provádět jen občas, může být celkový výkon procesoru podstatně vyšší. [24]

4.2 Organizace paměti

4.2.1 Von Neumannova

Von Neumannova architektura se skládá ze čtyř hlavních částí. ALU, řídicí jednotky, paměti a vstupně výstupních obvodů. tyto části jsou mezi sebou propojeny sběrnicemi. Pa-

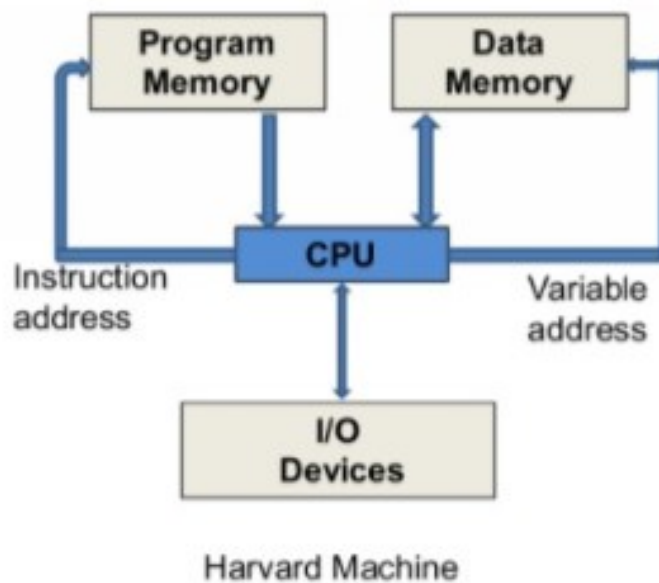
měť je zde společná jak pro instrukce, tak pro data. Řídící jednotka načítá instrukce a data z paměti, které předává ALU k zpracování. Vstupně výstupní obvody pak dávají možnost komunikace s procesorem, například výstup pro obrazovky nebo vstup pro klávesnice.



Obrázek 15 Von Neumannova architektura [45]

4.2.2 Harvardská

Harvardská architektura se liší od Von Neumannovi v rozdělení paměti programu a paměti dat. Paměti si tedy mohou lišit stejně jako sběrnice, na které jsou připojené. Další z výhod je také možnost načítat jak instrukce, tak data v jeden okamžik.



Obrázek 16 Harvardská architektura [45]

4.3 Vstup výstupní periferie

4.3.1 Digitální vstupy a výstupy

Umožňují spínat nebo číst hodnoty na jednotlivých pinech mikropočítače. Toho lze využít při řízení výrobních procesů, ovládání robota, nebo jen blikání LED diody. Výstupní piny mikropočítače obvykle nedokážou dávat velký proud, proto je v katalogu výrobce vždy uveden maximální proud výstupních pinů a celkový maximální proud.

4.3.2 Analogové vstupy a výstupy

Analogové vstupy a výstupy umožňují číst, resp. řídit analogovou veličinu, na pinech mikropočítače. Pomocí vstupů lze číst hodnoty z různých senzorů, například teplotu, tlak atd. S výstupy lze například ovládat regulátory, motory atd. K tomu je ovšem zapotřebí převodníků mezi analogovými a digitálními veličinami.

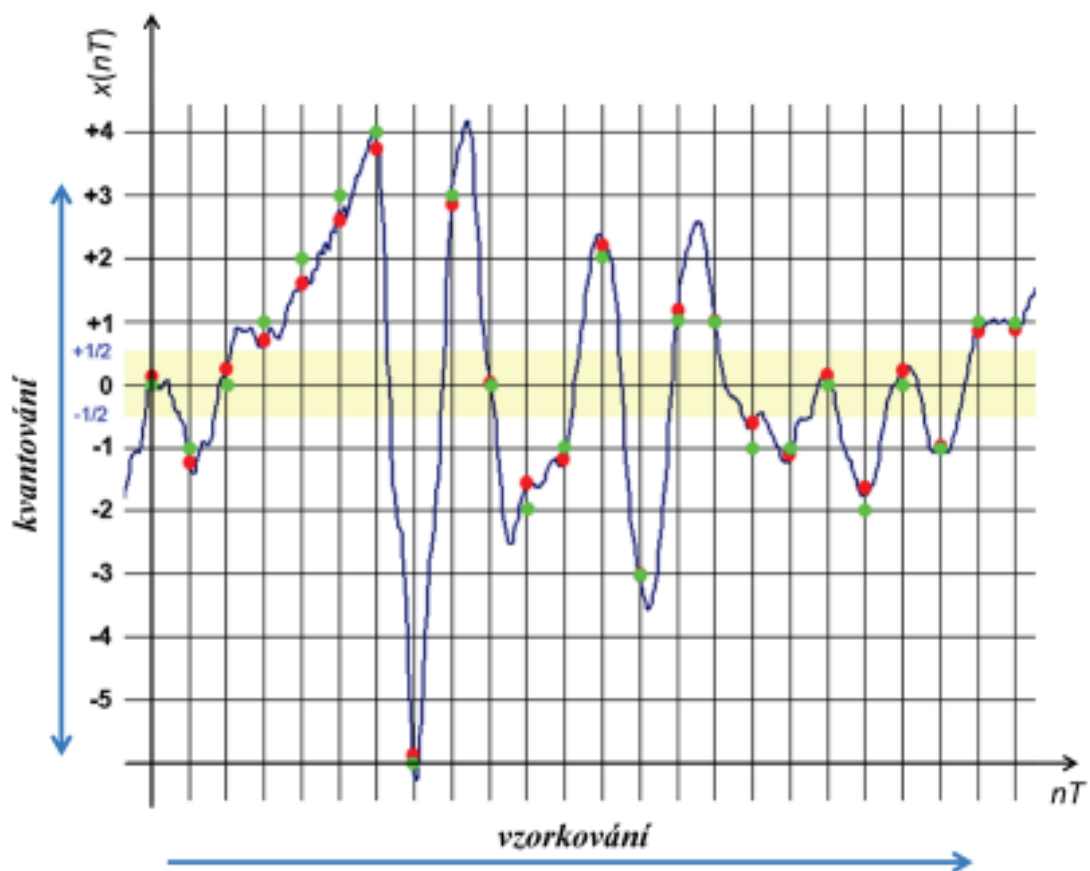
4.3.2.1 A/D převodník

A/D převodníky slouží jako vstupní periferie mikropočítače. Na rozdíl od binárních vstupů, které mají hodnoty pouze sepnuto a rozepnuto, analogové vstupy musí rozlišit velké množství různých hodnot, které se mezi sebou odlišují v hodnotě napětí. A/D převodníky převádějí tyto vstupní analogové hodnoty napětí, na hodnoty číselné (digitální). [26]

Samotný převod pak začíná vzorkováním. Pro dokonalou reprezentaci analogového signálu bychom potřebovali nekonečně velkou a nekonečně rychlou paměť, proto se převáděná hodnota zaznamenává jen v určitých časových okamžicích. Obrácená hodnota periody vzorkování se nazývá vzorkovací frekvence a je jedním z hlavních parametrů A/D převodníků. Vzorkovací frekvence musí dodržovat tzv. Shannonův teorém. Ten říká „*Frekvence vzorkování musí být rovna minimálně dvojnásobku nejvyšší frekvence obsažené ve vzorkované veličině*“ [27]

Pro zaručení, že nedojde k porušení této podmínky, lze použít dolní propust', která do převodníku nepustí signál s nevyhovující frekvencí. Pokud by ovšem došlo k porušení této podmínky, nastal by tzv. aliasing. To znamená, že by byl signál zcela zkreslen.

Navzorkovaný signál již není spojitý v čase, ale stále může nabývat nekonečného množství hodnot, tedy by stále nebylo možné jej uložit do paměti. Proto je potřeba vzorek kvantovat (zaokrouhlit) na nejbližší kvantizační úroveň. Počet kvantizačních úrovní závisí na počtu bitů převodníku, což to je další z kritických parametrů A/D převodníků. Vícebitové převodníky dávají přesnější výsledky, ovšem jejich cena je podstatně vyšší. [28]



Obrázek 17 Kvantování vzorků signálu [43]

4.3.2.2 D/A převodník

D/A převodníky jsou schopné převést binárně reprezentované číslo na analogovou hodnotu napětí. Jsou tedy opakem A/D převodníků. Mezi nejznámější D/A převodníky patří převodník s binární rezistorovou sítí nebo sítí R-2R.

4.3.3 Sériová komunikace

Sériová komunikace využívá pro přenos dat obvykle jen dvou vodičů, to je právě jednou z největších výhod, kterou má nad paralelní komunikací. Mezi nejznámější představitele sériové komunikace patří USB a Ethernet. V oblasti zapouzdřených aplikací se velmi často používají rozhraní UART, SPI a I²C, CAN bus aj. Sériová komunikace se pak dále dělí na synchronní a asynchronní.

Synchronní komunikace přidává k datovým vodičům další vodič, po kterém je přenášen hodinový signál, který je společný pro všechna zařízení připojené na danou sběrnici. Díky společnému hodinovému signálu lze obvykle dosahovat vyšších přenosových rychlostí, ovšem je nutné využití dalšího vodiče.

Zařízení využívající asynchronní komunikaci nevyužívají společného hodinového signálu, to znamená vyšší složitost komunikačního protokolu a obvykle nižší přenosové rychlosti. Značnou výhodou je minimalizace nutného množství vodičů. [25]

4.3.4 PWM výstupy

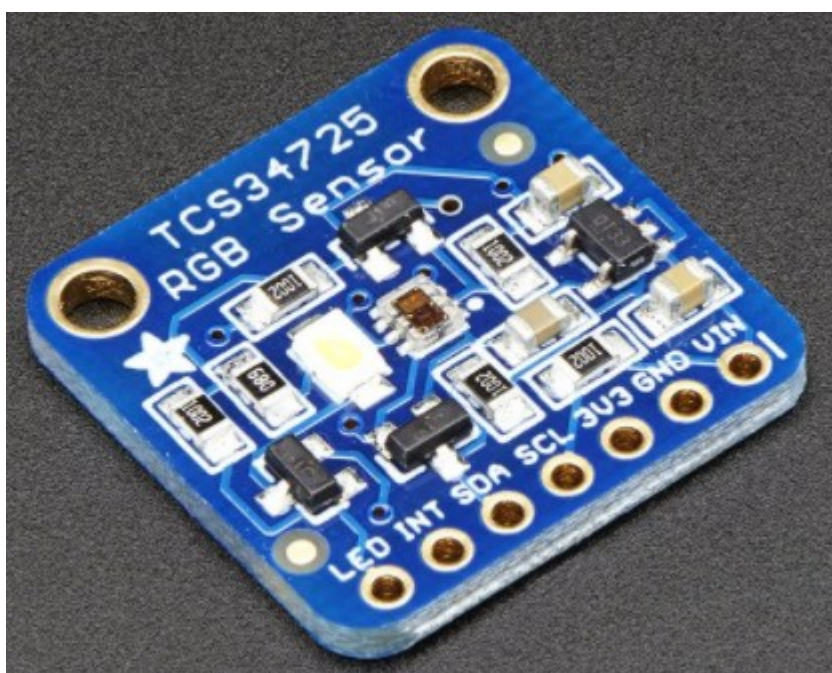
Pokud mikropočítač nedisponuje analogovými výstupy, lze je částečně nahrazovat digitálními výstupy využívající pulzně šířkové modulace.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 KOMERČNĚ DOSTUPNÉ IMPLEMENTACE SENZORŮ BAREV

5.1 TCS3472

Senzor barev TCS3472 využívá k osvětlení LED diodu vyzařující neutrální bílé světlo. K detekci využívá matici 3 x 4 fotodiody, které na sobě mají IR filtr k zpřesnění detekce barev. K převodu proudu tekoucí přes fotodiody využívá čtyři 16 bitové A/D převodníky. Napájecí napětí senzoru je 2,7V až 3,6 V. Maximální vzorkovací frekvence je 416,6 Hz. Ke komunikaci je zde I²C rozhraní. Prodává se za cenu 187 Kč. [29] [30]



Obrázek 18 Senzor barev TCS34725 [30]

5.2 Mindstorm EV3 color Sensor

Senzor barev Mindstorm EV3 umí pracovat ve třech různých režimech. Vzorkovací frekvence je ve všech režimech 1000 vzorků/s. Jako zdroj světla využívá RGB LED diodu a k detekci fotodiodu. K odesílání výsledků využívá UART. Prodejní cena tohoto senzoru je cca 900 Kč.

V prvním režimu detekuje intenzitu odraženého světla. Toho docílí tak, že sepne LED diodu, změří intenzitu světla, následně LED diodu vypne a znovu změří intenzitu světla. Naměřené hodnoty od sebe odečte a výsledek je číslo mezi 0 a 100, přičemž 0 znamená žádný

odraz a 100 znamená plný odraz. Ve druhém režimu měří intenzitu okolního světla. Senzor v tomto režimu sepne indikační modrou LED diodu. Následně měří intenzitu světla dopadajícího na senzor a výstupem je opět číslo v rozsahu 0 až 100.

Poslední funkce je režim snímání barev. Senzor nejdříve posvítí červenou barvou a změří intenzitu odraženého světla, následně provede měření i pro zelenou a modrou. Nakonec změří intenzitu okolního světla. Pomocí naměřených hodnot je senzor schopen rozeznat 7 různých barev: černou, modrou, zelenou, žlutou, červenou bílou a hnědou. [31]



Obrázek 19 EV3 Color Sensor [31]

5.3 TCS3200

Senzor TCS3200 využívá jako zdroj osvětlení 4 LED diody a k detekci odrazů využívá matici 8 x 8 fotodiód, kde 16 fotodiód má na sobě modrý filtr, 16 zelený filtr, 16 červený filtr a zbylých 16 nemá filtr žádný. Pomocí vstupních pinů je nejdříve potřeba navolit, kterou barvu budeme číst. Informaci o intenzitě aktuálně měřené barvy dává senzor na výstup ve formě obdélníkového signálu, kterému se mění frekvence. Tedy aktuální barva je úměrná frekvenci výstupního signálu. Výstupní frekvence se pohybuje mezi 2Hz až 500KHz. Napájecí napětí je mezi 2,7V až 5,5V. Prodejní cena je 190 Kč. [32] [33]



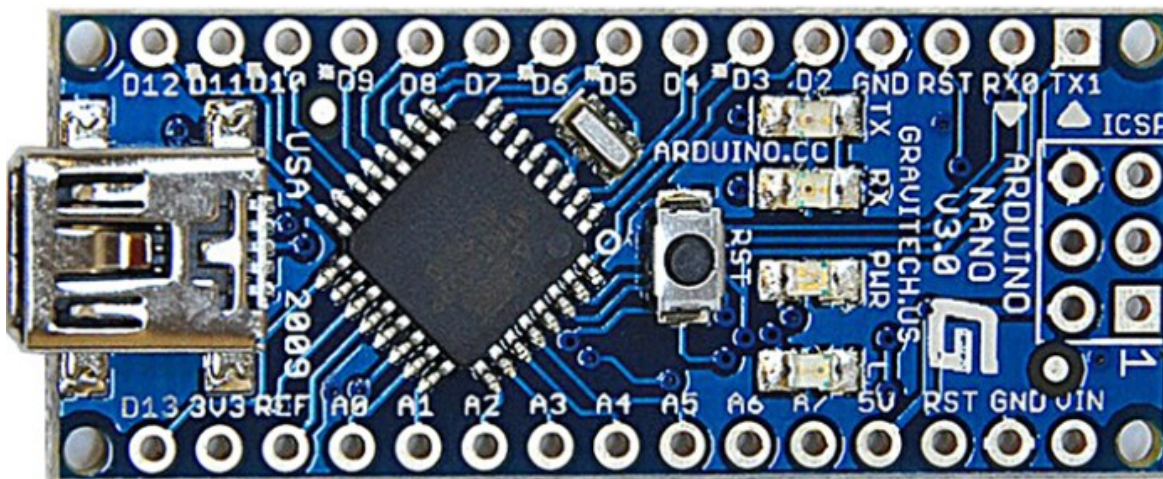
Obrázek 20 TCS3200 [33]

6 ARDUINO

Arduino je open-source platforma distribuována pod licencí LGPL nebo GNU. Arduino povoluje výrobu a distribuci Arduino desek kýmkoli. Arduino je využíváno elektrotechnickými nadšenci po celém světě. Arduino dodává vlastní programovatelný obvod s předinstalovaným Arduino bootloaderem a Arduino IDE, které funguje na Windows, Macintosh OSX a operačních systémech založených na Linuxu. Většina Arduino produktů má mikroprocesor ATmega8, ATmega168, ATmega328, ATmega1280 nebo ATmega2560. [34]

6.1 Arduino Nano

Arduino Nano je založené na mikroprocesoru ATmega328. Kromě mikroprocesoru se na desce také nachází 5V regulátor napětí, 16MHz oscilátor, vyvedené I/O piny a převodník z USB na sériovou komunikaci. Dále je na desce několik indikačních LED diod a tlačítko reset. Díky kombinaci Arduino bootloaderu, převodníku z USB na sériovou komunikaci a Arduino IDE je programování Arduino Nano extrémně snadné. Stačí připojit Arduino pomocí USB a z IDE odeslat program. Originální Arduino nano lze koupit za 650 Kč, klony se pak dají koupit za 60 Kč.



Obrázek 21 Arduino Nano [35]

6.2 Arduino bootloader

Bootloader je program, který se spustí po spuštění mikropočítače. Tento program obsahuje instrukce, co se bude dít dál. Nejdříve čeká, jestli se nějaké zařízení pokusí nahrát nový program přes sériovou komunikaci. Pokud ano, nahradí stávající program v paměti flash a spustí ho. V případě, že nový program nahrán není, spustí stávající program. Arduino bootloader tedy velmi zjednodušuje nahrávání nových programů do mikropočítače. K nahrání kódu bez Arduino bootloaderu lze použít ISP programátor.

6.3 Mikropočítač ATmega328

ATmega328 je mikropočítač vyrobený firmou Atmel. Jedná se o 8-bitový mikropočítač, který má 32kB flash paměti, ta je používána pro ukládání programu. K ukládání proměnných má 2kB SRAM a pro uložení nevolatilních dat je zde 1kB EEPROM. ATmega328 disponuje interním oscilátorem s frekvencí 8MHz, při využití externího oscilátoru je maximální pracovní frekvence 20MHz. THT verze má 28 pinů a SMD verze má 32 pinů.

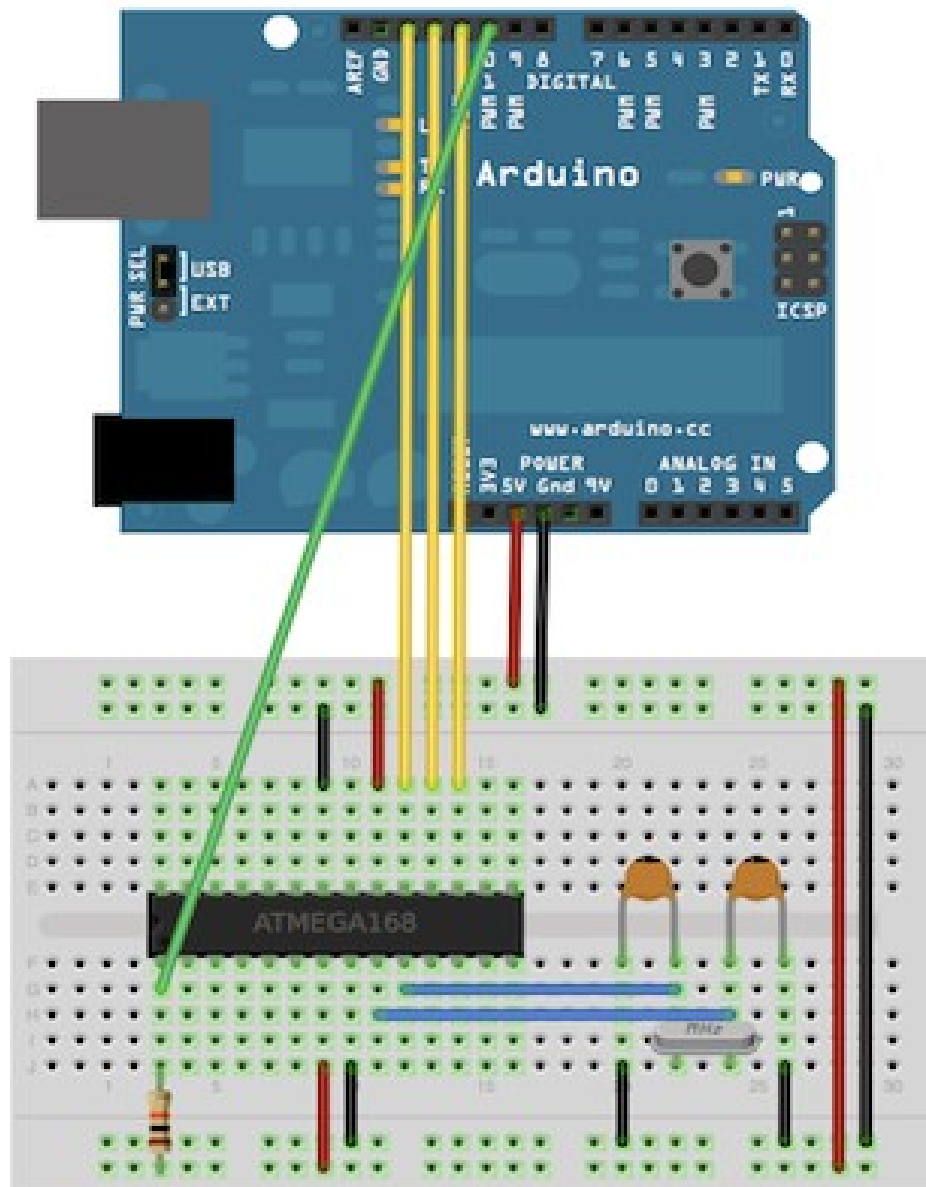
Pro komunikaci lze využít 23 GPIO portů, mezi kterými je i UART. Pro vstupy disponuje 10-bitovým A/D převodníkem s 6 kanály.



Obrázek 22 ATmega328 [36]

6.4 Nahrávání Arduino bootloaderu do ATmega328

Pro nahrání Arduino bootloaderu do mikropočítače ATmega328 (nebo jiných) je zapotřebí dalšího zařízení, programátoru. Lze použít přímo ISP programátor od výrobce mikropočítače, nebo jeho funkci nahradit jiným, již funkčním Arduinem. V tomto případě byla zvolena možnost s využitím Arduina. Schéma zapojení je na následujícím obrázku.



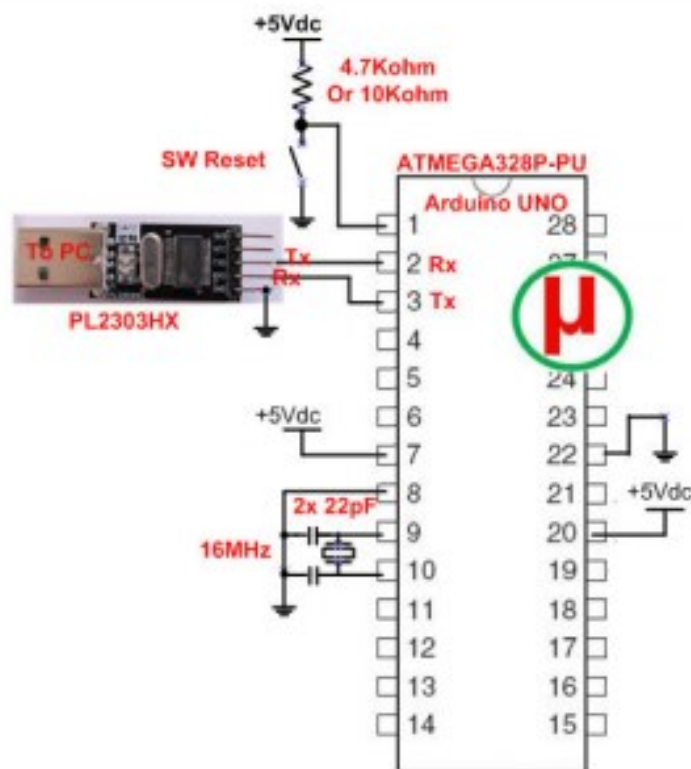
Obrázek 23 Schéma zapojení k nahrávání Arduino bootloaderu [37]

Zapojení je stejné s využitím Arduina ve verzi nano, stejně tak se zapojení neliší pro nahrávání do mikropočítače ATmega328 v SMD verzi. Je nutné pouze ze zapojení jednotli-

vých komponent najít korespondující piny k těm uvedeným na obrázku. Pak je zapotřebí nakonfigurovat Arduino IDE, kde se v ukázkových programech musí najít program se jménem „ArduinoISP“. Zvolit správný port, ve kterém je Arduino připojené a také nastavit o jaký typ Arduina (které bude fungovat jako programátor) se jedná. Nyní se nahraje program do Arduina. Následně se musí nastavit do jakého typu mikropočítače se bude bootloader nahrávat. Nakonec se spustí vypalování kliknutím na položku Burn Bootloader. Po několika vteřinách by se měla objevit tabulka informující o úspěšném nahrání bootloADERu.

6.5 Nahrávání programů do mikroprocesoru ATmega328

Pokud je již v mikropočítači nahrán Arduino bootloader, lze k nahrávání programů využít pouhého převodníku z USB na sériovou linku RS-232, nebo vytáhnout mikroprocesor desky Arduino uno a využít převodníku, který je na ní. Z převodníku vedou 4 vodiče. Jeden pár je 5V a zem, druhý pár jsou vodiče sériové komunikace Rx (receiver) a Tx (transmitter).



Obrázek 24 Zapojení převodníku sériové komunikace a mikroprocesoru ATmega328 [38]

Stejně jako při nahrávání Arduino bootloaderu, zde nezáleží na verzi pouzdra mikropočítače, pouze je nutné z dokumentací dohledat korespondující piny. Nyní stačí připojit převodník do USB a dát nahrávat program. Jakmile je kompilování programu dokončeno a začne jeho nahrávání, je nutné zmáčknout tlačítko reset u mikropočítače, aby Arduino bootloader přijal nahrávaný program.

7 NÁVRH VLASTNÍHO ŘEŠENÍ SENZORU

7.1 Prototyp s fotorezistorem

Jako první byl vytvořen prototyp senzoru barev, který byl řízen Arduinem ve verzi nano. K osvětlení byla využita RGB LED dioda a k detekci odrazu fotorezistor PGM5516. Tento prototyp fungoval jen velmi omezeně, protože fotorezistor reaguje na změny intenzity dopadajícího světla pomalu, proto zde byla snímací frekvence pouze 2 vzorky/s.

Na tomto prototypu bylo možné otestovat základní koncept softwaru, který pak bude řídit výsledný snímač realizovaný na desce plošných spojů.

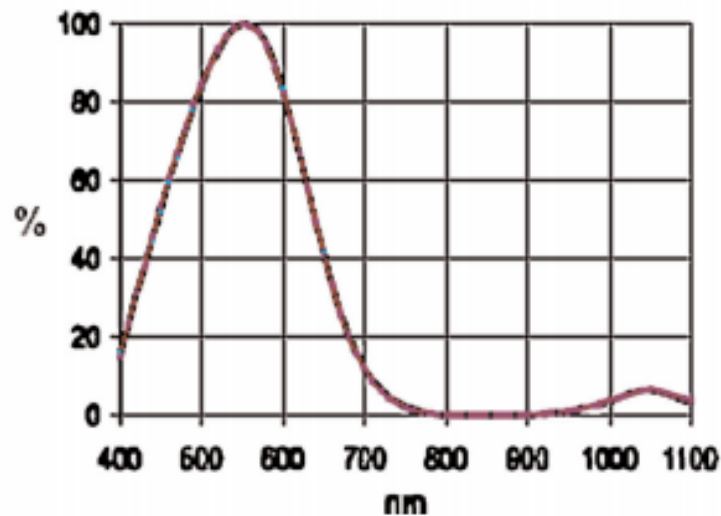
7.2 Výběr součástek pro realizaci senzoru

Barvy lze snímat s využitím jednoho zdroje bílého světla a několika snímacích prvků s barevnými filtry, nebo vyzařováním několika různých barev a snímání jedním fotocitlivým prvkem. Další z možností jsou CCD snímače, které jsou ale velmi drahé.

V tomto návrhu bude využito varianty se zdrojem světla různých barev a jedním snímacím prvkem. Jako zdroj světla bude využita třibarevná LED dioda a jako přijímač bude sloužit fotodioda s citlivostí ve viditelné oblasti.

Jako zdroj světla byla zvolena RGB LED dioda OSTA5131A-C jejíž výrobcem je společnost OptoSupply. Jedná se o LED diodu se společnou katodou (tedy má společnou zem), maximální proud, který může přes diodu téct je 30mA. Prahové napětí pro červenou barvu je 2V a pro modrou a zelenou barvu je prahové napětí 3,4V při 20mA. Dominantní vlnové délky jsou pro červenou barvu 640nm, pro zelenou 525nm a pro modrou 470nm.

Jako fotocitlivý prvek byla zvolena fotodioda VTP1220FBH, kterou vyrábí společnost Excelitas. Její spektrální citlivost je na následujícím obrázku.



Obrázek 25 Spektrální citlivost fotodiody
VTP1220FBH [40]

Fotodioda bude použita ve fotovoltaickém režimu, tedy bude generovat elektrický proud úměrný intenzitě dopadajícího světla.

Proud, který bude fotodioda vytvářet bude velmi malý, bude zde tedy potřeba transimpedanční zesilovač. Transimpedanční zesilovač je převodník proudu na napětí a je většinou realizován operačním zesilovačem.

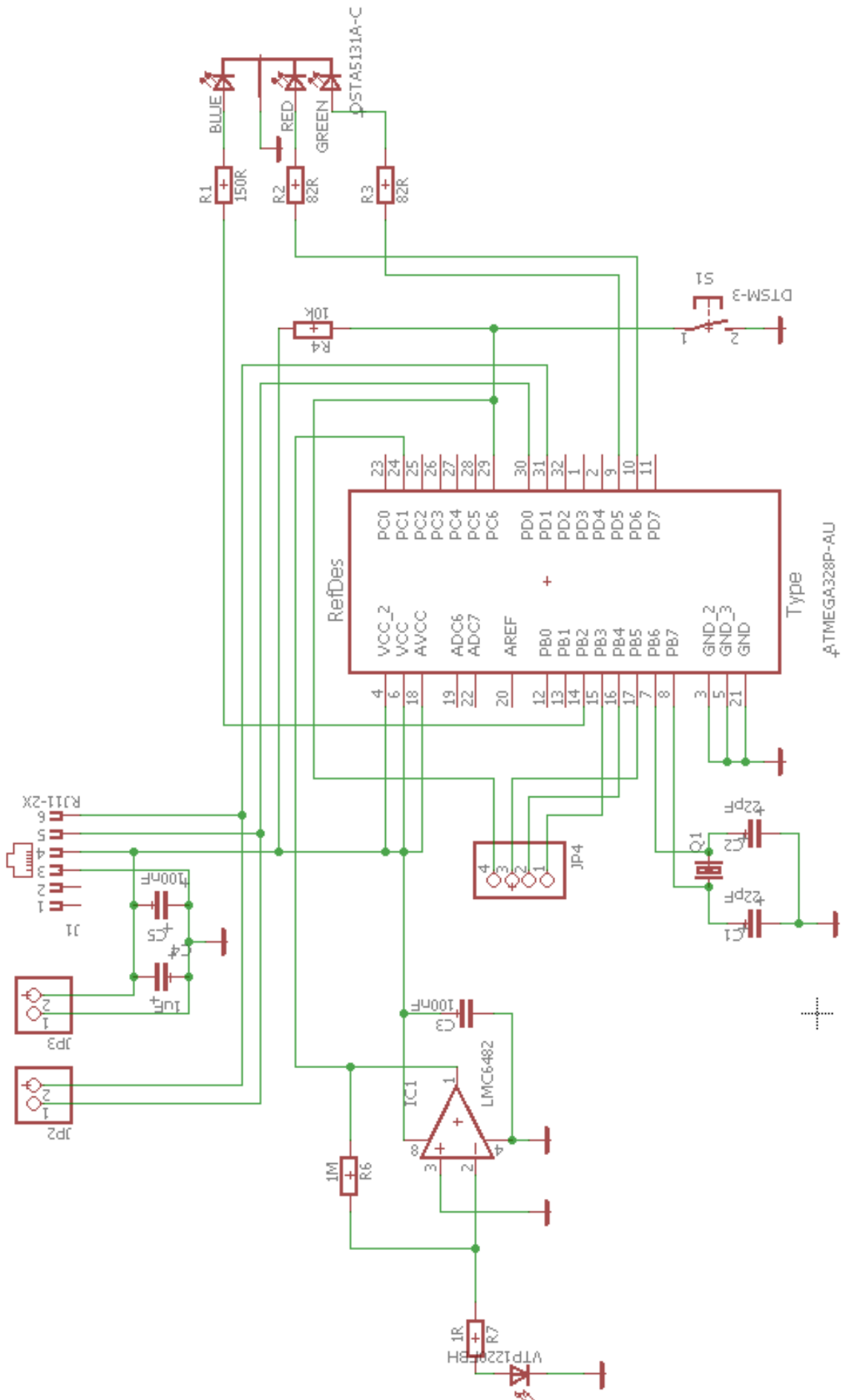
Zvolený operační zesilovač je LMC6482, jedná se o dvoukanálový operační zesilovač, který může pracovat v rozsahu -16V až 16V. V tomto případě bude ovšem operační zesilovač nesymetricky napájený, bude napájen pouze kladným napětím a bude použit jen jeden z jeho kanálů. Pro odesílání výsledků a řízení celého senzoru bude použit výše zmiňovaný mikropočítač ATmega328 s Arduino bootloaderem a program bude psán v Arduino IDE.

7.3 Návrh zapojení

Návrh zapojení probíhal v softwaru Eagle. Jde o software, ve kterém je možné navrhnout zapojení ze součástek poskytnutých v knihovnách, které lze najít na Internetu. Lze také vytvářet součástky vlastní, což bylo využito při tvorbě operačního zesilovače.

Samotné zapojení se člení do několika částí.

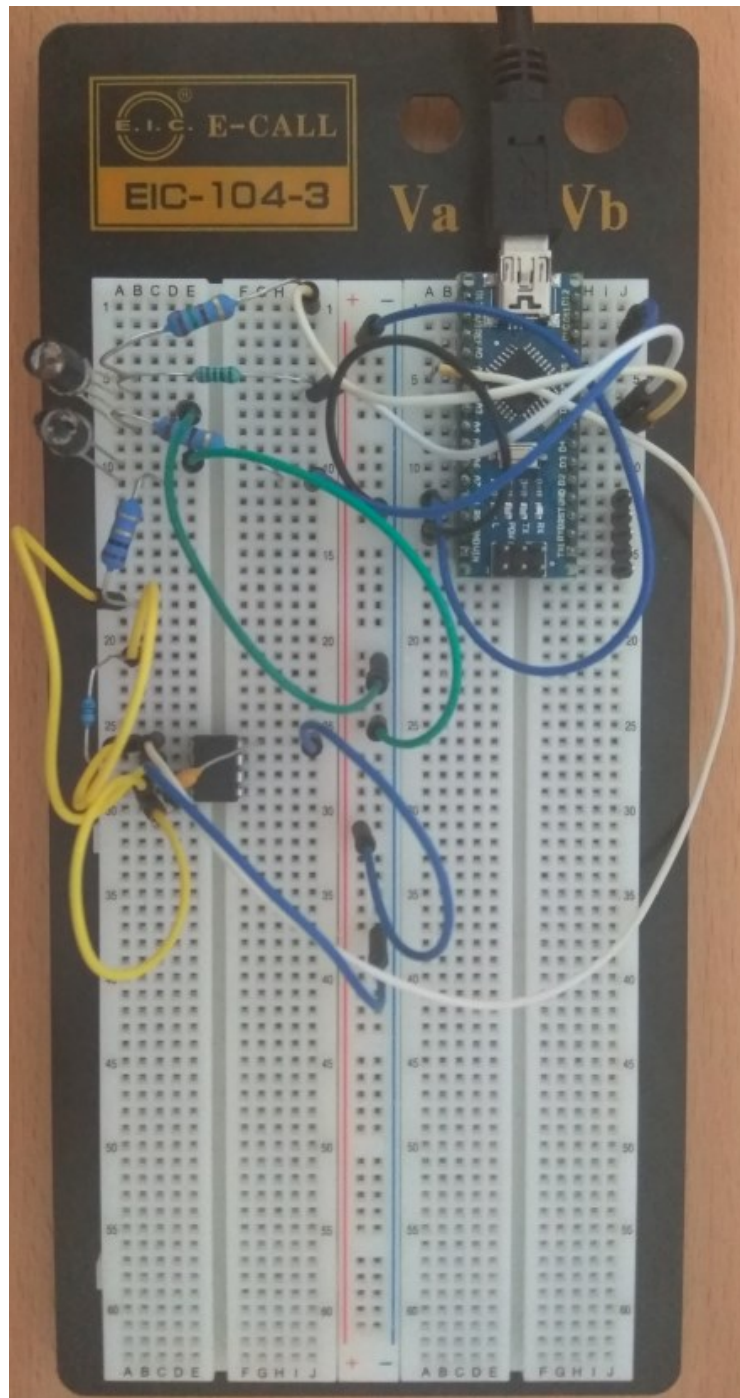
- Komunikační část – zde jsou piny, které slouží k nahrávání bootloaderu, programů a také napájení. Dále je zde konektor RJ11 na připojování k desce „LETS GO“, který obsahuje jeden pár vodičů pro sériovou komunikaci a druhý pár vodičů k napájení samotného senzoru.
- Zdroj záření – je realizován RGB LED diodou.
- Senzorická část – v této části se nachází fotodioda, spolu s transimpedančním zesilovačem. Výstup operačního zesilovače je připojen na analogový vstup mikro počítače.
- Mikroprocesor s jeho oscilátorem a resetovacím tlačítkem.



Obrázek 26 Schéma navrženého senzoru

7.4 Prototyp navrženého zapojení s fotodiodou

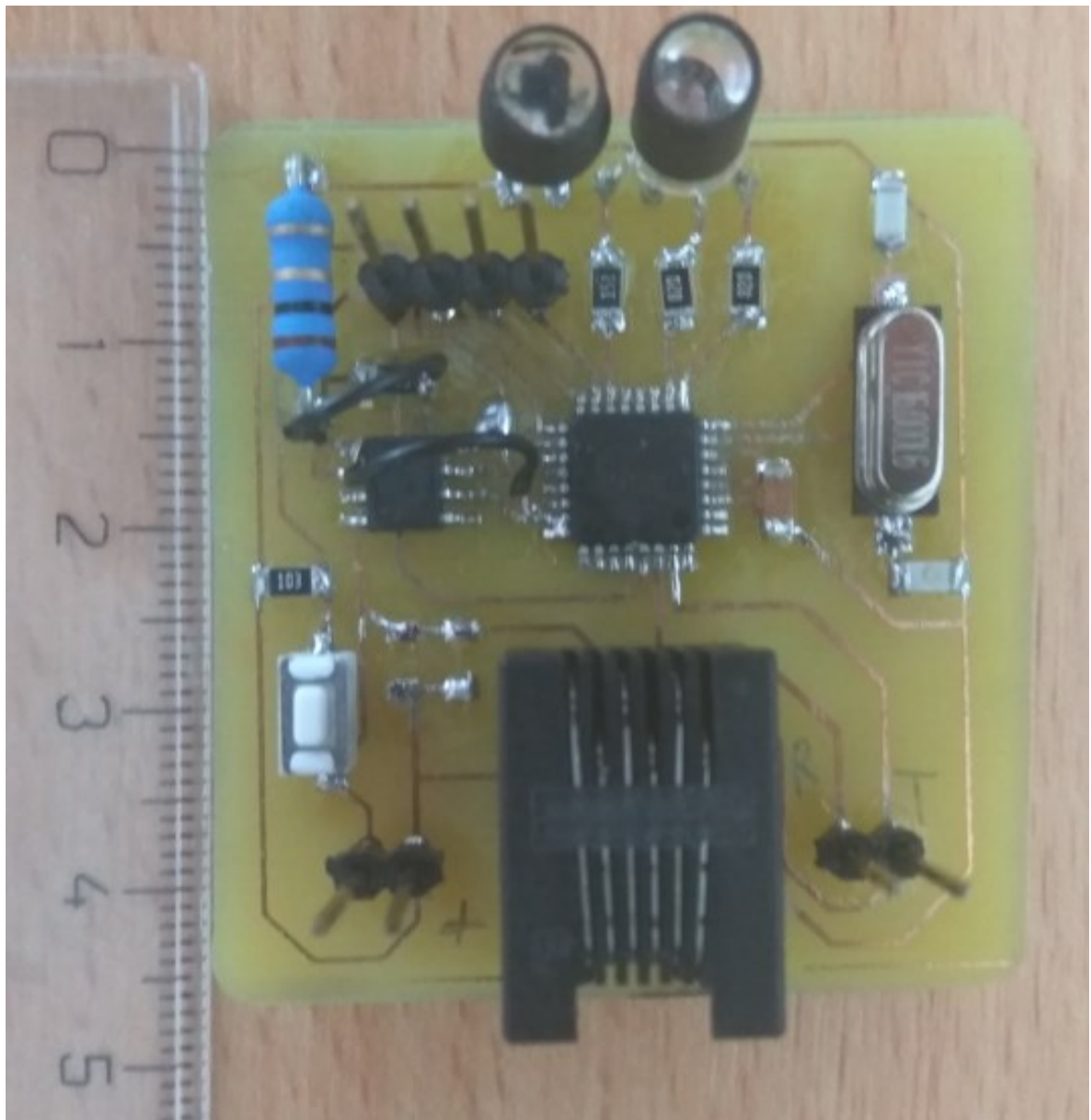
Prototyp byl vytvořen na nepájivém poli. K řízení byl využit mikroprocesor Arduino nano a součástky použité při jeho realizaci odpovídají těm z návrhu zapojení. Toto zapojení bylo realizováno ze součástek ve verzi THT. Na tomto prototypu byl napsán a odladěn veškerý software k řízení snímače.



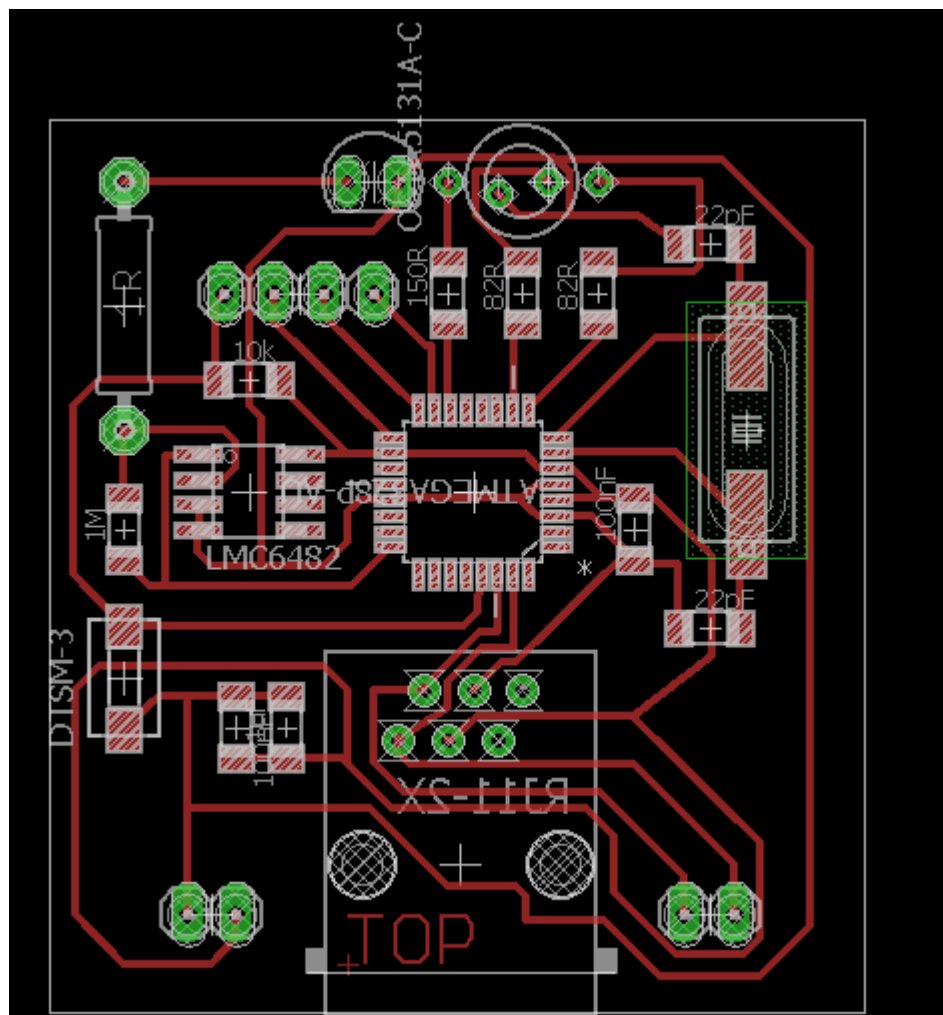
Obrázek 27 Prototyp zapojení s fotodiodou na nepájivém poli

7.5 Realizace desky plošných spojů

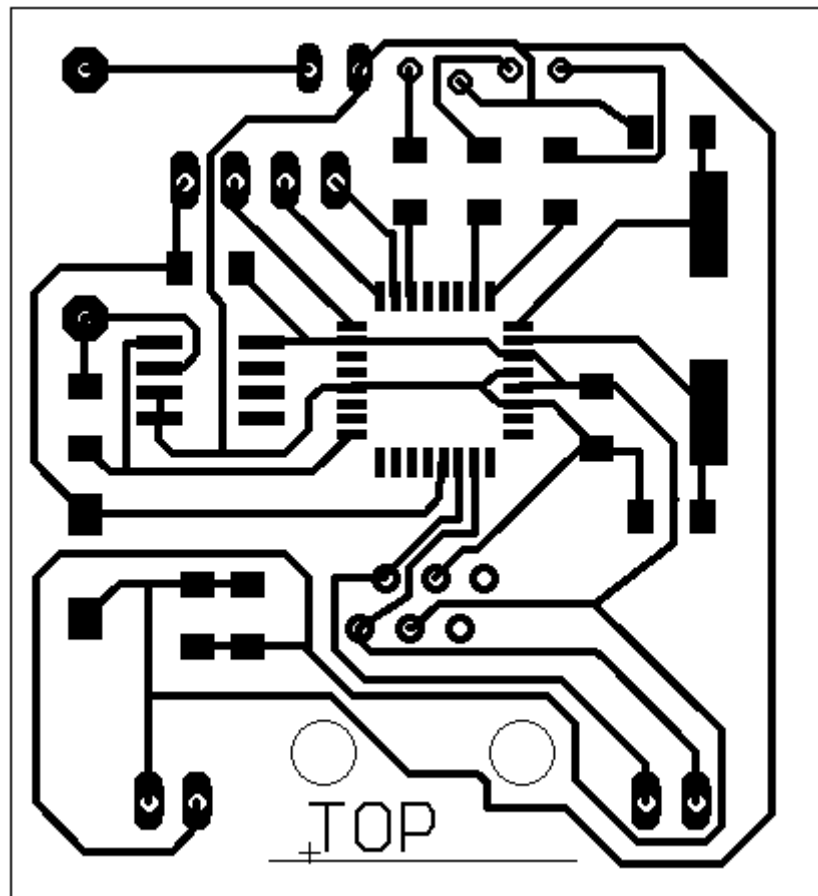
K realizaci desky plošných spojů byl opět využit software Eagle. Při organizaci součástek na desce plošných spojů byla snaha o tvorbu jednostranné desky, která bude mít co nejmenší rozměry a bude logicky členěná. Fotodioda byla osazena co nejbližší k RGB LED diodě k maximalizování přesnosti detekce odrazů. Na druhé straně desky plošného spoje se nachází většina konektorů. Výjimkou jsou jumpery, sloužící k nahrání Arduino bootloaderu. Ty jsou situovány poblíž fotodiody. Fotodioda i RGB LED dioda jsou obaleny černou izolepou, aby se zabránilo přímému svícení z LED diody na fotodiodu.



Obrázek 28 Senzor na desce plošných spojů



Obrázek 29 Osazovací plán senzoru



Obrázek 30 Maska pro ozařování desky plošných spojů

8 REŽIMY PRÁCE

Ovladač senzoru defaultně nemá nastavený žádný režim práce a očekává vstup ze sériové komunikace. To, že není nastaven žádný režim práce indikuje senzor blikáním červenou barvou v intervalu 1 sekundy. Po přijetí zprávy po sériové lince s informací, do kterého režimu se má senzor přepnout, započne svou činnost. Režim funkce lze kdykoli během chodu programu přepnout, k přepnutí dojde po dokončení jednoho snímacího cyklu.

8.1.1 Režim 0: čekání

Senzor pouze bliká červenou barvou v intervalu 1 sekundy jako indikaci, že očekává vstup s informací, v kterém režimu má začít pracovat.

8.1.2 Režim 1: snímání barev s manuální kalibrací

V prvním režimu snímání barev je snímač nejdříve potřeba kalibrovat. Kalibrace je provedena tak, že se před senzor musí dát bílý objekt. Senzor vyčká 3 sekundy a následně blikne barvami červenou, zelenou a modrou, čímž zaznamená intenzitu odraženého světla pro bílý předmět. Následně vyčká další 3 sekundy, aby uživatel odstranil bílý předmět. Pak opět provede kalibrování tentokrát pro černou barvu, tedy když před senzorem není žádný předmět.

Vlastní snímání pak probíhá tak, že senzor postupně blikne každou barvou a zaznamená hodnoty odrazů, intenzita jednotlivých odrazů je úměrná barvě předmětu.

Výsledky vrací po sériové komunikaci ve tvaru:

R XXX

G XXX

B XXX

Kde XXX je číslo z intervalu 0 až 255.

Při snímání nechá senzor svítit každou barvou 100us a po ní 100us nesvítí žádná. Předtím než odešle výsledek udělá průměr z 10 měření, tedy výsledná snímací doba je 6ms, což odpovídá snímací frekvenci zhruba 167 vzorků/s. Nejlepší snímací vzdálenost je zde, stejně jako ve všech dalších režimech snímání barev, přibližně 1cm.

8.1.3 Režim 2. snímání barev s automatickou kalibrací

Režim snímání barev s automatickou kalibrací vynechá krok kalibrace a místo něj použije defaultně nastavené hodnoty, které jsou vhodné pro hůře osvětlenou místnost. Následně probíhá měření i odesílání výstupních hodnot shodně s režimem 1.

8.1.4 Režim 3. snímání barev v odstínech šedi s manuální kalibrací

Nejprve je po uživateli vyžadována stejná manuální kalibrace jako v 1. režimu. Následně probíhá měření také shodně s 1. režimem, ovšem výstupní hodnoty jednotlivých barev jsou přepočítány na odstín šedi pomocí následujícího vzorce.

$$\text{šedá} = 0.21 * \text{červená} + 0.72 * \text{zelená} + 0.07 * \text{modrá}$$

Jde o vážený průměr jednotlivých složek barev, který uvažuje lidskou citlivost na barvy, obdobný vztah se využívá v softwarech, které umí převádět barevné obrázky na obrázky černobílé.

8.1.5 Režim 4. snímání barev v odstínech šedi s automatickou kalibrací

Pracuje stejně jako předchozí režim, jen je zde opět vynechána manuální kalibrace a je nahrazena defaultními hodnotami.

8.1.6 Režim 5. snímání okolního osvětlení

V režimu detekce okolního osvětlení LED dioda nesvítí, je pouze snímána intenzita dopadajícího světla. Výstupem je číslo z intervalu 0 až 1023 přičemž 1023 znamená, že došlo k maximální osvětlení senzoru a intenzita dopadajícího světla je mimo měřitelnou mez. Snímací frekvence je zde 100 vzorků/s.

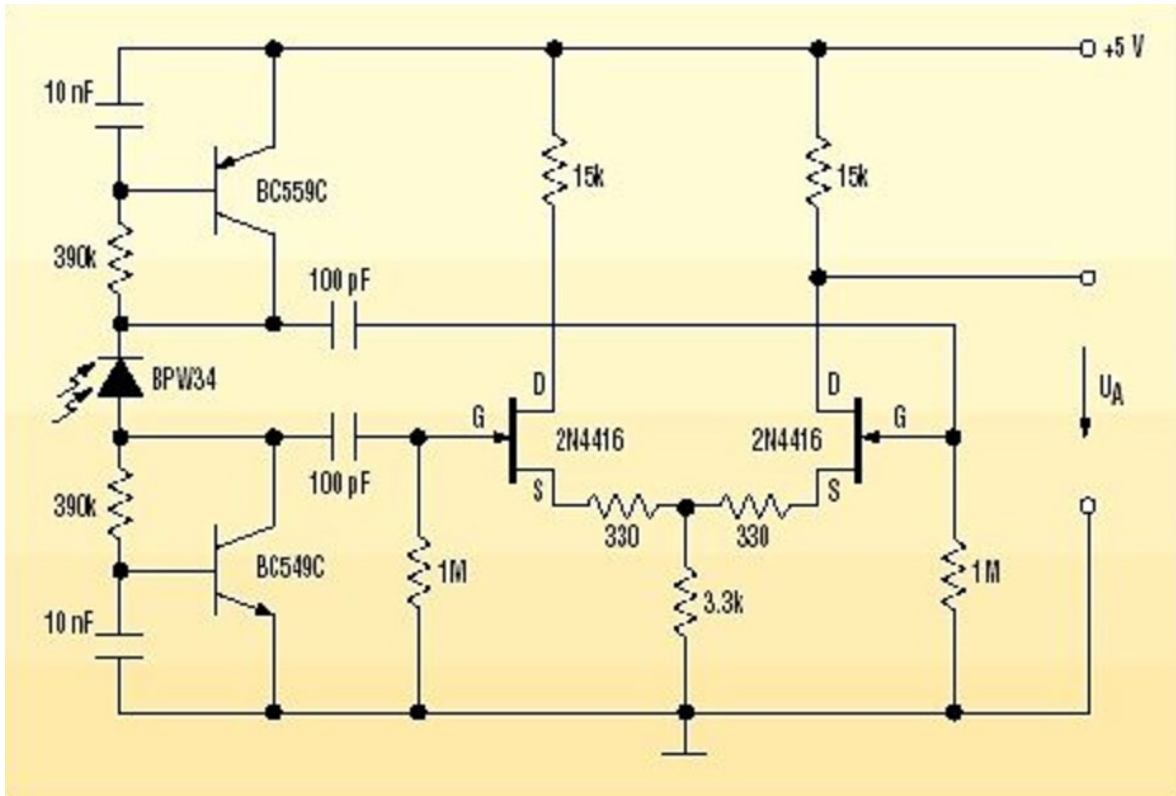
8.1.7 Režim 6. detekce překážek

V režimu detekce překážek senzor střídá barvy, kterými svítí a zaznamenává hodnoty odrazů. Je-li rozdíl mezi naměřenou intenzitou světla mezi časem kdy LED dioda svítí a kdy nesvítí větší, než pevně stanovená mez, dává senzor na výstup číslo 1, je-li menší než stanovená mez, výstupem je 0. Snímací frekvence je zde přibližně 100 vzorků/s a vzdálenost, na kterou senzor detekuje překážky, se velmi liší v závislosti na barvě a materiálu překážky. Pohybuje se mezi 10cm pro bílé a lesklé překážky a 1cm pro překážky černé a matné.

9 NÁVRHY NA ZDOKONALENÍ

Po otestování senzoru bylo zjištěno, že okolní osvětlení může způsobovat velké nepřesnosti, proto by bylo vhodné implementovat nějakou formu filtrování.

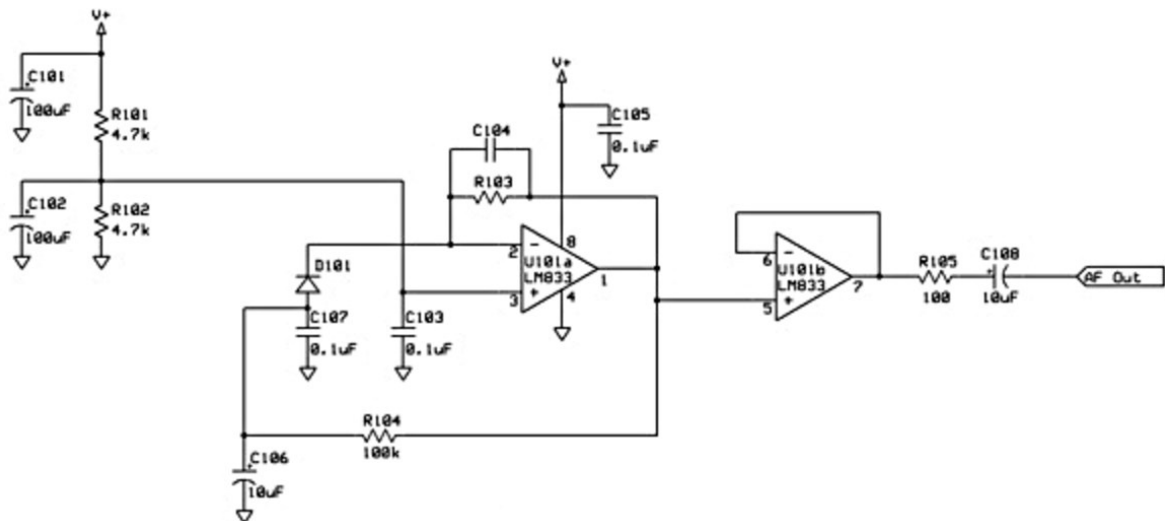
Vycházet by se dalo například z obvodu, který je určen pro snímání IR světla modulovaného na frekvenci 10KHz.



Obrázek 31 Obvod pro detekci IR záření, který je imunní proti okolnímu osvětlení [46]

Stejnoseměné napětí se z fotodiody odvádí do země pomocí "cívek" simulovaných transistů. FET transistů jsou zapojeny jako rozdílový zesilovač (jako v operačním zesilovači). Výstupní napětí je úměrné pouze modulovanému signálu a je téměř neovlivněné okolním osvětlením.

Další z možných přístupů je na následující obrázku.



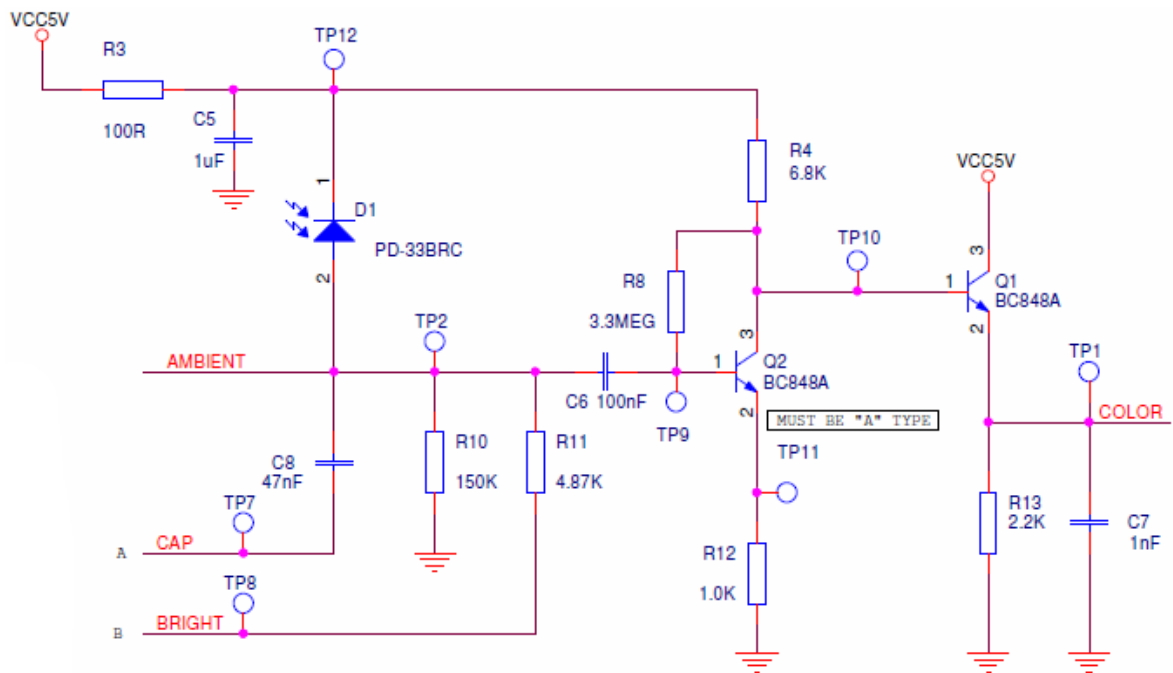
Obrázek 32 Eliminace stejnosměrné složky pomocí RC článku [47]

RC článek je zde připojen na studený konec diody. Protože operační zesilovač U101a je zapojený jako invertující, je na jeho výstupu opačné napětí než na fotodiodě. Díky tomu se vlastně DC ofset, vznikající na fotodiodě, odečte (na jejím dolním konci).

Jednotkový zesilovač U101b na výstupu by zde nemusel být, kdyby AD převodník měl dostatečně velký vstupní odpor, aby neovlivňoval R103, R104, což u procesorů není pravidlo.

Dělič R101 a R102 nastavuje "pracovní bod" operačního zesilovače na 50% napájecího napětí, je tam proto, aby nebylo nutné vyrábět záporné napájení pro operační zesilovač.

Dále by se dalo vycházet ze zapojení, které využívá Lego ve svém senzoru EV3 Color Sensor.



Obrázek 33 Zapojení fotodiody v senzoru EV3 Color Sensor [48]

Na kondenzátor C8 pod fotodiudou se integruje stejnosměrné napětí odpovídající okolnímu osvětlení. Na transistor Q2 se přes kondenzátor C6 přivádí jen střídavá složka.

ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout multifunkční senzor, který bude schopný snímat barvu a přítomnost překážky a také bude schopen snímat intenzitu okolního světla. Při návrhu celého projektu byl dbán důraz na kompatibilitu s kroužkem Programování a robotiky na FAI UTB ve Zlíně

V teoretické části bylo vysvětleno, co je barva a jak se mění odrazivost v závislosti na barvě světla a barvě objektu. Dále byly také vypsány některé fotocitlivé prvky, které jsou levné a byly zvažovány při praktické realizaci zapojení. Bylo vysvětleno, co je to LED dioda, jak se zapojuje a jakými způsoby lze řídit její jas. Na konci teoretické části byl popsán mikro počítač, s několika jeho klíčovými vlastnostmi a charakteristikami.

V praktické části pak bylo nastíněno, co je Arduino a jakým způsobem lze jeho bootloader a programy nahrávat do obyčejného procesoru ATmega328. Dále jsou popsány režimy, ve kterých může senzor pracovat. Z nich pravděpodobně nejdůležitějším, je režim snímání barev s manuální kalibrací. Ten za předpokladu konstantního okolního osvětlení funguje poměrně přesně. Režim automatické kalibrace bude bohužel fungovat jen ve stejných nebo velmi blízkých podmínkách těm, ve kterých byly naměřeny jeho výchozí hodnoty. Režimy snímání barev v odstínech šedi pak sdílí silné i slabé stránky normálního snímání barev. Režim snímání okolního osvětlení funguje bez nejmenších problémů, ze předpokladu, že není dosaženo maximální hodnoty okolního osvětlení. Režim detekce překážek je velmi závislý na materiálových vlastnostech překážky, proto zde ani nebyla snaha o vytvoření dalšího režimu – detekce vzdálenosti k překážce.

Všechny informace jsou odesílány po sériové komunikaci v co možná nejjednodušším formátu, aby nebylo těžké implementovat software, který tyto informace bude číst a dále zpracovávat.

Během vypracování této bakalářské práce jsem se mnohému naučil, vyzkoušel jsem si, co obnáší návrh hardwaru a potřebného softwaru k němu. Po letech jsou znovu vyráběl fotocestou PCB a měl v rukou pájku. Poprvé v životě jsem pájel SMD součástky a zjistil, že k řešení zdánlivě jednoduchého problému, vede cesta protkaná velkým množstvím komplikací, na které je potřeba najít řešení.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Světlo jako elektromagnetické vlnění. *Fyzika.jreichl.com* [online]. [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/434-svetlo-jako-elektromagneticke-vlneni>
- [2] COLOR SENSORS. *Society of robots* [online]. [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: http://www.societyofrobots.com/sensors_color.shtml
- [3] Fotorezistory. *Tme* [online]. [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: http://www.tme.eu/html/CZ/fotorezistory/ramka_4031_CZ_pelny.html
- [4] Počítačová grafika a vizualizace. *Is.sssep9* [online]. [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: http://is.sssep9.cz/podklady/frybert/2_tyden/PGV1_p3-BARVY.pdf
- [5] Fotoodpor (fotorezistor). *Kr-olomoucky* [online]. [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/610>
- [6] CDS Light-Dependent Photoresistor. *tme* [online]. [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <http://www.tme.eu/cz/Document/0b7aec6d26675b47f9e54d893cd4521b/PGM5506.pdf>
- [7] WODEYIJIA. *Tme* [online]. [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <http://www.tme.eu/cz/Document/01ba1573cea1124ddd9a55cccc53ed63/all.pdf>
- [8] Light dependent resistor (LDR). *Lednique* [online]. [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <http://lednique.com/opto-isolators-2/light-dependent-resistor-ldr/>
- [9] Diody. *Spsemoh* [online]. [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <http://www.spsemoh.cz/vyuka/zel/diody.htm>
- [10] Fotodioda. *Kr-olomoucky* [online]. [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/611>
- [11] Silicon Photodiode for the Visible Spectral Range. *Tme* [online]. [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: http://www.tme.eu/cz/Document/898f81c5053240296f9b7ea3146d083b/BPW21_Pb_free.pdf
- [12] Fotodioda. *Janoud* [online]. [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: <http://hidden.janoud.cz/dat/pdf/ELT/Fotodioda.pdf>

- [13] Fototranzistor. *Kr-olomoucky* [online]. [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/612>
- [14] Ambient Light Sensor. *Tme* [online]. [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: <http://www.tme.eu/cz/Document/0f57b9f303354b036fcd4c24e8ad7c89/tept4400.pdf>
- [15] Silicon NPN Phototransistor. *Tme* [online]. [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <http://www.tme.eu/cz/Document/a52a00f5b912cf64ebc04fb683284c21/bpv11.pdf>
- [16] DOLEČEK, Jaroslav. *Moderní učebnice elektroniky*. Praha: BEN - technická literatura, 2005. ISBN 978-807-3001-841.
- [17] Praktická elektronika/Diody. *Wikibooks* [online]. [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: https://cs.wikibooks.org/wiki/Praktick%C3%A1_elektronika/Diody
- [18] Připojování LED diod. *Zajimavebastleni* [online]. [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <http://zajimavebastleni.sweb.cz/ledky.html>
- [19] Inteligentní řízení LED osvětlení. *Dps-az* [online]. [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <http://www.dps-az.cz/soucastky/id:12011/inteligentni-rizeni-led-osvetleni>
- [20] Pulzně šířková modulace – PWM. *Tajned* [online]. [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <http://www.tajned.cz/2015/06/pulzne-sirkova-modulace-pwm-2/>
- [21] ATMEGA168A PULSE WIDTH MODULATION – PWM. *Protostack* [online]. [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <https://protostack.com.au/2011/06/atmega168a-pulse-width-modulation-pwm/>
- [22] Co je to LED dioda. *Svetsvetla* [online]. [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <http://www.svetsvetla.cz/co-je-to-led-dioda.html>
- [23] Světelné zdroje - světelné diody. *Odbornecasopisy* [online]. [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/39810.pdf>
- [24] Introduction to Microcontrollers. *Pic24micro* [online]. [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: http://www.pic24micro.com/cisc_vs_risc.html
- [25] Serial Communication. *Learn.sparkfun* [online]. [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/serial-communication>
- [26] Analog to Digital Converters (A/Ds). *Facstaff bucknell* [online]. [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <https://www.facstaff.bucknell.edu/mastascu/eLessonsHTML/Interfaces/ConvAD.html>
- [27] Shannonův teorém. *Panwiki panska* [online]. [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: http://panwiki.panska.cz/index.php/Shannon%C5%AFv_teor%C3%A9m

- [28] A/D převodník. *Panwiki panska* [online]. [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: http://panwiki.panska.cz/index.php/A/D_p%C5%99evodn%C3%ADk
- [29] TCS3472 COLOR LIGHT-TO-DIGITAL CONVERTER with IR FILTER. *Cdn-shop* [online]. [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/TCS34725.pdf>
- [30] RGB Color Sensor with IR filter and White LED - TCS34725. *Adafruit* [online]. [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <https://www.adafruit.com/product/1334>
- [31] EV3 Color Sensor. *Shop lego* [online]. [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <https://shop.lego.com/cs-CZ/EV3-Color-Sensor-45506>
- [32] TCS3200, TCS3210 PROGRAMMABLE COLOR LIGHT-TO-FREQUENCY CONVERTER. *Image dfrobot* [online]. [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <http://image.dfrobot.com/image/data/SEN0101/TCS3200%20TCS3210.pdf>
- [33] TCS3200 GBB Color Sensor For Arduino. *Dfrobot* [online]. [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <https://www.dfrobot.com/product-540.html>
- [34] What is Arduino? *Arduino* [online]. [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/en/guide/introduction>
- [35] Arduino Nano USB Microcontroller v3. *Robotshop* [online]. [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <http://www.robotshop.com/ca/en/arduino-nano-usb-microcontroller-v3-no-headers.html>
- [36] ATmega328 Microcontroller - TQFP. *Hobbytronics* [online]. [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <http://www.robotshop.com/ca/en/arduino-nano-usb-microcontroller-v3-no-headers.html>
- [37] Using an Arduino as an AVR ISP (In-System Programmer). *Arduino cc* [online]. [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/en/Tutorial/ArduinoISP>
- [38] How to upload sketches to Arduino UNO chip using PL2303 USB To RS-232 Converter. *Xappsoftware* [online]. [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <http://www.xappsoftware.com/wordpress/2012/04/16/how-to-upload-sketches-to-arduino-uno-chip-using-pl2303-usb-to-rs-232-converter/>
- [39] OSTA5131A-C. *Tme* [online]. [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <http://www.tme.eu/cz/Document/b520efa483e2260c9cb894ee426ff830/osta5131a-c.pdf>
- [40] VTP1220FBH. *Excelitas* [online]. [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: http://www.excelitas.com/downloads/dts_vtp1220fb.pdf

- [41] Fotodioda. *Elektro hofman* [online]. [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.elektro-hofman.cz/cz-detail-876178-fotodioda-bpw24r.html>
- [42] Fototranzistor. *Conrad* [online]. [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.conrad.cz/fototranzistor-everlight-opto-pt331c-1200-nm-5-mm.k156408>
- [43] Systémy, signály a časové řady. *Matematickabiologie* [online]. Masarykova univerzita: Institut biostatistiky a analýz Masarykovy univerzity [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://portal.matematickabiologie.cz/index.php?pg=analyza-a-modelovani-dynamickych-biologickych-dat--linearni-a-adaptivni-zpracovani-dat--uvod-do-problematiky--systemy-signalu-a-casove-rady>
- [44] Jak LED diody fungují. *Ledsolution* [online]. 2016 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <https://eshop.ledsolution.cz/led-diody-technicke-udaje>
- [45] Difference Between Von Neumann Architecture and Harvard Architecture. *Spiroprojects* [online]. [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.spiroprojects.com/blog/cat-view-more.php?id=130>
- [46] An Infrared Detector with Enhanced Immunity to Daylight Interference. *Petermobbs* [online]. [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <https://petermobbs.wordpress.com/2015/06/08/an-infrared-detector-with-enhanced-immunity-to-daylight-interference/>
- [47] The development of a very sensitive, speech-frequency optical receiver. *Rangerdude* [online]. [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <https://www.rangerdude.com/kc7tch/category/photodiode-receiver/>
- [48] EV3. *Lego* [online]. [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <https://www.lego.com/cs-cz/mindstorms/downloads>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

IR	Infra red.
CdS	Sulfid kadmia.
LED	Light Emitting Diode
PWM	Pulse wide modulation
CISC	Complex Instruction Set Computing
RISC	Reduced Instruction Set Computing
ALU	Aritmeticko Logická Jednotka
USB	Universal Serial Bus
SPI	Serial Peripheral Interface
I ² C	Inter-Integrated Circuit
IDE	Integrated Development Environment
I/O	Vstup výstup
LGPL	Lesser General Public License
GNU	General Public License
ISP	In-system programmer
SRAM	Static Random Access Memory
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
THT	Through-hole technology
SMD	Surface mount technology
GPIO	General-purpose input/output
UART	Universal asynchronous receiver/transmitter
CCD	Charge-coupled device
RGB	Red Green Blue
CAN	Controller Area Network

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Spektrum vlnových délek světla [4].....	11
Obrázek 2 Fotorezistor [3].....	12
Obrázek 3 Spektrální charakteristika CdS fotorezistoru [8].....	13
Obrázek 4 Teplotní závislost fotorezistoru [7]	14
Obrázek 5 Fotodioda [41]	15
Obrázek 6 Charakteristika fotodiody [9]	15
Obrázek 7 Relativní spektrální citlivost fotodiody [11]	16
Obrázek 8 Fototranzistor [42].....	17
Obrázek 9 Relativní spektrální citlivost fototranzistoru [14]	18
Obrázek 10 LED dioda [44].....	19
Obrázek 11 Sériové zapojení LED diod [18].....	21
Obrázek 12 Paralelní zapojení LED diod [18].....	21
Obrázek 13 Sérioparalelní zapojení LED diod [18]	22
Obrázek 14 Ukázka průběhu pulzně šířkové modulace [21]	23
Obrázek 15 Von Neumannova architektura [45].....	25
Obrázek 16 Harvardská architektura [45].....	26
Obrázek 17 Kvantování vzorků signálu [43].....	27
Obrázek 13 Senzor barev TCS34725 [30].....	30
Obrázek 14 EV3 Color Sensor [31].....	31
Obrázek 15 TCS3200 [33].....	32
Obrázek 16 Arduino Nano [35]	33
Obrázek 17 ATmega328 [36]	34
Obrázek 18 Schéma zapojení k nahrávání Arudino bootloaderu [37].....	35
Obrázek 19 Zapojení převodníku sériové komunikace a mikropočítače ATmega328 [38]	36
Obrázek 25 Spektrální citlivost fotodiody VTP1220FBH [40]	39
Obrázek 26 Schéma navrženého senzoru	41
Obrázek 27 Prototyp zapojení s fotodiodou na nepájivém poli.....	42
Obrázek 28 Senzor na desce plošných spojů	43
Obrázek 29 Osazovací plán senzoru	44
Obrázek 30 Masky pro ozařování desky plošných spojů.....	45

Obrázek 31 Obvod pro detekci IR záření, který je imunní proti okolnímu osvětlení [46]	48
Obrázek 32 Eliminace stejnosměrné složky pomocí RC článku [47]	49
Obrázek 33 Zapojení fotodiody v senzoru EV3 Color Sensor [48].....	50

SEZNAM PŘÍLOH

P I Elektronické přílohy a samotná práce na CD