

Fotoelektrické senzory

Photoelectric sensors

David Pala

Bakalářská práce
2013



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **David PALA**
Osobní číslo: **A10233**
Studijní program: **B3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Fotoelektrické senzory**

Zásady pro vypracování:

1. Provedte rozbor vybraných fotoelektrických senzorů.
2. Navrhněte experimentální úlohu pro výukové účely s využitím vybraných senzorů.
3. Realizujte a ověřte funkčnost experimentální úlohy.
4. Navrhněte vhodné zadání měření s realizovanou úlohou.
5. Vypracujte vzorový protokol z měření.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. DOLEČEK, Jaroslav. **Moderní učebnice elektroniky**. Praha: BEN – technická literatura, 2005, 206 s. ISBN 80-730-0161-6.
2. HRUŠKA, František. **Senzory v systémech informatiky a automatizace**. Vyd. 1. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2007, 177 s. ISBN 978-80-7318-630-2.
3. BERKA, Štěpán. **Elektrotechnická schémata a zapojení 2**. 1. vyd. Praha : BEN – technická literatura, 2010. 239 s. ISBN 978-80-7300-254-1.
4. MARTINEK, Radislav. **Senzory v průmyslové praxi**. 1. vyd. Praha: BEN – technická literatura, 2008, 199 s. ISBN 80-730-0114-4.
5. KREIDL, Marcel; ŠMÍD, Radislav. **Technická diagnostika : senzory, metody, analýza signálu**. 1. vyd. Praha : BEN – technická literatura, 2006. 406 s. ISBN 80-7300-158-6.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Petr Skočík

Ústav elektroniky a měření

Datum zadání bakalářské práce:

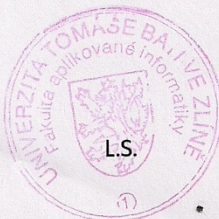
25. února 2013

Termín odevzdání bakalářské práce:

30. května 2013

Ve Zlíně dne 25. února 2013

prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
děkan



doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Téma bakalářské práce pojednává o problematice fotoelektrických senzorů. Cílem práce je navrhnout a realizovat experimentální úlohu pro výukové účely s využitím vybraných senzorů. Práce je rozdělena na dvě části. Teoretická část vysvětluje princip funkce senzorů a praktická část specifikuje vybrané senzory a popisuje sestavení úlohy. Hlavní myšlenkou práce je sestavení laboratorní úlohy za účelem výuky předmětu Senzory. V praktické části je popsána realizace experimentální úlohy a zároveň je ověřena její funkčnost. Součástí je také návrh zadání měření laboratorní úlohy s vypracovaným vzorovým protokolem.

Klíčová slova: Polovodiče, PN přechod, fotodetektory, fotosenzory, fotodiody, fototranzistory, fotorezistory, fotočlánky

ABSTRACT

Topic of bachelor's thesis is about the issue of photoelectric sensors. The goal of thesis is to devise and realise experimental practise for educational purpose, using chosen sensors. Thesis is divided into two parts. First part is theoretical and it explains rules of sensor's function. Second part of thesis is practical one and specifies selected sensors and describes how to assemble the exercise. The main thought is to assemble a laboratory practise for educational use in subject 'Sensors'.

In the practical part of thesis is described the realization of experimental practise and its functionality is proved. Thesis also contains suggestion for measuring the laboratory practise with evolved model protocol.

Keywords: Semiconductors, PN junction, photodetectors, photo sensors, photodiode, phototransistors, photoresistors, photo features

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Petru Skočíkovi za poskytnutí cenných rad, věcných připomínek, ochotu a vstřícný přístup během zpracování této práce. Dále bych chtěl poděkovat svým rodičům za neustálou morální podporu po dobu mého studia.

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním 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 bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk 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 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 – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování 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 bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem 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 bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně

.....
podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	9
TEORETICKÁ ČÁST	10
1 ZÁKLADY PROBLEMATIKY.....	11
1.1 Fotoelektrický jev.....	11
1.2 Fotoelektrické senzory.....	11
1.3 Fyzikální základy	11
1.4 Součástky řízené světlem	12
2 POLOVODIČE.....	13
2.1 Základní vlastnosti polovodičového materiálu.....	13
2.2 Polovodiče typu N.....	13
2.3 Polovodič typu P	14
3 PN PŘECHOD	15
3.1 PN přechod bez přiloženého napětí.....	15
3.1.1 Ochuzená oblast	15
3.1.2 Difuzní napětí.....	16
3.2 PN přechod s přiloženým napětím.....	16
3.2.1 PN přechod polarizovaný v závěrném směru	16
3.2.2 PN přechod polarizovaný v propustném směru	16
4 PŘIJÍMACÍ PRVKY FOTODETEKTORŮ	18
4.1 Fotodiody.....	18
4.1.1 Polovodičová fotodioda	18
4.1.2 Lavinová fotodioda	19
4.2 Fototranzistor.....	20
4.3 Fotorezistor	21
4.4 Fotočlánek.....	21
4.5 Fototyristor.....	22
5 VYSÍLACÍ PRVKY FOTODETEKTORŮ.....	23
5.1 Luminiscenční diody	23
5.2 Laserové diody.....	25
6 TECHNIKA FOTOELEKTRICKÝCH SENZORŮ.....	29
6.1 Základní principy a vlastnosti.....	29
6.1.1 Reflexní senzory.....	29
6.1.2 Reflexní závora	32
6.1.3 Jednocestná závora	35
PRAKTICKÁ ČÁST.....	37

7	SEZNÁMENÍ S PRAKTICKOU ČÁSTÍ.....	38
8	NÁVRH EXPERIMENTÁLNÍ ÚLOHY PRO VÝUKOVÉ ÚČELY S VYUŽITÍM VYBRANÝCH SENZORŮ	39
8.1	<i>Blokové schéma zapojení.....</i>	<i>39</i>
8.2	<i>Rozbor vybraných fotoelektrických senzorů.....</i>	<i>40</i>
8.2.1	Fotodiody	40
8.2.2	Fototranzistory.....	43
8.2.3	Fotorezistory	45
8.2.4	Fotočlánek	47
9	REALIZACE A OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI EXPERIMENTÁLNÍ ÚLOHY	48
9.1	<i>Ověření funkčnosti experimentální úlohy.....</i>	<i>52</i>
9.2	<i>Zhodnocení výsledků.....</i>	<i>52</i>
	ZÁVĚR.....	55
	ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ	56
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	57
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	58
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	59
	SEZNAM TABULEK	61
	SEZNAM PŘÍLOH	62

ÚVOD

Bakalářská práce řeší problematiku fotoelektrických senzorů. S fotoelektrickými senzory se v dnešní době můžeme setkat v různých odvětvích průmyslu a to z důvodu jejich velkého množství využití. Práci jsem si vybral, abych se o těchto senzorech dozvěděl více a zároveň mohl informace získané díky práci poskytnout dále. Cílem práce je navrhnout experimentální úlohu pro výukové účely s využitím vybraných senzorů. Do práce budou vybrány senzory podle velikosti fotocitlivé plochy a hlavně podle jejich dostupnosti od dodavatele a velkou roli při výběru budou hrát i finance. Všechny senzory budou v práci rozebrány a budou u nich uvedeny hlavní parametry od výrobce. Dalším bodem práce bude následná realizace experimentální laboratorní úlohy s vybranými senzory. Výběr senzorů bude konzultován s vedoucím práce, aby byly vybrány správné senzory, na kterých studenti předmětu Senzory uvidí jejich rozdílné chování. Předmět Senzory se bude vyučovat v rámci Fakulty aplikované informatiky, University Tomáše Bati. Ve zmíněném předmětu moje realizovaná úloha najde využití společně s dalšími úlohami, na kterých pracují kolegové. Jelikož bude úloha součástí výuky, bude nutné vypracovat vzorový protokol z měření a zároveň pomocí protokolu ověřit a zdůraznit funkčnost realizované úlohy. Naměřený protokol bude součástí příloh, ve kterých se také objeví mnou navržené zadání měření s realizovanou úlohou.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ZÁKLADY PROBLEMATIKY

1.1 Fotoelektrický jev

Německý fyzik Heinrich Hertz v roce 1887 pozoroval, že izolovaný vodič se může při ozáření ultrafialovým světlem nabíjet kladně, přičemž existence tohoto efektu závisí na frekvenci použitého světla. Zjištěný jev byl nazván fotoelektrickým jevem (resp. fotoefektem). V dalších letech fyzikové provedli podrobnější měření, jejichž výsledky byly shrnuty takto [7]:

1. Dopadající záření uvolňuje z kovu elektrony
2. Pro každý kov existuje určitá minimální frekvence f_0 dopadajícího světla, od které počínaje dochází k fotoelektrickému jevu (záření s frekvencí f menší než f_0 není schopno uvolnit elektrony z kovu).
3. Kinetická energie vystupujících elektronů nezávisí na intenzitě³ dopadajícího světla. Kinetická energie elektronů uvolněných z materiálu se zvětšuje s rostoucí frekvencí dopadajícího záření.
4. Nebyla pozorována časová prodleva mezi začátkem ozařování a registrací emitovaných elektronů [7]

1.2 Fotoelektrické senzory

Fotoelektrické senzory nebo také optoelektronické senzory dnes představují z funkčního pohledu nejvíce používané senzory v průmyslové automatizaci. Lze je použít v jednoduchých binárních aplikacích, bezpečnostních aplikacích, ale i v náročných měřicích úlohách na konci procesu.[4]

1.3 Fyzikální základy

Základná vlastností používaných prvků je přeměna elektrického proudu na elektromagnetické vlnění (světlo) a naopak. Pod pojmem světlo se rozumí elektromagnetické spektrum od ultrafialové oblasti ($\lambda=0,3\mu\text{m}$) přes oblast viditelného světla ($0,38 < \lambda < 0,78\mu\text{m}$) až do infračervené oblasti ($\lambda=1,2\mu\text{m}$)

Důležité moderní vysílací prvky jsou dnes luminiscenční diody (LED) a polovodičové laserové diody. Jako přijímací prvky se používají fotodiody, fototranzistory a diody s laterálním efektem (PSD).[4]

1.4 Součástky řízené světlem

Činnost součástek řízených zářením je založena na využití vnitřního fotoelektrického jevu. Při dopadu světla vhodné vlnové délky na polovodičový materiál, dochází k rozbíjení vazeb atomů a dochází k vzniku volných nosičů náboje elektron-díra. V látce bez přechodu PN dojde v důsledku toho k zvětšení vodivosti. Dopadá-li světlo do oblasti přechodu PN, objevuje se mezi částí P a N tzv. hradlové napětí (desetiny voltu)[6].

2 POLOVODIČE

2.1 Základní vlastnosti polovodičového materiálu

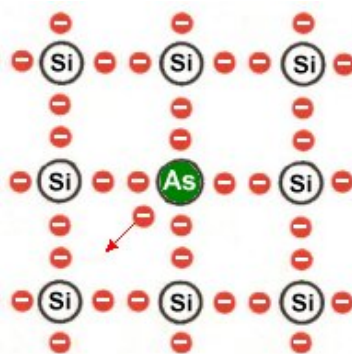
Polovodič je chemický prvek nebo sloučenina, který není dobrým vodičem, ani nevodičem. Polovodiči jsou látky, které jsou z hlediska elektrických vlastností mezičlánkem mezi elektricky vodivými látkami a izolanty. Přesné hranice mezi vodiči, polovodiči a izolanty nejsou stanoveny. Kromě hodnot rezistivity (asi 10^{-4} až $10^8 \Omega\text{m}$) není přesná hranice není definována. Na rozdíl od kovů, se vzrůstající teplotou jejich elektrická vodivost zvětšuje. Jednou z vlastností polovodičů je jejich bipolární vodivost, což znamená, že vedení proudu je v něm zprostředkováno částicemi obsahující záporný a kladný náboj (elektronová a děrová vodivost) [8].

2.2 Polovodiče typu N

Pokud přidáme do struktury vlastního křemíku malé množství pětivalenčních atomů (atomy s pěti elektrony ve valenční vrstvě) způsobí tohle znečištění nadbytečný obsah elektronů, které byly krystalu dotovány.

Například nahrazení čtyřmocného atomu křemíku v krystalové mřížce pětímocným atomem arsenu (fosforu, antimonu...) způsobí, že jeden elektron se nemůže s křemíkem vázat a zůstává volný. Tento elektron, který se nemůže vázat a tím způsobuje elektronovou vodivost Obr.1 [8].

Donory - nečistoty s pěti valenčními elektrony dodávají záporné nosiče náboje. Vzniklý nový polovodič se označuje jako polovodič typu N. Dodaná vodivost je nazývána nevlastní vodivost polovodiče [1].

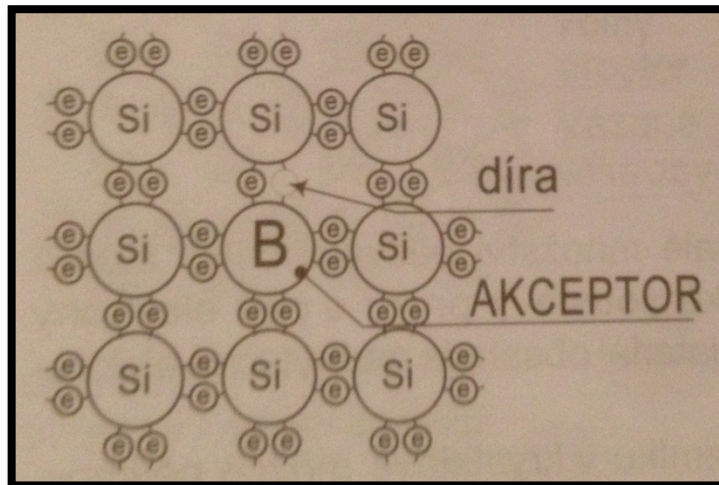


Obr. 1 Vytvoření polovodiče typu N [8]

2.3 Polovodič typu P

Pokud je vlastní polovodič dotován prvkem obsahujícím pouze tři valenční elektrony (hliník AL, bor B, gallium Ga...), vzniká tím nevlastní polovodič, kterému u některých atomů chybí valenční elektron Obr. 2 [1].

Akceptory - příměsi s třemi valenčními elektrony způsobují vznik míst s chybějícími elektron-díra. Díra se stává nositelem kladného náboje. Prvkům, které dotují polovodiče typu P nazýváme akceptory. V polovodiči typu P je nevlastní vodivost děrová. Děry je mnohem více, než vlastních nosičů náboje a proto jsou díry většinovými nosiči náboje [1].



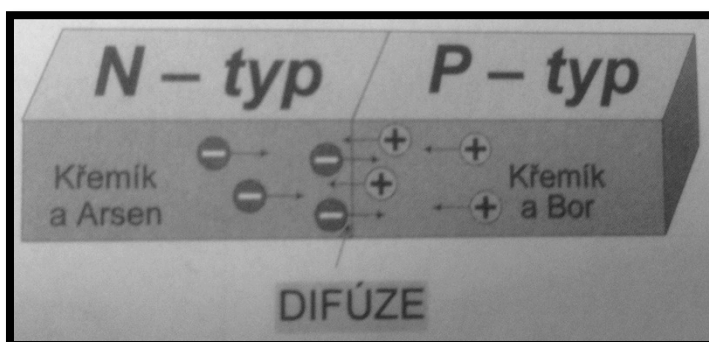
Obr. 2 Vytvoření polovodiče typu P

3 PN PŘECHOD

Spojením materiálu typu N a materiálu typu P, vytvoříme jednoduchou elektronickou součástku s jednoduchým PN přechodem [1].

3.1 PN přechod bez přiloženého napětí

Elektrony a díry přechází z místa kde je vyšší koncentrace do místa kde je nižší koncentrace (difundovat). Elektrony přecházejí z oblasti typu N do oblasti typu P a díry z oblasti do oblasti N (obr. 3). Je možné si to představit, že elektrony jsou přitahovány děrami a naopak [1].



Obr. 3 Vytvoření PN přechodu [1]

Hluběji difundované elektrony, to jsou ty, které se dostanou hlouběji do materiálu P a díry, které se naopak dostanou hlouběji do materiálu N, rekombinují s většinovými nosiči. Rekombinace je proces, při kterém zanikají pár elektron-díra [1].

Díky difuzi budou v blízkosti přechodu v oblasti P záporné náboje a oblasti N vznikne oblast s kladnými ionty [1].

3.1.1 Ochuzená oblast

Přechodová vrstva v okolí přechodu PN má vzhledem k ostatním oblastem polovodiče sníženou koncentraci většinových nosičů náboje - jde o tzv. ochuzenou vrstvu. Jde o to, že v přechodové vrstvě na straně N budou chybět elektrony a na straně P budou chybět díry [1].

3.1.2 Difuzní napětí

Při difuzi elektronů z N do P vzniká na přechodu PN v oblasti P záporný prostorový náboj a difuzí děr do oblasti N vzniká na přechodu PN v oblasti N kladný prostorový náboj.

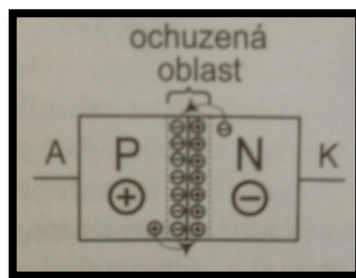
Rozložením prostorového náboje se vytváří na přechodu PN elektrické pole s intenzitou E a tím i napětí U , které když nabyde velikosti tzv. Difuzního napětí, tak zabrání difuzi dalších volných nosičů náboje a nastane rovnovážný stav.

Když připojíme svorky s napětím zdroje na N a P, porušíme tím rovnovážný stav a nastane nový rovnovážný stav, při které se změni šířka přechodu PN [1].

3.2 PN přechod s přiloženým napětím

3.2.1 PN přechod polarizovaný v závěrném směru

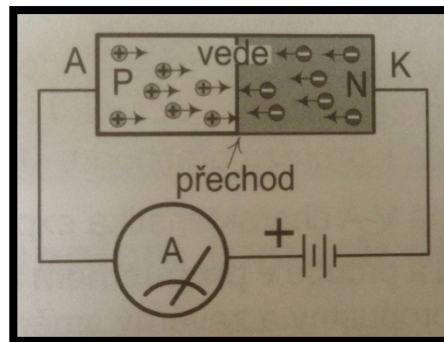
Pokud připojíme na vývod označený písmenem A (anoda) ze strany polovodiče typu P záporné napětí a na druhý vývod označený jako K (katoda) kladné napětí, dojde tím k zvětšení potenciální bariéry, zvětší se ochuzená oblast a přechodem neprochází proud (obr. 4) [1].



Obr. 4 Ochuzená oblast v okolí přechodu PN [1]

3.2.2 PN přechod polarizovaný v propustném směru

Pokud obrátíme polaritu zdroje tak, aby byl kladný pól zdroje na anodě A a záporný pól zdroj na katodě K, dojde tím k vybuzení elektrostatického pole, které bude působit proti elektrostatickému poli vytvořenému většinovými nosiči náboje na přechodu PN (Obr.5) [6].



Obr. 5 Propustně polarizovaný přechod PN [1]

Kladný pól zdroje, který je připojen na anodu A odpuzuje díry k přechodu. Zároveň záporný pól zdroje připojený ke katodě K odpuzuje k přechodu elektrony [1].

Tím dochází na přechodu k rekombinaci kladných a záporných nábojů. Velikost proudu je úměrná množství rekombinovaných párů elektrických nosičů na přechodu. Tím se přechod zúží [1].

Závislost šířky potenciálové přehrady na velikosti a polaritě vnějšího zdroje vyvolává usměrňovací vlastnosti přechodu PN [1].

Velikost potenciálové bariéry je ovlivněna druhem použitého polovodiče. Napětí u přechodu germania je asi 0,2 V až 0,4 V, křemík má potenciálovou bariéru velikost asi 0,6 V až 0,8 V. Pokud překročí přiložené napětí v propustném směru hodnoty potenciálové bariéry, bude šířka prakticky nulová [1].

4 PŘIJÍMACÍ PRVKY FOTODETEKTORŮ

Za přijímací prvky se u fotoelektrických senzorů rozumí polovodičové fotodetektory. Fotodetektor měří fotonový tok nebo také optický výkon a to tak, že mění energii absorbovaných fotonů do měřitelné formy. Dělí se na fototranzistory, fotodiody a na matice sestavené z těchto prvků, [4]

4.1 Fotodiody

Fotodiody je konstrukčně upravená tak, aby do oblasti PN přechodu dopadalo světlo.

Fotodiody využívají principu vnitřního fotoelektrického jevu. Foton (světlo), které pomocí čočky dopadá na PN přechod narazí do elektronu ve valenční vrstvě atomu a tím předá svoji energii. Po tom co elektron absorbuje energii fotonu, získá dostatek energie k uvolnění se z valenčního pásu a přeskočí do pásu vodivostního. Tím elektron opustí vlastní atom a pohybuje se prostorem krystalové mřížky a tak vzniká volný elektron a na jeho místě vzniklá díra. Takhle vzniklé volné elektrony jsou nosiči náboje a tím snižují odpor vodiče a zároveň zvyšují jeho vodivost [12].

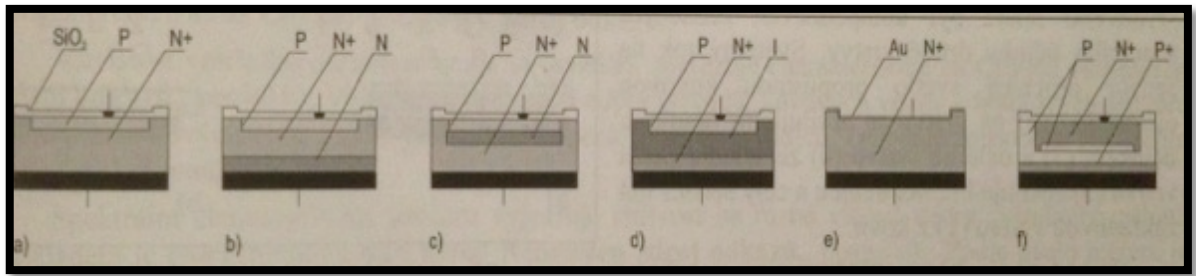
4.1.1 Polovodičová fotodiody

Fotodiody mají za úkol převádět přijatý signál na elektrický proud.

Fotodiody pracují přesně obráceně jako luminiscenční diody, kdy luminiscenční diody vyvolávají vstřikování nosičů náboje v PN přechodu vyzařující rekombinační proces.[4]

Tenhle typ diod je dělán tak, že světelný tok vstupuje kolmo nebo rovnoběžně na PN přechod. Vyrábí se z materiálu monokrystalu Si nebo Ge. Vlastnosti diody se hodnotí pomocí charakteristiky: voltampérová, luxampérová, spektrální, frekvenční a časová.

Velkou výhodou fotodiody je velká citlivost, mechanická odolnost, malé rozměry, dlouhá životnost a nízké provozní napětí. Mezi nevýhody patří velký proud za tmy, citlivost na teplotu okolí a malá časová stálost [2],[6].



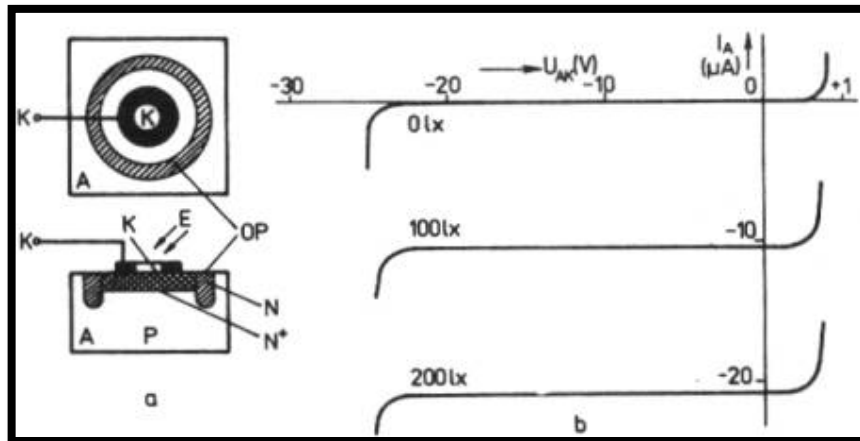
Obr. 6 Základní typy fotodiodových struktur

Na obr. 6 je vyobrazeno šest typů polovodičových fotodiodových struktur. Obrázek a) je základní PN typ. Pro snížení kapacity spojovacích cest je u pozice b) zavedená vrstva N a dioda je více citlivá na oblast UV záření. Provedení c) používá přechod PNN+, který snižuje citlivost na IR oblast. Typ PIN je vidět na obrázku d). Jde o nízko kapacitní difuzní diodu. Používá vnitřní vrstvu I (intrinsic crystal) s vysokým odporem. Obrázek e) zobrazuje Shotkyho diodu, která pro PN přechod používá vrstvu zlata. Dioda má velkou citlivost na UV záření. Obrázek f) zobrazuje Lavinovu fotodiodu.

Fotodiody lze také použít jako fotovoltaický prvek. Lze z něj získávat při osvětlení napětí nebo proud úměrný osvětlení, podobně jako u fotočlánku.[2]

4.1.2 Lavinová fotodioda

Struktura lavinové fotodiody je zobrazena na obr. 7a. Ochranný prsteneček OP zvětšuje odolnost diody proti povrchovému napěťovému průrazu. Katodu tvoří vrstva N s nerovnoměrnou koncentrací příměsí, která se od povrchu do hloubky ($0,5\mu\text{m}$) prudce zmenšuje (z N^+ až na velmi čistý intrinziční polovodič). Odtud pochází název lavinová fotodioda PIN. Díky tomu dochází při působení napětí ve zpětném směru k nerovnoměrnému rozložení intenzity pole uvnitř diody. Páry elektron-díra, které se uvolňují při osvětlení, jsou pomocí elektrického pole urychleny a způsobují nárazovou ionizaci krystalové mřížky. To se projeví prudkým vzrůstem anodového proudu při určité velikosti záporného anodového napětí (obr. 7b) [6].

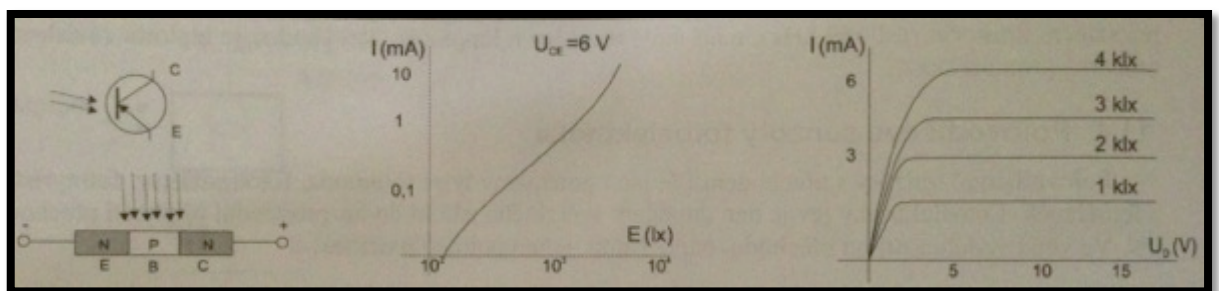


Obr. 7 Uspořádání a charakteristiky lavinové fotodiody [6]

V impulsovém režimu pracují lavinové fotodiody jako citlivé a rychlé optické přijímače. Mezní frekvence světelných impulsů, na které dioda reaguje, je až několik gigahertz [6].

4.2 Fototranzistor

Fototranzistor se skládá ze dvou PN přechodů, které jsou citlivé na elektromagnetické záření. V zapojení na obr. 8 má fototranzistor pravý PN přechod v propustném směru a levý v závěrném směru. [2]



Obr. 8 Fototranzistor a jeho charakteristiky [2]

Procházející proud se skládá z děr v pravé oblasti N, z elektronů v části P a z elektronů v levé části N, které difundují z části P. Pokud ozáříme fototranzistor světelným tokem, tak v části P vznikne pár elektron-díra a procházející proud se tak zesílí. V pravé části obrázku je luxampérová a voltampérová charakteristika fototranzistoru KP101 [2].

4.3 Fotorezistor

Jedná se o součástky, které mění svůj odpor v závislosti na intenzitě dopadajícího světla. Pracují nezávisle na směru proudu a proto je jedno jak zapojíme jejich vývody.

Vlivem osvětlení vznikají nositelé nábojů v polovodičové vrstvě. Čím více světla dopadá na fotocitlivou plochu, tím dochází k zmenšení odporu fotorezistoru. Závislost odporu na osvětlení je přibližně logaritmická. Na Obr. 9 je znázorněný fotorezistor [9].



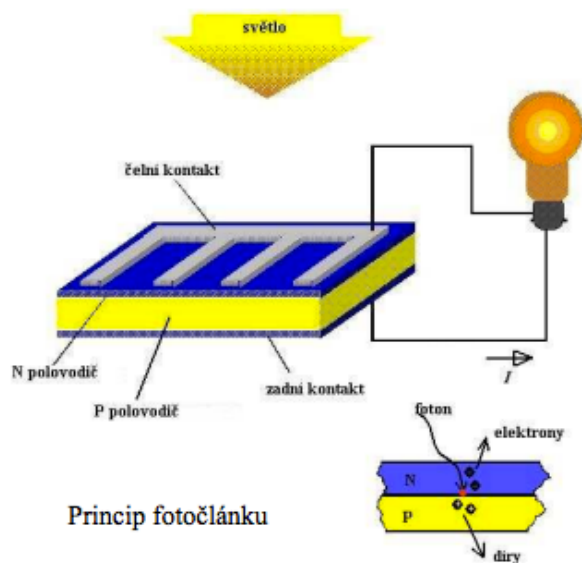
Obr. 9 Fotorezistor [9]

4.4 Fotočlánek

Dnes se nejčastěji používají fotočláanky vyrobené z monokrystalického křemíku a obsahují PN přechod. Při dopadu fotonu na atom křemíku dojde k uvolnění elektronu a tím vznikne pár elektron-díra. Pokud tohle proběhne v blízkosti PN přechodu, dojde k vtažení díry elektrickým polem do P polovodiče a elektronu do N polovodiče. Prahové napětí, které jim brání v rekombinaci je asi 0,7V. Když dojde k uzavření obvodu mezi polovodiči P a N, tak může obvodem protékat el. proud a fotočlánek funguje jako zdroj. Princip fotočláanky je zachycen na obrázku 10.

Napětí dodávané jedním PN přechodem je hodně malé (0,5 až 0,7V), proto když chceme dostat větší napětí z fotočláanky je nutné je řadit sériově a naopak, pokud chceme dostávat větší proud z fotočláanky - řadíme je paralelně.

Jelikož účinnost přeměny světelné energie na elektrickou není moc vysoká (běžné fotočláanky 13-17%) a jejich výroba je poměrně drahá, používají se hlavně k napájení malých spotřebičů jako jsou například kalkulačky [10].

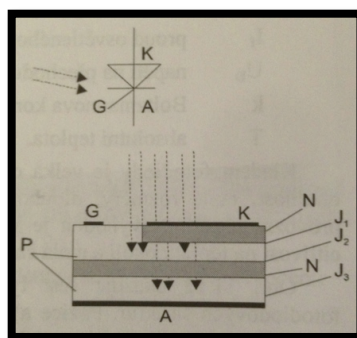


Obr. 10 Princip fotočlánku [10]

4.5 Fototyristor

Jedná se o čtyřvrstvou strukturu PNPN, která je umístěna v pouzdrú s průhledným okénkem, přes které dopadá světlo do oblasti přechodu J2 [6].

Na obr. 11 je vidět schéma a polovodičová struktura fototyristoru. Přechody J1 a J3 jsou zapojeny v propustném směru a vedou el. proud. Přechod J2 nevede el. proud, dokud se při ozáření fototyristoru neuvolní v oblasti P nosiče nábojů a způsobí proud mezi anodou a katodou v důsledku zesílení tranzistorových struktur NPN a PNP ve čtyřvrstvě uspořádání. [2]

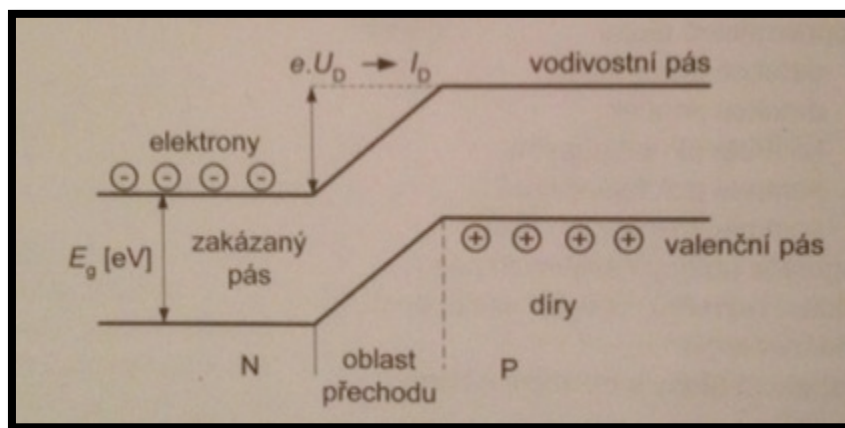


Obr. 11 Fototyristor [2]

5 VYSÍLACÍ PRVKY FOTODETEKTORŮ

5.1 Luminiscenční diody

Luminiscenční diody LED (z angl. Light Emitting Diode) jsou v podstatě polovodičové prvky, které mají jeden přechod PN. Přiložením napětí v propustném směru přechodu a z toho proudu I_D dochází ke vstřikování elektronů do pásma P a děr do pásma N. Na obr. 12 je znázorněno energetické schéma přechodu PN, kterým neprotéká žádný proud a je v teplotní rovnováze. [4].



Obr. 12 - Energetické schéma PN přechodu, stav bez proudu [4]

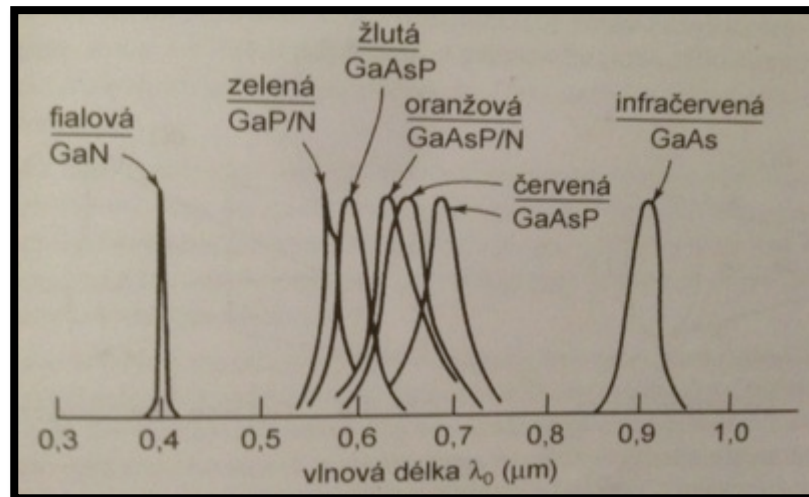
Aby se při vstřikování dostal elektron z energetické úrovně valenčního pásma E_1 na vyšší úroveň vodivého pásma E_2 musí se mu dodat minimální energie, která je nutná k přenosu.

Při obráceném procesu je tahle energie uvolňována. To zda se tahle energie uvolní ve formě tepla nebo ve formě světelných kvant, závisí na druhu rekombinace. Při nepřímé rekombinaci se přenese formou tepla a při přímé rekombinaci ve formě světla.[4]

K zvýšení účinnosti se musel objevit vhodný materiál. Typickým představitelem je GaAs (sloučenina prvků Galium a Arsen).

Pro GaAs s $E_G=1,43\text{eV}$ a při rychlosti světla c ve vakuu vychází vlnová délka $\lambda_0 = 0,9\mu\text{m}$. Tato vlnová délka leží téměř v infračerveném poli. GaAs je tedy vhodný materiál pro infradiody s vysokou kvantovou účinností. Mohou se však použít i polovodičové s nepřímou rekombinací. Ty vyvolávají vyzařující rekombinaci vytvořením tzv. izoelektrických poruchových míst. Důležitým představitelem je zde GaP (fosfid galitý). Dotací dusíkem nebo kyslíčnickem zinečnatým se dosáhne vyzařující rekombinace párů

elektron-díra, které jsou vázány na tato poruchová místa. Zbylá energie se ztratí formou tepla. Přesto zůstává kvantová účinnost u nepřímých polovodičů nízká. Volbou polovodičového materiálu a dotací s izoelektrickými poruchovými místy se může nastavit vlnová délka. Kvantová účinnost luminiscenčních diod ve viditelné oblasti je mnohem nižší než u infradiod, protože je u nich vyzařování založeno na nepřímé rekombinaci. Na obr. 13 je znázorněna vlnová délka a závislost barvy na ni [4].



Obr. 13 - Závislost barvy světla na vlnové délce [4]

Vlnové délky se však nevyskytují ve formě jednotlivých spektrálních čar, ale vykazují přibližně Gaussovo rozdělení. Příčinou jsou teplotně závislé různé energetické úrovně elektronů a děr, takže vznikají i různé rekombinační děje s různou pravděpodobností.

Vyzařující rekombinací vzniká v krystalu vnitřní vyzářený výkon, který je přibližně úměrný protékajícímu proudu I_D .

Vnitřní kvantová účinnost η je závislá na teplotě a tak při vyšších proudech vyzařovaný výkon vlivem vlastního tepla klesá. Stejně se projevují na kvantovou účinnost i vnější teplotní vlivy.

Při značném zjednodušení vychází pro GaAs, při proudu 100mA vnitřní vyzářený výkon 140mW. Reflexními ztrátami a absorpcí světla se dostane ven z polovodičového krystalu jen malý díl vytvořeného vyzařovaného výkonu. Celková účinnost po všech povrchových úpravách je asi 7%. Tak se redukuje skutečně vyzářený výkon na 10mW.

Při dodržení rezervy k mezní hodnotě výkonové ztráty a k teplotě přechodu polovodiče může být luminiscenční dioda provozována ve spínaném režimu. Tím se dosáhne mnohonásobného zvýšení okamžitého vyzářeného výkonu oproti statickému provozu. Infradiody mají typické doby náběhu a sestupu v rozpětí 400ns až $1\mu\text{s}$ a jsou tedy velmi vhodné pro pulzní provoz.

U vysílacích prvků se rozlišují provedení s rovným sklem a s optickou čočkou. První mají velký vyzářovací úhel a relativně menší zářivost. S přidavnými optickými systémy dovolují však velmi dobré zobrazení. Obzvláště dobře se luminiscenční diody s rovným okénkem hodí pro reflexní závory, kde je vyžadován paralelní chod paprsků.

U diod s čočkami je zářivost relativně velká a vyzářovací úhel malý.

Široké použití mají tyto prvky u reflexních senzorů pro krátký a střední dosah. Rovněž se toto provedení používá pro připojení ke světlovodičům.[4]

5.2 Laserové diody

Polovodičové lasery obsahují v každém případě vysoce dotovaný PN přechod na bázi GaAs.

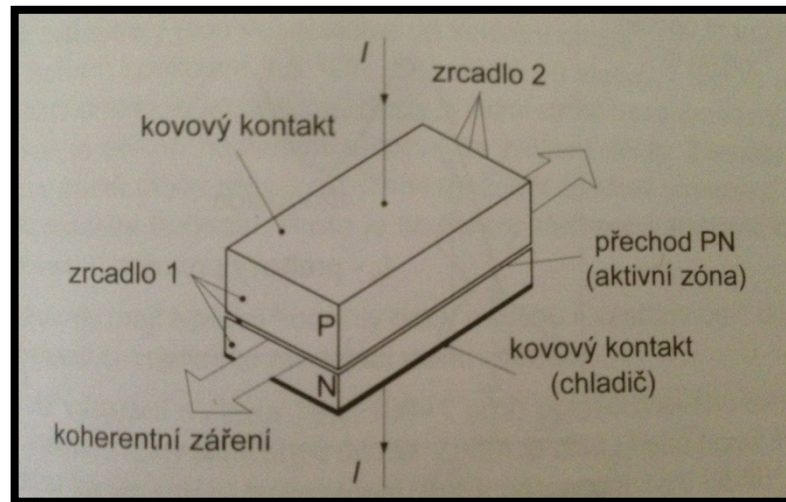
Stejně jako u luminiscenčních diod je vstřikování nosičů náboje vytvořen předpoklad pro vyzářující rekombinaci. Dva další podstatné jevy, tzv. indukovaná emise a optická rezonance v polovodičovém krystalu propůjčují laseru jeho typickou vlastnost a to emitovat koherentní světlo. Koherence znamená, že jednotlivá kvanta světla mají stále stejnou frekvenci a stále stejnou fázi.

Zcela naopak, než je tomu při spontánní emisi, která je u luminiscenčních diod a která se vyznačuje tím, že k rekombinacím dochází náhodně v libovolném časovém okamžiku, je u indukované emise rekombinační proces buzen rovnoměrně světlem vhodné frekvence $f=W/h$. Elektron může dostat podnět k emisi právě když stimulující světelná vlna dosahuje amplitudy. Tím jsou automaticky všechny emisní cykly koherentní.

Existuje zde zesilovací jev, při kterém slabé primární záření indukuje silné sekundární záření. Aby se tento proces udržel musí být vytvořena optická zpětná vazba. Tuto funkci plní optický rezonátor, který je naladěn přesně na frekvenci danou přechodem, protože v

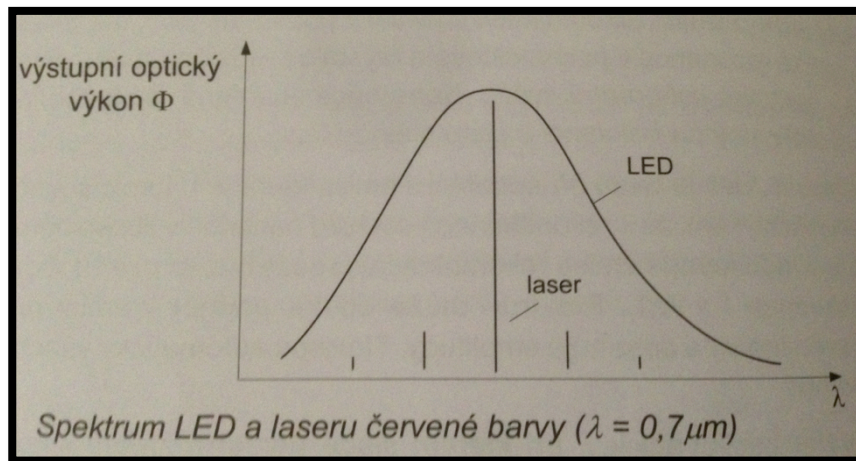
něm vzniká stojaté vlnění této frekvence, které je základním předpokladem indukované emise.

U polovodičových laseru je optický rezonátor vytvořen planoparalelními čelními plochami přechodu PN krystalu GaAs. Reflexe na těchto plochách se štěrbinou obnáší asi 30% a je tím dostatečně velká aby se dosáhlo žádaného efektu zpětné vazby. Zbylé světlo vystupuje na straně, v místě polopropustného zrcadla krystalu. Zrcadla se získají štípáním polovodičového materiálu podél krystalových ploch.[4]



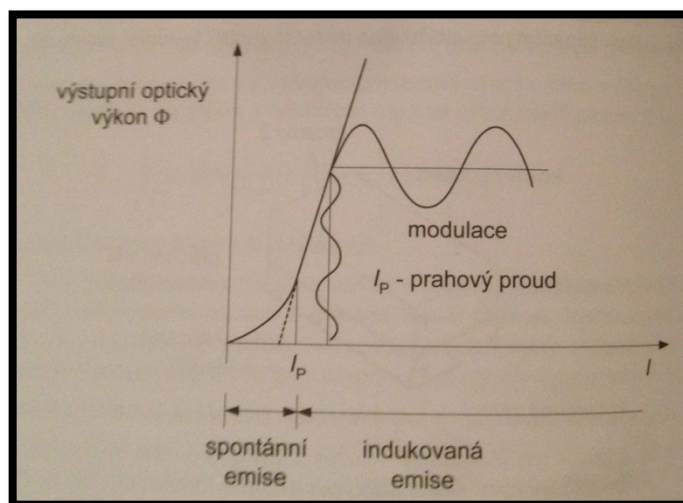
Obr. 14 - Polovodičový laser GaAs [4]

Na rozdíl od luminiscenčních diod je emisní spektrum laseru vlivem indukované emise a zesílení v rezonátoru velmi úzké (Obr. 15). Zatímco u diod je spektrum spojité, sestává ve většině případů spektrum laseru z diskrétních čar harmonických základní vlny. Speciálními opatřeními při vedení světla se nechá ze spektra prakticky vybrat jediná čára.[4]



Obr. 15 - Spektrum led a laseru červené barvy [4]

Pokud laserem protéká relativně malý proud, tak převládá spontánní emise. Ve spontánní emisi se laser chová jako luminiscenční dioda. Indukovaná emise je možná teprve tehdy, pokud proud překročí prahovou hodnotu I_p a zesilovací efekt rezonátoru je větší než absorpce. Pro překročení spontánní emise se používá při modulaci laseru pracovní bod charakteristiky, na kterém je potom uplatněna modulace (Obr. 16) [4].

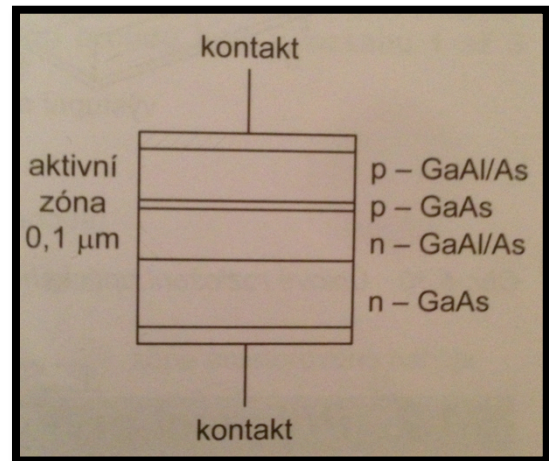
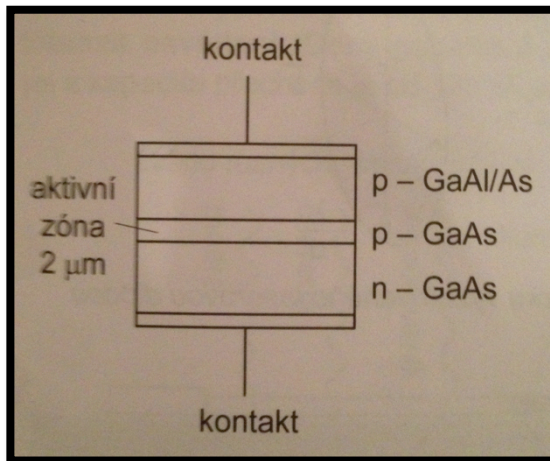


Obr. 16 - Světelná charakteristika polovodičového laseru [4]

U jednoduchých laserových PN diod dosahuje teplota vysokých hodnot už při pokojových teplotách. Prahový proud je závislý na třetí mocnině teploty. Vyzářený výkon tedy je 1 až 2 W.

S tím souvisí velmi silné ohřátí krystalu, tzv. heterogenní struktury mohou být použity pouze v pulzním režimu nebo za zvláštních podmínek.

Speciálním řešením je tzv. dvojitá heterogenní struktura (Obr. 18), díky které vznikly laserové diody, které lze použít za pokojových teplot. Tuhle dvojitou strukturu tvoří dva nebo tři polovodiče. Jednoduchá heterogenní struktura je zobrazena na obr. 17 [4].



Obr. 17 Jednoduchá heterogenní struktura [4]

Obr. 18 Dvojitá heterogenní struktura [4]

Prahový proud v tomto provedení je u dvojitě heterogenní struktury nižší a pohybuje se v rozpětí 20 až 100mA a může být dosaženo optického výkonu 5 až 50mW.

Na kolísání teploty jsou polovodičové lasery velmi citlivé. Teplotní koeficient prahového napětí je 1,5%/K. Tento jev je nebezpečný při klesání teplot, protože charakteristika laserové diody je velmi strmá a pracovní bod se do oblasti, kde je příkon nadlimitní a dojde k zničení diody. Z tohoto důvodu je potřeba teplotu v okolí diody hlídat. Jednou z možností je regulace výstupního výkonu na konstantní hodnotu. Proto je do laseru zabudováno čidlo teploty (monitorovací dioda).

Hodnota náběhu laserové diody je od 1 do 5ns a proto jsou vhodné pro vysokofrekvenční optickou modulaci.[4]

6 TECHNIKA FOTOELEKTRICKÝCH SENZORŮ

6.1 Základní principy a vlastnosti

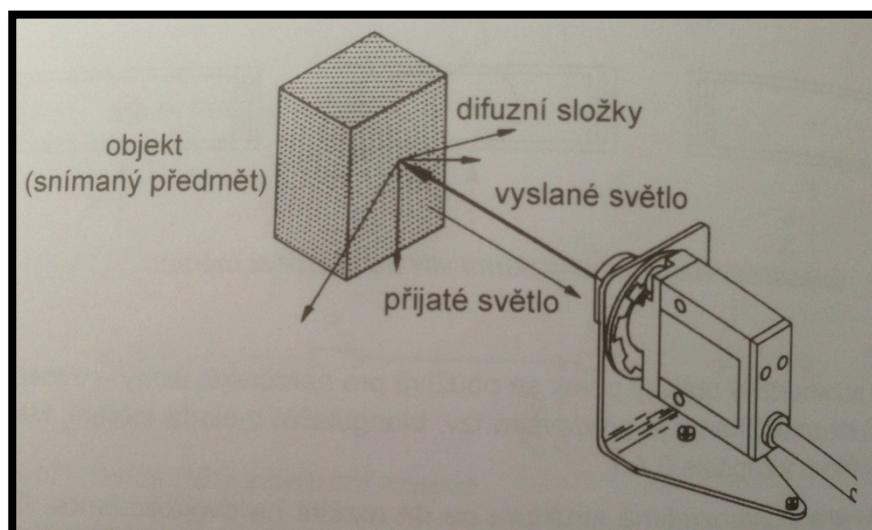
Fotosenzory lze rozdělit na tři základní skupiny:

- reflexní senzory
- reflexní senzory s odrazkou neboli reflexní závory
- senzory obsahující oddělený vysílač a přijímač neboli jednocestné závory

Většina fotosenzorů vznikla zvláště pro konkrétní aplikaci. Z toho plyne, že uvnitř každé skupiny se ještě vyskytují specifická provedení pro charakteristickou aplikaci.

6.1.1 Reflexní senzory

Reflexní senzory dle terminologie, která se používá u indukčních senzorů, mají nejbližší k senzorům přiblížení - zjišťují přítomnost nějakého určujícího předmětu. Pracují na principu snímání světelného výkonu a porovnávají ho s nastavenou hodnotou. Jejich využití je daleko větší. Lze s nimi změřit přesně vzdálenost a umí také zpracovat optické parametry jako jsou kontrast a barva. Podle optiky se rozlišuje několik provedení. Na obr. 19 je vidět činnost difuzního senzoru.

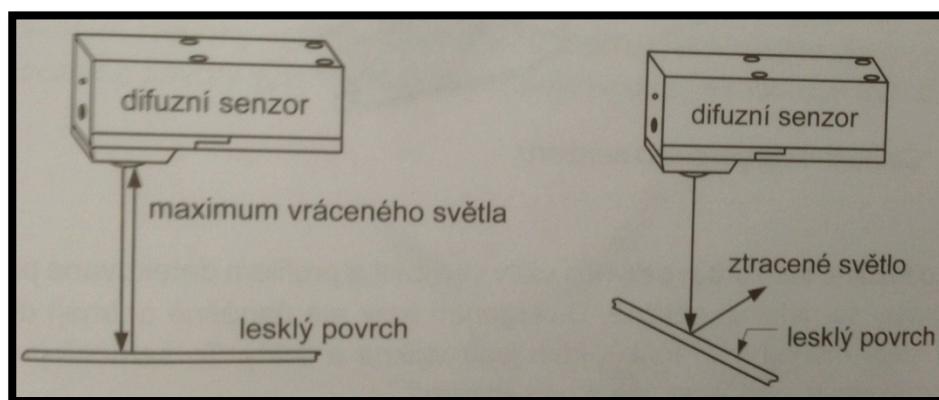


Obr. 19 Činnost difuzního senzoru [4]

U reflexních senzorů v difuzním provedení (Obr. 19) je světlo vyzářené vysílačem difuzně odraženo (reflexe) od opticky hrubého předmětu zpět k přijímači. Pokud dojde k

překročení nastavené amplitudy přijímaného signálu, je aktivován výstup senzoru. Snímaná oblast je u tohoto provedení závislá na odrazivosti objektu a citlivosti senzoru. Lze tedy říct, že světlý objekt má dlouho spínací vzdálenost a tmavý objekt naopak krátkou spínací vzdálenost. Pokud je pozadí světlého předmětu také světlé, pak snímání může být problematické.

Pro návrat co nejvíce vyzařené světla se používají čočky pro kolimaci paprsků. Zatímco na jedné straně čočky pomáhají ke zvětšení snímací vzdálenosti, tak na druhé straně zvyšují až kriticky citlivost na úhlu odklonění - hlavně u lesklých povrchů. Správná funkce u difuzních senzorů je garantována tehdy, pokud je lesklý povrch snímaného předmětu přesně paralelní s rovinou čočky (Obr. 20). Toho však nelze docílit u zaoblených předmětů. Je také důležité dávat si pozor při snímání běžících pásů fólií nebo tkanin, kde dochází k zakmitávání.

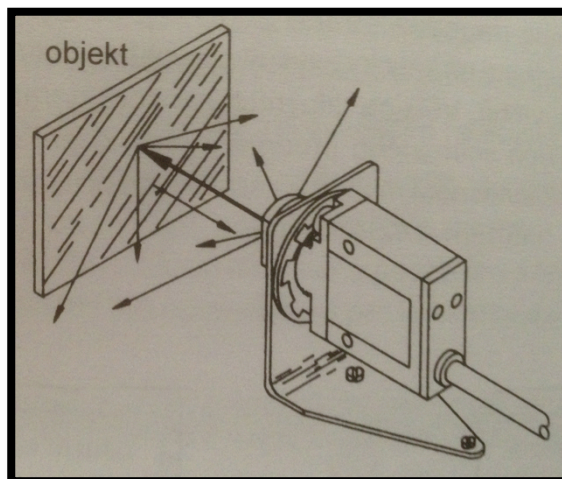


Obr. 20 Rovina předmětu musí být rovnoběžná s čočkou [4]

Typická spínací vzdálenost u reflexních senzorů je od 0 do 500mm. Pokud je potřeba mít větší dosah, tak je tento senzor považován za zvláštní provedení a to se odráží na ceně.

Reflexními senzory je možné snímat všechny opticky hrubé předměty, je možné snímání velmi malých předmětů. Jelikož se vyhodnocení provádí porovnáním amplitudy, je nutné aby optika byla čistá, pokud tomu tak není, potom by senzor mohl špatně vyhodnocovat amplitudu signálu a tím pádem posílat signál na výstup.

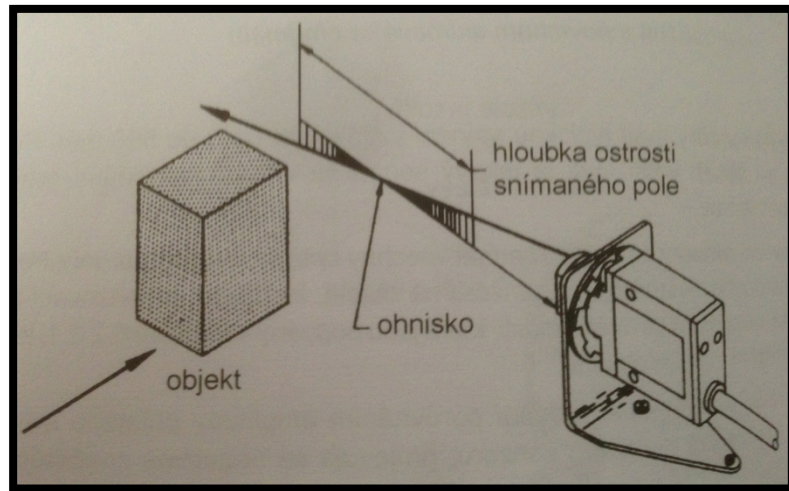
Pro detekci lesklých, průsvitných a vůbec zrcadlících se předmětů bylo vymyšleno divergentní provedení senzoru. Tenhle typ nemá kolimační čočky, tím se zkrátila spínací vzdálenost, ale senzor je méně závislý na úhlu odklonu, což jde vidět na obr. 21.



Obr. 21 Činnost divergentního senzoru [4]

Dosah je ovlivněn vždy velikostí a profilem detekované plochy. Čím menší předmět, tím obtížněji se detekuje. Divergentní typy umí snímat dlouhé předměty, které mohou být i tenké, jako jsou například vlákna a dráty. Samozřejmě jen z malé vzdálenosti asi 2 cm, podle typu senzoru.

Konvergentní senzor je takový, který je účinný při snímání malých bodových předmětů. Využívá čočku, která zaostřuje světlo vysílače do ohniska. Přijímač musí být vybaven čočkou se stejnou ohniskovou vzdáleností. Senzor je definován spínací vzdáleností a barvou světla intenzivního snímaného bodu (Obr. 22).

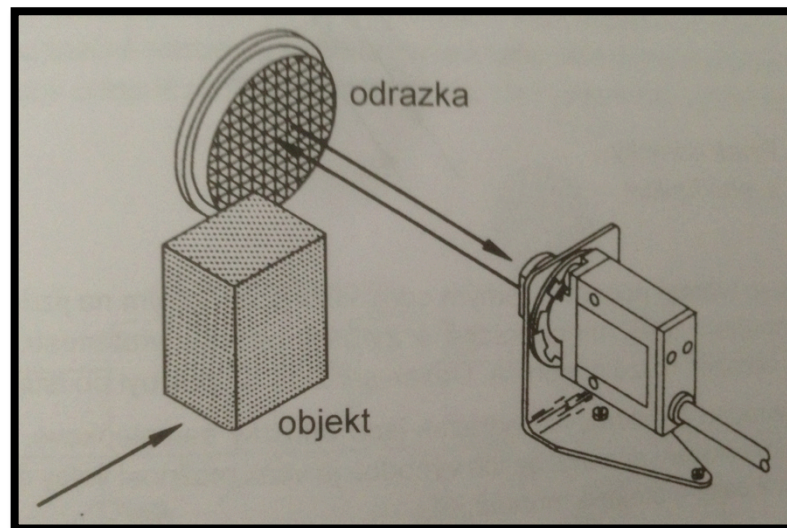


Obr. 22 Činnost konvergentního senzoru [4]

Výhodou konvergentního senzoru oproti difuzním a divergentním je, že umí sejmout malé předměty, ale i materiály s velmi špatnou reflexí.

6.1.2 Reflexní závora

U reflexní závory (Obr. 23) vysílač vyzařuje světlo, které se odráží od odrazky a při přerušení optické dráhy paprsku dojde k aktivování výstupu senzoru. Reflexní závory mají dosah 0,1 až 10 m.

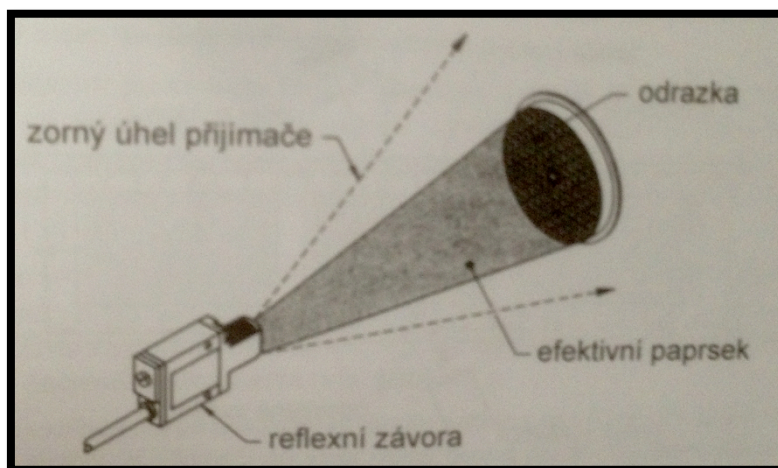


Obr. 23 Činnost reflexní závory [4]

Reflexní závory umožňují pouze zjišťování netransparentních objektů. Díky reflektoru se vrátí přijímači mnohem větší světelný výkon oproti předchozím sensorům. To umožňuje

daleko větší snímací vzdálenost. Znečištění optiky a změny vlastností objektu zde mají mnohem menší vliv.

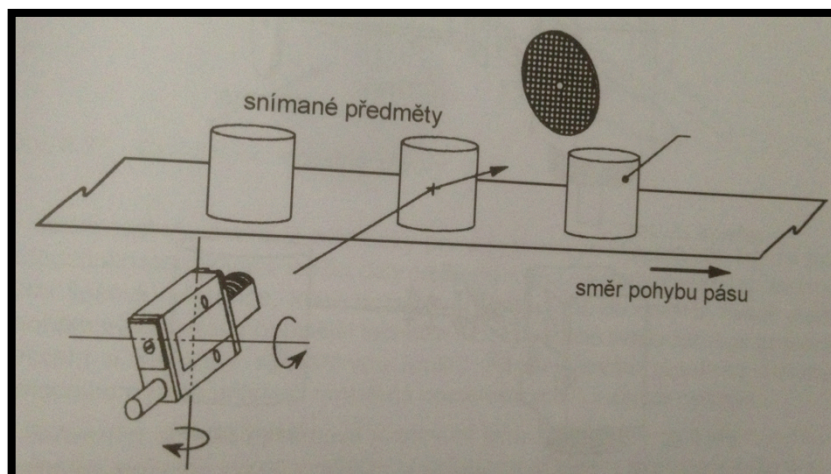
Důležitý prvek reflexní závory je odrazka neboli reflektor. Efektivní paprsek má tvar kužele, jehož základnou je odrazka (Obr. 24).



Obr. 24 Efektivní paprsek reflexní závory [4]

Odrázky se vyrábí lisováním odolného plastu. Sestávají z malých trojbokých hranolků, které mají podobu odříznutých rohů krychle a tím pádem jsou prostorové. Odrázka se podobá odrazkám na jízdních kolech. Má mnohem lepší mechanické a optické vlastnosti. Kvalita odrazky ovlivňuje dosah senzoru. Náhradou prostorové odrazky může být odrazka samolepící, to vede k ještě většímu snížení dosahu.

Dobrý reflektor vrací senzoru asi 3000krát více světla než bílý papír, reflexní závora zjistí jen světlo odražené od reflektoru. Pokud objekt, který přeruší paprsek je velmi reflexní, je nutné udělat opatření, aby se tohle světlo nedostalo k senzoru. Někdy stačí jednoduché řešení v podobě odklonění senzoru, jako na obr. 25.



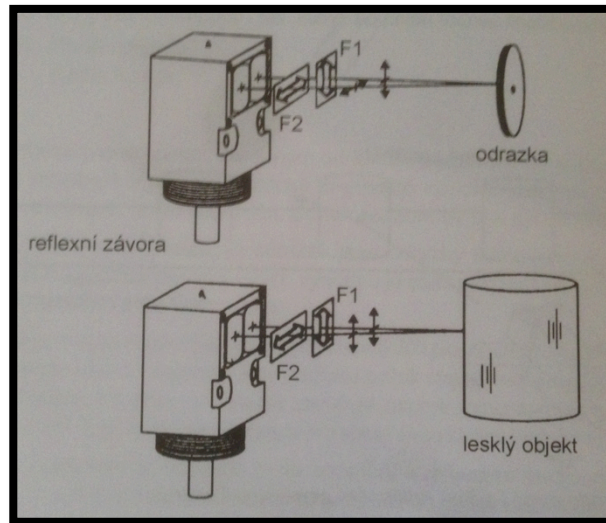
Obr. 25 Odklonění senzoru při snímání lesklých předmětů s rádiusem [4]

V době, kdy se používalo infravětlo u reflexních závor, bylo zrcadlení ještě záludnější v tom, že nebylo vizuálně zjistitelné.

U LED technologii je výrazná výhoda zraková kontrola nastavení světelné stopy doprostřed obrazovky. Také se zjednodušilo nastavení u jednocestných světelných závor, kde je možné na místě přijímače použít list papíru.

Další výhoda viditelného LED světla je možnost aplikovat na senzoru polarizační filtry. Tím vzniklo nové provedení závor a to reflexní světelná závora s polarizačním filtrem. Tohle řešení senzorů úspěšně zvládá problémy spojené se zrcadlením (Obr. 26).

Světlo z vysílače má po průchodu lineárním polarizačním filtrem F1 už jen vertikální kmitavou složku. K přijímači se však může dostat jen horizontálně polarizovaná složka, protože filtr F2 je vodorovný. Prostorové odrazky otáčí polarizační rovinu světla o 90° . Tím docílíme aby se k přijímači dostala jen potřebná horizontální komponenta. Tak se jednoznačně pozná reflektor. Zrcadlící objekt polarizační rovinu neotočí a světlo se vrací v původní polarizaci, takže vertikální složka zůstane zachována. Vertikální filtr přijímače je pro vertikální složku nepropustný a díky tomu je zrcadlící objekt bezpečně poznán podle kritéria přerušení.

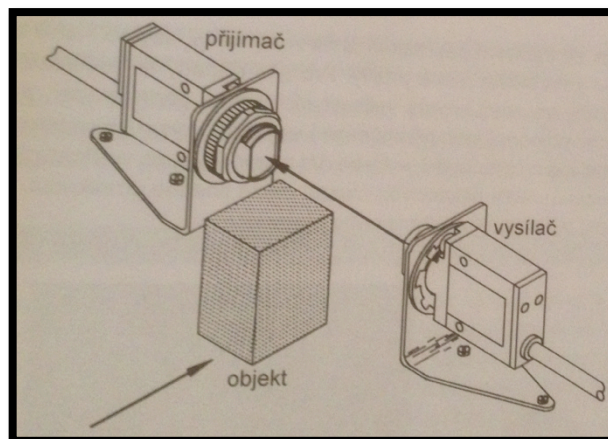


Obr. 26 Funkce filtrů při snímání lesklých objektů

6.1.3 Jednocestná závora

Při velmi silném zrcadlení, kdy ani naklonění a polarizační filtry nepomáhají, je nutné použít jednocestnou závoru.

Princip jednocestné závory je vyobrazen na obr. 27. Vysílač vyzařuje světlo, které po uběhnutí optické dráhy dopadá na přijímač. Pokud dráhu přerušíme objektem, tak dojde k aktivování výstupu senzoru.



Obr. 27 Činnost jednocestné závory [4]

Pomocí jednocestné závory lze snímat předměty až do vzdálenosti 200m. Podmínkou je vzájemná stabilita vysílače a přijímače.

Dříve se nepoužívalo modulové světlo a díky tomu bylo těžké jednocestné senzory nastavit a nebyly moc spolehlivé. Dnešní výkonné modulové světlo zaručuje snadné nastavení a spolehlivost v průmyslovém prostředí. Možným pomocníkem je na přijímači umístěná optoelektronická indikace seřízení.

Senzory jsou správně seřizeny tehdy, pokud se k přijímači dostane maximální možné množství světla od vysílače. U jednocestné závory to znamená, že přijímač a vysílač musí být proti sobě v optické ose.

Spínací vzdálenost je u každého senzoru specifická. Jedná se o maximální funkční vzdálenost mezi vysílačem a přijímačem. Pracovní část paprsku nazýváme Efektivní paprsek. Aby byl objekt detekován, tak musí být efektivní paprsek spolehlivě přerušen. Efektivní paprsek u jednocestných senzorů je možné si představit jako tyč, která spojuje čočku vysílače s čočkou přijímače. Když budou mít čočky různé průměry, tak tyč bude kónická. Paprsek by neměl být zaměňován s vyzařovací charakteristikou vysílače nebo zorným polem přijímače. Může se stát, že efektivní paprsek je velký na to, aby mohl detekovat malé části nebo nízké profily. Tomuto lze předejít pomocí clon s otvory, které se dávají před čočky, aby zredukovali velikost efektivního paprsku. Většinou se tyto clony dají dokoupit jako příslušenství k senzorům.

Stejně jako u reflexních závor, tak i tady se dají detekovat pouze netransparentní objekty. Dokáží však detekovat zrcadlící objekty, což reflexní závory neumí. Zašpiněná optika se u těchto senzorů projevuje nejméně.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

7 SEZNÁMENÍ S PRAKTICKOU ČÁSTÍ

Úkolem praktické části je navrhnout a realizovat laboratorní úlohu určenou pro dotykové měření. Úloha bude po zhotovení a kontrole sloužit k laboratorním účelům předmětu Senzory v rámci výuky na Fakultě aplikované informatiky University Tomáše Bati ve Zlíně. Předmět bude zaměřen na výuku senzorů a to nejen fotoelektrických, ale i spousty dalších, které se využívají v oboru automatizace, se kterým se můžeme setkat ve všech odvětvích průmyslu a to i v Bezpečnostním průmyslu. Student předmětu Senzory získá celkový přehled o senzorech založených na různých fyzikálních principech a seznámí se s jejich chováním v praxi. Jedná se o velice širokou a náročnou oblast. Pro doplnění a k lepšímu porozumění bude použita laboratoř, ve které bude tahle úloha obsažena. Součástí této praktické části bude návrh a následná realizace úlohy. V poslední části bude naměřen vzorový protokol na vybraných senzorech a v neposlední řadě bude praktická část obsahovat návrh protokolu do laboratorních cvičení.

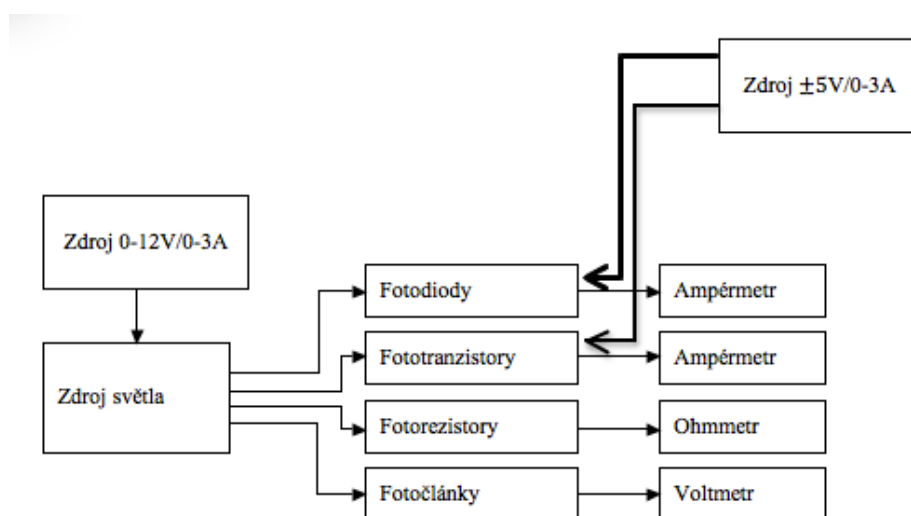
Úloha bude vypracována jednoduše pro její lepší pochopení a názornost. Na inovování laboratoře pracují s více studenty a je podmínkou dodržet jednotvárný vzhled a možnost rozšíření úlohy v budoucích letech, aby se zachovala aktuálnost. Z toho plyne, že je velice důležitá komunikace s lidmi, kteří se na inovaci laboratoře podílí.

8 NÁVRH EXPERIMENTÁLNÍ ÚLOHY PRO VÝUKOVÉ ÚČELY S VYUŽITÍM VYBRANÝCH SENZORŮ

Celkový tvar zadané úloze dodají kovové desky od firmy Merkur, které budou sloužit jako podstava a stěna, na kterou bude uchycena žárovka pomocí speciálně vyrobeného držáku z plechu. Žárovka bude sloužit jako zdroj světla a bude připojena na samostatný zdroj el. proudu, pomocí kterého bude možné regulovat intenzitu světla. Na podstavu bude přišroubována svorkovnice, pro připojení kabeláže vedoucí od fotosenzorů, která bude pokračovat dále a bude ukončena banánky, pomocí níž se budou senzory připojovat do měřících zařízení. U fotodiod a fototranzistorů bude nutné počítat s připojením na zdroj el. napětí, aby měly správné zesílení a zamezilo se podobného chování jako u fotočlánků. Fotodetektory budou připevněny na pájivé pole, kde budou napevno připájeny a budou ležet přímo na desce, aby se částečně zamezilo jejich poškození. Budou připájeny ze strany, která nebude viditelná. Bude natočena směrem ke kovové desce. Pájivé pole bude umístěné 2 cm nad kovovou deskou pomocí distančních podložek a následně připevněno šroubovým spojem. Proto bude nutné do pole udělat 4 prostupy vrtákem.

Cílem úlohy bude, že student předmětu Senzory si vybere čtyři fotodetektory s různými fyzikálními vlastnostmi a na každém provede 11 měření v rozsahu 2 až 12 V, vždy 10 měření v každém bodě na každém senzoru a vypracuje protokol.

8.1 Blokové schéma zapojení



Obr. 28 Blokové schéma zapojení

8.2 Rozbor vybraných fotoelektrických senzorů

Do práce byly po konzultaci s vedoucím práce vybrány fotodetektory podle velikosti fotocitlivé plochy, kvůli znázornění, jak velký význam fotocitlivá plocha má. Z toho důvodu se v práci objeví senzory s malou fotocitlivou plochou, ale i s velkou fotocitlivou plochou. Zároveň také s velkým a malým zorným úhlem. Dalším kritériem a zároveň trochu omezením byly finance a dostupnost senzorů. Jelikož úloha bude umístěna v laboratoři, kde na ní budou probíhat měření, je důležité použít levnější a snadno dostupné senzory, pro jejich možnou výměnu v případě poškození, kdyby došlo k jejich poškození při měření.

8.2.1 Fotodiody

Při výběru fotodiody mezi hlavní kritéria patří vlnová délka v bodu maximální citlivosti, délka vlny λ_d , zorný úhel, velikost fotocitlivé plochy a závěrný proud při 1klx.

a) VISHAY BPW20RF

Jedná se křemíkovou fotodiodu s PN přechodem, která je hermeticky uzavřena. Využití nachází pro vysoce přesné lineární aplikace. Tuhle fotodiodu jsem si vybral z důvodu velké fotocitlivé plochy a vlnové délky v bodu maximální citlivosti.



Obr. 29 VISHAY BPW20RF [11]

Typ fotopřijímače	fotodioda
Vlnová délka v bodu max. citlivosti	920nm
Délka vlny λ_d	550-1040nm
Zorný úhel	100°
Fotocitlivá plocha	7,5mm ²
Závěrný proud při 1klx	60 μ A
Montáž	THT

Tab. 1 Specifikace VISHAY BPW20RF[11]

b) HUEY JANN ELECTRONIC HPDB3J-44DA

Fotodioda s menším zorným úhlem a také s menší fotocitlivou plochou než předchozí fotodioda VISHAY.

Typ fotopřijímače	fotodioda
Vlnová délka v bodu max. citlivosti	900nm
Délka vlny λ_d	500-1000nm
Zorný úhel	50°
Fotocitlivá plocha	6,5mm ²
Montáž	THT

Tab. 2 Specifikace HUEY JANN HPDB3J-44DA [11]



Obr. 30 HUEY JANN HPDB3J-44DA [11]

c) HUEY JANN ELECTRONIC HPDB5K-15A

Fotodioda s největším zorným úhlem, kterou jsme vybrali.

Typ fotopřijímače	fotodioda
Vlnová délka v bodu max. citlivosti	900nm
Délka vlny λ_d	760-1000nm
Zorný úhel	120°
Fotocitlivá plocha	7,16mm ²
Montáž	THT

Tab. 3 Specifikace HUEY JANN HPDB5K-15A [11]



Obr. 31 HUEY JANN HPDB5K-15A [11]

d) HUEY JANN ELECTRONIC HPDB1B-48D

Fotodioda s nejmenším zorným úhlem a také s nejmenší fotocitlivou plochou. Bude zajímavé pozorovat její chování při měření v porovnání s ostatními fotodiodami.

Typ fotopřijímače	fotodioda
Vlnová délka v bodu max. citlivosti	900nm
Délka vlny λ_d	500-1100nm
Zorný úhel	40°
Fotocitlivá plocha	0,19mm ²
Montáž	THT

Tab. 4 HUEY JANN HPDB1B-48D [11]



Obr. 32 HUEY JANN HPDB1B-48D [11]

8.2.2 Fototranzistory

a) BPW40

Typ fotopřijímače	fototranzistor
Vlnová délka v bodu max. citlivosti	780nm
Napětí kolektor emitor	32V
Zorný úhel	20°
Čočka diody	čirá
Montáž	THT

Tab. 5 Specifikace BPW40 [11]



Obr. 33 BPW40 [11]

b) HUEY JANN ELECTRONIC HPTB1-48B

Pouzdro	PIN
Typ fotopřijímače	fototranzistor
Vlnová délka v bodu max. citlivosti	900nm
Napětí kolektor emitor	30V
Zorný úhel	40°
Čočka diody	čirá
Montáž	THT

Tab. 6 Specifikace HUEY JANN HPTB1-48B [11]



Obr. 34 HUEY JANN HPTB1-48B [11]

c) OSRAM BPX81-3

Typ fotopřijímače	fototranzistor
Vlnová délka v bodu max. citlivosti	850nm
Napětí kolektor emitor	32V
Zorný úhel	36°
Proud při osvětlení ($U_{ce}=5V, \lambda=950nm$)	0,4-0,8mA
Proud za tmy	200nA
Montáž	THT

Tab. 7 Specifikace OSRAM BPX81-3 [11]



Obr. 35 OSRAM BPX81-3 [11]

8.2.3 Fotorezistory

U výběru fotorezistorů mezi kritéria patří odpor při různých intenzitách osvětlení. Nejčastěji se uvádí odpor při 100 lx, 10 lx a 0 lx.

a) PERKIN ELMER A106012

Typ fotopřijímače	fotorezistor
Vlnová délka v bodu max. citlivosti	600nm
Výkon	90mW
Odpor při 100 lx	5k Ω
Odpor při 10 lx	32k Ω
Odpor při 0 lx	180k Ω
Pracovní teplota	-20...70°C
Napájecí napětí	150V DC
Montáž	THT

Tab. 8 Specifikace PERKIN ELMER A106012 [11]



Obr. 36 PERKIN ELMER A106012 [11]

b) PERKIN ELMER A906013

Typ fotopřijímače	fotorezistor
Vlnová délka v bodu max. citlivosti	600nm
Výkon	90mW
Odpor při 100 lx	8k Ω
Odpor při 10 lx	94k Ω
Odpor při 0 lx	500k Ω
Pracovní teplota	-20...70°C
Napájecí napětí	150V DC
Montáž	THT

Tab. 9 Specifikace PERKIN ELMER A906013 [11]



Obr. 37 PERKIN ELMER A906013 [11]

c) FR48/1M

Typ fotopřijímače	fotorezistor
Výkon	175mW
Odpor při 10 lx	72k Ω
Odpor při 0 lx	1000k Ω
Pracovní teplota	-40...75°C
Montáž	THT

Tab. 10 Specifikace FR48/1M [11]

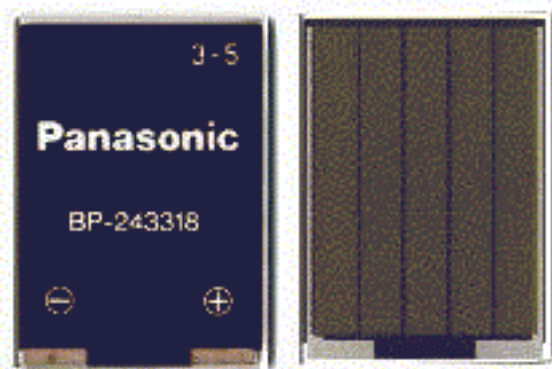


Obr. 38 FR48/1M [11]

8.2.4 Fotočlánek

Panasonic BP-243318

Fotočlánek byl dodán vedoucím práce. Jedná se o starší typ fotočlátku Panasonic. Bohužel k němu nebyly dohledány žádné technické dokumentace.



Obr. 39 Panasonic BP-243318

9 REALIZACE A OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI EXPERIMENTÁLNÍ ÚLOHY

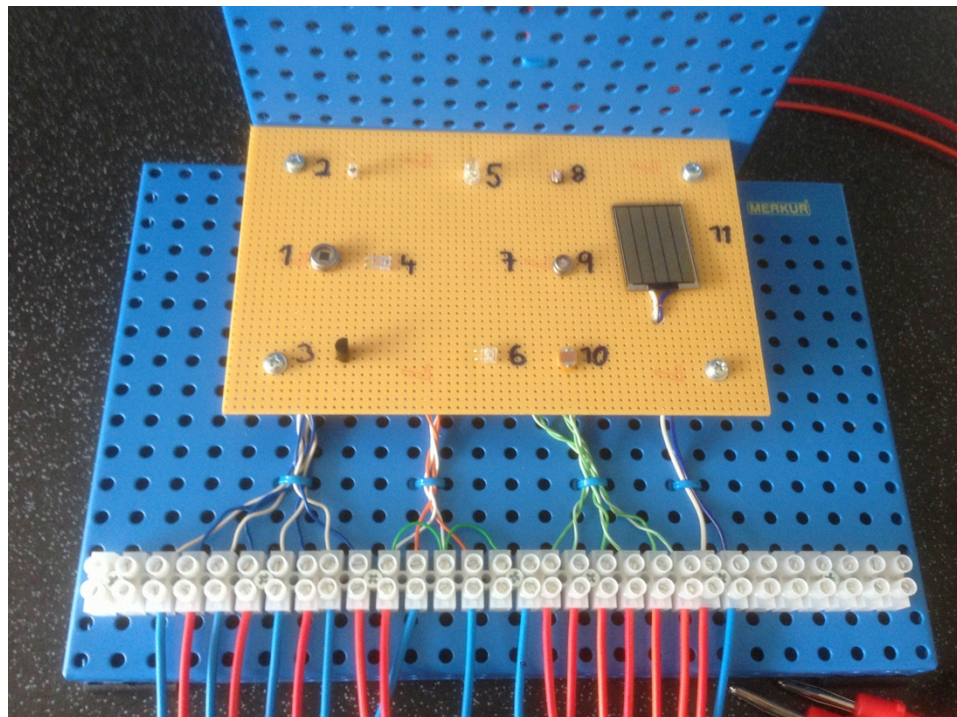
Po předchozím návrhu, výběru senzorů a konstrukčních prvků je možné začít úlohu realizovat. Bohužel nedorazily všechny vybrané senzory a jeden chybí (Osram BPX81-3). Jakmile senzor bude dodán, tak bude do laboratorní úlohy doplněn.

Základem celé úlohy jsou kovové desky Merkur. V prvním kroku jsem tyto desky spojil do pravoúhlého tvaru a to vše pomocí šroubků a matek. Dalším krokem byla montáž svorkovnice na podstavu. Následovalo navrtání pájivého pole kvůli uchycení k podstavě a také jedné dírky k provlečení kabelů k fotočlátku. Po navrtání pole se mohlo přejít k připájení fotodetektorů. Fotodetektory byly zasunuty co nejnižší k desce, aby se předešlo k možnému přerušení nožiček detektoru, a z druhé strany pole byly připájeny. Zároveň při pájení detektorů bylo nutné připájet od každého vývodu detektoru jeden kabel, pomocí kterého byly senzory připojeny do svorkovnice. Následným krokem bylo ověření žárovky zda dostatečně osvětluje celou plochu pole, kde jsou detektory připájeny. Zjistilo se, že žárovka je uchycena moc blízko nad detektory a bylo nutné ji vysunout výš. To se podařilo díky obdélníkovému tvaru kovové desky Merkur. Zadní deska místo na šířku, jako u ostatních úloh, byla umístěna na výšku. Tohle vyřešilo celý problém s nedostatečným osvětlením pole s detektory. Poté se mohla patice žárovky přišroubovat do speciálně vyrobeného držáku z plechu a uchytit ke kovové zadní desce. Žárovka je pouze nasunuta v patici, což umožňuje její snadnou výměnu za jinou. Výměna žárovek umožňuje více variant měření. Po připojení žárovky následovalo vyrobení kabeláže, která bude vyvedena ze svorkovnice, do které jsou přivedeny vývody od detektorů, a bude zakončena banánky. Banánky budou sloužit pro připojení do měřících zařízení a zdrojů. Po připojení banánků do měřících zařízení zdrojů, bylo možné odzkoušení všech detektorů. Ukázalo se, že fotodiody jsou nefunkční. Po dohledání příčiny se ukázalo, že je nutné fotodiody přepólovat, kvůli většímu zesílení. Po opravení této chyby, již bylo možné napevno připevnit pájivé pole ke kovové desce. Mezi desku a pole bylo však nutné vsunout distanční podložky, jednak kvůli vodivé kovové desce, která by mohla detektory zkratovat, tak také kvůli kabeláži a vizuálnímu dojmu.

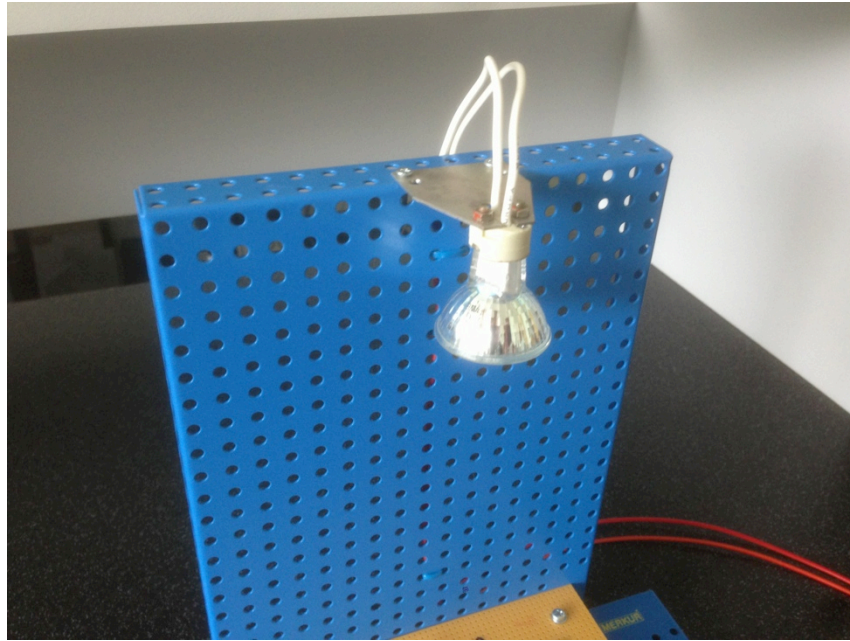
Detektory jsou označeny čísly na obrázku 40, stejně jako v tabulce 11.

1. VISHAY BPW20RF (fotodioda)
2. HUEY JANN ELECTRONIC HPDB3J-44DA (fotodioda)
3. HUEY JANN ELECTRONIC HPDB5K-15A (fotodioda)
4. HUEY JANN ELECTRONIC HPDB1B-48D (fotodioda)
5. BPW40 (fototranzistor)
6. HUEY JANN ELECTRONIC HPTB1-48B (fototranzistor)
7. OSRAM BPX81-3 (fototranzistor)
8. PERKIN ELMER A106012 (fotorezistor)
9. PERKIN ELMER A906013 (fotorezistor)
10. FR48/1M (fotorezistor)
11. Panasonic BP-243318 (fotočlánek)

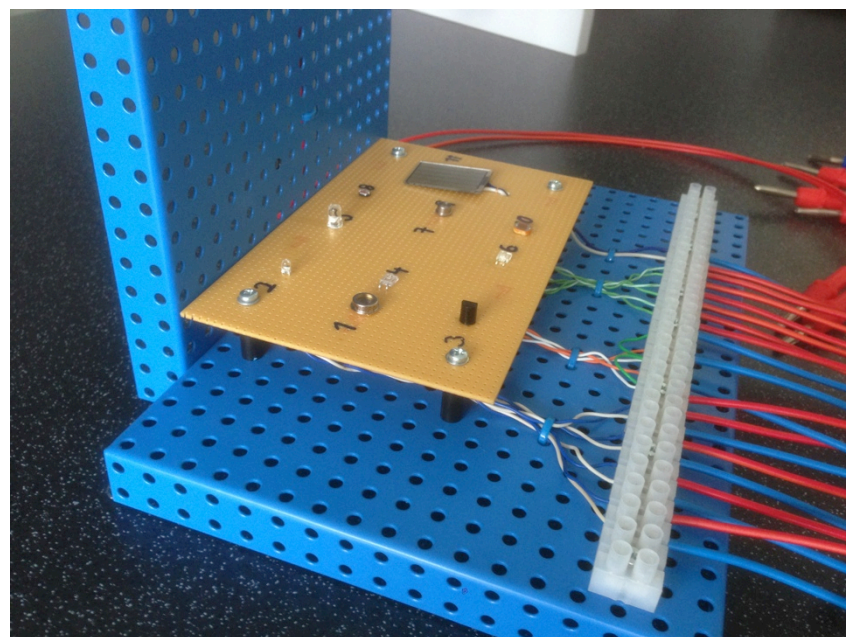
Tab. 11 Seznam senzorů



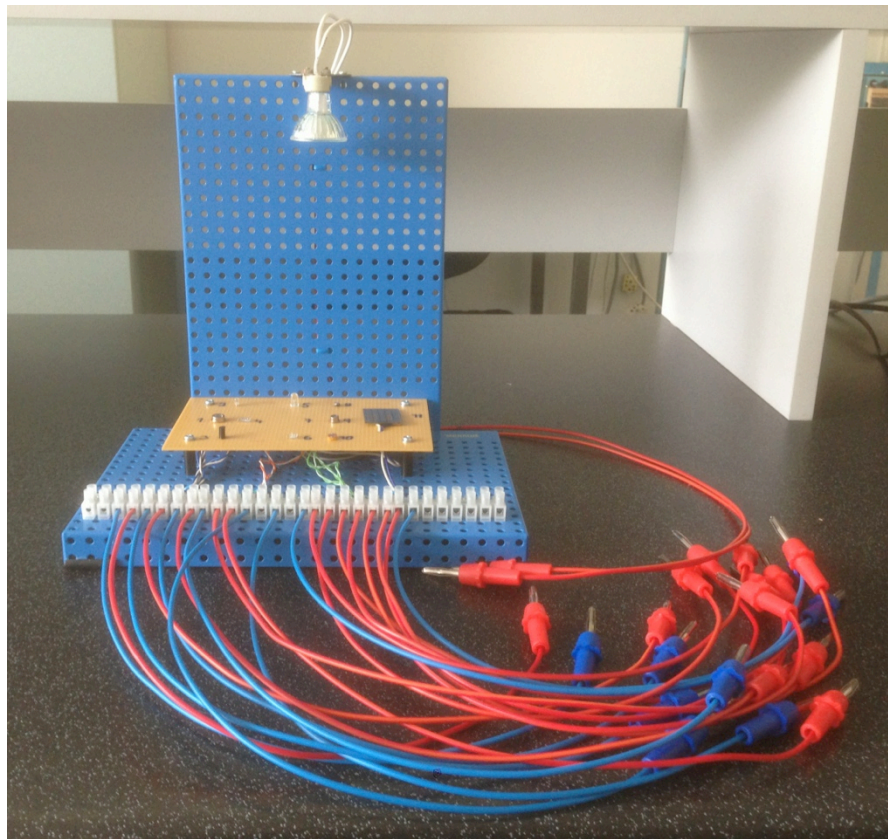
Obr. 40 Pájkové pole s detektory



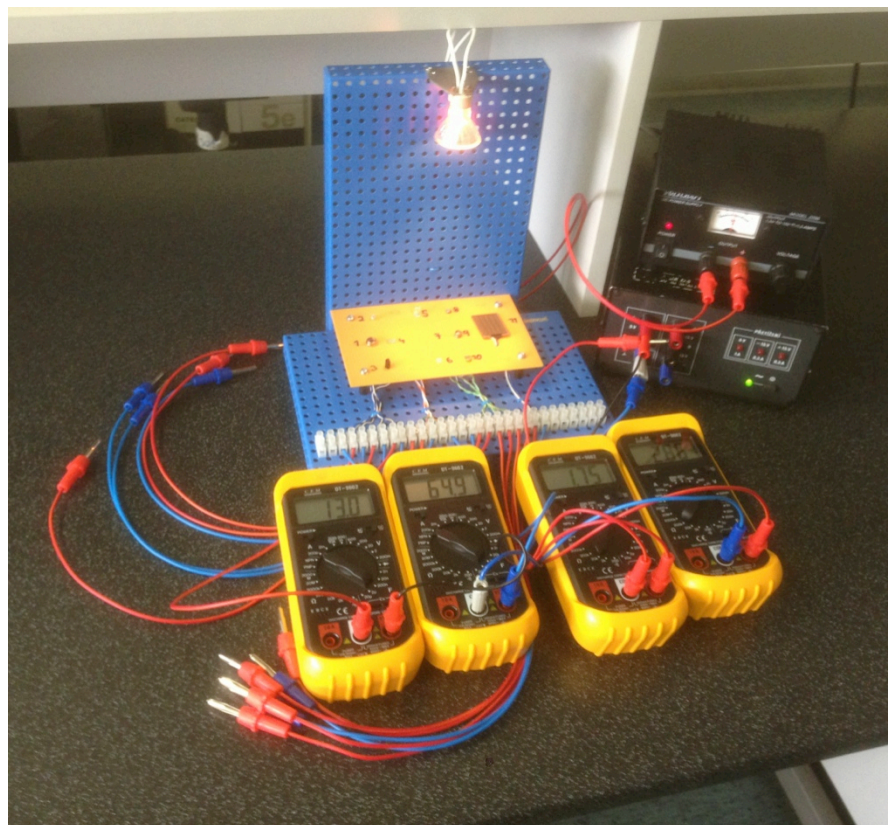
Obr. 41 Žárovka zapojená v patici



Obr. 42 Pájivé pole - uchycení



Obr. 43 Kompletní laboratorní úloha



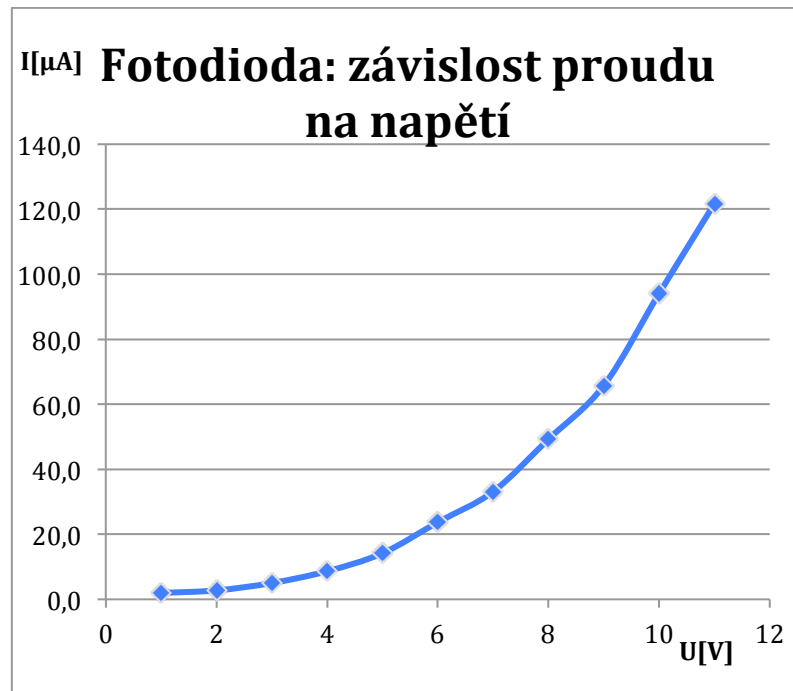
Obr. 44 Zapojená laboratorní úloha

9.1 Ověření funkčnosti experimentální úlohy

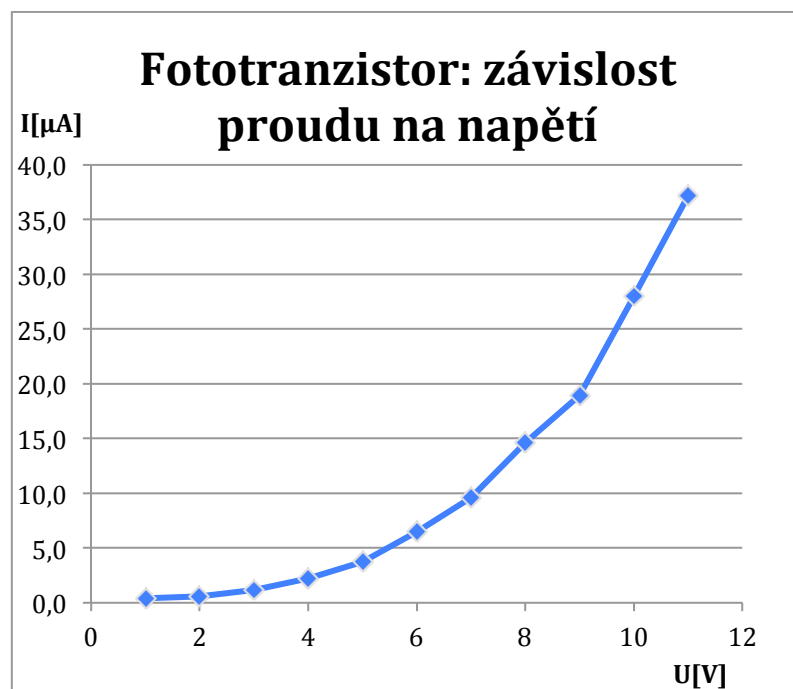
Po realizaci úlohy bylo možné ověřit její funkčnost. Po připojení napájení a měřících přístrojů se zjistilo, že všechny detektory fungují a úloha je plně funkční. Jako důkaz funkčnosti byla naměřena laboratorní úloha se čtyřmi různými detektory, každý s jiným fyzikálním principem. Výsledky byly zpracovány do tabulek a grafů, které jsou součástí protokolu z měření a jsou uvedeny jako Příloha P I. Návrh zadání měření s realizovanou úlohou je uveden v externí Příloze P II.

9.2 Zhodnocení výsledků

Pro měření byl vybrán vždy jeden senzor s jiným fyzikálním principem. Fotodioda byla vybrána s velkou fotocitlivou plochou a naopak fototranzistor s malou fotocitlivou plochou. Na grafu 1 je zobrazena fotodioda a z grafu lze vyčíst, že maximální proud dosahoval hodnot přes $120 \mu\text{A}$. Fototranzistor je na grafu 2 a jeho maximální proud byl $38 \mu\text{A}$. Po nanesení výsledků do grafů, je zřejmé, že fotodioda a fototranzistor mají podobný průběh a to exponenciální. U fotorezistorů se jejich odpor prudce zmenšuje v rozmezí 3-6V, v jiných napěťových rozmezích odpor fotorezistoru klesá podstatně pomaleji. Napětí na fotočlánek při maximální intenzitě osvětlení vystoupalo na 3,5V, ale když na fotočlánek dopadalo pouze denní světlo, tak i přesto bylo výstupní napětí 2,4V. Proto se fotočlánek používá jako zdroj malých spotřebičů. Veškeré naměřené charakteristiky jsou zobrazeny níže.



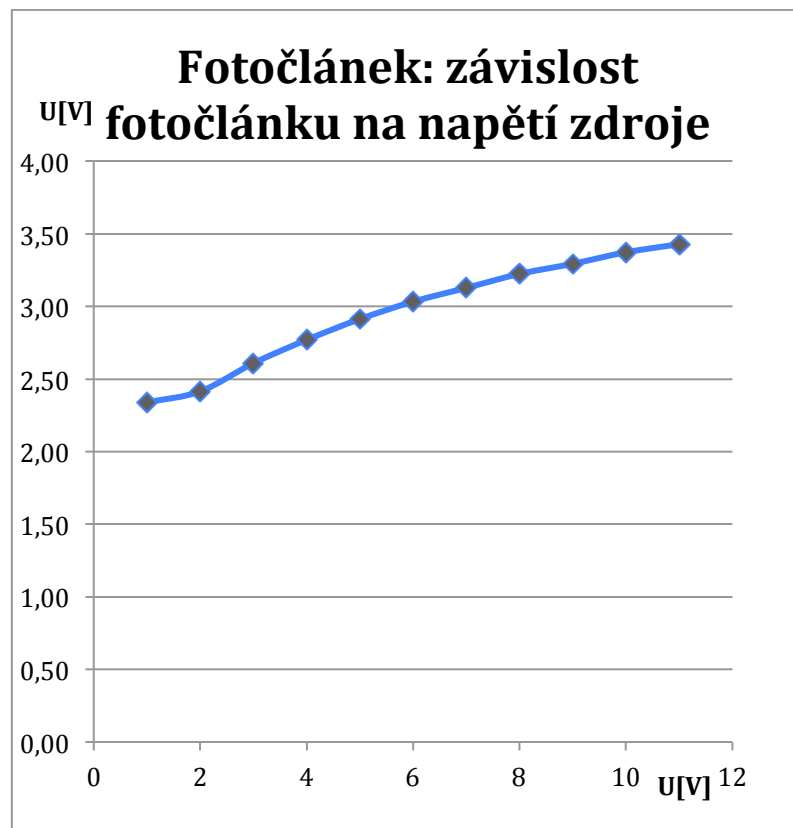
Graf 1 Závislost proudu fotodiody na napětí žárovky



Graf 2 Závislost proudu fototranzistoru na napětí žárovky



Graf 3 Závislost odporu fotorezistoru na napětí žárovky



Graf 4 Závislost napětí fotočláneku na napětí žárovky

ZÁVĚR

Cílem práce bylo přiblížení problematiky fotoelektrických senzorů, jejich principů funkce, na kterou je zaměřena teoretická část práce. Fotoelektrické senzory se liší jejich fyzikálním principem, podle kterého vyhodnocují intenzitu dopadajícího světla. Základní dělení fotoelektrických senzorů je na fotodiody, fototranzistory, fotorezistory a fotočlánky. Všechny uvedené součástky kromě fotorezistorů používají PN přechod k vyhodnocení změny. Při narůstání světelné intenzity dopadající na PN přechod dochází k zvýšení tvorby elektron-díra v PN přechodu a tím se zvyšuje vodivost součástky. U fotorezistorů se vzrůstající intenzitou dopadajícího světla na součástku, se snižuje odpor součástky a tím se zvyšuje její vodivost.

Hlavním úkolem praktické části bylo realizovat experimentální úlohu do laboratorních cvičení předmětu Senzory, který se bude vyučovat na Fakultě aplikované informatiky, University Tomáše Bati. Do realizace laboratorní úlohy byly vybrány senzory podle velikosti jejich fotocitlivých ploch, aby se poukázalo na to, jaký vliv tahle skutečnost má. Do práce bylo vybráno 11 senzorů, ale bohužel dodavatel nemohl vše doručit a v úloze jeden senzor chybí, po dodání však bude do úlohy doplněn. Také bylo nutné vybírat senzory podle ceny a jejich dostupnosti, kvůli možné výměně z důvodu poškození. Po realizaci laboratorní úlohy bylo nutné změnit polaritu fotodiody, kvůli zesílení, které bylo před tím skoro nulové. Po dokončení realizace došlo k ověření její funkčnosti a naměření vzorového protokolu. Při měření bylo zjištěno, že fotorezistory při malé intenzitě osvětlení vykazují nestabilní chování. Naopak ostatní fotodetektory vykazovaly stabilní chování a byly na nich vždy naměřeny stabilní hodnoty. Protokol z měření je uveden v Příloze P I.

Přínosem práce je realizovaná úloha, která bude sloužit k výuce předmětu Senzory a součástí práce je Příloha P II. s Návrhem zadání měření. Součástí přílohy je technická dokumentace senzorů přímo od výrobce.

ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

The aim of this study was to approach the issue of photoelectric sensors, principles of function, which is theoretical part of the work. Photoelectric sensors differ in their physical principle that evaluated the intensity of the incident light. The basic division of photoelectric sensors is the photodiodes, phototransistors, photoresistors and photocells. All the components except for photoconductive cells are using PN junction to evaluate the changes. When accretion light intensity incident on the PN junction leads to increased formation of electron-hole in the PN junction and thus the conductivity of the components. The photoconductive cells with increasing intensity of the incident light on the component, reduces the resistance components, thereby increasing its conductivity.

The main goal of the practical part was to realize the experimental task in the laboratory tutorial of sensors that will be taught at the Faculty of Applied Informatics, Tomas Bata University. In the implementation of laboratory tasks were selected according to the size of their sensors photosensitive surfaces that pointed out what effect this fact has. Into the work were selected 11 sensors, but unfortunately the supplier couldn't deliver everything, so in the role is missing one of sensors. However, the delivery will be added to the task. It was also necessary to select sensors by price and availability, due to possible replacement due to damage. After the implementation of laboratory work was necessary to change the polarity of the photodiodes, due to the gain, which was previously almost zero. After completion of the implementation was to verify its functionality and measured standard protocol. The measurements revealed that photoresistors at low intensity illumination exhibit unstable behavior. On the contrary, other photo detectors exhibited stable behavior and they were always stable measured value. Protocol of measurement is given in attachment I. P.

The benefit of work is implemented a role that will serve to teach the subject Sensors and part of the work is attachment P II. with the draft terms of reference measurements. Part of the attachment is the technical documentation of sensors directly from the manufacturer.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] DOLEČEK, Jaroslav. *Moderní učebnice elektroniky*. Praha: BEN - technická literatura, 2005, 206 s. ISBN 80-730-0161-6.
- [2] HRUŠKA, František. *Senzory v systémech informatiky a automatizace*. Vyd. 1. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2007, 177 s. ISBN 978-80-7318-630-2.
- [3] HRUŠKA, František. *Technické prostředky automatizace III: (senzory, jejich principy a funkce)*. Vyd. 2. Ve Zlíně: Univerzita Tomáše Bati, 2005, 118 s. ISBN 80-731-8315-3.
- [4] MARTINEK, Radislav. *Senzory v průmyslové praxi*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2008, 199 s. ISBN 80-730-0114-4.
- [5] KREIDL, Marcel; ŠMÍD, Radislav. *Technická diagnostika : senzory, metody, analýza signálu*. 1. vyd. Praha : BEN - technická literatura, 2006. 406 s. ISBN 80-7300-158-6
- [6] MAŤÁTKO, Jan. *Elektronika*. 3. vyd., v Idea servis 1. vyd. Praha: Idea servis, 1995c1987, 271 s. ISBN 80-859-7000-7.
- [7] MAREK, Vlastimil. *Něco v síti: fejetony, které vycházely od roku 1997 na internetu na adrese <http://svet.namodro.cz>* [online]. 1. vyd. Praha: Dharma Gaia, 1999 [cit. 2013-05-11].
- [8] Polovodiče - fyzikální základy. *Polovodiče - fyzikální základy* [online]. [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/edee/content/microsites/elektrina/fyz9.htm>
- [9] Foto prvky fotorezistor. *Foto prvky fotorezistor* [online]. [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: http://www.edunet.souepi.cz/EZO/f_rez.htm
- [10] Měření na fotovoltaickém článku. [online]. [cit. 2013-05-23]. Dostupné z: http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/Bakalarske/STB/4_LU_fotoclanek.pdf
- [11] Tme.eu. [online]. [cit. 2013-05-27]. Dostupné z: <http://www.tme.eu/cz/katalog/?idp=1&search=fotodiody&cleanParameters=1>
- [12] Fotodioda. [online]. [cit. 2013-05-28]. Dostupné z: <http://sps.janoud.cz/sub/sps/texty/ELT/Fotodioda.pdf>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

U	[V] Elektrické napětí
I	[A] Elektrický proud
R	[Ω] Elektrický odpor
P	[W] Elektrický výkon
t	[$^{\circ}$ C] Stupeň Celsia
A	Anoda
K	Katoda
THT	Způsob montáže el. přístrojů

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Vytvoření polovodiče typu N [8].....	13
Obr. 2 Vytvoření polovodiče typu P	14
Obr. 3 Vytvoření PN přechodu [1]	15
Obr. 4 Ochuzená oblast v okolí přechodu PN [1].....	16
Obr. 5 Propustně polarizovaný přechod PN [1].....	17
Obr. 6 Základní typy fotodiodových struktur	19
Obr. 7 Uspořádání a charakteristiky lavinové fotodiody [6]	20
Obr. 8 Fototranzistor a jeho charakteristiky [2].....	20
Obr. 9 Fotorezistor [9]	21
Obr. 10 Princip fotočlánku [10].....	22
Obr. 11 Fototyristor [2].....	22
Obr. 12 - Energetické schéma PN přechodu, stav bez proudu [4].....	23
Obr. 13-Závislost barvy světla na vlnové délce [4]	24
Obr. 14-Polovodičový laser GaAs [4]	26
Obr. 15-Spektrum led a laseru červené barvy [4].....	27
Obr. 16-Světelná charakteristika polovodičového laseru [4].....	27
Obr. 17 Jednoduchá heterogenní struktura [4].....	28
Obr. 18 Dvojitá heterogenní struktura [4]	28
Obr. 19 Činnost difuzního senzoru [4]	29
Obr. 20 Rovina předmětu musí být rovnoběžná s čočkou [4]	30
Obr. 21 Činnost divergentního senzoru [4]	31
Obr. 22 Činnost konvergentního senzoru [4].....	32
Obr. 23 Činnost reflexní závory [4].....	32
Obr. 24 Efektivní paprsek reflexní závory [4].....	33
Obr. 25 Odklonění senzoru při snímání lesklých předmětů s rádiusem [4]	34
Obr. 26 Funkce filtrů při snímání lesklých objektů	35
Obr. 27 Činnost jednocestné závory [4]	35
Obr. 28 Blokové schéma zapojení	39
Obr. 29 VISHAY BPW20RF [11].....	40
Obr. 30 HUEY JANN HPDB3J-44DA [11].....	41
Obr. 31 HUEY JANN HPDB5K-15A [11]	42
Obr. 32 HUEY JANN HPDB1B-48D [11].....	43

Obr. 33 BPW40 [11].....	43
Obr. 34 HUEY JANN HPTB1-48B [11].....	44
Obr. 35 OSRAM BPX81-3 [11]	45
Obr. 36 PERKIN ELMER A106012 [11].....	45
Obr. 37 PERKIN ELMER A906013 [11].....	46
Obr. 38 FR48/1M [11].....	47
Obr. 39 Panasonic BP-243318.....	47
Obr. 40 Pájivé pole s detektory.....	49
Obr. 41 Žárovka zapojená v patici.....	50
Obr. 42 Pájivé pole - uchycení.....	50
Obr. 43 Kompletní laboratorní úloha.....	51
Obr. 44 Zapojená laboratorní úloha.....	51
Graf 1 Závislost proudu fotodiody na napětí žárovky	53
Graf 2 Závislost proudu fototranzistoru na napětí žárovky	53
Graf 3 Závislost odporu fotorezistoru na napětí žárovky	54
Graf 4 Závislost napětí fotočlátku na napětí žárovky	54

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Specifikace VISHAY BPW20RF[11]	41
Tab. 2 Specifikace HUEY JANN HPDB3J-44DA [11]	41
Tab. 3 Specifikace HUEY JANN HPDB5K-15A [11].....	42
Tab. 4 HUEY JANN HPDB1B-48D [11].....	42
Tab. 5 Specifikace BPW40 [11]	43
Tab. 6 Specifikace HUEY JANN HPTB1-48B [11]	44
Tab. 7 Specifikace OSRAM BPX81-3 [11]	44
Tab. 8 Specifikace PERKIN ELMER A106012 [11].....	45
Tab. 9 Specifikace PERKIN ELMER A906013 [11].....	46
Tab. 10 Specifikace FR48/1M [11]	46
Tab. 11 Seznam senzorů	49

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Naměřená laboratorní úloha

Příloha P II (Externí): Návrh zadání na měření laboratorní úlohy

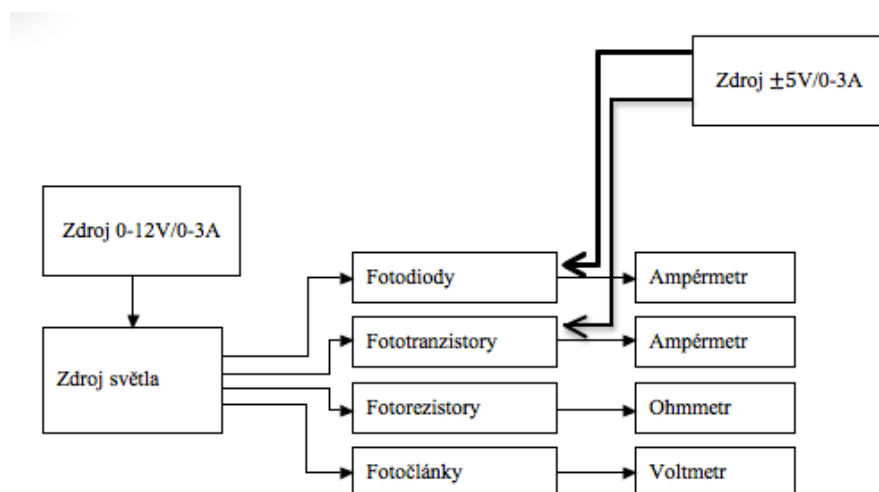
PŘÍLOHA P I: NAMĚŘENÁ LABORATORNÍ ÚLOHA

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta aplikované informatiky Institut řízení procesů a aplikované informatiky				
Předmět:		Senzory		
Název úlohy:		Měření fotoelektrických senzorů		
Číslo úlohy: II.				
Datum: 22. 5. 2013	Jméno:	David Pala	Hodnocení:	
Skupina: 3B1				

Úkol:

1. Seznamte se s příloženou měřicí aplikací.
2. Vyberte si 4 fotodetektory s různým fyzikálním principem
3. Pro každý zvolený fotodetektor změřte 11 měření v rozsahu napájecího napětí 2-12V. Tohle měření opakujte 10x pro každý detektor.
4. Výsledky zaznamenejte do tabulek a grafů

Blokové schéma:



Teorie

Fotodioda je konstrukčně upravená tak, aby do oblasti PN přechodu dopadalo světlo.

Fotodiody využívají principu vnitřního fotoelektrického jevu. Foton (světlo), které pomocí čočky dopadá na PN přechod narazí do elektronu ve valenční vrstvě atomu a tím předá svoji energii. Po tom co elektron absorbuje energii fotonu, získá dostatek energie k uvolnění se z valenčního pásu a přeskočí do pásu vodivostního. Tím elektron opustí vlastní atom a pohybuje se prostorem krystalové mřížky a tak vzniká volný elektron a na jeho místě vznikla díra. Takhle vzniklé volné elektrony jsou nosiči náboje a tím snižují odpor vodiče a zároveň zvyšují jeho vodivost.

Fototranzistor se skládá ze dvou PN přechodů, které jsou citlivé na elektromagnetické záření.

Procházející proud se skládá z děr v pravé oblasti N, z elektronů v části P a z elektronů v levé části N, které difundují z části P. Pokud ozáříme fototranzistor světelným tokem, tak v části P vznikne pár elektron-díra a procházející proud se tak zesílí.

Fotorezistor je součástka, která mění svůj odpor v závislosti na intenzitě dopadajícího světla. Pracují nezávisle na směru proudu a proto je jedno jak zapojíme jejich vývody.

Vlivem osvětlení vznikají nositelé nábojů v polovodičové vrstvě. Čím více světla dopadá na fotocitlivou plochu, tím dochází k zmenšení odporu fotorezistoru. Závislost odporu na osvětlení je přibližně logaritmická.

Fotočlánky se dnes nejčastěji vyrábí z monokrystalického křemíku a obsahují PN přechod. Při dopadu fotonu na atom křemíku dojde k uvolnění elektronu a tím vznikne pár elektron-díra. Pokud tohle proběhne v blízkosti PN přechodu, dojde k vtažení díry elektrickým polem do P polovodiče a elektronu do N polovodiče. Prahové napětí, které jim brání v rekombinaci je asi 0,7V. Když dojde k uzavření obvodu mezi polovodiči P a N, tak může obvodem protékat el. proud a fotočlánek funguje jako zdroj.

Použitá zařízení

Sestava modelu úlohy

4x Ruční digitální multimetr METEX M3860M

Zdroj napájení Voltcraft 2256

Zdroj napájení $\pm 5V$

Naměřené hodnoty:

Fotodioda: 1. VISHAY BPW20RF

Žárovka	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	\emptyset	Sm.	
U[V]	I[μ A]	I[μ A]	I[μ A]	I[μ A]	I[μ A]	I[μ A]	I[μ A]	I[μ A]	I[μ A]	I[μ A]	I[μ A]	Odch.	Chyba
2 V	2,4	1,8	2,1	2,1	2,0	1,9	2,0	2,0	1,4	2,0	2,0	0,2	0,03
3 V	3,3	2,6	2,5	2,9	2,6	2,6	2,6	2,7	2,8	2,9	2,8	0,2	0,02
4 V	5,6	5,3	5,0	5,0	4,9	4,8	5,1	4,7	4,8	5,0	5,0	0,3	0,03
5 V	9,1	9,3	8,5	8,4	8,3	8,5	8,4	9,2	8,4	8,4	8,7	0,4	0,04
6 V	14,6	14,9	14,0	14,0	14,3	14,0	14,2	14,0	14,0	13,8	14,2	0,3	0,04
7 V	24,2	23,1	23,0	22,5	23,0	23,2	23,3	23,1	29,9	21,8	23,7	2,1	0,24
8 V	33,3	33,5	32,8	32,7	33,1	34,0	33,5	32,5	33,1	32,9	33,1	0,4	0,05
9 V	50,7	48,2	48,1	49,9	49,3	48,1	48,9	50,0	48,5	50,8	49,3	1,0	0,11
10 V	68,4	64,4	64,1	67,2	66,1	64,3	65,9	66,4	67,2	63,4	65,7	1,5	0,17
11 V	96,0	92,9	96,0	92,8	91,7	95,3	94,1	92,4	93,2	96,2	94,1	1,6	0,18
12 V	117,0	121,6	121,1	122,6	120,9	123,7	121,7	123,3	121,9	122,9	121,7	1,8	0,20

Tab. 12 Fotodioda č.1 - seznam naměřených hodnot

Fototranzistor: 6. HUEY JANN ELECTRONIC HPTB1-48B

Žárovka	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	∅	Sm.	Chyba
U[V]	I[μA]	I[μA]	I[μA]	I[μA]	I[μA]	I[μA]	I[μA]	I[μA]	I[μA]	I[μA]	I[μA]	Odch.	
2 V	0,3	0,2	0,4	0,3	0,5	0,4	0,5	0,5	0,4	0,5	0,4	0,10	0,01
3 V	0,5	0,4	0,6	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,09	0,01
4 V	1,0	1,0	1,2	1,1	1,2	1,3	1,3	1,2	1,2	1,3	1,2	0,11	0,01
5 V	2,1	2,0	2,3	2,2	2,3	2,2	2,4	2,4	2,3	2,2	2,2	0,12	0,01
6 V	3,7	3,5	3,8	3,6	3,9	3,8	3,4	3,7	4,0	3,9	3,7	0,18	0,02
7 V	6,6	6,5	6,6	6,5	6,4	6,3	6,3	6,3	6,7	6,6	6,5	0,14	0,02
8 V	9,4	9,3	9,5	9,4	9,6	9,5	9,8	9,7	10,0	9,8	9,6	0,21	0,02
9 V	14,2	14,2	14,7	14,8	14,8	14,7	14,6	14,5	14,9	14,8	14,6	0,24	0,03
10 V	14,2	19,1	19,3	19,4	19,1	19,2	19,4	19,3	20,0	20,1	18,9	1,60	0,18
11 V	27,8	27,7	28,3	28,2	28,1	28,2	27,6	27,5	28,2	28,1	28,0	0,28	0,03
12 V	36,9	36,8	36,8	36,7	37,2	37,3	37,3	37,4	37,8	37,7	37,2	0,36	0,04

Tab. 13 Fototranzistor č.6 - seznam naměřených hodnot

Fotorezistor: 8. PERKIN ELMER A106012

Žárovka	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	∅	Sm.	Chyba
U[V]	R[Ω]	R[Ω]	R[Ω]	R[Ω]	R[Ω]	R[Ω]	R[Ω]	R[Ω]	R[Ω]	R[Ω]	R[Ω]	Odch.	
2 V	2940	2840	3710	3390	3650	3640	3660	3480	3330	3160	3380	295,63	32,85
3 V	2910	2870	3360	2900	3690	3510	3540	3360	3140	3230	3251	276,49	30,72
4 V	2740	2670	3030	3020	3040	3030	3100	2970	2750	2670	2902	163,27	18,14
5 V	2320	2250	2330	2450	2480	2430	2360	2340	2230	2190	2338	91,30	10,14
6 V	1760	1710	1860	1790	1810	1790	1800	1780	1690	1670	1766	56,07	6,23
7 V	980	990	1260	1270	1240	1280	1270	1290	1230	1250	1206	111,82	12,42
8 V	740	740	1010	1020	990	975	970	970	950	960	932,5	98,37	10,93
9 V	750	750	710	730	750	750	750	750	730	740	741	13,00	1,44
10 V	600	610	615	620	610	605	590	600	600	610	606	8,31	0,92
11 V	470	480	470	475	470	480	470	475	470	480	474	4,36	0,48
12 V	390	380	390	395	390	390	390	390	390	385	389	3,74	0,42

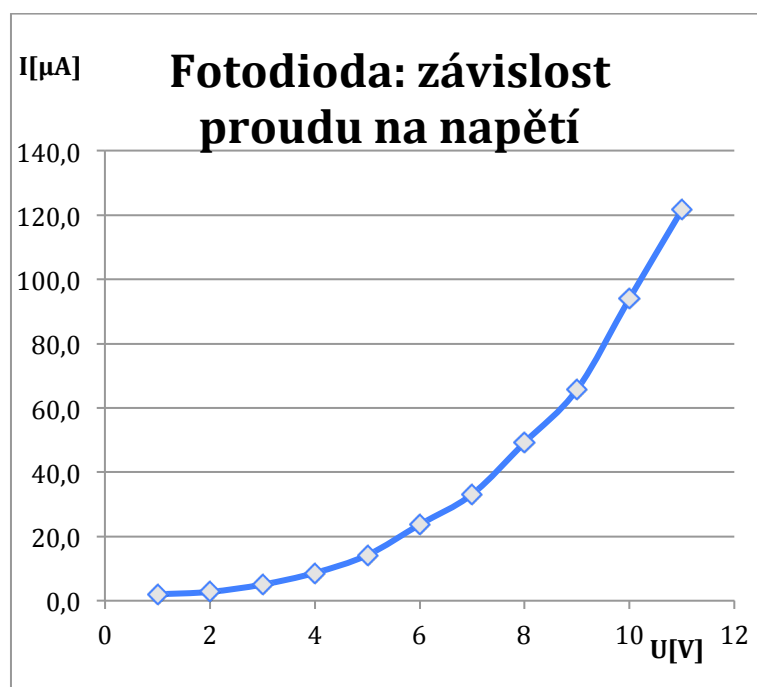
Tab. 14 Fotorezistor č.8 - seznam naměřených hodnot

Fotočlánek: 11. Panasonic BP-243318

Žárovka	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Ø	Sm.	
U[V]	U[V]	U[V]	U[V]	U[V]	U[V]	U[V]	U[V]	U[V]	U[V]	U[V]	U[V]	Odch.	Chyba
2 V	2,48	2,46	2,33	2,31	2,29	2,26	2,30	2,31	2,33	2,32	2,34	0,07	0,008
3 V	2,50	2,51	2,41	2,43	2,38	2,37	2,36	2,37	2,43	2,39	2,42	0,05	0,006
4 V	2,66	2,67	2,60	2,61	2,58	2,59	2,58	2,57	2,62	2,61	2,61	0,03	0,004
5 V	2,80	2,79	2,77	2,78	2,75	2,76	2,76	2,77	2,77	2,75	2,77	0,02	0,002
6 V	2,93	2,93	2,91	2,92	2,90	2,91	2,90	2,90	2,91	2,92	2,91	0,01	0,001
7 V	3,05	3,05	3,05	3,04	3,03	3,02	3,03	3,04	3,01	3,01	3,03	0,01	0,002
8 V	3,15	3,14	3,14	3,13	3,12	3,11	3,13	3,12	3,13	3,11	3,13	0,01	0,001
9 V	3,24	3,23	3,23	3,22	3,22	3,22	3,22	3,21	3,22	3,23	3,22	0,01	0,001
10 V	3,30	3,30	3,29	3,29	3,28	3,28	3,30	3,31	3,29	3,30	3,29	0,01	0,001
11 V	3,38	3,37	3,37	3,39	3,37	3,36	3,37	3,36	3,37	3,39	3,37	0,01	0,001
12 V	3,44	3,45	3,42	3,43	3,42	3,42	3,42	3,43	3,42	3,44	3,43	0,01	0,001

Tab. 15 Fotočlánek č.11 - seznam naměřených hodnot

Grafy naměřených hodnot:



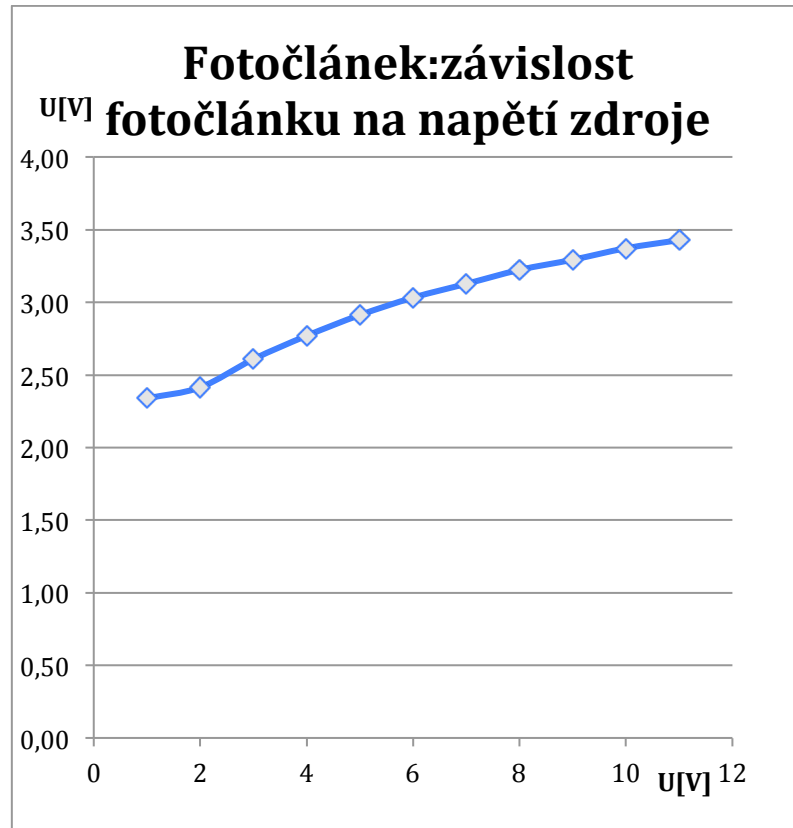
Graf 5 Závislost proudu fotodiody na napětí žárovky



Graf 6 Závislost proudu fototranzistoru na napětí žárovky



Graf 7 Závislost odporu fotorezistoru na napětí žárovky



Graf 8 Závislost napětí fotočláneku na napětí žárovky

Závěr

Během měření jsem zjistil, že při malých napětích na žárovce, kdy vyzařuje malou intenzitu světla, je měření velice ovlivněno světelnými podmínkami v laboratoři. Proto bylo nutné rozsvítit světla v laboratoři a tím tenhle problém eliminovat a předchozí měření provést znovu, aby měření bylo přesné.

Po překonání tohoto problému už nebyl problém naměřit přesné hodnoty a zavést je do grafů. U fotorezistorů se jejich odpor prudce zmenšuje v rozmezí 3-6V, v jiných napěťových rozmezích odpor fotorezistoru klesá podstatně pomaleji. Napětí na fotočláneku při maximální intenzitě osvětlení vystoupalo na 3,5V, ale když na fotočlánek dopadalo pouze denní světlo, tak i přesto fotočlánek vydával napětí 2,4V. Proto se fotočlánek používá jako zdroj malých spotřebičů. Veškeré naměřené charakteristiky jsou zobrazeny v grafech.