

Senzory montážních a procesních technologií – senzory optické

Sensor Assembly and Process Technologies - Optical Sensors

Tomáš Janík

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: **Tomáš JANÍK**
Osobní číslo: **A10009**
Studijní program: **B3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Senzory montážních a procesních technologií –
senzory optické**

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s problematikou optických senzorů montážních a procesních technologií.
2. Charakterizujte fyzikální základy daných senzorů.
3. Popište způsob zpracování signálů v těchto senzorech.
4. Uvedte příklady reálných aplikací.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. **ĎAĎO, Stanislav. Senzory a měřicí obvody. 1. vyd. Praha: ČVUT, 1996, 315 s. ISBN 80-010-1500-9.**
2. **MARTINEK, Radislav. Senzory v průmyslové praxi. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2008, 199 s. ISBN 80-730-0114-4.**
3. **DOLEČEK, Jaroslav. Moderní učebnice elektroniky. Praha: BEN - technická literatura, 2005, 154 s. ISBN 80-730-0184-5.**
4. **FRADEN, Jacobs. Handbook of modern sensors: physics, designs, and applications. 3rd ed. New York: Springer-Verlag, c2004, xvii, 589 s. ISBN 03-870-0750-4.**
5. **HRUŠKA, František. Senzory: Fyzikální principy, úpravy signálů, praktické použití. 2.rozšířené vydání. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta aplikované informatiky, 2011, 202 s. ISBN 978-80-7454-096-7. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/10563/18582>**

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Petr Navrátil, Ph.D.

Ústav řízení procesů

Datum zadání bakalářské práce:

25. února 2013

Termín odevzdání bakalářské práce:

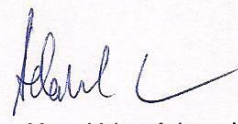
30. května 2013

Ve Zlíně dne 25. února 2013



prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.

děkan



doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.

ředitel ústavu

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá problematikou optických senzorů montážních a procesních technologií. V první části se nachází popis fyzikálních principů, vysvětlení pojmů jako je vysílač/přijímač optických signálů a popis jejich činnosti, parametry optických senzorů a jejich technická provedení. Ve druhé části se vyskytuje popis jednotlivých druhů optických senzorů podle jejich použití, zpracování optických signálů a v závěru jsou uvedeny jednotlivé příklady použití optických senzorů v reálných aplikacích.

Klíčová slova:

optický senzor, optoelektrický senzor, LED dioda, laserová dioda, fotodioda, fototranzistor, reflexní senzor, optická modulace, bezpečnostní optoelektronické prvky, aplikace optických senzorů

ABSTRACT

This thesis is focused on optical sensor assembly and process technologies. In the first part is a description of the physical principles, explanation of terms such as transmitter / receiver optical signals and a description of their activities, parameters of optical sensors and their technical implementation. In the second part, there is a description of individual types optical sensors, according to their purpose, optical signal processing and in the end there are some individual examples of the use optical sensors in real applications.

Keywords:

optical sensor, photoelectric sensor, LED, light emitting diode, laser diode, photodiode, phototransistor reflective sensor, optical modulation, safety optoelectronic components, application of optical sensors

Děkuji vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Petru Navrátilovi, Ph.D. za poskytnutí rad a připomínek. Dále bych chtěl poděkovat své rodině za plnou podporu při studiu.

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
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 ZÁKLADNÍ POJMY OPTIKY	11
1.1 FYZIKÁLNÍ PODSTATY SVĚTLA	11
1.2 ODRAZ A LOM SVĚTLA.....	12
1.2.1 Zákon odrazu.....	12
1.2.2 Lom světla.....	12
1.3 DISPERZE SVĚTLA.....	13
1.4 INTERFERENCE SVĚTLA	13
1.5 OHYB SVĚTLA	14
1.6 RADIOMETRICKÉ A FOTOMETRICKÉ VELIČINY	14
1.6.1 Zářivá energie.....	14
1.6.2 Zářivý tok.....	14
1.6.3 Zářivost	14
1.6.4 Intenzita vyzařování	15
1.6.5 Světelný tok.....	15
1.6.6 Svítivost zdroje.....	15
1.6.7 Osvětlení	15
2 ELEKTROMAGNETICKÉ ZÁŘENÍ	16
2.1 INFRAČERVENÉ ZÁŘENÍ	16
2.2 ULTRAFIALOVÉ ZÁŘENÍ.....	17
3 VYSÍLACÍ PRVKY	18
3.1 LUMINISCENČNÍ DIODY	18
3.1.1 Princip LED	18
3.1.2 Dva typy PN přechodů	19
3.1.3 Barva vyzařovaného světelného záření.....	20
3.1.4 Svítivost LED.....	21
3.1.5 V-A charakteristika LED	22
3.1.6 Vyzařovací charakteristika.....	22
3.1.7 LED v impulzním režimu.....	23
3.2 LASEROVÉ DIODY	24
3.2.1 Princip laserové diody.....	24
3.2.2 L-I charakteristika, prahový proud I_{th}	25
3.2.3 Typy laserových diod.....	26
3.2.4 Napájení laserových diod.....	27
3.2.5 Režimy činnosti laserových diod	28
3.2.6 Pouzdření laserových diod	28
4 PŘIJÍMACÍ PRVKY	29
4.1 FOTODIODA	29
4.1.1 Princip činnosti.....	29
4.1.2 Citlivost fotodiody	29
4.1.3 Fotodioda PIN	30
4.1.4 Lavinová fotodioda	30

4.2	FOTOTRANZISTOR	31
4.2.1	Princip činnosti.....	31
4.2.2	Realizace fototranzistorů.....	31
4.2.3	Fototranzistor v Darlingtonově zapojení.....	32
5	PARAMETRY OPTICKÝCH SENZORŮ	33
5.1	SMĚROVÁ CHARAKTERISTIKA	33
5.2	VÝKONOVÁ REZERVA.....	34
5.3	REAKČNÍ DOBA	36
6	TECHNIKA OPTICKÝCH SENZORŮ	37
6.1	REFLEXNÍ SENZOR	37
6.1.1	Reflexní senzor – difuzní	37
6.1.2	Reflexní senzor – divergentní	37
6.1.3	Reflexní senzor – konvergentní	37
6.1.4	Reflexní závora	38
6.2	JEDNOCESTNÁ ZÁVORA	39
6.3	OPTICKÉ VLÁKNOVÉ SENZORY	39
II	PRAKTICKÁ ČÁST	41
7	DRUHY OPTICKÝCH SENZORŮ	42
7.1	SENZORY PRO MĚŘENÍ VZDÁLENOSTÍ A POLOHY VYUŽÍVAJÍCÍ TRIANGULAČNÍ METODU	42
7.2	LASEROVÉ FOTOELEKTRICKÉ SNÍMAČE	44
7.3	SENZORY TURBIDITY	46
7.4	NEFELOMETRICKÉ SENZORY.....	47
7.5	REFRAKTOMETRICKÉ SENZORY	47
7.6	OPTICKÉ ZÁŘEZOVÉ SENZORY	48
7.7	RÁMOVÉ FOTOELEKTRICKÉ SNÍMAČE	49
7.8	SENZORY TISKOVÝCH ZNAČEK A BAREV	49
7.9	BEZPEČNOSTNÍ OPTOELEKTRONICKÉ PRVKY - ZÁVORY, ZÁVĚSY A MŘÍŽE	50
7.10	ROTAČNÍ SNÍMAČE POLOHY.....	52
8	ZPRACOVÁNÍ SIGNÁLU V OPTICKÝCH SENZORECH.....	54
8.1	OPTICKÁ MODULACE.....	54
8.2	RUŠIVÉ VLIVY	57
9	PŘÍKLADY REÁLNÝCH APLIKACÍ.....	58
	ZÁVĚR	63
	ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ.....	64
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	65
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	68
	SEZNAM OBRÁZKŮ	69
	SEZNAM TABULEK.....	71

ÚVOD

Optické senzory, často nazývané také optoelektronické nebo fotoelektrické jsou dnes nejčastěji používanými senzory v průmyslové automatizaci. Mají velmi široké spektrum aplikací a možností. Jsou používány jak v jednoduchých binárních aplikacích, bezpečnostních aplikacích, inspekčních úlohách během výroby, tak i v náročných měřicích a kontrolních úlohách na konci výrobního procesu. Optické senzory jsou stále oblíbenější, zejména díky stále se zmenšujícím rozměrům a zvyšující se výkonnosti. Mimo to se také hodí pro aplikace, kde je požadována větší spínací vzdálenost a jejich velkou výhodou je malá citlivost vůči elektromagnetickému rušení. Naopak jejich nevýhodou je nízká odolnost vůči vlhkosti, silnému znečištění a nehodí se příliš do prostředí s vysokou prašností, ačkoliv někteří výrobci prodávají optické snímače pro speciální aplikace či prostředí, které jsou velice odolné.

Dnes je kladen důraz na komplexnost optoelektronických senzorů a jejich inteligentní funkce (např. v případě bezpečnostních optoelektronických prvků je to funkce zastavující stroj v situacích, které by mohly vést k ohrožení pracovníka obsluhy) a možnost učit se. Třeba v případě balicího stroje, se takový stroj musí rychle adaptovat na širokou řadu rozdílných návrhů balení s minimální přepínací dobou a ztrátou kvality. U senzorů detekujících registrační značky a barvy to vyžaduje flexibilitu a jednoduchost zpracování a zároveň udržení přesnosti a provozní stability pro spolehlivou detekci značek i v proměnlivých provozních podmínkách při chodu stroje a rychlé a jednoduché nastavení po výměně balicího materiálu. Pro senzory snímající přítomnost produktu, jeho výšku nebo profil se zase vyskytuje problém s objekty s nepravidelným umístěním nebo výškou či objekty s otvory. Ty mohou při použití jednopaprskového laserového senzoru vytvořit více signálů, nebo nemusí být detekovány. Tyto nepravidelné objekty jsou pak nesprávně vyhodnoceny jako několik menších objektů, nebo nejsou správně detekovány. Detekci těchto objektů po celé jejich délce či získání podrobného profilu objektu tak musí být zajištěno použitím více senzorů nebo světelných záclon.

I. TEORETICKÁ ČÁST

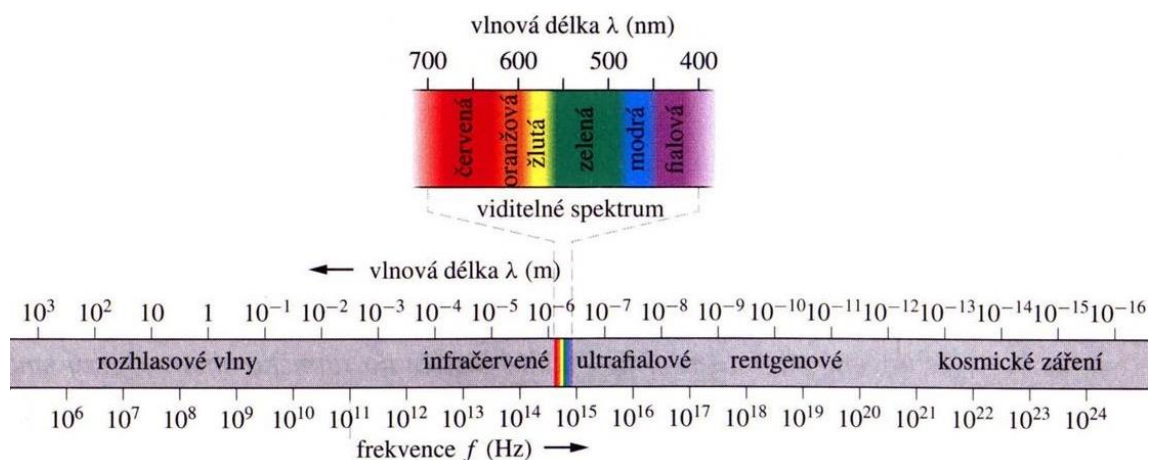
1 ZÁKLADNÍ POJMY OPTIKY

1.1 Fyzikální podstata světla

Optika, patřící k nejstarším oborům fyziky, se zabývá podstatou a zákonitostmi světelných jevů. Světlo je elektromagnetické vlnění o vlnové délce 390 nm až 790 nm se schopností vyvolat v lidském oku světelný vjem. Ve vakuu se světlo šíří rychlostí $c = 299\,792\,458\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, v látkovém prostředí je rychlost světla vždy menší.

Na světlo lze však nahlížet jednak jako na vlnění z pohledu vlnové optiky, jednak jako na částice z pohledu kvantové fyziky. Světlo si tak lze představit, jako paprskové šíření částic (fotonů), které během postupu navíc vykonávají kmitavý pohyb. Frekvence nezávisí na prostředí a udává barvu světla. S rostoucí frekvencí energie světla roste. Světlo je charakterizováno vlnovou délkou λ . [1]

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1)$$



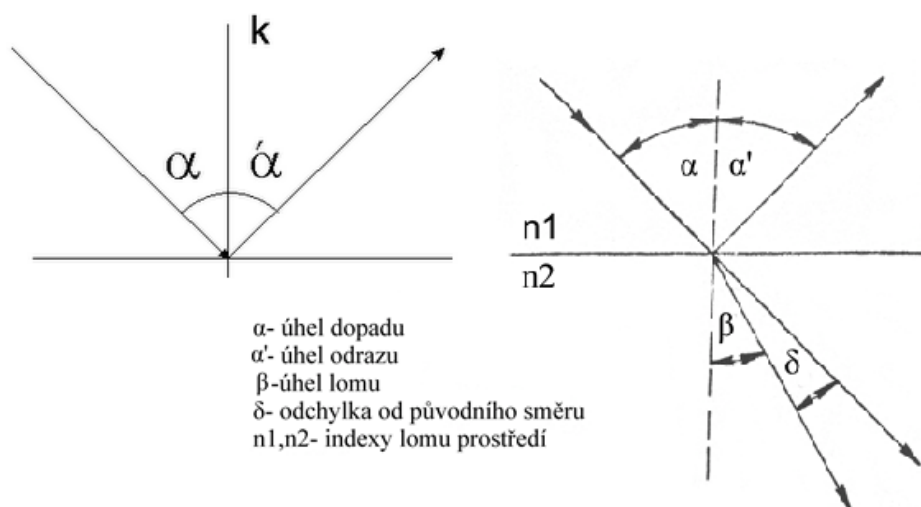
Obr. 1: Spektrum elektromagnetického záření [2]

Šíření světla, je ovlivňováno optickým prostředím, kterým prochází. Prostředí může být průhledné (nedochází k rozptylu světla), průsvitné (částečný rozptyl) nebo neprůhledné (pohlčení nebo odraz světla). Dále lze optické prostředí rozdělit na prostředí, které má všude stejné vlastnosti (např. index lomu). Takové optické prostředí se nazývá homogenní, neboli stejnorodé a jeho příkladem může být vakuum, popř. čiré sklo. V homogenním optickém prostředí se světlo šíří přímočaře a jednotlivé světelné paprsky se mohou navzájem protínat, ale neovlivňují se a postupují nezávisle jeden na druhém. Opakem je pak prostředí nehomogenní. [3]

1.2 Odraz a lom světla

Dopadá-li světlo na rozhraní dvou optických prostředí (o různých indexech lomu), pak se částečně odráží a částečně prochází z jednoho prostředí do druhého. Index lomu světla optického prostředí n je veličina daná poměrem rychlosti světla ve vakuu a rychlosti světla v daném prostředí.

$$n = \frac{c}{v} \quad (2)$$



Obr. 2: Odraz a lom světla

1.2.1 Zákon odrazu

Úhel dopadu α se rovná úhlu odrazu α' . Odražený paprsek leží v rovině dopadu. Rovina dopadu je rovina, určená dopadajícím paprskem a kolmicí dopadu.

1.2.2 Lom světla

Pro lom světla platí Snellův zákon:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad (3)$$

Všechna optická prostředí mimo vakuum mají vždy $n > 1$ a rozlišujeme prostředí opticky hustší – větší index lomu a menší fázová rychlost světla, a prostředí opticky řidší – menší index lomu a větší fázová rychlost světla. Pokud je $n_1 > n_2$, dohází k lomu od kolmice. Je-li při lomu světla mezní úhel $\alpha_m < \alpha$, dochází k tzv. úplnému odrazu, kterého se

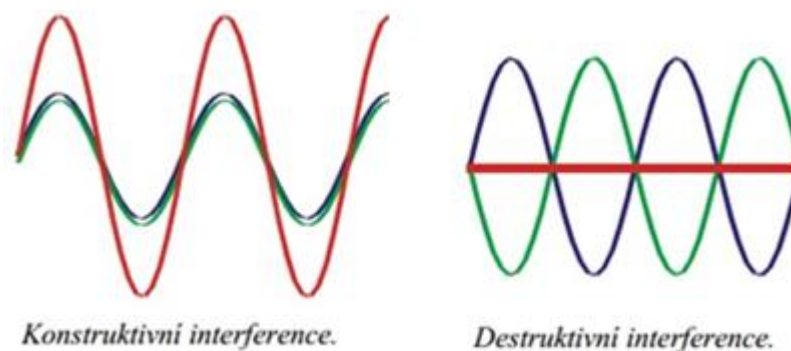
využívá u přenosu optického signálu, v optoelektronice a sdělovací technice a u odrazných hranolů, které slouží ke změně chodu paprsků. [3]

1.3 Disperze světla

Světelná disperze je jev, při němž s rostoucí frekvencí klesá fázová rychlost světla v prostředí s indexem lomu $n > 1$. Různé barvy spektra odpovídají různým vlnovým délkám a fotony mají odlišnou energii. Pomocí optického hranolu je možné docílit dvojitého lomu paprsku světla a tím rozložit bílé světlo na jednoduché monofrekvenční barevné složky – princip duhy. Rozklad světla pomocí hranolu využívá spektrometr, který se používá např. ke zjišťování chemického složení látek. [3]

1.4 Interference světla

Interference světla dokazuje jeho vlnové vlastnosti a nastává v případě, že je splněna podmínka koherence. Koherentní světelná vlnění jsou taková, která mají stejnou frekvenci a jejichž fázový rozdíl je v čase neměnný. O interferenci mluvíme jako o skládání vln. Výsledný kmitavý pohyb v nějakém místě je dán součtem kmitů jednotlivých vlnění. V některých místech pak může docházet ke zvětšení a v jiných ke snížení amplitudy. Setkají-li se dvě vlny se stejnou frekvencí posunuté o celý počet vlnových délek, dojde ke konstruktivní interferenci a vlnění se zesílí – vznik interferenčního maxima. Setkají-li se dvě vlny posunuté o lichý násobek půlvlnových délek, dojde k destruktivní interferenci a vlnění se zeslabí – vznik interferenčního minima. Interferenční jevy lze využít např. při měření vlnové délky světla pomocí Newtonových skel nebo ke kontrole rovinných a kulových ploch (např. u čoček), u protiodrazných vrstev (namodralá zbarvení objektivů fotoaparátů), při vytváření holografických obrazů, atd. [4]



Obr. 3: Interference světla [4]

1.5 Ohyb světla

K ohybu neboli difrakci světla dochází jen na překážkách, jejichž rozměry jsou řádově srovnatelné s vlnovou délkou světla (úzká štěrbina, optická mřížka). Za takovou překážkou sledujeme ohybový obrazec v podobě interferenčních maxim a minim, jejichž tvar závisí na tvaru překážky. Každý bod štěrbinou se podle Huygensova principu stává zdrojem nového elementárního vlnění. Tyto vlny jsou navzájem koherentní, protože vznikly rozdělením dopadající rovinné vlny. Po průchodu štěrbinou se každá nová vlna šíří všemi směry a dopadá do každého bodu stínítka. Vlny prošlé jednotlivými štěrbinami urazí do daného bodu každá jinou vzdálenost a interferují. Při dopadu bílého světla na mřížku dochází ke vzniku interferenčního maxima a vznikají tzv. ohybová spektra. Optická mřížka je hlavní částí mřížkového spektroskopu, který se podobně jako hranolový spektroskop využívá ve spektrální analýze. [3]

1.6 Radiometrické a fotometrické veličiny

Elektromagnetickým zářením se přenáší energie, kterou popisujeme radiometrickými a fotometrickými veličinami. Radiometrické veličiny charakterizují energii přenášenou zářením. Naopak fotometrické veličiny popisují přenos energie optického záření a jeho účinek na zrak. [3]

1.6.1 Zářivá energie

Vyjadřuje množství energie, přenesené elektromagnetickým zářením. Značí se $[E_e] = J$.

1.6.2 Zářivý tok

Udává množství zářivé energie, kterou zdroj vyzáří za 1 sekundu. $[\Phi_e] = J \cdot s^{-1} = W$

$$\Phi_e = \frac{\Delta E_e}{\Delta t} \quad (4)$$

1.6.3 Zářivost

Zářivost $[I_e] = W \cdot sr^{-1}$ je rovna zářivé energii, kterou zdroj vyzáří za jednu sekundu do prostorového úhlu $\Delta\Omega$.

$$I_e = \frac{\Delta E_e}{\Delta t \cdot \Delta\Omega} = \frac{\Delta\Phi_e}{\Delta\Omega} \quad (5)$$

1.6.4 Intenzita vyzařování

Výkon vyzařený plochou zdroje o obsahu 1 m^2 . $[M_e] = \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$

$$M_e = \frac{\Delta\Phi_e}{\Delta S} \quad (6)$$

1.6.5 Světelný tok

Charakterizuje schopnost zářivého toku vyvolat zrakový vjem. 1 lumen je světelný tok vysílaný do prostorového úhlu 1 sr bodovým zdrojem, jehož záření je ve všech směrech 1 cd. $[\Phi] = \text{lm} = \text{cd} \cdot \text{sr}$

1.6.6 Svítivost zdroje

Vyjadřuje, jak se světelný tok vysílaný zdrojem rozloží do jednotlivých směrů v prostoru. Toto rozložení však není u skutečných zdrojů rovnoměrné. $[I] = \text{cd}$

1.6.7 Osvětlení

Osvětlení, neboli intenzita osvětlení charakterizuje účinky světla na určité ploše. $[E_0] = \text{lx}$

$$E_0 = \frac{\Delta\Phi}{\Delta S} = \frac{I \cdot \cos\alpha}{r^2} \quad (7)$$

2 ELEKTROMAGNETICKÉ ZÁŘENÍ

Všechny druhy elektromagnetického vlnění se společně označují jako elektromagnetické záření. Jelikož optické snímače slouží k indikaci přerušení světelného paprsku, zajímá nás záření v elektromagnetickém spektru 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 ($\lambda = 1,2 \mu\text{m}$). Společnou vlastností elektromagnetického záření je přenos energie. U snímačů je nejčastěji využíváno záření infračervené.

2.1 Infračervené záření

Infračervené záření vzniká vibrací a rotací atomů a molekul v každé látce, jejíž teplota je vyšší než absolutní nula. Lze jej charakterizovat frekvencí v intervalu 10^{11} Hz až 10^{14} Hz, nevytváří tedy zrakový vjem. Při pohlcování tohoto druhu záření tělesa dochází ke zvyšování jejich vnitřní energie a tyto tělesa se zahřívají. Pro tento druh záření však platí stejné zákony jako pro světlo viditelné. Infračervené záření můžeme rozdělit podle vlnové délky na několik oblastí: [5]

Tab. 1: Rozdělení IR záření [5]

Oblast IR	Vlnová délka
Blízká infraoblast	0,75 μm – 3 μm
Střední infraoblast	3 μm – 5 μm
Vzdálená infraoblast	5 μm – 15 μm
Velmi vzdálená infraoblast	15 μm – 1 mm

Záření v blízké infraoblasti je obsaženo ve slunečním světle, je pronikavé a jen málo se pohlcuje ve vodě. Zdrojem infračerveného záření středních vlnových délek jsou různé typy žárovek, zářivek a výbojek. Tento druh záření proniká sklem, ale téměř úplně se absorbuje ve vodě. Zdrojem záření ve vzdálené infraoblasti jsou pak různá topná tělesa. Takové záření je pohlcováno vodou i sklem.

Infračervené záření z přirozených nebo umělých zdrojů je dnes využíváno v řadě oborů lidské činnosti, jako je například termoterapie, termografie, infrafotografie. Dále se IR záření využívá ve vojenské technice pro navádění raket nebo u přístrojů pro noční vidění (infrahledy), v optoelektronice, pyrometrii, u laserové techniky, ale také pro bezdrátový přenos informací a k vytápění. [5]

2.2 Ultrafialové záření

Ultrafialové záření má vlnovou délku kratší než světlo fialové barvy, nevytváří zrakový vjem, působí však negativně na zrakový orgán (ochrana brýlemi s UV filtrem). Fotony UV záření mají poměrně velkou energii a jsou schopné vyvolávat luminiscenci, silně působí na fotografické emulze a ničí mikroorganismy. Zdrojem UV záření jsou tělesa zahřátá na vysokou teplotu, jako je Slunce, elektrický oblouk nebo rtuťové výbojky (horské slunce), UV lampy. Také atmosféra toto záření velmi silně pohlcuje. Ve vysokých vrstvách atmosféry toto záření způsobuje ionizaci vzdušného kyslíku, což je příčinou vzniku ozónu. UV záření, jakožto oblast elektromagnetického spektra, se dělí na blízké ultrafialové záření o vlnové délce (400 – 200 nm) a daleké ultrafialové záření (200 – 10 nm). Z hlediska biologických účinků lze UV záření rozdělit na několik typů: [6]

Tab. 2: Rozdělení UV záření [6]

Typ UV záření	Vlnová délka
UV - A	400 nm – 320 nm
UV - B	320 nm – 280 nm
UV - C	280 nm – 200 nm
VUV	200 nm - 10 nm
EUV	31 nm - 1 nm

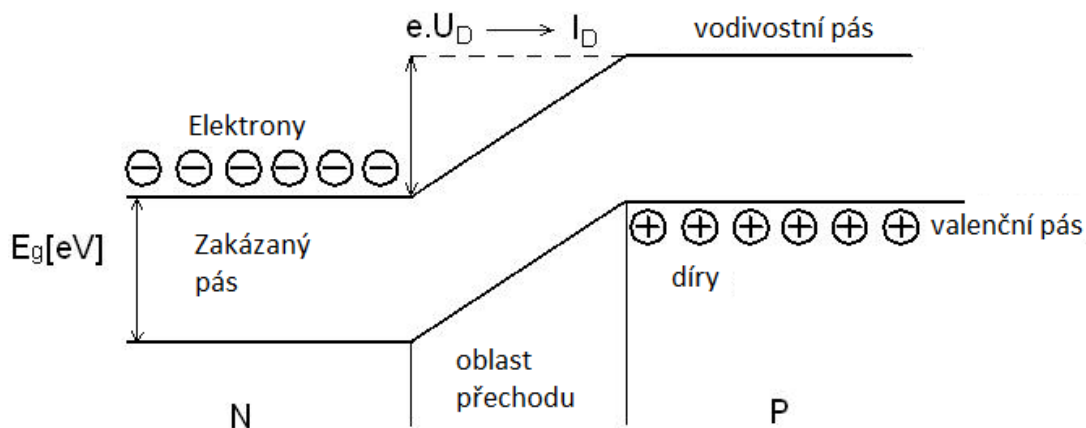
3 VYSÍLACÍ PRVKY

3.1 Luminiscenční diody

3.1.1 Princip LED

Luminiscenční diody LED (z angl. Light emitting diode) jsou elektronické polovodičové součástky s PN přechodem. K vytvoření PN přechodu uvnitř diody potřebujeme materiály s různými typy vodivosti. U klasických diod, a nejenak je tomu u LED, tak získáme jev, kdy elektrický proud prochází součástkou vždy pouze jedním směrem. Materiál typu N se vyznačuje nadbytkem volných elektronů (nosiče elektrického náboje). Opačná situace platí pro materiál typu P, kde hovoříme o tzv. dírách. Pokud tento přechod zapojíme v propustném směru, kde na polovodič typu P přivedeme kladnější napětí než na polovodič typu N, začnou z této oblasti do oblasti P přecházet elektrony.

Elektrony v oblasti P se začnou rekombinovat s volnými dírami, které prvek P obsahuje. Rekombinací rozumíme jev, kdy volné elektrony ztrácejí energii a dostávají se na oběžné dráhy v atomech. Touto rekombinací se uvolňuje energie v podobě fotonů, které tvoří světelné záření. [7]



Obr. 4: Energetické schéma PN přechodu, stav bez proudu [8]

Z obrázku je patrné, že aby se elektron dostal z energetické úrovně valenčního pásma E_1 na vyšší energetickou úroveň vodivostního pásma, musí mu být dodána minimální energie:

$$E_g = E_2 - E_1 \quad (8)$$

Elektron zůstává na vyšší energetické hladině různou dobu, podle toho, jak stabilní bude jeho stav. Dříve nebo později však vyšší energetickou hladinu opustí a vyzáří elektromagnetické kvantum. Při rekombinačním procesu je ne vždy výsledkem vyzáření elektromagnetického kvanta energie foton, často je energie vyzářena v podobě tepla (fononu). K tomuto jevu dochází například vlivem poruch v krystalové mřížce nebo na jejím povrchu. Vyzářování fotonu souvisí s pásovou strukturou krystalu dané látky. Jedná se o zářivou rekombinaci a její možné podoby - vyzářování přímé a nepřímé. V případě, kdy se maximum valenčního a minimum vodivostního pásu setkávají ve stejném místě, mluvíme o přímém přechodu elektronu mezi pásy. Složitější situace nastává v případě, kdy jsou minimum a maximum pásů navzájem posunuty. Zde vstupuje do rekombinačního procesu fonon a energie je vyzářena formou tepla. [8]

Příkladem nepřímé rekombinace je křemík (Si), příkladem přímé rekombinace GaAs. Pásový charakter diody na křemíku tedy není vhodný pro účely LED, jelikož proces vyzáření fotonu je značně složitější a navíc s každým vyzářeným fotonem vzniká fonon, tedy nežádoucí teplo. Vlnová délka a s tím související barva vyzářovaného světla je závislá na použitých materiálech, neboť každý materiál má různou šířku zakázaného pásu. Podle toho musí elektron přijmout nebo vyzářit takové množství energie, aby tento pás překonal. Čím větší je energie, tím má vyzářovaný světelný paprsek kratší vlnovou délku. Pokud známe šířku zakázaného pásu, frekvenci vyzářovaného světla spočítáme jednoduše pomocí Planckovy konstanty:

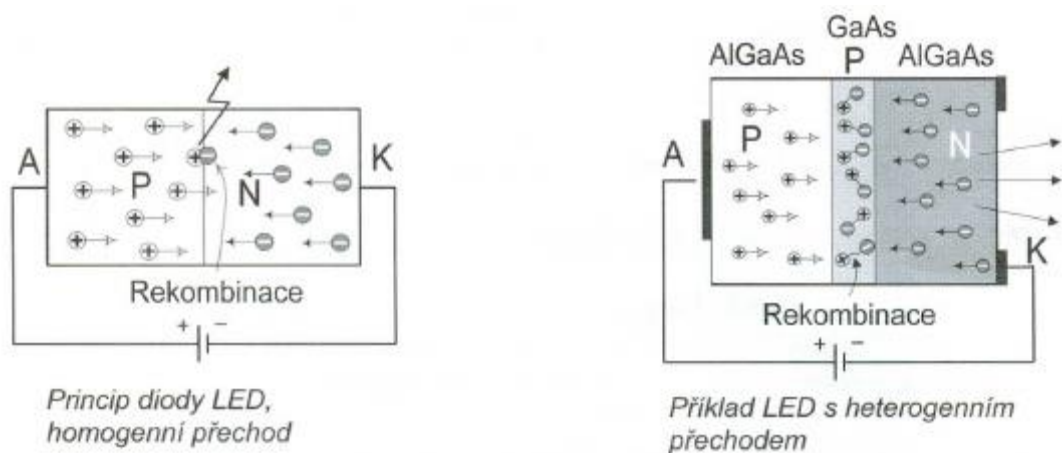
$$E_g = h \cdot f = \frac{h \cdot c}{\lambda} \quad (9)$$

kde E_g značí energii, h je Planckova konstanta, f frekvence vyzářovaného světla, c rychlost světla ve vakuu a λ je vlnová délka světla. [9]

3.1.2 Dva typy PN přechodů

- a) **Homogenní přechody** jsou nejjednoduššími typy přechodů, tvořené z jednoho druhu materiálu, dotovaného příměsími P a N. LED s tímhle typem přechodu byli první používané. Používali částečně průhledné materiály jako např. galium arsenid (GaAs).
- b) **Heterogenní přechody** se skládají ze dvou různých druhů polovodičových materiálů, jako je např. GaAs a AlGaAs, které tvoří tzv. dvojistou heterostrukturu. Diody s heterogenním typem PN přechodu jsou složitější, avšak také výkonnější, než diody s homogenním PN přechodem, jelikož obsahují více přechodů PN. Principem LED s heterogenním PN přechodem je při polarizaci LED v propustném směru injekce

elektronů z oblasti N (AlGaAs) do oblasti P (GaAs). V oblasti P (GaAs) se pak injektované elektrony stávají minoritními nosiči náboje a rekombinují s kladnými dírami, přičemž jsou uvolňována energetická kvanta ve formě fotonů o energii, odpovídající šířce zakázaného pásma galium arsenidu (1,34 eV). Injektované elektrony se v důsledku potenciálové bariéry na přechodu GaAs typu P a AlGaAs rovněž typu P nedostanou do oblasti typu P z AlGaAs. Střední GaAs vrstva je aktivní oblast, na jejíž funkci závisí optický výkon LED. Vnější vrstvy jsou průhledné (transparentní) a způsobují malé ztráty optického záření. [7]

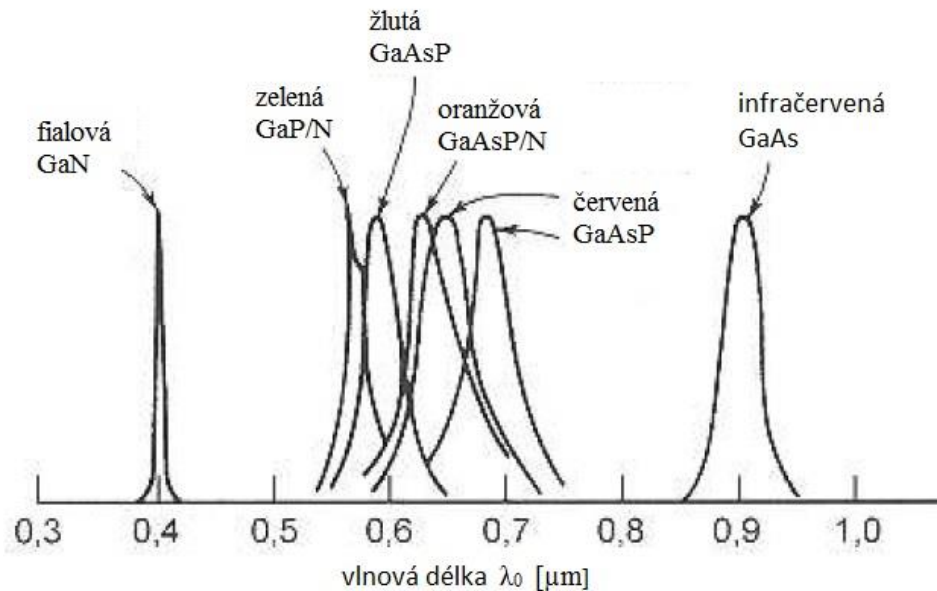


Obr. 5: Princip PN přechodu LED [7]

3.1.3 Barva vyzařovaného světelného záření

Podle potřebné šířky zakázaného pásu a barvy vyzařované diodou se používají pro vytvoření PN přechodu různé materiály. Nejčastěji používanými materiály jsou sloučeniny prvků III. a V. skupiny periodické soustavy prvků, jako je AlGaAs, GaAsP, AlGaInP, GaP a další. Vyrobíme-li diodu z galium-arsenidu (GaAs), který má šířku zakázaného pásu 1,34 eV, bude již nezanedbatelná část energie rekombinace vyzařována ve formě fotonů o příslušné vlnové délce ($\lambda_0 = 0,9 \mu\text{m}$). Ta však ještě spadá do oblasti neviditelného infračerveného záření. GaAs je tedy materiál vhodný pro infradiody s vysokou kvantovou účinností. Kombinací tohoto materiálu s fosforem, tzv. galium arsenid fosfid (GaAsP), získáme materiál, který vyzařuje červené viditelné záření, je-li z něj vytvořen PN přechod. Použijeme-li materiál o vhodné šířce zakázaného pásu, můžeme vytvořit diody svítící v propustném směru světlem zeleným, žlutým nebo oranžovým. Kvantová účinnost luminiscenčních diod ve viditelné oblasti je mnohem nižší než u infradiod, protože je u nich vyzařování založeno na nepřímé rekombinaci. „Vlnové délky se však nevyskytují ve formě jednotlivých spektrálních čar, nýbrž vykazují přibližně Gaussovo rozdělení. Příčinou

jsou teplotně závislé různé energetické úrovně elektronů a děr, takže vznikají i různé rekombinační děje s různou pravděpodobností.“ [8]

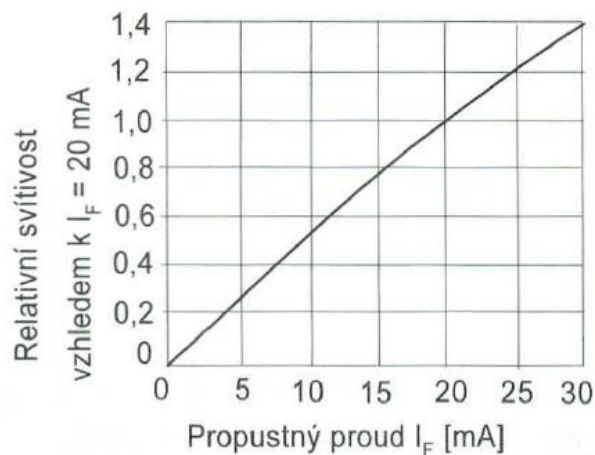


Obr. 6: Závislost vyzařování LED na vlnové délce [8]

Jsou vyráběny také tzv. RGB LED, bílé LED diody a případně i dvoubarevné diody. RGB a bílé LED jsou vyráběny v provedení se čtyřmi, případně se šesti vývody. V provedení se čtyřmi vývody mívají většinou společné anody nebo katody. V případě dvoubarevných diod mohou mít jejich pouzdra dva nebo tři vývody. U diod se dvěma vývody jsou v pouzdru dva LED čipy zapojeny tak, že při jedné polaritě napětí svítí LED dioda jedné barvy a při opačné polaritě dioda druhé barvy. Dioda v pouzdře se třemi vývody může mít opět společnou anodu nebo katodu. Při generování bílého světelného záření LED diodou se používají dva způsoby, a to buď využití více barevných LED (kombinace barev RGB) nebo použití dané LED a luminoforu. Nejčastějším způsobem realizace bílé LED je kombinace modré LED a žlutého luminoforu (YAG).

3.1.4 Svítivost LED

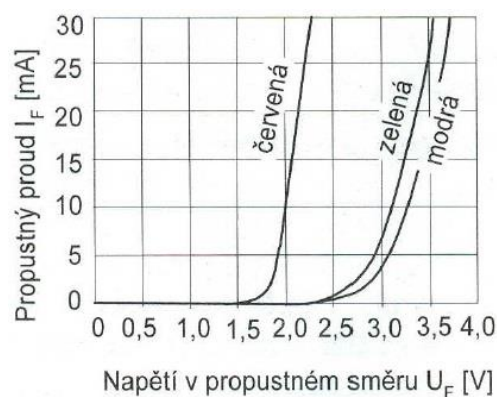
Svítivost (I_V) LED je udávána pro určitý proud diodou v přímém směru. Je závislá na provedení samotného čipu, na struktuře PN přechodu, na materiálu pouzdra a na protékajícím proudu v propustném směru. Výrobci je tato hodnota většinou udávána pro proud $I_F = 20 \text{ mA}$.



Obr. 7: Závislost svítivosti na proudu LED [7]

3.1.5 V-A charakteristika LED

Červená LED má menší napětí U_F než zelená LED. Velikost napětí U_F je závislá na použitém materiálu diody, na samotné konstrukci, na proudu I_F a na teplotě. Se zvyšující se teplotou velikost napětí U_F klesá.

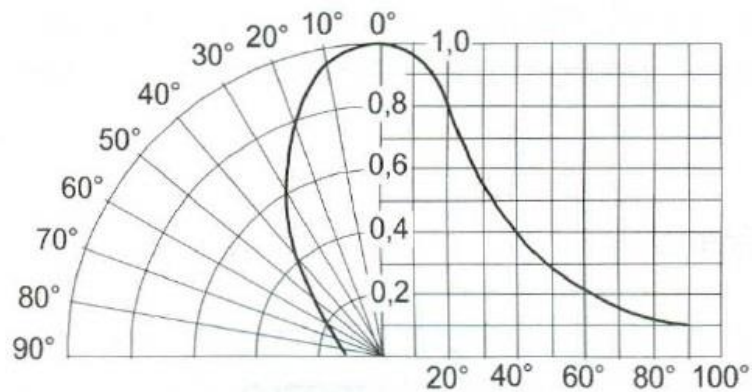


Obr. 8: V-A char. červené, zelené a modré LED [7]

3.1.6 Vyzařovací charakteristika

Vyzařovací charakteristika LED diody může mít různou šířku a tvar v závislosti na konstrukčním uspořádání a provedení pouzdra. Vyzařovací charakteristika udává, jak se v závislosti na odchylce od osy diody mění relativní svítivost (nejvyšší hodnota relativní svítivosti je 1). Odchylka od osy je vyjádřena ve stupních, relativní svítivost pak v desetinných číslech, popř. pomocí půlkružnic. Výrobce je také uváděn tzv. poloviční vyzařovací úhel, při kterém má vyzařování poloviční intenzitu (0,5) oproti maximální

intenzitě (1). Poloviční vyzařovací úhly vyráběných diod nabývají hodnot přibližně od $\pm 15^\circ$ u diod s čirým pouzdrem do $\pm 60^\circ$ u diod s difúzním pouzdrem. [7]



Obr. 9: Vyzařovací char. LED s polovičním vyzařovacím úhlem 32° [7]

U vysílacích prvků jako jsou LED diody, rozlišujeme provedení s rovinným sklem a s optickou čočkou. V provedení se sklem se vyznačují velkým vyzařovacím úhlem a relativně menší zářivostí. Dobře se uplatňují zejména u optických senzorů na principu reflexní závory, kde je vyžadován paralelní chod paprsků. Naopak u diod s čočkami je zářivost relativně velká, ale vyzařovací úhel je malý. [8]

3.1.7 LED v impulzním režimu

Při dodržení rezervy k mezní hodnotě výkonové ztráty a k teplotě přechodu polovodiče může být luminiscenční dioda provozována ve spínacím režimu. Dioda je buzena napěťovým impulzem a svítí právě po dobu trvání impulzu. V časovém intervalu mezi dvěma impulzy je zavřená a ochlazuje se. To umožňuje, aby byla v spínacím režimu zatěžována větším proudem než v režimu nepřetržitého svícení. Výrobce udává v katalogu hodnotu maximálního přípustného impulzního proudu a dobu periody. Velmi vhodné pro činnost v impulzním režimu jsou infradiody, jelikož mají velmi krátké doby náběhu a sestupu, řádově v rozpětí 400 ns až 1 μ s. [8]

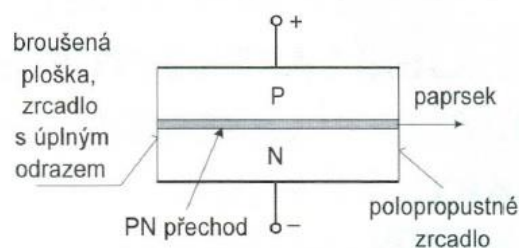
3.2 Laserové diody

3.2.1 Princip laserové diody

Laser, z anglického Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, je optický zdroj elektromagnetického záření. Světlo je z laseru vyzařováno ve formě úzkého svazku a na rozdíl od přirozených světelných zdrojů je koherentní (uspořádané), monochromatické (jednobarevné) a má malou divergenci (rozbíhavost).

Na rozdíl od spontánní emise optického záření, využívané u LED diod, je u laserových diod (LD) využívána tzv. stimulovaná (vynucená, indukovaná) emise optického záření. „*Ta spočívá v tom, že dopadá-li do soustavy na atom kvantum energie, která je rovna energetickému rozdílu uvažovaných hladin a je-li přitom atom na vyšší energetické hladině, dopadající kvantum se nepohlí, ale výsledkem jsou dvě kvanta světelné energie – optického záření o dvojnásobné energii.*“ [7]

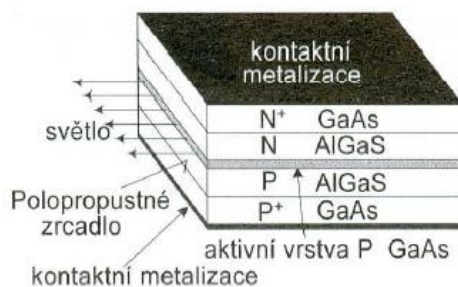
U indukované emise je rekombinační proces buzen rovnoměrně světlem o vhodné frekvenci. Elektron může dostat podnět k emisi, právě když stimulující světelná vlna dosahuje amplitudy. Tím se zajistí automatická koherence všech emisních cyklů. Aby se udržel proces, při kterém je slabým primárním zářením indukováno zesílené sekundární záření o dvojnásobné energii, musí být vytvořena optická zpětná vazba. Tou se docílí optickým rezonátorem, jehož frekvence je dána PN přechodem a v něm vzniká stojaté vlnění této frekvence, jež je základem indukované emise. Stupeň koherence je dán kvalitou rezonátoru. Samotným optickým rezonátorem pak rozumíme oblast, obklopenou odrazovými plochami, v níž je pasivní dielektrické prostředí. Nejjednodušším a u polovodičových laserů nejčastějším příkladem optického rezonátoru je soustava dvou rovnoběžných rovinných zrcadel obdélníkového tvaru v určité vzdálenosti proti sobě, tzv. Fabryův-Perotův rezonátor. Zrcadla se získají štípáním polovodičového materiálu podél krystalových ploch, např. krystalu GaAs. [8]



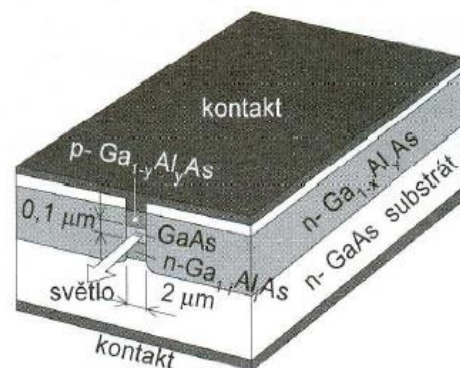
Obr. 10: Princip laserové diody s homogenním přechodem [7]

Pro dosažení vysoké účinnosti je u laserových diod využívána zpravidla dvojitá heterostruktura. Ta spočívá v tom, že mezi vrstvy z např. AlGaAs je vložena vrstva z jiného materiálu (např. GaAs) a tím vznikají dva PN přechody mezi různými materiály. V takto dané struktuře dochází k vyzařování světelných paprsků po celé délce čelní hrany aktivní vrstvy. Zúžení světelného svazku je dosahováno zúžením aktivní vrstvy a úpravami prostorového členění jednotlivých vrstev laserové diody. [7]

a) princip heterostruktury



b) uspořádání pro úzký svazek paprsků

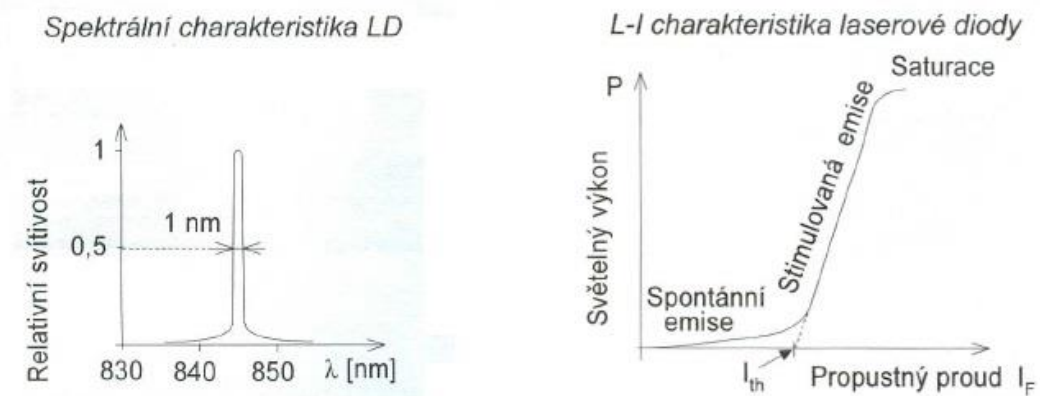


Obr. 11: Princip laserové diody s dvojitým heterogenním přechodem

3.2.2 L-I charakteristika, prahový proud I_{th}

Připojíme-li k laserové diodě zdroj napájecího napětí a budeme-li postupně zvyšovat velikost proudu v propustném směru, zjistíme, že pro malé proudy má záření spontánní charakter a je lineární funkcí budícího proudu. Z počátku se tedy chová laserová dioda jako LED. Po dosažení prahového proudu, resp. po dosažení prahu laserového generování a jeho překročení prudce narůstá výkon stimulovaného záření, a ze zrcadel rezonátoru je emitováno koherentní záření, v ideálním případě lineárně závislé na velikosti budícího proudu. Důležitou vlastností laserové diody je míra změny vyzářeného světla s přírůstkem proudu, kterou lze vyčíst z Watt-Ampérové charakteristiky, označované jako tzv. L-I charakteristika. [10]

Překročí-li velikost proudu I_F prahovou hodnotu I_{th} (threshold), přejde dioda náhle do stimulované emise. Pro správnou činnost laserové diody je tedy nutné, aby diodou protékal proud větší než proud prahový. V tomto režimu se intenzita vyzářovaného optického záření začne prudce zvětšovat a spektrální charakteristika se podstatně zúží. Velikost prahového proudu I_{th} je závislá především na provedení diody. Nabývá hodnot od jednotek mA po stovky mA u výkonových laserových diod. [7]



Obr. 12: Spektrální a L–I charakteristika laserové diody [7]

Ideální průběh L-I charakteristiky nad prahovým proudem je lineární. V praxi ovšem lze pozorovat nejrůznější nelinearity. Pro velké proudy v oblasti výkonového maxima nastává u laserových diod tzv. saturace (nasyčení), která se projeví zakřivením L-I charakteristiky. Tento jev lze v menší míře pozorovat při vyšších teplotách i při menších proudcích. Dále se objevují nelinearity v podobě variací. To jsou náhlé změny sklonu L-I charakteristiky. Mohou být způsobeny např. zpětným odrazem záření do optického rezonátoru, který má za následek dobuzení laserové diody. Při nárůstu výkonu se zároveň mění kvalita tvaru vyzařovací charakteristiky laserové diody (změna je vyjádřena zmenšováním úhlu vyzařování v rovině kolmé a rovnoběžné s rovinou přechodu PN) a rovněž se mění šířka spektra emitovaného záření. [10]

3.2.3 Typy laserových diod

V oblasti použití laserových diod jako vysílačů v problematice optických senzorů nás zajímá především jejich vyzařování, nikoliv vnitřní struktura, a tak podrobněji se budu věnovat rozdělení dle konstrukce (místa vyzařování).

Podle vnitřní struktury se polovodičové lasery dělí na:

- homostrukturní lasery (Homostructure Laser – HoL)
- heterostrukturní lasery (Heterostructure Laser – HL)
- lasery s rozloženou zpětnou vazbou (Distributed Feed Back Laser – DBFL)
- lasery s kvantovými jámami (Quantum Wells Laser – QWL)

Podle konstrukce (místa vyzařování) se polovodičové lasery dělí na:

- hranově vyzařující lasery (Edge Emitting Laser – EEL)
 - Tento typ konstrukce laserových diod vysílá záření z hrany přechodu. Ve výrobě i aplikacích laserových diod zatím převládá. Stále více se však uplatňují plošně vyzařující typy konstrukce VCSEL. [11]
- plošně vyzařující lasery (Vertical Cavity Surface Emitting Laser – VCSEL)
 - VCSEL vysílají optické záření, generované ve vertikální rezonanční dutině kolmo na povrch. Tento typ konstrukce bývá účinnější než EEL. Při zavádění světelného záření z VCSEL do optického vlákna bez dalších optických komponent se dosahuje účinnosti až 80 %.
 - Výhodou je, že může být vyráběna na jednom polovodičovém plátku a celá struktura může být plošně integrována s dalšími součástkami.
 - Kruhové uspořádání paprsků a malá divergence vylučují potřebu korekčních optických čoček.
 - Mají malou hodnotu prahového proudu, vysokou přenosovou rychlost a nízkou výkonovou spotřebu. [11]

3.2.4 Napájení laserových diod

Laserové diody jsou mnohem náchylnější na použitou napájecí techniku. Není přípustné překročení maximálního povoleného proudu, jelikož prakticky okamžitě dochází ke zničení diody. Ke stabilizaci vyzářeného výkonu se používá regulační zpětnovazební smyčka. LD je výhodné napájet stejnosměrným proudovým zdrojem. V případě stejnosměrného zdroje napětí je nutné použití prvku, omezujícího proud a zároveň umožňujícího nastavení pracovního bodu diody (těsně nad prahovou hodnotou). Do obvodu se spolu s laserovou diodou antiparalelně zapojuje také rychlá dioda pro ochranu před napětím v závěrném směru. Polovodičové LD jsou také velmi citlivé na kolísání teploty, proto je nutné zajistit jejich chlazení, neboť může dojít k rychlému zahřátí diody a jejímu zničení, popř. se změna teploty může projevit změnou parametrů, jako je

vlnová délka, kdy poté dochází k většímu uplatňování spontánní emise a následné změně prahového proudu. [7]

3.2.5 Režimy činnosti laserových diod

Laserové diody lze dle doporučení výrobce provozovat v kontinuálním režimu nebo v režimu impulzním. Diody pro impulzní režim mají speciální konstrukci, umožňující jim generovat krátké laserové impulzy s větším výkonem, než by bylo možné generovat diodou v nepřetržitém režimu. Impulz je získáván vnitřní modulací, při které se v časovém intervalu mezi dvěma impulzy v diodě nahromadí energie, která se vyzáří během dalšího impulzu. Laserové diody mají typické hodnoty doby náběhu a sestupu od 1 do 5 ns a jsou pro vysokofrekvenční optickou modulaci velmi vhodné. [7]

3.2.6 Pouzdření laserových diod

Při pouzdření laserových diod se využívá vlastnosti, že světlo může vycházet z LD dopředu i dozadu, je tedy možno zadní světlo použít k monitorování optického výkonu. Poměry mezi zářením dopadajícím na monitorovací diodu a zářením vystupující z LD se pohybují kolem 10 % a 90 %. Jako monitorovací dioda se většinou k tomu používá fotodioda (PIN), která je umístěna v pouzdře v blízkosti laserového čipu. Tato dioda má alespoň jeden vývod samostatný a lze ji zapojit libovolně, jak ve fotorezistivním (závěrném) režimu, tak i ve fotovoltaickém režimu. Procházející proud je přímo úměrný záření laseru. Pouzdro laserové diody se většinou skládá z vlastního laserového čipu, monitorovací PIN diody, základní desky, na které jsou tyto části přilepeny, pinu (nožiček), spojů a krytu s okénkem, které bývá u dražších LD antireflektované nebo také skloněné. Mnohé z pouzder LD určených pro telekomunikace obsahují také odrazné zrcátko a čočku, která fokusuje vycházející záření. Toho se výhodně využívá při navazování záření do optických vláken. Jedná se o tzv. konektorované nebo pigtailované laserové diody. Celá dioda je hermeticky zapouzdřena. [12]

4 PŘIJÍMACÍ PRVKY

U optických senzorů se přijímacím prvkem rozumí polovodičový fotodetektor, pracující na principu přeměny energie absorbovaných fotonů do měřitelné podoby. Nejčastěji se měří fotonový tok nebo optický výkon. [8]

4.1 Fotodioda

4.1.1 Princip činnosti

Úkolem fotodiod je převod přijatého světelného signálu na elektrický proud. Fotodetektory využívají vlastností PN přechodu, na který dopadá optické záření. Nejčastěji využívané materiály jsou křemík (Si) a InGaAs. V oblasti PN přechodu vzniká úzká oblast, která se nazývá ochuzená a projevuje se vytvořením elektrického pole. Připojíme-li k fotodiodě zdroj napětí polarizovaný v závěrném směru, ochuzená vrstva se rozšíří.

Pokud na PN přechod nedopadá světelné záření, dochází k excitaci elektronů do vodivostního pásu pouze v důsledku tepelné energie, jakmile je však PN přechod osvětlen, elektrony získávají větší energii a pokud je dostatečná k překonání zakázaného pásu, přechází elektron do vodivostního pásu a zanechává za sebou díru. Vzniká pár elektron-díra. [7]

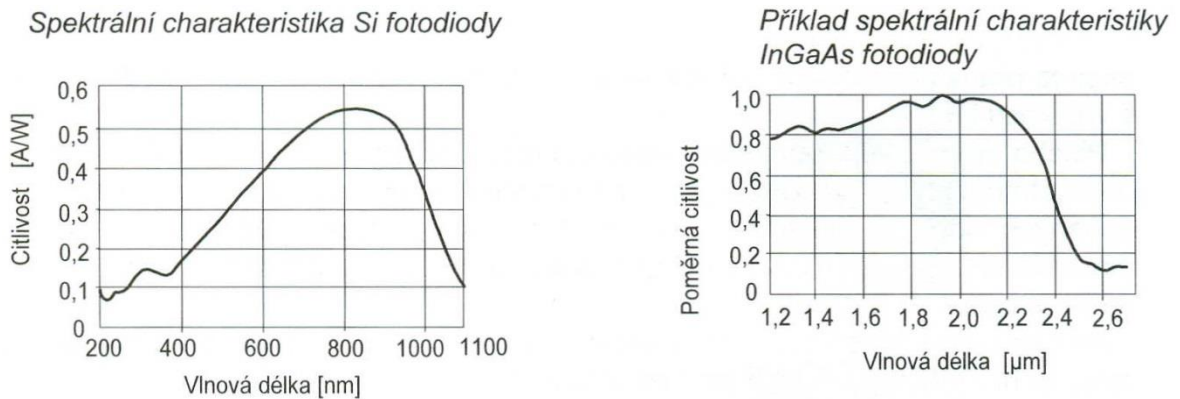
4.1.2 Citlivost fotodiody

Mírou účinnosti fotodiod je citlivost S :

$$S = \eta \cdot \frac{e}{h \cdot f} \quad (10),$$

kde η je vnitřní kvantová účinnost a $h \cdot f$ je energie vstupujícího fotonu.

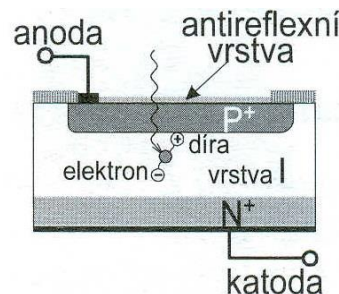
Absorpce optického záření je závislá na vlnové délce. Optické záření o krátké vlnové délce je absorbováno v tenké povrchové vrstvě diody, pro větší vlnové délky se materiál stává průhledným. Křemík je průhledný pro vlnové délky do přibližně 1100 nm. Z charakteristiky je patrné, že křemíková fotodioda má největší citlivost v oblasti červeného a infračerveného záření, dokáže však absorbovat optické záření v celém rozsahu viditelného záření. Dioda vyrobená z InGaAs je určena pro pásmo vlnových délek v blízké infraoblasti (1 μm – 2,5 μm). [7]



Obr. 13: Spektrální charakteristika fotodiody [7]

4.1.3 Fotodioda PIN

Na rozdíl od klasické fotodiody PN, je v PIN fotodiodě vytvářena širší ochuzená vrstva podle potřeby. Dioda PIN je tvořena přechodem, který má vrstvu s vlastní vodivostí uzavřenou mezi vrstvy P a N. V této oblasti je silné, rovnoměrně rozložené pole, které zvyšuje rychlost nosičů náboje. Oproti PN diodě má vyšší mezní kmitočet a kratší dobu náběhu. Velmi rychlé PIN diody mohou pracovat na kmitočtech větších než 100 GHz.



Obr. 14: PIN fotodioda [7]

4.1.4 Lavinová fotodioda

Omezení použití PIN fotodiody spočívá v tom, že dopadající foton může generovat jediný pár elektron-díra, což vylučuje jejich použití pro aplikace s malou intenzitou optického záření.

U lavinových fotodiody dochází při pohybu elektronů ke srážkám s atomy v krystalové mřížce. To má za následek vyražení dalších elektronů a vznik sekundárních nosičů náboje, které jsou rovněž urychlovány elektrickým polem a opětovně uvolňují další dvojice elektron-díra. Tento jev se nazývá fotonásobení. „Velikost přiloženého napětí

v závěrném směru nutného pro vyvolání lavinového efektu se pro InGaAs pohybuje v rozsahu od 30 do 70 V, u lavinových fotodiod vyrobených na bázi křemíku toto napětí nabývá hodnot nad 300 V.“ [7]

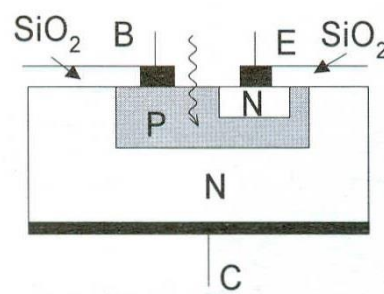
4.2 Fototranzistor

Fototranzistory jsou v podstatě fotodiody s tranzistorem jako zesilovačem fotonového proudu. Je jím možno řídit průchod nosičů náboje intenzitou dopadajícího optického záření. Může být v provedení NPN i PNP a vyráběny jsou buď se dvěma vývody (častěji) nebo s vyvedenou bází.

4.2.1 Princip činnosti

Optické záření pohlcované v oblasti báze generuje páry elektron-díra, které jsou oddělovány kolektorovým a emitorovým přechodem. Emitorový přechod je polarizován v propustném směru a tak i malá změna jeho napětí způsobí větší změnu kolektorového proudu. Nosiče náboje vysílané z přechodu emitor-báze získávají v oblasti báze takovou rychlost, že se na své volné dráze dostávají až do blízkosti kolektorového přechodu. Pole v ochuzené vrstvě přechodu je pak vtahuje přes kolektorový přechod a dochází k zesilování fotoelektrického proudu. [7]

Vzhledem ke složitější struktuře fototranzistoru oproti fotodiodě jsou fototranzistory pomalejší. Doba odezvy fototranzistorů je větší než u fotodiod řádově o desítky μs a rovněž má i nepříznivější teplotní závislost.



Obr. 15: Princip fototranzistoru [7]

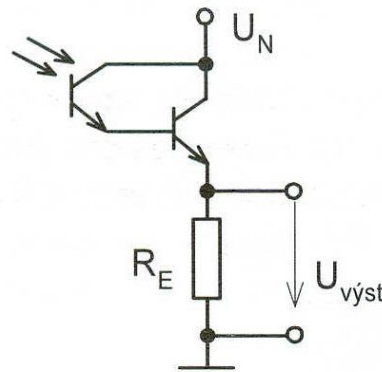
4.2.2 Realizace fototranzistorů

Aby fototranzistor nebyl ovlivňován optickým zářením nežádoucích vlnových délek, bývá vybaven světelným filtrem, který omezuje pásmo spektrální citlivosti. Světelný filtr je tvořen epoxidovým pouzdem, které může být čiré, průhledné nebo zbarvené.

Typická provedení jsou s plochým pouzdem, umožňujícím boční osvětlení fototranzistoru, s epoxidovým pouzdem a s pouzdem pro povrchovou montáž. Spektrální citlivost fototranzistorů je převážně v oblasti viditelného a blízkého infračerveného záření.

4.2.3 Fototranzistor v Darlingtonově zapojení

Použití pro aplikace, ve kterých je vyžadována velká citlivost, většinou spínací aplikace, například v optoelektronických spojovacích členech. Jsou ale použitelné téměř se všemi zdroji optického záření, pracujícími ve viditelné nebo blízké infraoblasti. Jelikož fototranzistory vykazují zesilovací činitel, jsou v porovnání s fotodiodami stejných rozměrů na optické záření mnohem citlivější. To je jeden z důvodů jejich častého použití v širokém spektru aplikací. [7]



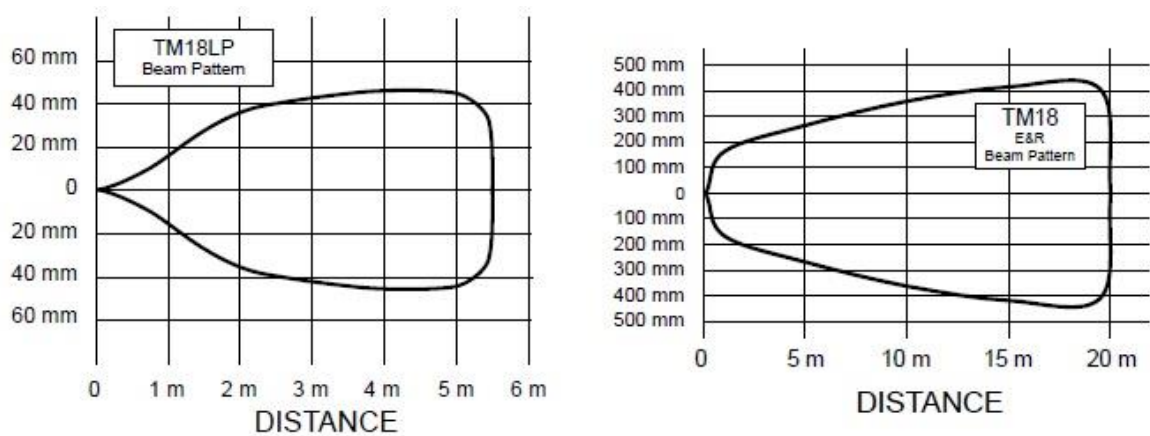
Obr. 16: Darlingtonovo zapojení [7]

5 PARAMETRY OPTICKÝCH SENZORŮ

5.1 Směrová charakteristika

V technické dokumentaci každého optosenzoru je výrobcem uvedena jeho směrová charakteristika, udávající informace o předpokládaném chování senzoru v dané aplikaci. Směrová charakteristika se zakresluje dvojrozměrně pro zcela čisté prostředí, optimální úhlové nastavení a při citlivosti senzoru odpovídající jmenovité spínací vzdálenosti a předpokládá se její symetrie kolem optické osy, a že je ve všech rovinách stejná. V reálném prostředí to však neplatí a maximální energie je v ose a pozvolna klesá směrem k hranici charakteristiky. Pro různá provedení senzorů jsou u směrových charakteristik patrné výrazné rozdíly, neboť každý způsob snímání má jinou vyzařovací charakteristiku.

Směrová charakteristika každého reflexního optosenzoru je ohraničená plocha, uvnitř které bude detekován předmět, pokud splňuje požadavky snímání. Pro všechna provedení reflexního senzoru je definována referenční odrazná karta. Materiály s menší odrazivostí mají relativně menší plochu směrové charakteristiky. [8]



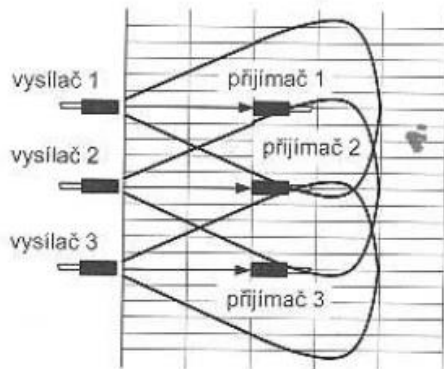
Obr. 17: Směrová charakteristika senzoru TM 18 od firmy Banner, USA při použití ve funkci reflexního senzoru a jednocestné závory [13]

Směrová charakteristika jednocestné závory definuje oblast, ve které přijímač spolehlivě zachytí vysílaný paprsek. Na vodorovné ose je vynesena vzdálenost mezi vysílačem a přijímačem, na svislé ose pak šířka aktivního paprsku. Předpokladem je perfektní nastavení vysílače vůči přijímači.

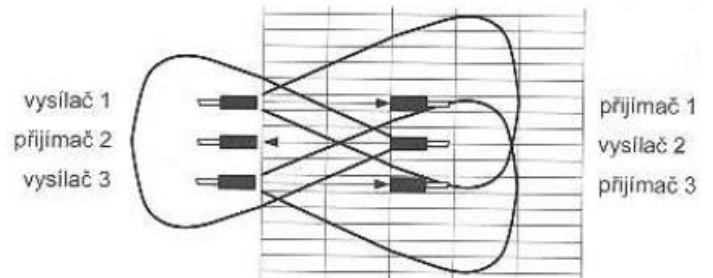
Ze směrové charakteristiky se dá také předem zjistit, jak blízko sebe mohou být senzory namontovány, aniž by se rušili. Pokud je nutné senzorové páry umístit blízko sebe,

např. světelné závěsy pro měření rozměrů, využívá se principu, kdy sensorové páry jsou aktivovány postupně a tak je každý vysílač zapnut pouze po dobu, po kterou je aktivní jeho přijímač. Řízení zajišťuje elektronický modul. [8]

Směrová char. definuje min. vzdálenost sensorů



Těsná montáž jednocestných závor



Obr. 18: Montáž optosenzorů s ohledem na směrovou char. [8]

5.2 Výkonová rezerva

Každý senzor pracuje za určitých provozních podmínek (špína, prach, kouř, vlhkost,...), které způsobují zeslabení (útlum) signálu a výkonová neboli provozní rezerva je obecný parametr každého senzoru. Výkonovou rezervou tedy rozumíme výkon, který je potřebný pro překonání a zaručuje nám spolehlivost snímání.

$$\text{výkonová rezerva} = \frac{\text{světelná energie na přijímacím prvku}}{\text{prahová úroveň}}$$

„Prahová úroveň je velikost přijatého výkonu, která právě vyvolá změnu výstupního signálu. V modulovaných optoelektronických systémech je světelný výkon obvykle vyjadřován napětím po prvním zesílení za přijímacím prvkem. Toto napětí je porovnáváno s prahovou úrovní. Koeficient, který říká kolikrát je hodnota přijatého signálu větší než prahová úroveň, je výkonová rezerva.“ [8]

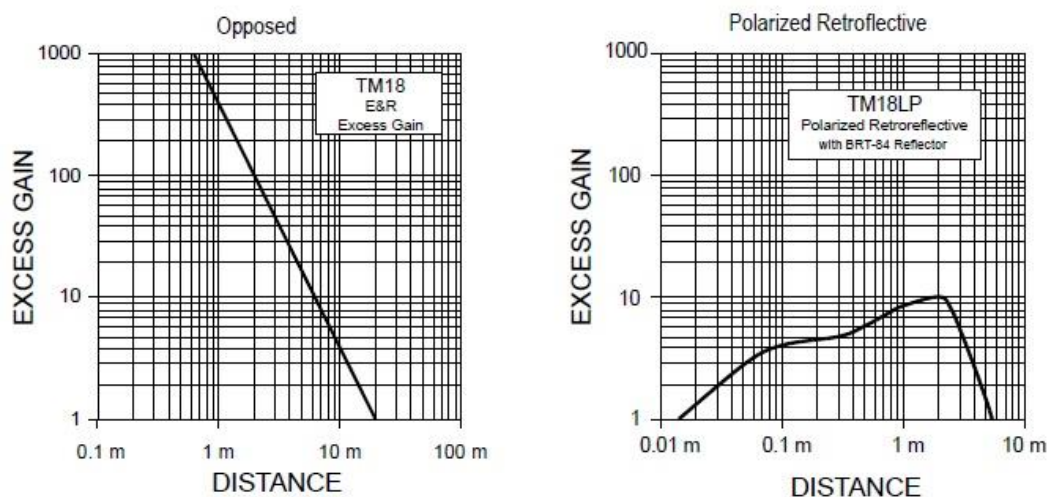
Výkonová rezerva se uvádí jako funkce vzdálenosti a její křivka platí pro zcela čisté prostředí a maximální zesílení. Při výrobě je každý senzor na svou typovou křivku nakalibrován, a ta je garantována.

Tab. 3: Minimální výkonová rezerva pro dané prostředí [8]

Minimální Výkonová rezerva	Provozní prostředí
1,5 x	Čistý vzduch, špína se na čočky neusazuje.
5 x	Mírné znečištění, mírné usazování prachu, špíny, oleje a vlhkosti, čištění čoček je předepsáno.
10 x	Střední znečištění, usazování nečistot zřejmé, předepsáno jen příležitostné čištění čoček.
15 x	Velké znečištění, husté usazeniny na čočkách, mlha, kouř, olejový film, čištění není předepsáno.

U jednocestné závory je provozní rezerva nepřímě úměrná čtverci vzdálenosti. Jestliže je vzdálenost dvojnásobná než referenční, poklesne rezerva na 1/4 a podobně když bude trojnásobná, klesne na 1/9 původního výkonu. Výsledkem této závislosti je v logaritmických souřadnicích přímka. Jednocestná závora má ve srovnání s jinými provedeními největší výkonovou rezervu. [8]

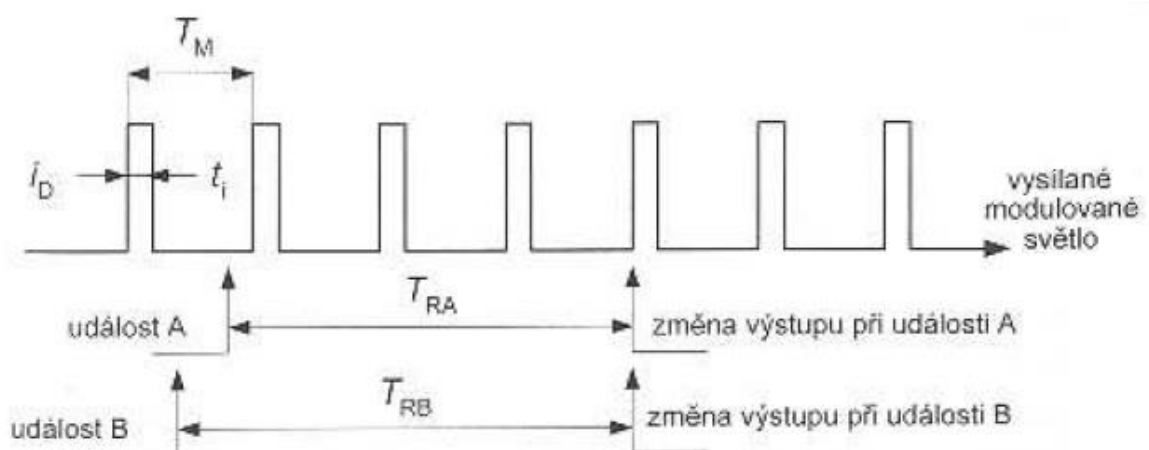
Křivka výkonové rezervy reflexní závory (na obr. 19 vpravo) platí jen pro konkrétní odrazku, kterou výrobce vždy typově uvádí. Reflexní senzory mají obecně režim snímání málo účinný, neboť přijímač si musí vyhledat relativně malou část světla, která se odrazí od povrchu snímaného předmětu. Výsledkem je mnohem menší výkonová rezerva, navíc světelný výkon musí projít povrchy čoček a odrazky na obou stranách dráhy, tudíž je nutno počítat s dvojnásobnou hodnotou útlumu ve srovnání s jednocestnou závorou (na obr. 19 vlevo). [8]



Obr. 19: Typické křivky výkon. rezervy pro TM 18 od firmy Banner, USA [13]

5.3 Reakční doba

Reakční dobou nebo též odezvou výstupu senzoru se rozumí maximální časová hodnota, potřebná pro zpracování změny vstupního signálu na změnu výstupního signálu. V případě analogového výstupu je reakční doba čas potřebný pro náběh výstupu z minimální hodnoty na maximální a naopak. Tyto dva časy však nebývají stejné a tak jsou v katalogu uváděny oba. Reakční dobu může výrazně ovlivnit charakter zátěže. Například zátěže indukčního charakteru působí výrazné prodloužení reakční doby. Pokud na snímanou událost navazuje další akce, je potřeba znát opakovatelnost reakční doby. Opakovatelnost je definována jako přechod tma-světlo a nikoliv obráceně, kdy vychází asi o 10% menší. Vychází se z toho, že: „vysílaný signál je trvalý sled impulzů. Základem přijímače je synchronně s vysílačem řízené hradlo a obousměrný čítač s předvolenou horní a dolní mezí. Tím je definován digitální spínací bod včetně hystereze, která bývá 3 nebo 4 impulzy. Hlavním důvodem pro použití tohoto způsobu vyhodnocení vstupního signálu je potlačení rušivých impulzů. Jelikož snímací událost může nastat v jakémkoliv okamžiku během modulační periody, může mít i reakční doba odchylku od hodnoty hystereze v rozpětí 0 až T_M (obr. 20). A právě perioda vysílaného signálu je v katalogích uváděna jako opakovatelnost reakční doby.“ Při analogovém zpracování signálu se musí do opakovatelnosti zahrnout ofsetové a driftové hodnoty a její velikost je tedy větší než u digitálního signálu. Opakovatelnost násobená rychlostí pohybu snímaného předmětu se nazývá mechanická opakovatelnost. [8]



Obr. 20: Reakční doba T_R může mít maximální odchylku od hodnoty hystereze rovnou periodě T_M [8]

6 TECHNIKA OPTICKÝCH SENZORŮ

6.1 Reflexní senzor

Používají se ke zjištění přítomnosti předmětu, snímání a měření vzdáleností, vyhodnocení na základě barvy, kontrastu. Snímají světelný výkon a porovnávají jej s nastavenou požadovanou hodnotou. Dělíme je do 3 skupin:

6.1.1 Reflexní senzor – difuzní

Na senzoru je přednastavena úroveň amplitudy přijímaného signálu a výstupní obvod senzoru je aktivován, pokud světlo vyzářené vysílačem je difuzně odraženo od opticky hrubého předmětu zpět k přijímači, a přijatý signál překročí nastavenou úroveň. Snímací vzdálenost je závislá na odrazivosti objektu a na citlivosti senzoru. Tento typ reflexního senzoru je velice citlivý na úhlu odklonění odražejících se paprsků. Problém je zejména u snímání lesklých povrchů, popř. snímání světlého předmětu na světlém pozadí. Většina výrobců difuzních reflexních senzorů garantuje správnou funkci senzoru pouze za předpokladu, že lesklý povrch snímaného předmětu je přesně paralelní s rovinou čočky. Reflexní senzor v difuzním provedení je vhodný pro snímání všech opticky hrubých předmětů a to i velmi malých rozměrů. Jelikož přijatý optický výkon je po difuzní reflexi velmi malý, jsou malé i spínací vzdálenosti, typicky od 0 do 500 mm. [8]

6.1.2 Reflexní senzor – divergentní

Oproti difuznímu senzoru je mnohem méně závislý na odklonu paprsků světla, má však značně zkrácenou spínací vzdálenost. Dosah senzoru je ovlivněn velikostí detekované plochy a malé předměty jsou detekovány velmi obtížně, avšak dlouhé a tenké předměty jsou z relativně malé vzdálenosti úspěšně snímány. [8]

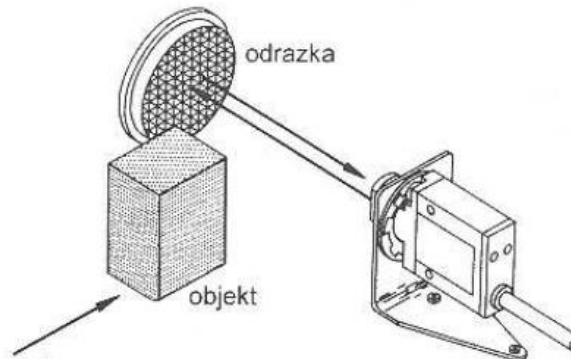
6.1.3 Reflexní senzor – konvergentní

Reflexní senzor v tomto provedení umí na rozdíl od difuzního nebo divergentního snímat mimo předmětů malých rozměrů i materiály s velmi špatnou reflexí. Používá dvojici čoček se stejnou ohniskovou vzdáleností, které zaostřují světlo vysílače do ohniska a snímací vzdálenost je tak pevně dána pro daný světelný zdroj a musí být přesně dodržena v rozsahu hloubky ostroty. Často je třeba detekovat jen ty předměty, které procházejí před senzorem uvnitř dané vzdálenosti a ignorovat pevné nebo pohyblivé předměty v pozadí. Pokud má pozadí větší reflexi než snímaný předmět, předmět nebude zachycen. [8]

Pro takové případy se používají senzory s potlačeným pozadím. Jejich principem je použití dvou různě směřovaných přijímačů a porovnání intenzit světla, které na ně dopadlo. Zásadní roli zde hraje velikost snímaného předmětu. Reflexní senzor s potlačeným pozadím je spolehlivým, ale pro obsluhu ne úplně přívětivým řešením, protože neumožňuje snadnou montážní změnu pro snímané předměty, která je na strojích požadována. Existuje však varianta provedení tohoto senzoru, která vyhoví i v náročnějších aplikacích. Jedná se o reflexní senzor s nastavitelnou vzdáleností potlačení pozadí, která vyhoví i v náročnějších aplikacích. Nastavení se provádí většinou mechanicky naklápěním zrcátka uvnitř senzoru. Další variantou senzoru tohoto typu je senzor s potlačeným popředím, který se využívá především na dopravnících. [8]

6.1.4 Reflexní závora

U reflexních závor je světelný paprsek vyzařován vysílačem a zpět se vrací odrazem. Detekuje se přerušení světelného paprsku objektem. Oproti sensorům s difuzní reflexí se díky použití odrazných prvků dosahuje navrácení mnohem většího optického výkonu zpět do přijímače, a tudíž i snímací vzdálenosti jsou mnohem větší.



Obr. 21: Princip reflexní závory [8]

Důležitým prvkem reflexní závory je odrazka neboli reflektor. Ta je většinou vyráběna lisováním odolného plastu a sestává se z malých trojbokých hranolků, a je tedy prostorová. Její hlavní výhodou je, že zaručuje správnou funkci i při odklonu o 20° od kolmé osy dopadajícího světelného paprsku. Použití obyčejných odrazek se nedoporučuje kvůli zkrácení dosah senzoru, nelze to však vyloučit. Obdobnou náhradou prostorových odrazek jsou odrazky samolepkové, jejichž hlavní výhoda spočívá ve snadné montáži, popřípadě využití jednoduchých zrcadlicích ploch, avšak odraznou rovinu je pak třeba nastavit přesně kolmo k dopadajícímu paprsku, neboť i nepatrná odchylka vede ke ztrátě

funkce. Pokud je objekt, který přerušuje optický paprsek velice reflexní, popřípadě je objekt zaoblený nebo značně tvarovaný, řeší se tato problematika vodorovným odkloněním senzoru, respektive vodorovným i svislým odkloněním. [8]

6.2 Jednocestná závora

Velkou výhodou jednocestní závory je jednoznačně velká snímací vzdálenost (až 200 m). Oproti reflexním závorám dokáží spolehlivě detekovat i zrcadlíci se objekty. Princip spočívá v oddělení vysílače od přijímače, mezi nimiž je světelný paprsek. Při přerušení paprsku objektem se aktivuje výstup senzoru. Hlavní nevýhodou je kvalitní polohové seřízení vysílače a přijímače v optické ose a poměrně obtížná detekce malých, popř. nízkých objektů, dále také vyšší instalační náklady. Pro tyto případy se čochám předřazují clony, aby se zredukovala velikost efektivního paprsku.

6.3 Optické vláknové senzory

V mnoha průmyslových aplikacích nelze dříve zmíněné techniky provedení optických senzorů použít, ať už z nedostatku montážního prostoru, vysoké teplotě nebo například elektromagnetickému rušení. Z toho důvodu se využívají často optické vláknové senzory. Vlastní světlovodič je tvořen nejméně ze dvou částí, ze dvou opticky rozdílných materiálů, které zaručí vedení světelného záření - jádro a plášť, přičemž plášť má nižší index lomu než jádro. Pro přípravu těchto částí optického vlákna se používají plastová nebo skleněná vlákna, popř. vlákna hybridní (gradientní). Optická vlákna fungují na principu totální vnitřní reflexe, jež spočívá v tom, že světelný paprsek, který narazí na rozhraní dvou materiálů s různým indexem lomu, bude úplně odražen. Předpokladem je, že úhel dopadu je menší než tzv. kritický úhel. Světelný paprsek, který vstoupí do světlovodiče pod větším úhlem než je kritický úhel, je ztracen v obalu. Optická vlákna rozdělujeme na jednovidová, mnohavidová a gradientní, kde není možné nalézt rozhraní mezi jádrem a pláštěm, neboť jednotlivé materiály jsou v sobě rozpuštěny. Světlo se v nich tak nešíří pomocí totálního odrazu, ale pomocí difrakce (ohybu) světla.

Optické vláknové senzory se používají nejčastěji ve dvojím provedení: jednotlivé a rozdvojené. Jednotlivé světlovodiče vedou světlo od vysílače na místo snímání a z místa snímání druhým samostatným vodičem zpět k přijímači senzoru. Fungují tedy na principu jednocestné závory, kdežto rozdvojené optické vláknové senzory mají rozvětvení těsně za pouzdem senzoru a vysílané i přijímané světlo vedou k místu snímání jedním společným

vodičem. Využívají nejčastěji principu reflexe. Nejčastěji se pro účinný přenos signálu světlovodiči využívá viditelného červeného světla, pro něj platí nejnižší útlum. [8]

„Vláknové optické senzory mohou být použity poměrně účinně pro detekci blízkosti předmětů a úrovní hladin. Pokud je senzor nad hladinou kapaliny, vysílací vlákno posílá většinu ze světelného záření ve směru osy přijímacího vlákna s využitím principu totálního odrazu. Nicméně, některé světelné paprsky, šířící se optickým vláknem pod úhlem menším než je úhel úplného vnitřního odrazu se rozptýlí do okolí.

Když světelný paprsek dosáhne úrovně hladiny kapaliny, úhel úplného vnitřního odrazu se změní, protože index lomu kapaliny je vyšší než index lomu vzduchu. To má za následek mnohem větší ztráty optického výkonu, který může být zachycen na druhém konci přijímacího optického vlákna. Intenzita světla je převedena na elektrický signál pomocí vhodného fotosnímače.“¹ [14]

¹ Fiber-optic sensors can be used quite effectively as proximity and level detectors. When the sensor is above the liquid level, a transmitting fiber sends most of its light to the receiving fiber due to the total internal reflection in the prism. However, some light rays approaching the prism reflective surface at angles less than the angle of total internal reflection are lost to the surroundings.

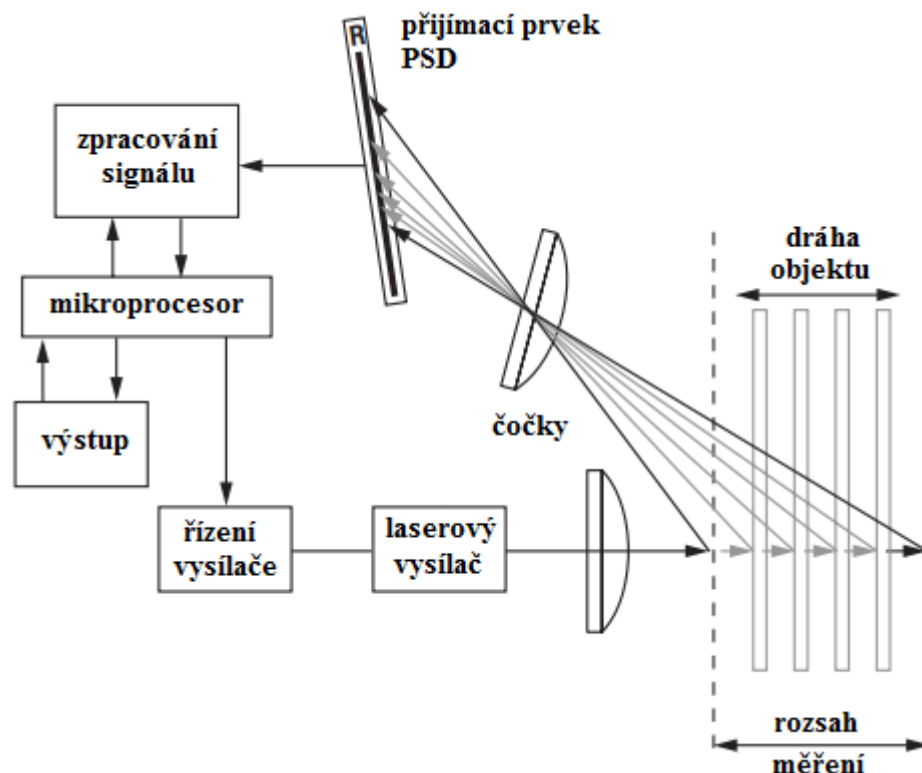
When the prism reaches the liquid level, the angle of total internal reflection changes because the refractive index of a liquid is higher than that of air. This results in a much greater loss in the light intensity, which can be detected at the other end of the receiving fiber. The light intensity is converted into an electrical signal by any appropriate photodetector.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

7 DRUHÝ OPTICKÝCH SENZORŮ

7.1 Senzory pro měření vzdáleností a polohy využívající triangulační metodu

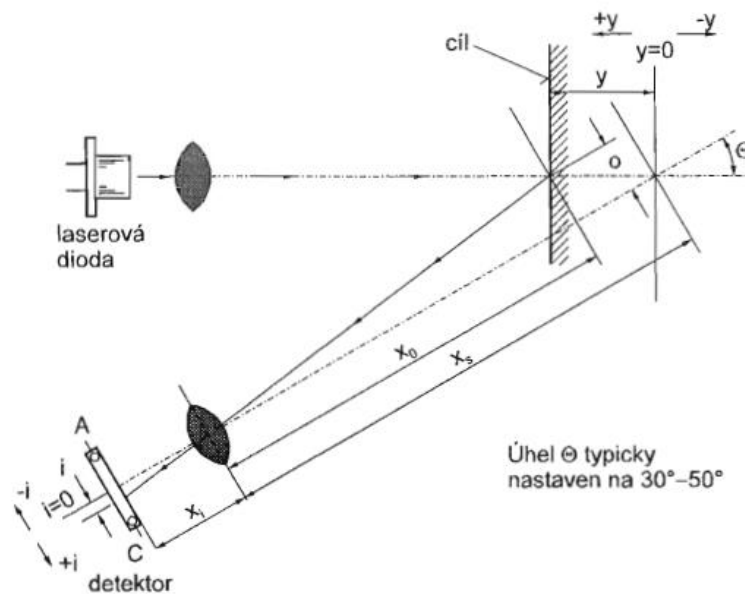
Triangulační metoda je nejstarší používanou metodou u optických senzorů pro měření přesné polohy. Rozlišujeme aktivní (triangulační trojúhelník) a pasivní (není uvažováno geometrické uspořádání osvětlení) triangulační metodu. Princip spočívá v reflexi úzkého světelného paprsku od snímaného objektu. Odražený světelný paprsek se většinou vrací silně rozptýlený (difuzní reflexe). Pro generování úzkého světelného paprsku se nejčastěji používají laserové polovodičové diody, popř. pro větší světelný výkon se užívá helium-neonového laseru s paprskem do třídy 2 dle EN 60825. Pro rychlé měření vzdálenosti, posunu a polohy na rozžhavených kovech a křemíku se používá tzv. technologie modrého laseru.



Obr. 22: Princip optoelektronické triangulace [8]

Přijímacím prvkem, který umí vyjádřit proměnnou polohu stopy odraženého paprsku je buď CCD řádek, nebo PSD. Senzor CCD se používá zejména u velmi přesných měření na velké vzdálenosti. V typickém uspořádání na Obr. 23 svazek z infračervené diody modulovaný kmitočtem dopadá na povrch měřeného objektu s nenulovým koeficientem

odrazu. Pohyb objektu vyvolá odpovídající posuv stopy na senzoru typu PSD. Modulovaný signál se pak snadno zesiluje střídavým zesilovačem a dále vyhodnocuje synchronní detekcí, proto je možné sensor použít i pro objekty s malou odrazivostí. [15]



Obr. 23: Princip senzoru na triangulačním principu [15]

Pro měření přesné polohy na krátké a dlouhé vzdálenosti, pracuje velmi efektivně optický systém v blízké infračervené oblasti. Typickým příkladem je polohově citlivý polovodičový prvek PSD (position-sensitive detector), vyráběný pro přesné snímání polohy a ostření v oblasti fotografie a videokamer. PSD funguje na principu fotoefektu. Využívá povrchového odporu křemíkové fotodiody. Světelný paprsek, který na polohově citlivý prvek dopadne, vyvolá proud fotonů, který se větví k oběma koncům polovodičové destičky. Při stejných zátěžích na obou koncích se z poměru obou proudů určí poloha světelné stopy. [14]

Triangulační metodou, použitou v mnoha tzv. profilových snímačích lze provádět: přesnou bezdotykovou kontrolu rozměrů, detekci tvaru profilů, převýšení, přesnosti sesazení, velikosti mezer, měření úhlů či rozměrů ploch s přesností v řádu až mikrometrů, kontrolu velikosti spár a chyb sesazení pouzder zařízení či karosérií automobilů, 2D kontrolu tvaru vyráběných profilů, kontrolu uhnutí hran, měření zkosení hran desek, přesnost montáže, lepení či tmelení, svařování prvků a kontrolu povrchových úhlů a mnoho dalšího.

Metoda aktivní triangulace spočívá ve fotogrammetrické rekonstrukci snímaného objektu nasvícením jeho povrchu světelným zdrojem a současným snímáním odraženého

světla senzorem. "Zdroj světla spolu se snímačem a osvětleným bodem na zkoumaném objektu tvoří tzv. triangulační trojúhelník. Spojnici světelný zdroj - snímač nazýváme triangulační bází (základnou). Na straně zdroje je úhel svíraný s triangulační bází neměnný, kdežto na straně snímače je úhel určen proměnnou pozicí vysvíceného bodu na přijímacím senzoru. V případě profilových snímačů se jako zdroje světla dnes nejčastěji využívá laseru a jako přijímač (senzor světla) skoro výhradně CCD senzor. Ten tak masově nahradil dříve využívané PSD senzory. Paprsek laseru však zde není svázán do úzkého svazku, ale naopak je optikou vysílače rozšířen na světelný profil ve tvaru průřezu kužele. Ten v dané vzdálenosti od čela snímače na snímaném povrchu vytváří v ose X široký, ale naopak v ose Y úzký osvětlovací paprsek. Ten následně na ploše CCD senzoru přijímače vytváří X-Z souřadnicový obraz profilu snímaného povrchu. Jde tedy o 2D snímání, kde obraz na CCD prakticky odpovídá obrysu (tvaru) horní poloviny řezu snímaného profilu v místě, kde na něj dopadá paprsek. Čím užší je vysílaný paprsek v ose Y, tím přesnější je samotné měření, přesněji řečeno tím větší je rozlišovací schopnost profilového snímače. Proto se také využívá jako zdroje světla tenkého laserového paprsku. [16]



Obr. 24: Senzor vzdálenosti s modrým laserem od firmy Micro-Epsilon [17]

7.2 Laserové fotoelektrické snímače

Laserové fotoelektrické snímače existují v provedení:

- Vysílač/přijímač
- Polarizovaná reflexní detekce
- Difúzní detekce

- Difúzní detekce s potlačeným pozadím

Výhodou laserového světla je, že vytváří v místě detekce zřetelně viditelný červený bod, což usnadňuje nastavení. V bodu, kde dochází k soustředění laserového paprsku, se dosahuje vysoké přesnosti. Díky tomuto intenzivnímu světlu jsou laserové fotoelektrické snímače vysoce odolné vůči nečistotám. Všechny laserové fotoelektrické snímače pracují z bezpečnostního zdravotního hlediska nejvýše s laserovým paprskem třídy 2 dle EN 60825. Používaný laserový paprsek nepředstavuje v normálním pracovním prostředí pro zdravé oči žádné nebezpečí, nicméně se nedoporučuje dívat se přímo do laserového paprsku. Tyto snímače jsou proto opatřeny výstražným označením.

Smyslem stanovení ochranné třídy laseru je ochrana osob před vyzařováním laseru podle specifických limitních hodnot. Podle způsobu použití laseru jsou tato zařízení zařazena do tříd, v závislosti na stupni rizika. Výpočty použitelné pro zařazení a z toho vyplývající limitní hodnoty jsou popsány v normě ČSN EN 60825-1. Zařazení je závislé na výstupním výkonu a vlnové délce, bere v úvahu také délku trvání vysílání, počet pulsů a úhel vyzařování.

- Třída 1: bezpečná, žádná bezpečnostní opatření
- Třída 2: nízký výkon, k ochraně postačí zavření očních víček.

Pro zařízení ve třídě 1 a 2 se oči musí chránit před samovolným pohledem do paprsku delším, než je reflex zavření víček. Příslušné varující etikety musí být umístěny na snímači a v některých případech i na stroji, kde je laser použit. Další mechanická nebo optická opatření nejsou nutná. Při provozu zařízení třídy 1 nebo 2 není nutné určovat žádnou osobu zodpovědnou za provoz zařízení. [18]

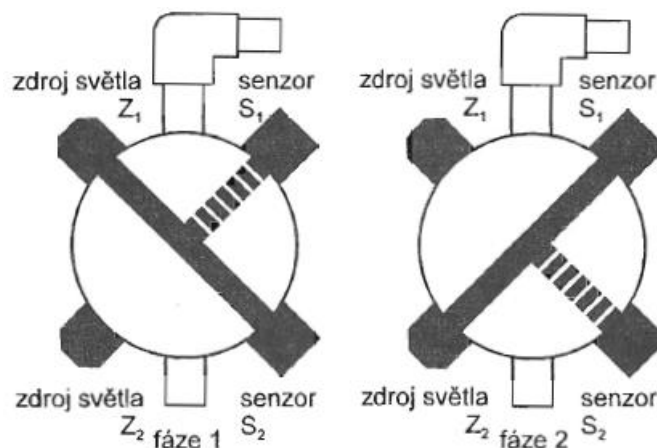


Obr. 25: Laserový fotoelektrický sensor Panasonic EX-L200 [19]

7.3 Senzory turbidity

Turbidita je optická vlastnost látky, zapříčiňující absorpci a rozptyl světla a takto zmenšující se propustnost. Příčinou turbidity je shlukování částic v kapalině, způsobené přítomností prachu nebo zrn pevných látek. Cílem měření turbidity je zjištění koncentrace v kapalině nerozpuštěných částic.

„Většina senzorů turbidity vychází z měření poměru světelných toků pod úhlem 90° ; k toku ve směru šíření. Velmi dobrou opakovatelnost měření zajišťuje konfigurace se čtyřmi modulovanými světelnými svazky, která je uvedena na obrázku. V první fázi je zapnut zdroj Z_1 , senzor intenzity světla S_2 snímá průchozí a senzor S_1 rozptýlené světlo. V druhé fázi (asi za 0,5 s) se postupuje analogicky při zapnutém zdroji Z_2 . Takto se získají čtyři nezávislé výsledky měření, oba senzory se vystřídají ve funkci měření průchozího a rozptýleného záření a mikropočítač vypočítá výslednou turbiditu poměrovým algoritmem.“ [15]



Obr. 26: Princip měření turbidity

Senzory turbidity, někdy označované jako kontinuální zákaloměry pro přesnější měření využívají kombinaci měření poměru světelných toků pod úhlem 12° a 90° . Lze tak získat představu o charakteristice částic způsobujících zákal (např. při filtraci může být průnik látky filtrem zaznamenán nárůstem signálu způsobeným většími částicemi, přičemž zákal drobných částic je pro sledování průběhu filtrace zpravidla nevýznamný a slouží hlavně ke korekci celkové hodnoty zákalu). Směr rozptýlených paprsků je určen velikostí částic zákalu. Pro částice větší než $0,3 \mu\text{m}$ obecně platí, že světlo je nejintenzivněji rozptylováno v přímém směru pod úhlem 12° . Naopak pro částice menší než $0,3 \mu\text{m}$ je světlo rozptylováno převážně do stran, a to pod úhlem 90° . Kromě speciálních zákaloměrů se k měření turbidity využívá i optických vláknových senzorů. Oblast využití senzorů

turbidity je široká, přes kontrolu filtrace vody se využívá také v biotechnologii, chemickém, papírenském průmyslu nebo např. při kontrole čistoty kondenzátorů a čistoty surovin a produktů.



Obr. 27: Kontinuální zákaloměr MoniTurb FS [20]

7.4 Nefelometrické senzory

Hlavní aplikací nefelometrických senzorů je měření koncentrace kouřových částic na principu rozptylu světla, obdobně jako u senzorů turbidity. Místo přímého měření rozptýleného světla senzorem kolmým na směr šíření se měří absorpce (intenzita difúzního rozptylu). Jako světelný zdroj se využívá helium-neonový laser. Rozptýlené světlo se sleduje detektorem na opačné straně kouřovodu, nastaveným pod úhlem 5 až 35°, popř. jednostranně s odrazným zrcátkem ve funkci reflexní závory. Jednoduchých verzí nefelometrických senzorů se užívá jako detektorů kouře v hlídaných prostorách. [15]

7.5 Refraktometrické senzory

Refraktometrické senzory využívají principu změny indexu lomu (měření mezního úhlu) při průchodu světelného paprsku různým optickým prostředím. Specifická refrakce je charakteristickou veličinou pro danou látku a této skutečnosti se využívá pro kontinuální měření koncentrace látek v řadě chemických a potravinářských výrob (petrochemie, výroba lihu, cukru, detekce nečistot v olejích apod.). Vyhodnocuje se světlo odražené od rozhraní mezi optickým hranolem a měřeným médiem. Svazek paprsků světla od zdroje je směřován k rozhraní mezi hranolem a měřeným roztokem. Paprsky světla dopadají na rozhraní pod různými úhly. V závislosti na velikostech úhlu dopadu a mezního úhlu projde část světla do kapalného média a část se odrazí od rozhraní. V případě, že úhel dopadu je větší než mezní úhel, dochází k úplnému odrazu na fotoelektrický senzor, který je rozdělen na světlou a tmavou oblast. Poloha rozhraní mezi světlou a tmavou oblastí závisí na

velikosti mezního úhlu a tedy na hodnotě indexu lomu kapalného média. U roztoků, jejichž koncentrace se mění, dochází i ke změně indexu lomu. Elektronické obvody řízené mikroprocesorem zajišťují i automatickou teplotní kompenzaci, případně linearizaci závislosti výstupního signálu na koncentraci. Výhodou refraktometrů tohoto typu je, že výsledek měření není ovlivněn viskozitou roztoku, jeho zabarvením či zakalením nebo přítomností bublinek či nerozpustných částic. Jako refraktometry se často užívají optické vláknové senzory. [21]

7.6 Optické zářezové senzory

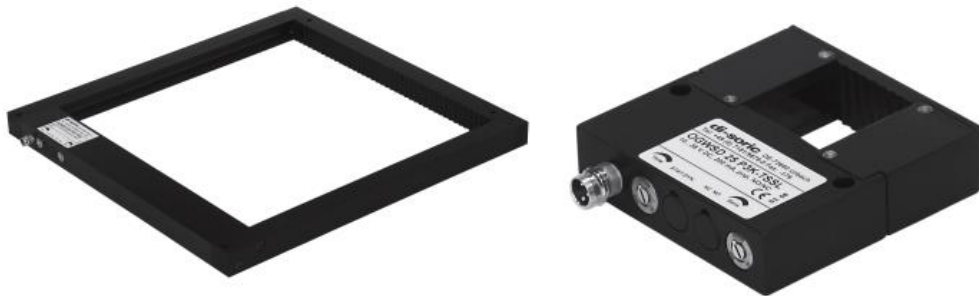
Optické zářezové senzory, někdy označované jako štěrbinové snímače, se používají nejčastěji ve funkci vidlicové světelné závory tehdy, kdy je zapotřebí pouze krátká snímací vzdálenost. Skládají se z vysílače a přijímače ve společném pouzdře, díky tomu je měření velice spolehlivé, jelikož odpadá nastavování vzájemné polohy vysílače a přijímače. Kompaktní pouzdro také nabízí jednoduchou montáž bez ohledu na orientaci senzoru. Značky na pouzdře senzoru ukazují směr a polohu paprsku a usnadňují tak nastavení senzoru při montáži. Používá se nejčastěji červeného světla o vlnové délce 680 nm nebo infračerveného světla o vlnové délce 950 nm. Zdrojem světelného záření je LED dioda. Šířka zářezu bývá 10, 30, 50, 80, 120 a 220 mm. Senzor je vybaven potenciometrem k nastavení citlivosti a otočným přepínačem pro nastavení spínání světlem nebo tmou. Typické je pro tyto senzory použití pro snímání značek na pohyblivých pásech, dopravnících, velmi přesné polohování u balících strojů, při ostření nástrojů, detekce nevyváženosti hřídelů, apod.



Obr. 28: Optické zářezové senzory od firmy Banner, USA [22]

7.7 Rámové fotoelektrické snímače

Jedná se vlastně o uzavřené vidlicové (optické zářezové) snímače. Uzavírající část obsahuje konektor pro připojení tlakového vzduchu, který čistí optiku snímače. Některé typy rámových snímačů umožňují samoučící funkci a automatickou úpravu nastavení, přizpůsobení se částečnému zašpinění i změně světelných a teplotních podmínek. Stejně jako u zářezových senzorů, i zde se nejčastěji užívá infračerveného světla. Výhodou rámových senzorů je nastavitelná délka pulzu, krátký čas odezvy od 0,1 ms a nastavitelná citlivost. Jsou vhodné pro počítání velmi malých součástek, měření délky součástek při konstantní rychlosti posuvu a kontrolu správného vyjmutí součástky jako ochrana nástroje při lisování a vyrážení. Tyto rámy je možné volit z široké nabídky velikostí od rozměru 20x20 mm až po 400x400 mm.



Obr. 29: Rámové snímače od firmy di-soric GmbH & Co. KG [23]

7.8 Senzory tiskových značek a barev

Barevné značky jsou také známé jako registrační nebo index značky. Používají se při balení, konkrétně pro označení místa, kde se má ustříhnout obalový materiál tak, aby název výrobku a další informace byly vždy na stejném místě. Jedná se zde o stříhání ve vysoké rychlosti, tyto senzory mají velmi nízkou reakční dobu. Nejpoužívanější senzory barevných značek jsou difuzní senzory s bílou LED diodou a se zpracováním signálu pomocí RGB filtru, která umožňuje stabilní detekci tištěných značek různých barev. Takový senzor se však nehodí ke snímání značek, jejichž vzor a barva jsou podobné vzoru a barvě pozadí. Algoritmus zpracování zajišťuje krátkou dobu odezvy kolem 45 μ s. Senzory barevných značek se pro lepší detekci montují s odklonem o 5 až 15°. Moderní kombinované senzory tiskových značek a barev používají ke své činnosti trojici LED diod (červená, zelená, modrá) a lze je použít např. jako vysokorychlostní snímač pro spolehlivou detekci tiskových značek nebo pro přesné detekování barev. V režimu snímání kontrastu, senzor automaticky vybere optimální intenzitu přisvitu LED z vysílacího zdroje

světla. V režimu rozpoznávání barev je interní mikroprocesor vybaven 12 bitovým A/D převodníkem a vstupní signál je zpracován pro každý kanál RGB zvlášť. Tímto je zaručeno, že i nejmenší rozdíly budou detekovány.



Obr. 30: Senzor pro detekci registračních značek E3ZM-V [24]

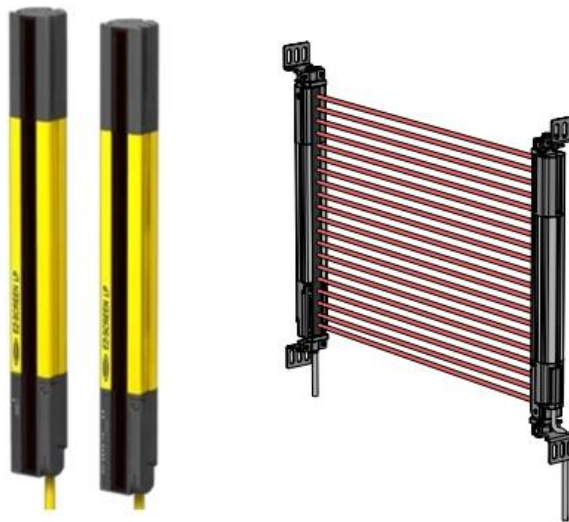
7.9 Bezpečnostní optoelektronické prvky - závory, závěsy a mříže

Bezpečnostní optoelektronické prvky zajišťují ochranu lidského zdraví. U všech těchto bezpečnostních zařízení jsou pouzdra s vysílacími a přijímacími optickými prvky umístěna naproti sobě, a pokud mezi ně vnikne část lidského těla, přeruší se vysílané světelné paprsky a toto narušení je detekováno. Různé způsoby ochrany a použití bezpečnostních optoelektronických prvků upravuje norma ČSN CLC/TS 62046 (Bezpečnost strojních zařízení - Použití ochranného zařízení pro snímání přítomnosti osob). Podle rozlišení a počtu paprsků se tato zařízení dělí:

- bezpečnostní světelné závěsy – vícepaprsková zařízení s roztečí paprsků do 40 mm, která se používají mimo jiné tam, kde obsluha strojů ručně zakládá nebo vyjímá výrobky,
- bezpečnostní světelné mříže, které mají často dva, tři nebo čtyři paprsky s roztečí až 500 mm a používají se k detekci přístupu do nebezpečného prostoru velkých strojů, robotizovaných stanic atd.,
- světelné závory s jedním paprskem, určené např. k zabezpečení dlouhého dopravníku.

Vzhledem k tomu, že bezpečnostní optoelektronické prvky zajišťují ochranu lidského zdraví, je nutné použít vždy vhodný typ, a to z hlediska detekce narušení i správného

vyhodnocení a zpracování výstupního signálu. Požadavky na elektrická snímací ochranná zařízení a speciálně na bezpečnostní optoelektronické prvky stanovuje norma ČSN CLC/TS 61496-2 (Část 2: Zvláštní požadavky na aktivní optoelektronická ochranná zařízení), která rozeznává typy označené číslicí 2, 3 a 4. Pro dosažení požadované úrovně bezpečnosti je nutné použít bezpečnostní optický prvek vhodného typu, který musí být do řídicího systému stroje integrován tak, aby byla splněna požadovaná úroveň bezpečnosti. Tu lze stanovit podle normy ČSN EN ISO 13849-1 (Bezpečnost strojních zařízení - Bezpečnostní části ovládacích systémů - Část 1: Všeobecné zásady pro konstrukci). Ta definuje úroveň bezpečnosti jako úroveň vlastností – PL (Performance Level), a stanovuje pět stupňů označovaných písmeny „a“ až „e“. [25]



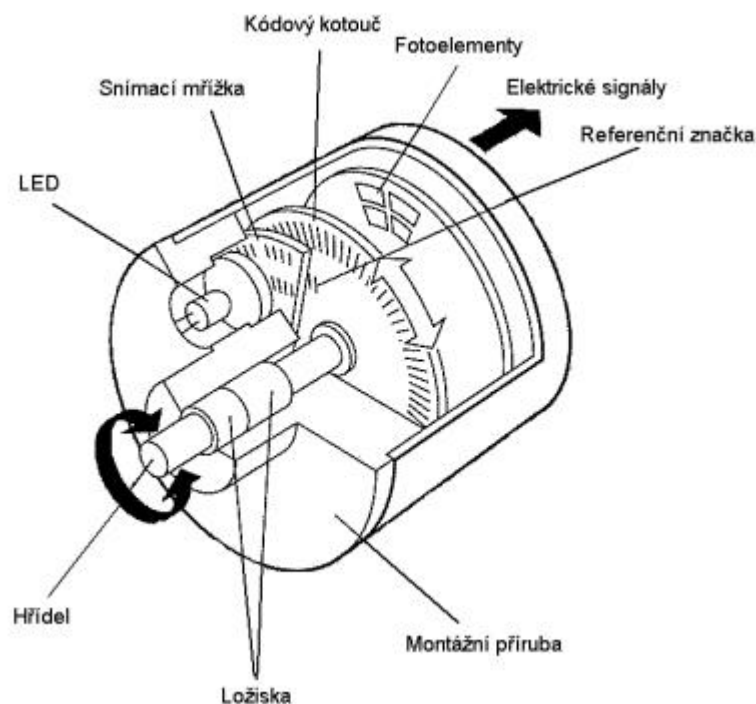
Obr. 31: Optický závěs pro ochranu osob od firmy Turck [26]

Bezpečnostní světelné závěsy slouží k ochraně prstů a rukou, případně k zabezpečení přístupu do nebezpečného prostoru. V závislosti na typu, jsou různé funkce integrovány nebo voleny prostřednictvím přídatných bezpečnostních modulů: např. reset, vymaskování, volba provozního režimu apod. Mezi největší přednosti jednopaprskové bezpečnostní světelné závory patří její velký dosah a oblasti jejího použití jsou rozmanité: ať již na robotech, obráběcích strojích, obráběcích centrech, paletizačních zařízeních, ve vysokoregálových skladech, nebo na dopravních trasách.

7.10 Rotační snímače polohy

Rotační snímače polohy na optickém principu, neboli enkodéry, dělíme na absolutní a inkrementální. Absolutní enkodéry jsou rotační snímače polohy, které poskytují okamžitou informaci o aktuální poloze rotoru, bezprostředně po připojení napájení bez nutnosti předchozího pootočení, díky kódovanému signálu z optického disku. Tato informace se neztratí ani po výpadku napájení. Jejich rotující kotouč má několik stop s otvory tvořícími určitý kód, často se používá kód Grayův. Tento kód se při přechodu do sousední polohy mění pouze v jednom bitu a proto je detekce a korekce chyb snadná. Absolutní enkodéry se dělí na jednotáčkové a víceotáčkové.

Optické rotační inkrementální snímače otáček slouží k převodu mechanického rotačního pohybu na elektrické signály. Jejich typické využití je ve zpětnovazebních systémech řízení polohy, rychlosti a popř. zrychlení v nejrůznějších aplikacích od periférií počítačů, přes průmyslovou robotiku až po zdravotnickou techniku. Princip inkrementálního rotačního senzoru spočívá ve clonění světelného toku mezi zdrojem světla a fotodetektozem. Jako zdroj světla se používá LED dioda a jako fotodetektor např. fototranzistor. Clonění zajišťuje otáčivé mezikruží, které je pravidelně rozděleno na úseky propouštějící světlo a úseky nepropustné. [27]



Obr. 32: Rotační inkrementální snímač [27]

Pokud se rotor otáčí, tak se jednotlivé úseky střídají a přerušují tok světla ze zdroje. Pro zjištění informace o rychlosti otáčení stačí zjistit počet impulzů za určitý časový úsek. Pro zjištění směru otáčení je nutno použít rotující kotouč, který má dvě řady otvorů, které jsou vůči sobě posunuty o polovinu šířky otvoru. Pro zjištění úhlu natočení má rotující kotouč ještě jeden otvor, který je určen pro generování nulového impulzu.

Světlo ze zdroje prochází přes průhledné rysky pohyblivého kotouče. Jsou-li tyto rysky v zákrytu s průhlednými ryskami segmentu pevného maskovacího kotouče, dopadá na fotosenzor maximální světelný tok. V případě, že jsou v zákrytu průhledné rysky pohyblivého kotouče a neprůhledné rysky segmentu nepohyblivého kotouče, světlo neprochází a světelný tok na fotosenzor je minimální. Mezi těmito dvěma polohami se světelný tok mění přímo úměrně posunutí obou kotoučů. Výstupní signál fotosenzoru má periodu nepřímo úměrnou počtu rysek na otáčku a rychlosti otáčení pohyblivého kotouče. Výsledný kvazisinusový signál je komparátorem převeden na signál obdélníkového tvaru. [27]



Obr. 33: Inkrementální enkodér v provedení s plnou/dutou hřídelí od firmy SICK [28]

8 ZPRACOVÁNÍ SIGNÁLU V OPTICKÝCH SENZORECH

U optických (optoelektrických) senzorů rozlišujeme, zda je zpracovávaným signálem elektrická veličina (napětí) nebo světlo (např. vyzářený světelný výkon). Vlastním signálem se rozumí fyzikální veličina, jež slouží k přenosu zprávy, pomocí níž např. zjišťujeme stav systému, či přenášíme informace. Snímače technologických veličin, pasivní i aktivní, zpravidla potřebují převodník, který transformuje jejich výstupní signál na vhodnější formu pro další zpracování. Všechny technologické veličiny jsou v čase spojité. Ve snímačích jsou převáděny na spojitou nebo nespojitou měronosnou veličinu, obvykle elektrickou. Spojitou měronosnou veličinu nazýváme veličinou analogovou. Převodníky a obvody, které ji zpracovávají a udávají v této formě, nazýváme analogové. Obvody, které ji převádějí na veličinu nespojitou, a v této formě ji zpracovávají, nazýváme číslicové. Optické záření lze modulovat téměř všemi známými způsoby modulace: amplitudově, frekvenčně, fázově změnou polarizace, popř. různými kombinacemi těchto způsobů.

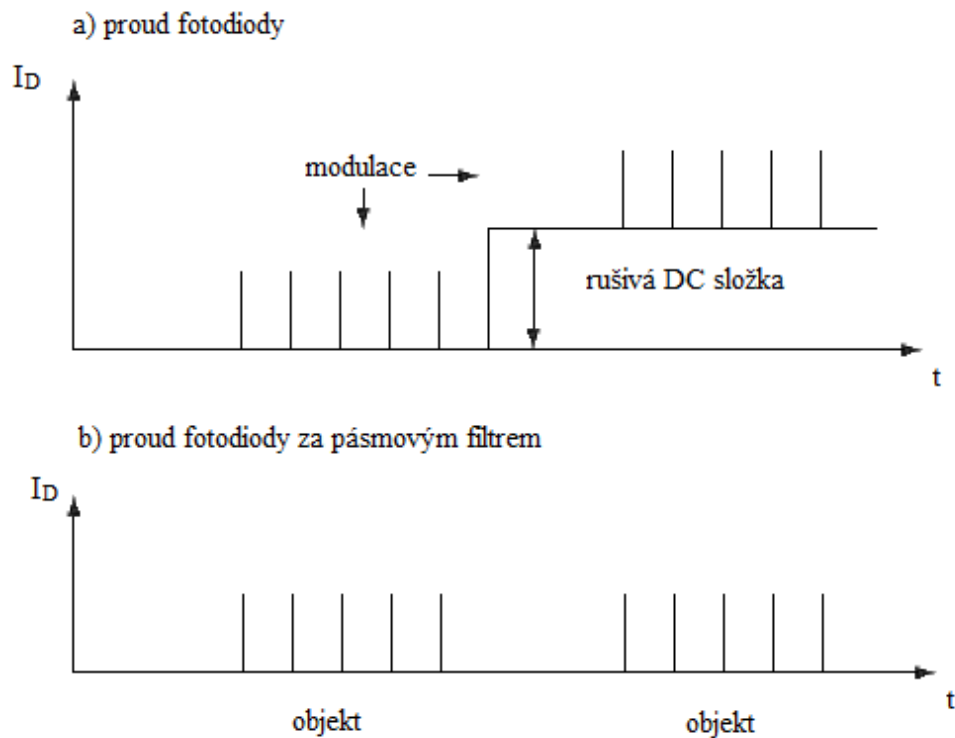
8.1 Optická modulace

Oproti statickému provozu vysílacích diod, kdy je dioda napájena konstantním proudem, se v průmyslových aplikacích s optickými senzory setkáme s použitím vysílací diody v impulzním režimu (kapitola 3.1.7), kdy je dioda řízena proudovými impulzy pravoúhlého tvaru.

Hlavními výhodami optické modulace jsou:

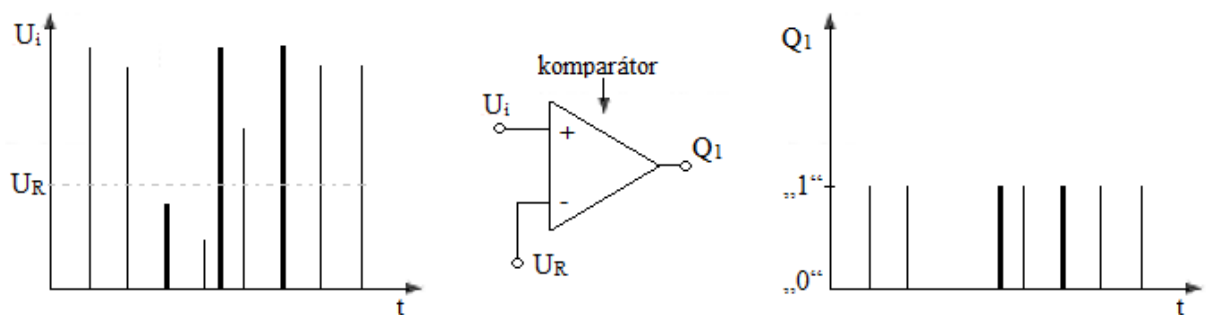
- Jednoznačné oddělení cizích stejnosměrných rušení od pulzního užitečného signálu, který pásmovým filtrem přijímače na rozdíl od stejnosměrné složky projde.
- Zvýšení vysílacího výkonu. Za stejných podmínek se úměrně tomu zvýší přijímaný výkon a poměr signál/šum.
- Možnost použití vysoce účinné metody, tzv. vyklíčování poruch.

Při přenosu se signál zatíží šumem a je proto třeba tento šum od signálu oddělit. K tomu se používají filtry. Pro odstranění rušivé stejnosměrné složky se použije určitý typ pásmového filtru.



Obr. 34: Pásmovým filtrem projde jen modulovaný signál bez DC složky [8]

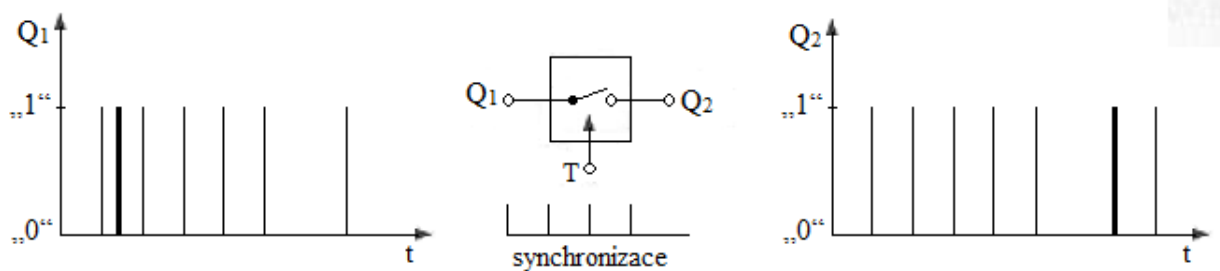
Zesilovač přijímače zvýší napěťové úrovně pulzů, aby mohl komparátor rozhodovat, které signály nepustí na výstup. Tučně jsou vyznačeny ruchy, slabě užité signály.



Obr. 35: Signál na výstupu komparátoru [8]

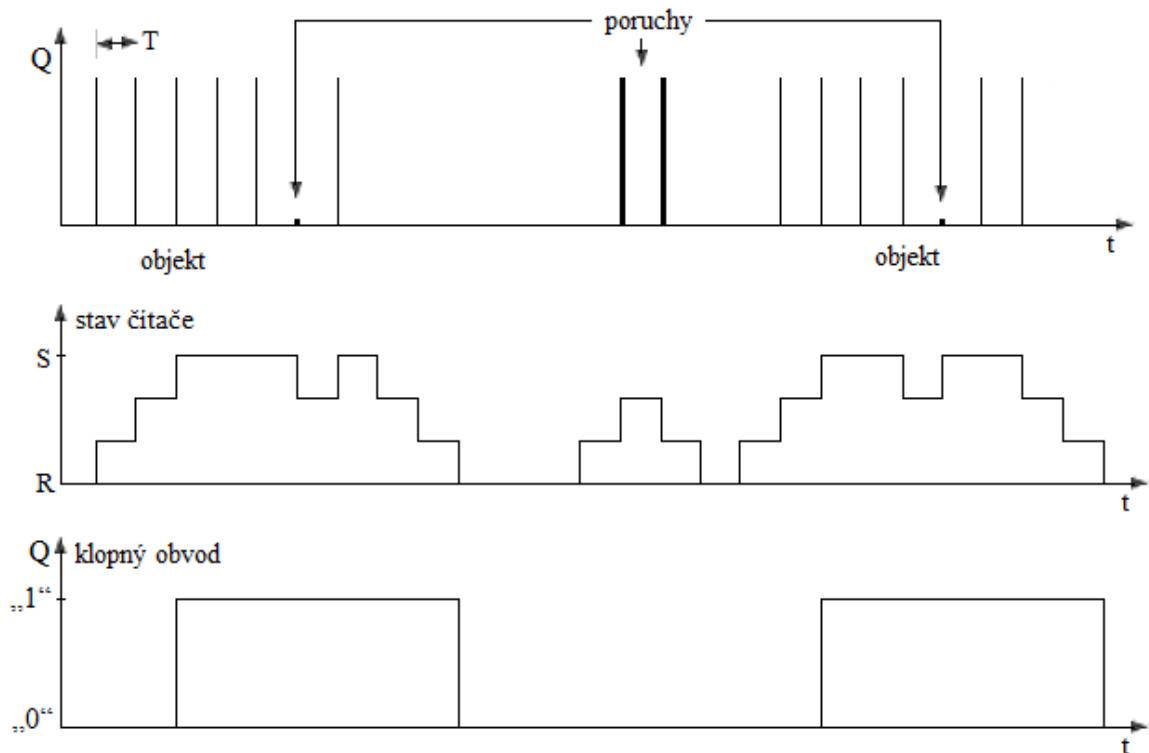
Rušivé složky větší než prahová úroveň se rovněž dostávají na výstup a zůstávají obsaženy v celkovém signálu. Užité, přijaté signál je přesně synchronizován s vysílaným impulzem. Tohoto nelze využít u jednocestné závory. Metoda vyklíčování poruch využívá předpokladu, že pravděpodobnost přijetí rušivého impulzu přesně v okamžiku vysílání synchronních impulzů je velmi malá. Řízený spínač (hradlo) propouští signál jen po krátký

čas synchronizace. Veškeré rušivé impulzy, které nastanou během vysílací pauzy, jsou zlikvidovány. [8]



Obr. 36: Synchronizace signálu pomocí hradla

Rušivý impulz, který se shoduje s okamžikem vysílání synchronních impulzů, prochází přes řízený spínač dál a mohl by způsobit chybu senzoru. Aby se taková rušení potlačila, musí se provést vyhodnocení četnosti pulzů. Tato metoda spočívá ve zpracování datového toku obousměrným synchronním čítačem. Jestliže se na jeho vstupu objeví v okamžiku synchronizace logická 1, je inkrementován, pakliže se na vstupu objeví logická 0, dojde ke snížení hodnoty (dekrementace). Pokud čítač dosáhne horní nebo dolní meze, dojde k překlopení výstupu. [8]



Obr. 37: Potlačení rušení digitální filtrací [8]

S touto problematikou úzce souvisí parametr opakovatelnosti reakce výstupu (kapitola 5.3). Jestliže proniknou rušivé impulzy, bude se čas nutný pro aktivování výstupu prodlužovat (dle četnosti rušivých pulzů). Z toho vyplývá, že s rostoucím počtem zvolených kroků čítače mezi oběma úrovněmi se zvyšuje i odolnost systému vůči možnému chybnému sepnutí, protože může být tolerováno více rušivých impulzů. Se zvyšováním počtu kroků však dochází k prodloužení reakční doby. Řešením je použití co nejmenší šířky impulzů s co nejkratší časovou prodlevou mezi nimi. U výkonných optosenzorů se proto používají velmi rychlé PIN diody. [8]

8.2 Rušivé vlivy

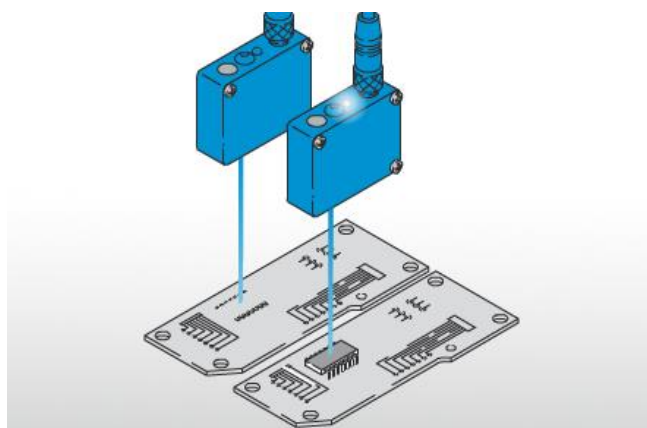
Pro správnou funkci senzorů v průmyslovém prostředí je třeba veškeré rušení maximálně potlačit. Nejčastějším problémem u optosenzorů jsou cizí (stejnoseměrné) světelné zdroje. Nejčastěji se jedná o sluneční záření, žárovky a infrazářiče, které mohou v optoelektronickém přijímači indukovat stejnosměrný proud, jež může nebývat mnohonásobně vyšších hodnot, než je hodnota vlastního užitečného signálu. Podobně tak jsou zářivky, elektrické oblouky, ale také sousední optické senzory, (střídavými) zdroji světla. Ty vytvářejí v přijímacím prvku proud s malým podílem stejnosměrné, zato však s velkým podílem střídavé složky, jež je rovněž mnohonásobně vyšší než užitečný signál a mimo jiné dochází ke vzniku šumů. Bez elektronických obvodů, eliminujících rušivé signály by nebyl v praktických aplikacích možný provoz optoelektronických senzorů. Mezi další rušivé vlivy patří například kolísání napájecího napětí, kolísání teplot, vysoká vlhkost, prašnost, přítomnost par a ovlivňování jinými elektromagnetickými spotřebiči z hlediska EMC.

9 PŘÍKLADY REÁLNÝCH APLIKACÍ

Využití optických senzorů v reálných montážních a procesních aplikacích je velice rozmanité a dnes se s ním setkáváme prakticky u všech průmyslových odvětví, ať už se jedná o aplikace, kde je vyhodnocována manipulace s materiálem, potravinářský průmysl, kde se může jednat o kontrolu obalů a etiket, automobilový průmysl, aplikace pro kontrolu a měření barev, aplikace pro kontrolu hladiny a také aplikace, kde je optoelektronický senzor použit ve funkci bezpečnostního prvku. Pro každou aplikaci je vždy nutné hledat konkrétní řešení a mnohdy je možné jednu problematiku realizovat více způsoby. Typickou ukázkou jsou dopravníkové úlohy, kde lze např. výskyt výrobku na pásu detekovat pomocí reflexního senzoru v různých provedeních (difuzní, konvergentní, závora) nebo pomocí senzoru na principu jednocestné závory (optické zářezové snímače). Vzhledem k šířce dané problematiky uvádím jen několik příkladů praktických aplikací s optoelektrickými senzory.

Polohování součástek

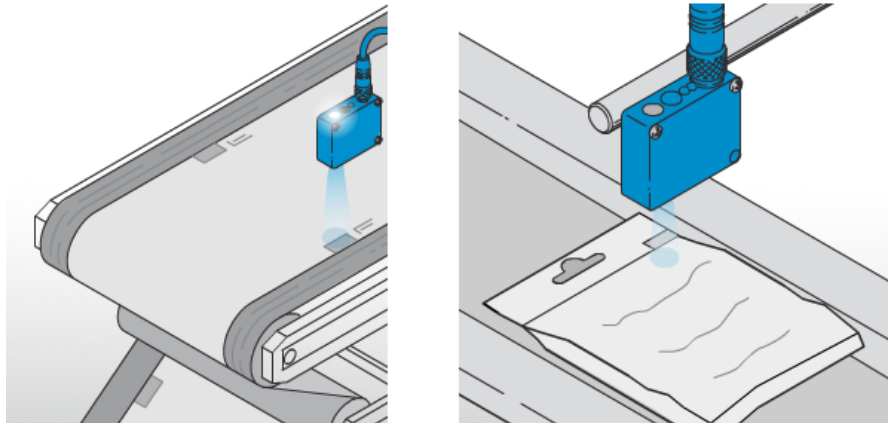
Pro zastavení desky plošného spoje v přesné poloze je použit zaostřený difuzní snímač. Deska plošného spoje protíná dráhu světelného paprsku přesně v bodě zaostření, což umožňuje maximální přesnost. Malý světelný bod a potlačené pozadí laserového difuzního snímače mohou být použity pro kontrolu přítomnosti malých součástek na desce.



Obr. 38: Difuzní snímač pro kontrolu přítomnosti součástky [29]

Snímání barevné značky

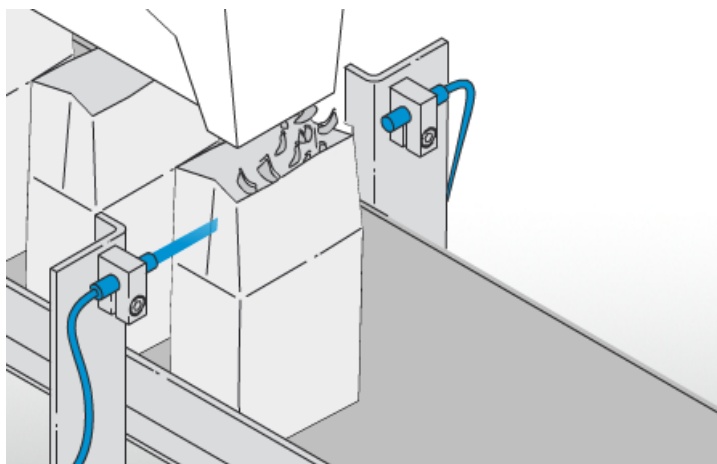
Senzor pro snímání čtecí značky je na obrázku vlevo použit ke snímání značek odvíjející se fólie, na obrázku vpravo k detekci balení výrobku tak, aby název výrobku a další informace byly vždy na stejném místě.



Obr. 39: Senzor tiskových značek pro kontrolu odvíjející se fólie / balení [29]

Kontrola obsahu balících jednotek

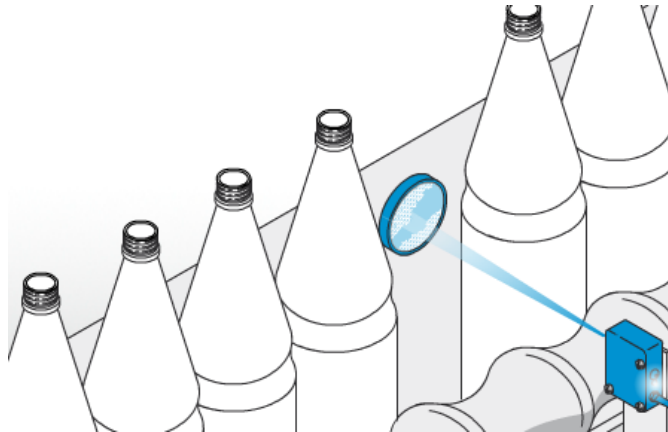
Pro kontrolu obsahu jednotlivých balení je použita jednocestná optická závora. Vysílač a přijímač jsou nastaveny tak, aby světelný paprsek procházel skrz balení. Jestliže je balení prázdné, intenzita paprsku je dostatečná pro osvětlení přijímače. Pokud však balení obsahuje výrobek, jeho obsah přeruší paprsek vysílače a výstup snímače se aktivuje.



Obr. 40: Jednocestná závora pro kontrolu obsahu balení [29]

Detekce průhledných lahví

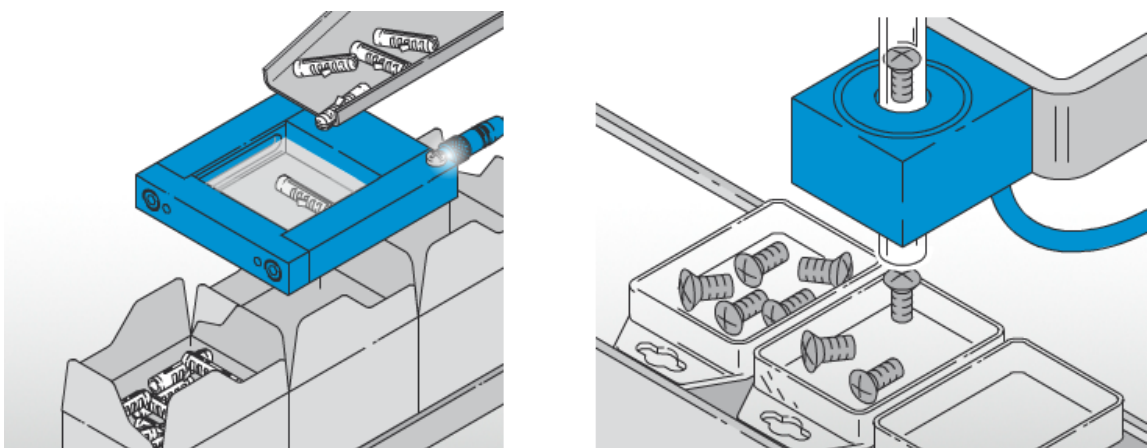
Reflexní řešení detekce běžného skla a PET lahví s nastavením vysoké citlivosti poskytuje stabilní detekci, když paprsek prochází sklem dvakrát, přičemž dochází ke snížení intenzity vysílaného světla. Alternativně lze použít difuzní senzor se širokým paprskem k detekci difuzně odraženého světla z velké plochy láhve. Využitím polarizačního efektu PET lahví lze dosáhnout vyššího rozpětí signálu.



Obr. 41: Reflexní závora pro detekci a počítání průhledných lahví [29]

Praktické aplikace rámových fotoelektrických snímačů

Pro rámové snímače jsou typickou aplikací počítání velmi malých součástek, jako je např. drobný spojovací materiál.

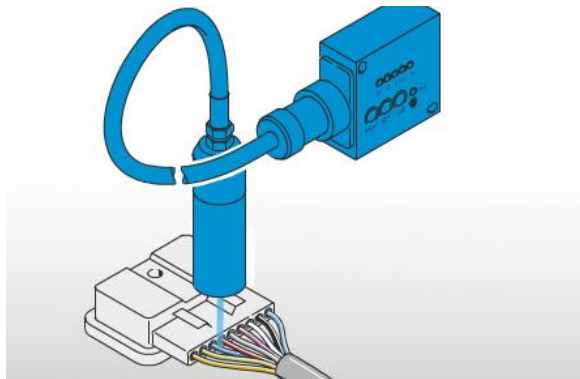


Obr. 42: Rámový fotoelektrický snímač pro počítání spojovacího materiálu [29]

Aplikace pro kontrolu a měření barev

Příklady aplikací true color sensorů: v automobilovém průmyslu kontrola barvy lesklého laku, kontrola přítomnosti fóliové mezivrstvy v textilií pro airbasy, detekce černé barvy na černé, detekce přítomnosti oleje v odpadních vodách, kontrola inkoustových značek na kovových trubkách, rozlišení mezi jednobarevnými a dvoubarevnými kabely, kontrola kvality perforace na cigaretovém papíru, rozlišení barev a odstínů skleněných lahví, detekce slepeného spoje nekonečného pásu, kontrola barvy povrchů výrobků v nábytkářském průmyslu, v kovo zpracujícím průmyslu detekce spojovacího sváru u kovových tyčí během jejich otáčení.

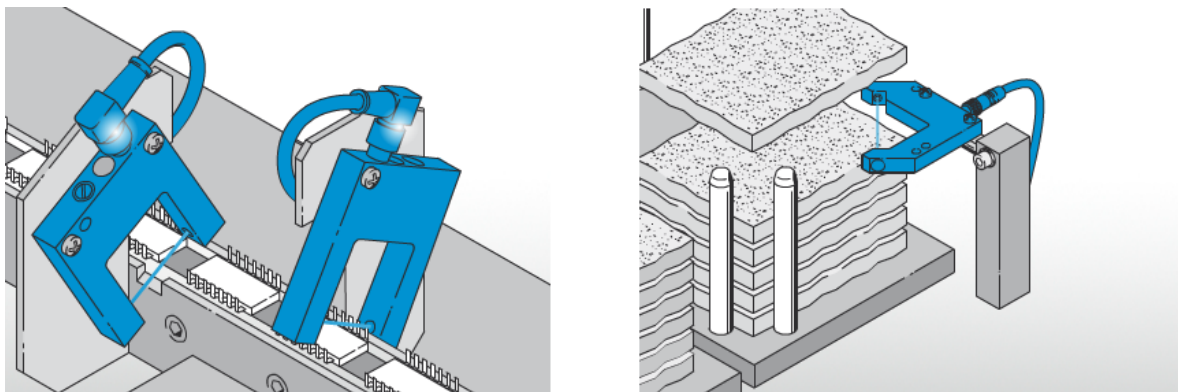
Barevný senzor na obrázku kontroluje zapojení jednotlivých barevně odlišených žil vodiče.



Obr. 43: Kontrola zapojení barevně odlišených vodičů [29]

Praktické aplikace zářezových fotoelektrických snímačů

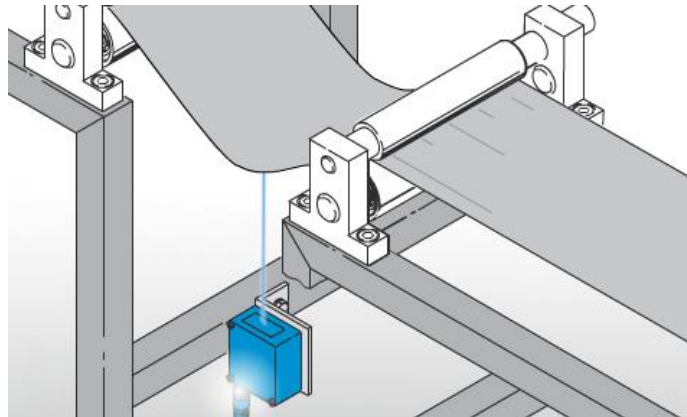
Na obrázku vlevo je vidlicová optická závora použita pro kontrolu počtu vývodů integrovaného obvodu, na obrázku vpravo detekuje a počítá betonové profily.



Obr. 44: Praktické aplikace zářezových fotoelektrických snímačů [29]

Kontrola prověšení materiálu

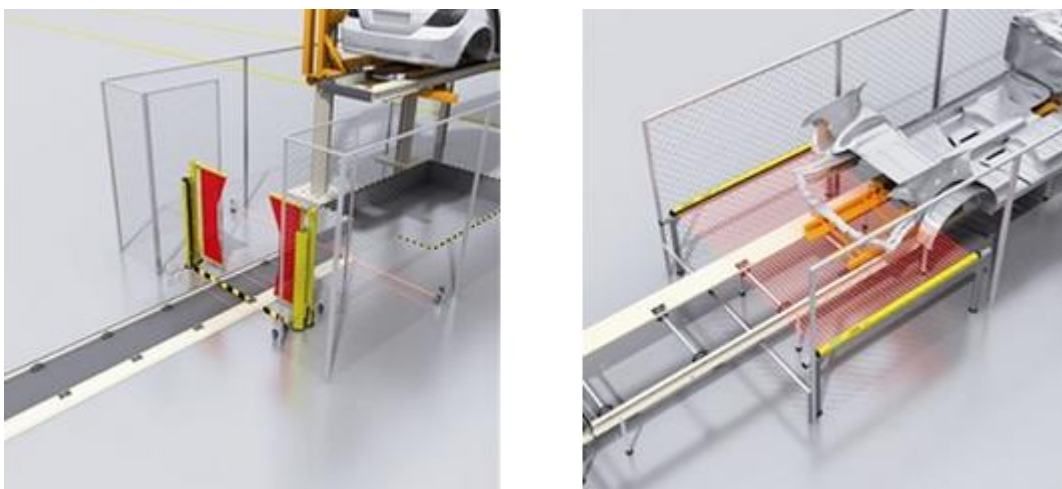
Laserový senzor snímá vzdálenost, a jestliže bude detekována určitá pevně daná úroveň, tak podle potřeby se bude více odvíjet, popř. je odvinuto příliš mnoho materiálu.



Obr. 45: Kontrola prověšení materiálu [29]

Zabezpečení nebezpečných míst

Montážní linka v automobilovém průmyslu sestává nejen z manuálních, ale také z plně automatizovaných montážních stanic, v nichž pracují manipulační roboti. Prostor, ve kterém pracují, je třeba zabezpečit proti zásahům pracovníků, aby bylo zamezeno poranění. Zabezpečení přístupu do robotového pracoviště a do materiálového prostoru robotového pracoviště s rozlišením mezi člověkem a materiálem nám zajišťují vícepráskové bezpečnostní světelné mříže a bezpečnostní světelné závěsy (vpravo na obrázku).



Obr. 46: Zabezpečení robotického pracoviště [29]

ZÁVĚR

Optické senzory patří mezi nejpoužívanější snímače a mají velmi široké pole působnosti v oblasti montážních a procesních aplikací a ze všech sensorových kategorií tvoří nejsilnější skupinu vzhledem k počtu typů, provedení. Jejich nejčastější využití je pak použití jako snímačů pro zjištění přítomnosti objektů, přičemž právě v této činnosti jim nejčastěji konkurují ultrazvukové senzory, oproti nimž však mají optoelektronické snímače výhodu detekce předmětů ve vakuu. Jejich největší výhodou je mimo jiné velký snímací rozsah, který v případě optických závor s laserovými diodami může dosahovat až 200 m a jen malá citlivost na elektromagnetické rušení.

V současné době je nejperspektivnějším odvětvím využití kamerových systémů. Optické metody měření a následné zpracování digitalizovaného obrazu umožňují v průmyslu řešit většinu problémů spojených s měřením rozměrů, barev, potisku, polohy, počtu, kvality povrchu, jejich vad a dalších problémů, což přineslo do montážních technologií nesrovnatelně vyšší úroveň kvality, spojenou se všeobecnou kontrolou jakosti ve výrobě. Základní princip systémů strojového vidění spočívá v tom, že kamery zachytí obraz zkoumaného předmětu a vyhodnotí ho podle předepsaného algoritmu. Na základě výsledku vyhodnocení provede řídicí systém akční zásah, nejčastěji je to označení nebo vyřazení vadného kusu. Hlavním přínosem použití technologií strojového vidění je možnost úplného řízení kvality ve výrobním procesu, a tím zvyšování kvality vyráběné produkce.

V této práci jsem se snažil popsat problematiku optických senzorů tak, aby byla přínosem i pro úplného laika. Z toho důvodu jsem se nejprve snažil v teoretické části objasnit některé základní pojmy optiky a principy, seznámit čtenáře se základními parametry optických senzorů a jejich různým technickým provedením. V další části jsem pak ve stručném přehledu shrnul jednotlivé druhy používaných optických senzorů, používaných v montážních a procesních aplikacích. V rámci problematiky zpracování signálu jsem se věnoval zejména zpracování formou optické modulace a v úplném závěru jsem se věnoval popisu jednotlivých příkladů reálných aplikací. Příklady aplikací jsou vyobrazeny pouze principiálně a zjednodušeně, protože přesný model se může měnit podle podmínek jednotlivých aplikací a optické senzory zahrnují tak širokou oblast využití v automatizační technice, že není možné všechny aplikace přesně popsat bez konkrétních požadavků na dané zařízení.

ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

Optical sensors among to the most widely used sensors, have a very broad scope in the field of assembly and processing applications and they form the strongest group of all sensor categories, given by the number of types and designs. They are mostly used as a sensors to detect the presence of objects, while being in this business they often have to compete with ultrasonic sensors, however compared to them, optical sensors have the advantage of detection objects in a vacuum. Their biggest advantage is among other things a large sensing range, which in the case of optical sensors with laser diodes can be up to 200 m and just a little sensitivity to electromagnetic interference.

Currently, the most promising sectors is using camera systems. Optical methods of measurement and subsequent image processing enable to solve most of the problems associated with measuring the dimensions, colors, printing, position, number, surface quality, their defects and solve other problems in the industry, which brought in assembly technology incomparably higher level of quality, combined with the general controls quality in production. The basic principle of machine vision systems lies in the fact, that the camera captures an image of the investigated object and evaluates it according to the specified algorithm. Based on the outcome the controller realize intervention action, most often it is a sign or rejection a defective piece. The main benefit of using machine vision technology is the possibility of total quality management in the production process and improving the quality of manufactured products.

In this thesis I tried to describe the problem of optical sensors so as to acquisition for the complete laic. For this reason, first I tried at the theoretical part explain some basic concepts and principles of optics, to familiarize the reader with the basic parameters of optical sensors and their different technical implementation. In the next section, I have summarized in a brief overview individual types of using optical sensors, used in assembly and process applications. In signal processing, I focused mainly on processing by optical modulation and in final section I gave the description of examples of real applications. Examples of applications are shown only in principle and simplified, because the the exact model can be varied in terms of individual applications and optical sensors include such a wide area of applications in automation, that it is not possible to accurately describe all applications with no specific requirements for the equipment.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] MARŠÁLEK, Leoš. Optická vlákna. 2006 1. vyd. VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2006, s. 7.
- [2] *Základy světelné mikroskopie* [online]. [cit. 2012-11-13]. Dostupné z: <http://ime.fme.vutbr.cz/files/Studijni%20opory/bmsz/datastranek/zsm.htm>
- [3] VOŠICKÝ, Zdeněk. *Matematika a fyzika*. 1. vydání, 2007. Havlíčkův Brod: Fragment, s.r.o., 2007, s. 84-97 ISBN 978-80-253-0523-2.
- [4] DOSTÁL, Jiří a Zdeněk JANÁČEK. *Fyzika*. Zlín: UTB ve Zlíně, fakulta technologická, 2003, s. 116-117. ISBN 80-7318-115-0.
- [5] LUKÁŠ, Luděk. *Bezpečnostní technologie, systémy a management I*. 1. vyd. Zlín: VerBuM, 2011, s. 31 - 32. ISBN 978-80-87500-05-7.
- [6] Ultrafialové záření. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2012-11-20]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Ultrafialov%C3%A9_z%C3%A1r%C5%99en%C3%AD#cite_note-2
- [7] DOLEČEK, Jaroslav. *Moderní učebnice elektroniky: 3. díl Optoelektronika, optoelektronické prvky a optická vlákna*. Praha: Ben, 2005, s. 18-35. ISBN 80-7300-184-5.
- [8] MARTINEK, Radislav. *Senzory v průmyslové praxi*. 1. vydání. Praha: BEN, 2004, s. 111-187. ISBN 80-7300-114-4.
- [9] MÜLLER, Filip. Technologie LED od L po D. *Elektroinstalatér*. 2010, č. 2. Dostupné z: <http://elektrika.cz/data/clanky/technologie-led-od-l-po-d>
- [10] LUKÁŠ, Michal. INFINEON TECHNOLOGIES TRUTNOV. *Světlo: Časopis pro světelnou techniku a osvětlování*. Praha: FCC PUBLIC s. r. o., 2005, roč. 2005, 02/2005. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=34933
- [11] LUKÁŠ, Michal. INFINEON TECHNOLOGIES TRUTNOV. *Světlo: Časopis pro světelnou techniku a osvětlování*. Praha: FCC PUBLIC s. r. o., 2005, roč. 2005, 04/2005. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=35006
- [12] LUKÁŠ, Michal. INFINEON TECHNOLOGIES TRUTNOV , Fiber Optic Components. Laserové diody 2: Typy a struktury laserových diod. *Elektrorevue: Časopis pro elektrotechniku*. 2001, roč. 2001, 2001/43. Dostupné z: <http://www.elektrorevue.cz/clanky/01043/index.html>
- [13] BANNER ENGINEERING. *TM18 Series Sensors: EZ-BEAM DC*. Minneapolis, Minnesota, USA, 1/19/2012. Dostupné z: <http://info.bannerengineering.com/xpedio/groups/public/documents/literature/155853.pdf>

- [14] FRADEN, Jacobs. *Handbook of modern sensors: physics, designs, and applications*. 3rd ed. New York: Springer-Verlag, c2004, xvii, 589 s. ISBN 03-870-0750-4.
- [15] ĎAĎO, Stanislav a Marcel KREIDL. *Senzory a měřicí obvody*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1996, 315 s. ISBN 80-010-1500-9.
- [16] Profilové snímače: Optický detektor rozměrů a ploch. VOJÁČEK, Antonín. *Automatizac.hw.cz: Rady a poslední novinky z oboru* [online]. 2011, 4. Červenec 2011 - 14:15 [cit. 2013-04-19]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/profilove-snimace-opticky-detektor-rozmeru-a-ploch>
- [17] MICRO-EPSILON. *Laser Triangulation Displacement Sensors: optoNCDT 1700BL* [online]. 2009 [cit. 19.04.2013]. Dostupné z: <http://www.micro-epsilon.cz/download/products/cat--optoNCDT--en.pdf>
- [18] ČSN EN 60825-1 ed. 2. *Bezpečnost laserových zařízení - Část 1: Klasifikace zařízení a požadavky*. ed. 2. Praha: UNMZ, 2007.
- [19] Laserové fotoelektrické snímače. OEM AUTOMATIC. *Elektrické stroje* [online]. 2012 [cit. 2013-04-20]. Dostupné z: http://www.oemautomatic.cz/Products/Elecktricke_Stroje/Fotoelektricke_snimae/Laserove_fotoelektricke_snimae/Panasonic_-_Fotoelektrick_sensor_EX-L200/604914-805374.html
- [20] DENWEL, spol. s r. o. *Kontinuální zákaloměry: Monitek série MoniTurb* [online]. Praha, 2003 [cit. 20. 4. 2013]. 03/2003. Dostupné z: http://www.denwel.cz/files/pdf/products/producer/monitek/instrum/monitek_moniturb.pdf
- [21] HRUŠKA, František. FAKULTA APLIKOVANÉ INFORMATIKY. *Senzory: Fyzikální principy, úpravy signálů, praktické použití*. druhé, rozšířené vyd. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2010. ISBN 978-80-7454-096-7. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/10563/18582>
- [22] BANNER ENGINEERING CORPORATE. *SLM Series Slot Sensors*. P/N 128093. 9714 Tenth Avenue North Minneapolis, Minnesota 55441, 2012, 6 s. Dostupné z: <http://info.bannerengineering.com/xpedio/groups/public/documents/literature/128093.pdf>
- [23] DI-SORIC GMBH & CO. KG. *Ring and Frame Light Barriers* [online]. KGSteinbeisstraße 673660 UrbachGermany, 2012, 12 s. [cit. 29. 4. 2013]. Dostupné z: http://www.di-soric.com/pdb_downloads.php?src=pdb_medien/downloads/gruppendatenblaetter/d133.1012_web.pdf&system_id=17957
- [24] OMRON ELECTRONICS SPOL. s. r. o. *Fotoelektrický senzor pro detekci tištěných značek v kompaktním pouzdru z nerezové oceli E3ZM-V* [online]. Jankovcova 53, CZ-170 00, Praha 7, 2012, 12 s. [cit. 29. 4. 2013]. Dostupné z: <http://downloads.industrial.omron.cz/IAB/Products/Sensing/Mark%20&%20Colour%20Sensors/E3ZM-V/E389/E389-CZ2-01-X%2BE3ZM-V%2BDatasheet.pdf>

- [25] PELIKÁN, Filip. SICK, spol. s r. o. *Automa: časopis pro automatizační techniku: Bezpečnostní optoelektronické prvky: závory, závěsy a mříže* [online]. Praha: FCC Public, 2010, roč. 2010, č. 01 [cit. 2013-04-29]. ISSN 1210-9592. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=40388
- [26] BANNER ENGINEERING CORP. *EZ-SCREEN® LP Flacher Sicherheitslichtvorhang*. 9714 Tenth Ave. No., Mpls., MN 55441, USA, 2012, 74 s. Dostupné z: http://pdb.turck.de/media/_cz/Anlagen/EZ-Screen_LP_manual.pdf
- [27] NOVÁK, Petr. *Automa: časopis pro automatizační techniku: Rotační inkrementální senzor* [online]. Praha: FCC Public, 2002, roč. 2002, č. 10 [cit. 2013-04-30]. ISSN 1210-9592. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/download/au100232.pdf>
- [28] SICK SPOL. s. r. o. *Inkrementální a absolutní enkodéry* [online]. Ukrajinská 2a, 101 00 Praha 10, 2012, 4 s. [cit. 30. 4. 2013]. Dostupné z: http://www.sick.com/cz/cs-cs/home/products/product_portfolio/encoders/Documents/enkodery.pdf
- [29] OMRON. *Průvodce průmyslovými senzory 2012/2013: Vybrané průmyslové aplikace* [online]. 2012, 176 s. [cit. 1. 5. 2013]. Cat. No. Y206-CZ2-04+IndustSensing-Guide2012. Dostupné z: <http://downloads.industrial.omron.cz/IAB/Products/Sensing/Fiber%20Optic%20Sensors/Y206/Y206-EN2-04+IndustSensGuide2012.pdf>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

atd.	a tak dále
EMC	elektromagnetická kompatibilita
EUV	extrémní ultrafialové záření
char.	charakteristika
IR	infračervené
LD	Laserová dioda
LED	Light-Emitting Diode
např.	například
PL	Performance Level
popř.	popřípadě
PSD	polohově citlivý polovodičový prvek
tzv.	takzvaný
UV	ultrafialové
VUV	Vacuum UV

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Spektrum elektromagnetického záření [2].....	11
Obr. 2: Odraz a lom světla	12
Obr. 3: Interference světla [4].....	13
Obr. 4: Energetické schéma PN přechodu, stav bez proudu [8].....	18
Obr. 5: Princip PN přechodu LED [7]	20
Obr. 6: Závislost vyzařování LED na vlnové délce [8]	21
Obr. 7: Závislost svítivosti na proudu LED [7]	22
Obr. 8: V-A char. červené, zelené a modré LED [7]	22
Obr. 9: Vyzařovací char. LED s polovičním vyzařovacím úhlem 32° [7]	23
Obr. 10: Princip laserové diody s homogenním přechodem [7]	24
Obr. 11: Princip laserové diody s dvojitým heterogenním přechodem	25
Obr. 12: Spektrální a L-I charakteristika laserové diody [7]	26
Obr. 13: Spektrální charakteristika fotodiody [7]	30
Obr. 14: PIN fotodiody [7].....	30
Obr. 15: Princip fototranzistoru [7]	31
Obr. 16: Darlingtonovo zapojení [7].....	32
Obr. 17: Směrová charakteristika senzoru TM 18 od firmy Banner, USA při použití ve funkci reflexního senzoru a jednocestné závory [13].....	33
Obr. 18: Montáž optosenzorů s ohledem na směrovou char. [8].....	34
Obr. 19: Typické křivky výkon. rezervy pro TM 18 od firmy Banner, USA [13].....	35
Obr. 20: Reakční doba T_R může mít maximální odchylku od hodnoty hystereze rovnou periodě T_M [8].....	36
Obr. 21: Princip reflexní závory [8].....	38
Obr. 22: Princip optoelektronické triangulace [8]	42
Obr. 23: Princip senzoru na triangulačním principu [15]	43
Obr. 24: Senzor vzdálenosti s modrým laserem od firmy Micro-Epsilon [17]	44
Obr. 25: Laserový fotoelektrický sensor Panasonic EX-L200 [19].....	45
Obr. 26: Princip měření turbidity.....	46
Obr. 27: Kontinuální zákaloměr MoniTurb FS [20].....	47
Obr. 28: Optické zářezové senzory od firmy Banner, USA [22].....	48
Obr. 29: Rámové snímače od firmy di-soric GmbH & Co. KG [23]	49
Obr. 30: Senzor pro detekci registračních značek E3ZM-V [24].....	50

Obr. 31: Optický závěs pro ochranu osob od firmy Turck [26]	51
Obr. 32: Rotační inkrementální snímač [27]	52
Obr. 33: Inkrementální enkodér v provedení s plnou/dutou hřídelí od firmy SICK [28]	53
Obr. 34: Pásmovým filtrem projde jen modulovaný signál bez DC složky [8].....	55
Obr. 35: Signál na výstupu komparátoru [8]	55
Obr. 36: Synchronizace signálu pomocí hradla	56
Obr. 37: Potlačení rušení digitální filtrací [8].....	56
Obr. 38: Difuzní snímač pro kontrolu přítomnosti součástky [29].....	58
Obr. 39: Senzor tiskových značek pro kontrolu odvíjející se fólie / balení [29]	59
Obr. 40: Jednocestná závora pro kontrolu obsahu balení [29]	59
Obr. 41: Reflexní závora pro detekci a počítání průhledných lahví [29]	60
Obr. 42: Rámový fotoelektrický snímač pro počítání spojovacího materiálu [29]	60
Obr. 43: Kontrola zapojení barevně odlišených vodičů [29].....	61
Obr. 44: Praktické aplikace zářezových fotoelektrických snímačů [29]	61
Obr. 45: Kontrola prověšení materiálu [29].....	62
Obr. 46: Zabezpečení robotického pracoviště [29].....	62

SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Rozdělení IR záření [5]	16
Tab. 2: Rozdělení UV záření [6].....	17
Tab. 3: Minimální výkonová rezerva pro dané prostředí [8].....	35