

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

Katedra elektrotechniky a automatizace



Ultrazvukové a optické senzory

bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Volodymyr Ryzhenko, Ph.D.

Autor práce: Jakub Kužel

PRAHA 2015

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra elektrotechniky a automatizace

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jakub Kužel

Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

Ultrazvukové a optické senzory

Název anglicky

Ultrasound and optical sensors

Cíle práce

Z dostupných zdrojů vypracovat přehled různých druhů optických a ultrazvukových senzorů, zachytit jejich fyzikální princip, použití v technické praxi. Provést jejich vzájemné srovnání z různých hledisek, popsat výhody a nevýhody vybraných druhů senzorů.

Metodika

Na základě studia dostupných materiálů vypracovat bakalářskou práci dle předložené osnovy. Předpokládá se řešeršní práce bez vlastních experimentů.

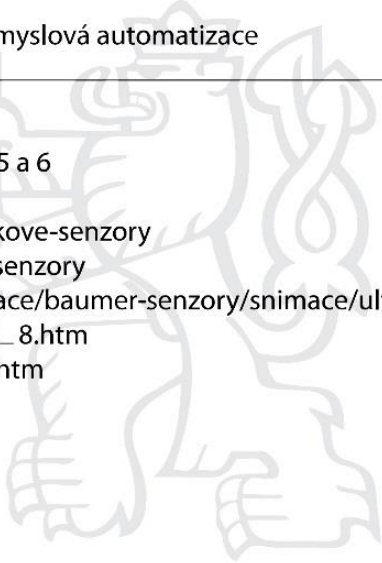
Doporučený rozsah práce

30-40 stran

Klíčová slova

Ultrazvuk, senzor, optický senzor, ultrazvukový senzor, průmyslová automatizace

Doporučené zdroje informací

1. Martinek, R.: Senzory v průmyslové praxi, 2004. Kapitoly 5 a 6
 2. Obraz, J.: Ultrazvuk v měřicí technice, SNTL, Praha 1984;
 3. <http://www.senzory-pro-prumysl.cz/index.php/ultrazvukove-senzory>
 4. <http://www.senzory-pro-prumysl.cz/index.php/opticke-senzory>
 5. <http://www.ajptech.cz/produkty/prumyslova-automatizace/baumer-senzory/snimace/ultrazvukove/>
 6. http://www.pepperl-fuchs.cz/czech_republic/cs/classid_8.htm
 7. http://www.pepperl-fuchs.cz/czech_republic/cs/19318.htm
- 

Předběžný termín obhajoby

2015/05 (květen)

Vedoucí práce

Volodymyr Ryzhenko, Ph.D.

Elektronicky schváleno dne 15. 1. 2014

prof. Ing. Jaromír Volf, DrSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 3. 2. 2014

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 03. 04. 2015

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci na téma „Ultrazvukové a optické senzory“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Volodymyra Ryzhenka, Ph.D., s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne _____

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu práce Ing. V. Ryzhenkovi, Ph.D. za odbornou pomoc a cenné rady, které mi poskytoval po dobu vedení mé bakalářské práce.

Abstrakt: Práce představuje existující druhy optických a ultrazvukových senzorů. Jsou v ní nastíněny jejich fyzikální principy a technická provedení. Dále se práce zabývá možnostmi využití těchto senzorů a výhodami, ale i nevýhodami využití daných typů senzorů v praxi.

Klíčová slova: Ultrazvuk, senzor, optický senzor, ultrazvukový senzor, průmyslová automatizace

Summary: The bachelor's thesis introduces the existing kinds of optical and ultrasound sensors. There are their physical principles and technical specifications outlined in this research. Furthermore the bachelor's thesis deals with possibilities of application of these sensors and with advantages, but also disadvantages of the implementation of these types of sensors in practice.

Key words: Ultrasound, sensors, optical sensors, ultrasound sensors, industrial automation

OBSAH

1	ÚVOD.....	1
2	CÍLE PRÁCE.....	1
3	FYZIKÁLNÍ PRINCIP OPTICKÝCH SENZORŮ, DRUHY OPTICKÝCH SENZORŮ A JEJICH KONSTRUKCE	2
3.1	Fyzikální princip optických senzorů	2
3.1.1	Elektromagnetické vlnění	2
3.1.2	Odraz a lom světla	4
3.1.3	Fotometrické a radiometrické veličiny	6
3.2	Konstrukce optických senzorů	7
3.2.1	Vysílací prvky senzorů	7
3.2.2	Přijímací prvky senzorů	13
3.3	Druhy optických senzorů	14
3.3.1	Reflexní senzory	15
3.3.2	Reflexní závora	16
3.3.3	Jednocestné závory	17
3.3.4	Senzory optických vláken	17
3.3.5	Senzor turbidity.....	18
3.3.6	Senzory nefelometrické	19
3.3.7	Optické vidlicové senzory	19
3.3.8	Senzory barevné značky	20
4	PARAMETRY OPTICKÝCH SENZORŮ	21
4.1	Směrová charakteristika	21
4.2	Výkonová rezerva	21
4.3	Kontrast	22
4.4	Výstupní signály.....	23
4.5	Reakční doba.....	23
5	APLIKACE OPTICKÝCH SENZORŮ	23
5.1	Robotické pracoviště	24
5.2	Detekce barevné značky.....	24
5.3	Detekce množství kusů	25
5.4	Detekce skleněných lahví.....	25
5.5	Detekce přítomnosti mléka v krabici	26

6	FYZIKÁLNÍ ZÁKLADY ULTRAZVUKU A ZÁKLADNÍ PRINCIPY ULTRAZVUKOVÝCH SENZORŮ	27
6.1	Fyzikální základy ultrazvuku	27
6.1.1	Způsoby šíření ultrazvukových vln.....	28
6.1.2	Druhy ultrazvukových vln	28
6.1.3	Rychlost šíření zvukových vln.....	29
6.1.4	Útlum ultrazvukových vln	29
6.1.5	Odraz a lom ultrazvukových vln.....	30
6.1.6	Dopplerův jev	30
6.1.7	Směrová vyzářovací a snímací charakteristika.....	31
6.2	Princip ultrazvukových senzorů.....	32
6.2.1	Piezoelektrické měniče	32
6.2.2	Magnetostrikční měniče.....	32
7	PARAMETRY ULTRAZVUKOVÝCH SENZORŮ	33
8	DRUHY PROVEDENÍ ULTRAZVUKOVÝCH SENZORŮ, ZPRACOVÁNÍ SIGNÁLU	34
8.1	Senzory pro měření vzdálenosti	34
8.2	Senzory v režimu závora	35
8.3	Zpracování signálu	35
9	APLIKACE ULTRAZVUKOVÝCH SENZORŮ	36
9.1	Počítání průhledných plastových lahví	36
9.2	Detekce hladiny sypkého materiálu	37
9.3	Detekce objektu s hrubým povrchem.....	37
10	POROVNÁNÍ OPTICKÝCH A ULTRAZVUKOVÝCH SENZORŮ, JEJICH VÝHODY A NEVÝHODY	38
10.1	Výhody optických senzorů.....	38
10.2	Nevýhody optických senzorů.....	38
10.3	Výhody ultrazvukových senzorů.....	38
10.4	Nevýhody ultrazvukových senzorů.....	39
11	ZÁVĚR	40
12	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	41
12.1	Internetové odkazy	41
13	SEZNAM OBRÁZKŮ	44

1 ÚVOD

Historický vývoj ultrazvukových a optických senzorů sahá až do poloviny dvacátého století. Původně výraz senzor neexistoval a tato zařízení byla nazývána čidly a samotný senzor byl jednoduchá součástka (např. termistor). V dnešní době se už pro komplexní přístroj tohoto typu využívá výhradně název senzor. Roku v ruce s vývojem elektroniky a miniaturizace součástek docházelo k rozvoji i v oblasti senzorů a možnostech, které mohou nabídnout. Sensory bývají často vyráběny ve variantě analogové (např. určité vzdálenosti odpovídá určitý proud) či binární (dvoustavové, kdy překročení určité hodnoty vyvolá, napěťový výstupní signál). V dnešní době, ač si to neuvědomujeme, jsou senzory provázány s většinou odvětví průmyslu, s vědeckým výzkumem, ale i běžným dennodenním životem každého z nás. Příklady zastoupení jsou ve strojírenství (ultrazvuková defektoskopie, zjišťování netěsnosti, měření statických tlaků, bezpečnostní sensorika), v dopravě (parkovací senzory automobilů, telemetrie), ve stavebnictví (měření vzdáleností, měření průtoků), v lékařství (měření teploty, ultrazvuk v neurologii, oftalmologii a porodnictví), v chemii (detekce plynů).

2 CÍLE PRÁCE

Hlavním předmětem této rešeršní práce byla obecná charakteristika optických a ultrazvukových senzorů. Cílem bylo vypracování přehledu parametrů těchto druhů senzorů, od fyzikálních principů jejich fungování, přes technická provedení, až po jejich uplatnění v průmyslové praxi a srovnání pozitiv a negativ jednotlivých typů senzorů.

3 FYZIKÁLNÍ PRINCIP OPTICKÝCH SENZORŮ, DRUHY OPTICKÝCH SENZORŮ A JEJICH KONSTRUKCE

3.1 Fyzikální princip optických senzorů

Základním principem používaných prvků u optických senzorů je přeměna elektrického proudu na světlo (tedy elektromagnetické vlnění) a obráceně. Pod pojmem světlo se rozumí elektromagnetické spektrum od ultrafialové oblasti přes oblast viditelného světla až po infračervenou oblast. [1]

3.1.1 Elektromagnetické vlnění

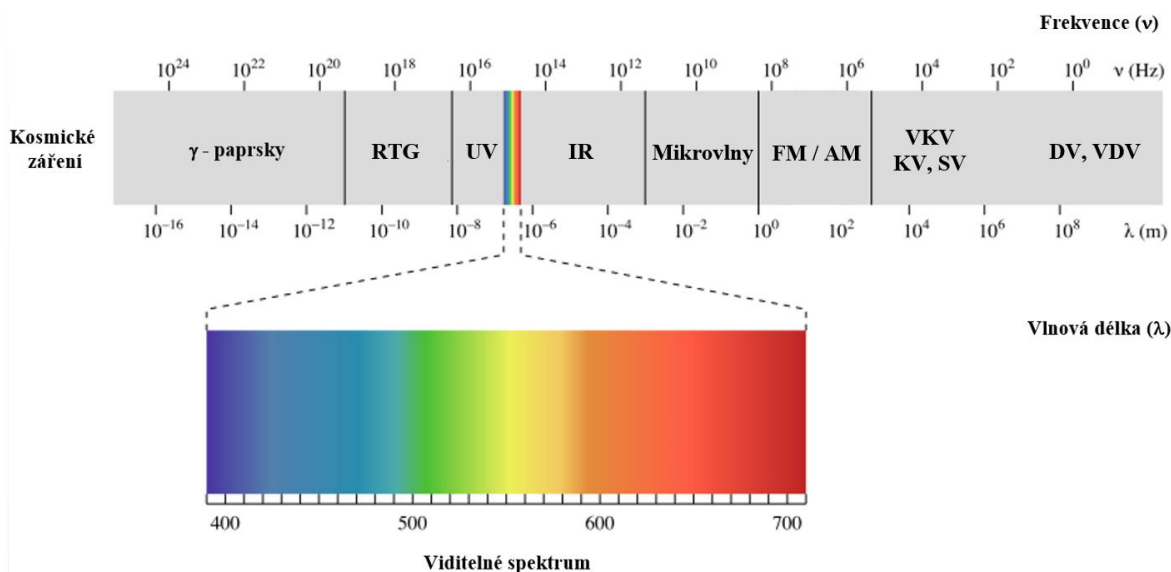
Vlnová délka λ , frekvence ν a energie E_ν jsou tři základní charakteristiky elektromagnetického vlnění.

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

$$E_\nu = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad (2)$$

kde c je rychlost šíření vlnění ve vakuu ($c = 299792458 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) a h je Planckova konstanta ($h = 6,626069\cdot 10^{-34}$). [37]

Obr. 1 Přehled kmitočtového spektra elektromagnetického záření [27]



Viditelné spektrum, neboli světlo (fialové, modré, zelené, žluté a červené), infračervené a ultrafialové záření jsou pouze určitá výseč celého spektra elektromagnetického záření. Ve směru prodlužování délky a snižování frekvence vlnění navazuje na infračervené záření mikrovlnné záření (CM, DM) a radiové vlny (EKV, SKV, UKV, VKV, KV, SV, DV, VDV, EDV). Ve směru zkracování délky a zvyšování frekvence vlnění navazuje na ultrafialové záření Rentgenové záření, záření gama a kosmické záření. V oblasti optiky a optoelektroniky se využívá tzv. optické záření, které zahrnuje právě první tři zmiňovaná spektra záření, zobrazená na obr. číslo 1.

Viditelné světlo

Elektromagnetické záření o určité vlnové délce dopadá na předměty, od kterých se odráží. Odraz dopadá do lidského oka, kde způsobí podráždění světločivných receptorů, které zareagují a předají do mozkového centra informaci, která je vyhodnocena jako určitá barva. Člověk je schopen rozlišit přibližně 160 barev (obr. 2) a dle studií dokonce 600 000 odstínů. Odstín je barva o různé sytosti a jasů. Důležitým faktorem při rozeznávání barev je také intenzita světla. Ostatní části elektromagnetického spektra mají pro lidské oko příliš dlouhé či krátké vlnové délky, a proto je receptory v oku nedokáží vyhodnotit. Zdrojem umělého světla mohou být žárovky, zářivky, výbojky či lasery. Přirozené světlo vyzařují hvězdy, oheň a slunce. Za chromatické světlo lze považovat například bílé světlo, které je složeno z více vlnových délek. [36]

Obr. 2 Rozsah viditelného světla v elektromagnetickém spektru [28]

Barva	Vlnová délka	Frekvence
červená	~ 625 až 740 nm	~ 480 až 405 THz
oranžová	~ 590 až 625 nm	~ 510 až 480 THz
žlutá	~ 565 až 590 nm	~ 530 až 510 THz
zelená	~ 520 až 565 nm	~ 580 až 530 THz
azurová	~ 500 až 520 nm	~ 600 až 580 THz
modrá	~ 430 až 500 nm	~ 700 až 600 THz
fialová	~ 380 až 430 nm	~ 790 až 700 THz

Infračervené záření (IR)

Infračervené záření je část elektromagnetického záření, které je pro lidské oko neviditelné, jeho vlnová délka je vyšší nežli červené světlo viditelného spektra a vyzařují ho tělesa zahřátá na vysokou teplotu. Umělé zdroje infračerveného záření jsou speciální žárovky, teploměry, radiátory ústředního topení. Zdrojem přirozeného záření je slunce. [24]

Ultrafialové záření (UV)

Ultrafialové záření je část elektromagnetického záření, které je pro lidské oko neviditelné, jeho vlnová délka je kratší nežli fialové světlo viditelného spektra. Umělým zdrojem ultrafialového záření jsou výbojky a přirozeným zdrojem je slunce. [21]

3.1.2 Odraz a lom světla

Šíření světla je závislé na optickém prostředí, kterým prochází. Z fyzikálního hlediska můžeme optické prostředí rozdělit na tři druhy:

- **Průhledné:** nedochází k rozptylu světla průchodem materiálu, např.: čiré sklo
- **Průsvitné:** světlo je propouštěno, avšak dochází i k rozptylu, např.: mléčné sklo
- **Neprůsvitné:** světlo je pohlceno materiálem či se od něj odráží, např.: kovy

V případě, že prostředí, kterým paprsek světla prochází, má v celém svém prostoru opticky stejné vlastnosti, jedná se o prostředí stejnorodé (homogenní). Paprsky se v tomto prostředí šíří přímočaře, jsou na sobě nezávislé, a příkladem takového prostředí může být sklo či vakuum. Opakem je prostředí nesterodné, nehomogenní, a příkladem mohou být rozptýlené částičky prachu ve vzduchu.

Dopadá-li světlo na rozhraní dvou optických prostředí (o různých indexech lomu), pak dochází k částečnému odrazu a částečnému průchodu z jednoho prostředí do druhého.

Index lomu optického prostředí n je veličina daná poměrem rychlosti světla ve vakuu c a rychlosti světla v daném prostředí v . Je závislý na barvě (frekvenci) světla, proto se světlo různých barev láme jinak; tohoto jevu se využívá např. v optických hranolech. [3]

$$n = \frac{c}{v} \quad (3)$$

Index lomu vzduchu: $n = 1,0$

Index lomu vody: $n = 1,3$

Index lomu křemenného skla: $n = 1,5$ [11]

Zákon lomu

Dopadá-li paprsek z optického prostředí s indexem lomu n_1 , v němž má velikost rychlosti v_1 , do odlišného prostředí s indexem lomu n_2 , kde má velikost rychlosti v_2 , platí:

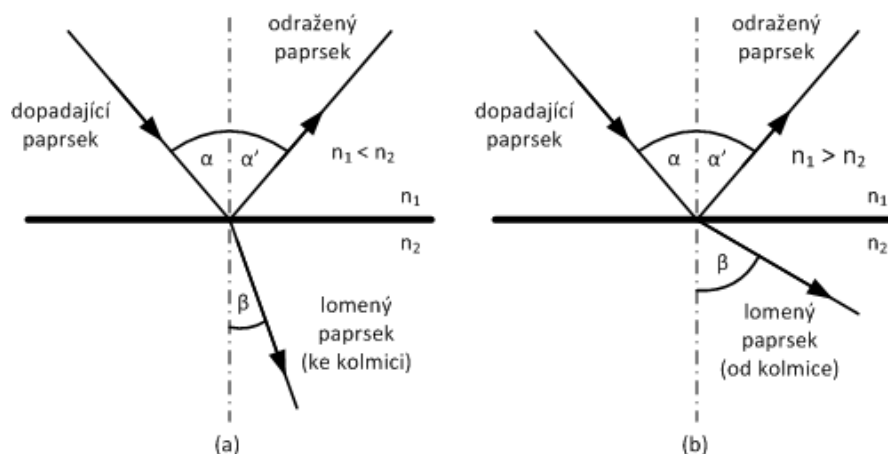
$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{c}{n_1} ; \frac{c}{n_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad (4)$$

Z dané rovnice lze vyjádřit zákon lomu, který byl nazván po svém objeviteli, fyzikovi Holandské národnosti, Willebrordovi Snellovi.

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1} \quad (5)$$

Lom světla lze rozdělit na dva druhy (obr. 3). Lom ke kolmici, který nastává průchodem světelného paprsku z opticky řidšího do opticky hustšího prostředí, kdy úhel α je menší než úhel β . Lom od kolmice, který nastává průchodem světelného paprsku z opticky hustšího do opticky řidšího prostředí, kdy úhel β je větší než úhel α . [3]

Obr. 3 Lom světla [30]



Zákon odrazu

Úhel dopadu paprsku α je roven úhlu odrazu paprsku α' . Odražené vlnění zůstává ve stejné rovině, resp. prostředí, jako dopadající vlnění. A z tohoto důvodu nedochází ke změně rychlosti jako při lomu. Odražený paprsek není závislý na frekvenci světla, a proto se pro všechny frekvence odráží pod stejným úhlem. [31]

Disperze světla

Dva paprsky o různé vlnové délce (např. červené a zelené barvy), ale se stejným úhlem dopadu procházející rozhraním o indexu lomu $n > 1$, se lámou s rozdílnými úhly. S klesající vlnovou délkou se zmenšuje rychlost světla a tento děj se nazývá normální disperze. V případě, že se naopak s klesající vlnovou délkou rychlost světla zvětšuje, nazývá se tento děj anomální disperze světla. Ve vakuu k disperzi nedochází a světlo o různých barvách postupuje stejnou rychlostí. Jev disperze je možný pouze v látkových prostředích. Bílé světlo dopadající na optický hranol se na rozhraní odráží a zároveň se láme do hranolu, kde dojde k disperzi světla a rozdělení na barevné složky. Na tomto principu funguje přístroj pro zjišťování chemického složení látek – spektrometr. [3]

3.1.3 Fotometrické a radiometrické veličiny

Fotometrické veličiny popisují působení elektromagnetického záření na lidské vnímání (světelný tok, svítivost, osvětlení). Radiometrické veličiny popisují kolik energie, které lidské oko nedokáže vnímat, se přeneso na ozařované těleso (zářivý tok, zářivost, intenzita vyzařování, hustota vyzařování).

Zářivost

Je poměr zářivého toku Φ_e ku ploše, kterou vymezuje element prostorového úhlu $\Delta\Omega$. Jednotkou zářivosti I_e je $\text{W}\cdot\text{sr}^{-1}$.

$$I_e = \frac{\Delta\phi}{\Delta\Omega} \quad (6)$$

Zářivý tok

Je poměr množství vyzářené energie ΔE , která je zdrojem vyzářena za časovou jednotku, $\Delta t = 1$ s. Jednotkou zářivého toku Φ_e je $\text{J}\cdot\text{s}^{-1}$ neboli W.

$$\Phi_e = \frac{\Delta E}{\Delta t} \quad (7)$$

Intenzita vyzařování

Je poměr zářivého toku Φ_e vysílaného z plochy zdroje $\Delta S = 1$ m^2 . Jednotkou hustoty vyzařování M_e je $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$.

$$M_e = \frac{\Phi_e}{\Delta S} \quad (8)$$

Hustota vyzařování

Je poměr zářivosti I_e zdroje a plochy zdroje $\Delta S = 1$ m^2 ve směru výchylky od kolmé roviny. Jednotkou hustoty vyzařování L_e je $\text{W}\cdot\text{sr}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$.

$$L_e = \frac{dI_e}{\Delta S} \quad (9)$$

Světelný tok

Charakterizuje subjektivní lidské vnímání zářivého toku Φ_e v prostoru, kterým se elektromagnetické záření šíří. Záření o vlnové délce 555 nm (žluté světlo) lidské oko vnímá nejsilněji. Jednotkou světelného toku Φ je lm (lumen).

Svítivost

Je poměr světelného toku Φ ku ploše, kterou v prostoru vymezuje element prostorového úhlu $\Delta\Omega$. Jednotkou svítivosti I je cd (kandela).

$$I = \frac{\Delta\Phi}{\Delta\Omega} \quad (10)$$

Osvětlení (hustota světelného toku)

Osvětlení způsobené bodovým zdrojem je nepřímo úměrné druhé mocnině vzdálenosti osvětlované plochy od zdroje a přímo úměrné cosinu úhlu β dopadu elektromagnetického záření. Jednotkou osvětlení E_o je lx (lux).

$$E_o = \frac{\Delta\Phi}{\Delta S} = \frac{\Delta\Phi \cdot \cos\beta}{r^2 \Delta\Omega} \Rightarrow \frac{I}{r^2}, \text{ při } \beta = 0 \quad (11)$$

3.2 Konstrukce optických senzorů

Základním stavebním prvkem optického senzoru je přijímač a vysílač. V počátcích se jako vysílač využívala žárovka a jako přijímač fotobuňka či foteodpory. Od použití těchto prvků se časem upustilo, protože jejich negativní vlastnosti zužovali pole aplikace. Příkladem negativní vlastnosti žárovky je nemožnost vysílání modulovaného světla z důvodu tepelné setrvačnosti vlákna. [1]

3.2.1 Vysílací prvky senzorů

Vysílacími prvky, které se nejčastěji v optoelektronice používají, jsou:

- a) Luminiscenční diody
- b) Laserové diody
- c) Neon-heliový laser

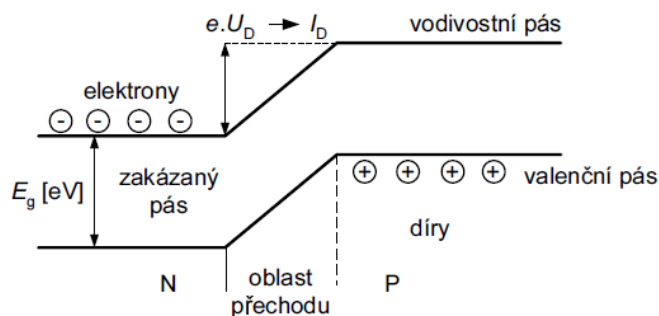
Ze světelného spektra se pro funkci optických čidel nejčastěji využívá infračervené záření. A to díky jeho kladným vlastnostem, kterými jsou:

- IR záření má vyšší vlnovou délku nežli většina malých prachových částic, a proto prostupuje okolo nich s minimálním rušením.
- Citlivost fotodiody (fototranzistoru) je na IR záření nejvyšší.
- IR záření je pro lidské oko při normálních podmínkách neviditelné a tak je vhodné pro využití při zabezpečení objektů, či předmětů.
- Výskyt viditelného světla příliš nenaruší paprsek IR záření.

a) Luminiscenční diody

Luminiscenční dioda LED (z angl. light-emitting diode) je pólovaný přechod $p-n$ v propustném směru, který vysílá záření ve formě injekční elektroluminiscence a zároveň je polovodičový prvek s přímými přechody zakázaného pásu. Oblast P polovodiče je charakteristická tím, že má nadbytek volných elektronů, naopak oblast N má nadbytek děr. Přivedením napětí v propustném směru přechodu a z něho vytvořeného proudu dojde k prostupu elektronů do oblasti P a děr do oblasti N (obr. 4). Zásadní rozdíl mezi obvyklými diodami a led diodami je, že u obvyklých je snaha prostupu maxima volných nosičů oblastí prostorového náboje po přiložení externího elektrického pole a tím snížení ztrát v oblasti prostorového náboje. Důsledkem zvýšení ztrát u klasické diody dochází k ohřívání a následnému poškození. U luminiscenční diody, je naopak snaha k dosažení maximální vzájemné rekombinace nosičů v oblasti prostorového náboje za vzniku viditelného záření respektive fotonu. [1]

Obr. 4 Energetické schéma PN přechodu, stav bez proudu [1]



Elektron umístěný v energetické úrovni valenčního pásma E_1 potřebuje pro přenos do energeticky vyšší úrovně vodivého pásma E_2 dodat minimální energii:

$$E_g = E_2 - E_1 \quad (12)$$

Obrácený proces se nazývá rekombinace elektronu s dírou a stejná energie je naopak přímo uvolněna. Rekombinační proces může nastat více způsoby, které ovlivní, zdali energie je vyzářena ve formě světelných kvant (fotonů) či ve formě tepla (fononů). Jev vyzáření fononu může být například způsoben poruchou povrchu krystalové mřížky či vady uvnitř ní. Princip vyzáření fotonu, který je související s pásovou strukturou krystalu se nazývá rekombinace absorpční. U této rekombinace jsou rozlišovány dva druhy, přímá a nepřímá. 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, kde musí do rekombinačního procesu vstoupit fonon a tím způsobí, že energie je vyzářena ve formě tepla. [1,8]

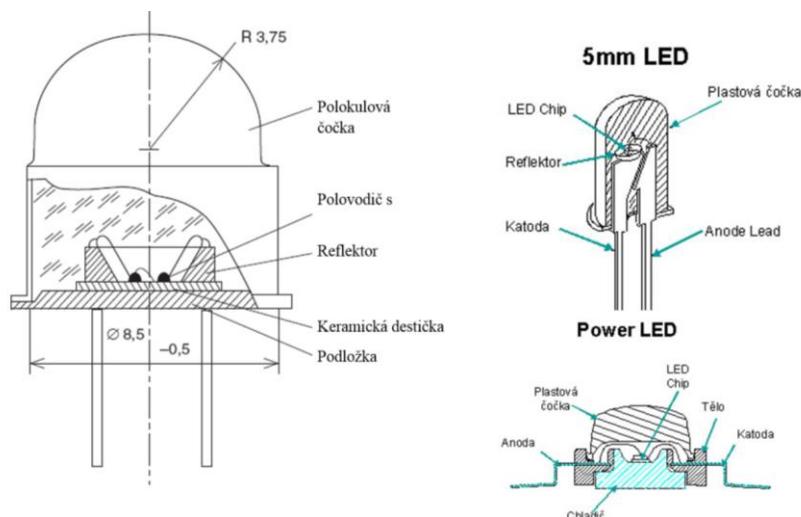
Vlnová délka světla vyzářeného z diody je dána typem použitých materiálů. Volbou materiálů a jejich koncentrací lze nastavovat, jakou frekvenci viditelného záření má dioda vyzářovat. Tím, že každý materiál má rozdílnou šířku zakázaného pásu, musí daný elektron,

který chce tento pás překonat, přijmout či vyzářit rozdílnou energii. Pokud je známa šířka zakázaného pásu, lze pomocí Planckovy konstanty spočítat frekvenci vyzařovaného světla. [8]

$$E_g = h \cdot f = \frac{c \cdot h}{\lambda} \quad (13)$$

Konstrukce luminiscenční diody

Obr. 5 Konstrukce LED diody [10]



Základem luminiscenční diody (obr. 5) je polovodičový čip připojený ke zdroji elektrického napětí. Kolem něj je vrstva materiálu (například pryskyřice), která dává vyzařovanému světlu potřebné optické vlastnosti (bodové nebo rozptýlené světlo, s různým úhlem osvětlení). Jak plyne z principu polovodičové diody, na rozdíl od žárovky, kde nezáleží na směru průchodu elektrického proudu, musí být LED dioda zapojena pouze v propustném směru. Zatímco tedy žárovka může používat stejnosměrný i střídavý proud, LED dioda může používat pouze stejnosměrný proud. Pro připojení ke zdroji střídavého proudu (například v běžné zásuvce) proto musí být LED svítidlo vybaveno usměrňovačem. [9]

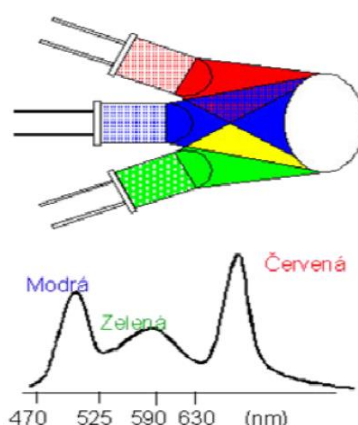
Materiály PN přechodů a barva světla

Materiály PN přechodů, určené pro luminiscenční diody, jsou nejčastěji vyráběné z chemických sloučenin halogenů, nekovů, polokovů a kovů (např. galium, fosfor, arsen, dusík, křemík, uhlík, indium, hliník atd.). Vhodnou kombinací polovodičového materiálu a dotací s izoelektrickými poruchovými místy lze dosáhnout požadované vlnové délky a tím požadované barvy.

Jedním ze složitějších vývojů v oblasti barev LED diod byla bílá barva, protože z principu funkce LED diody nelze tento druh světla získat. V dnešní době jsou však LED diody

o této barvě často využity jako zdroj viditelného světla v reflektorech, lampách, podsvícení displejů z tekutých krystalů atd. První z možností, jak vytvořit světlo bílé barvy, je složením ze tří základních barev a to červené, modré a zelené (obr. 6). Tento způsob však není z technologického i konstrukčního hlediska příliš výhodný, protože se zvětšuje zástavbový prostor, dioda má nižší jas a vlivem nerovnoměrného stárnutí čipů může dojít k posunu barvy. Druhá, výrobně složitější, možnost, ale s lepšími výsledky, je použití materiálu InGaN (nitrid-galium-indium) uvnitř čipu. Tzn. modrá LED dioda v kombinaci s luminoforem, který je buzen světlem modré diody, popřípadě který přeměňuje UV záření do oblasti viditelného spektra. [10]

Obr.6 Složení bílé barvy ze tří barev [10]



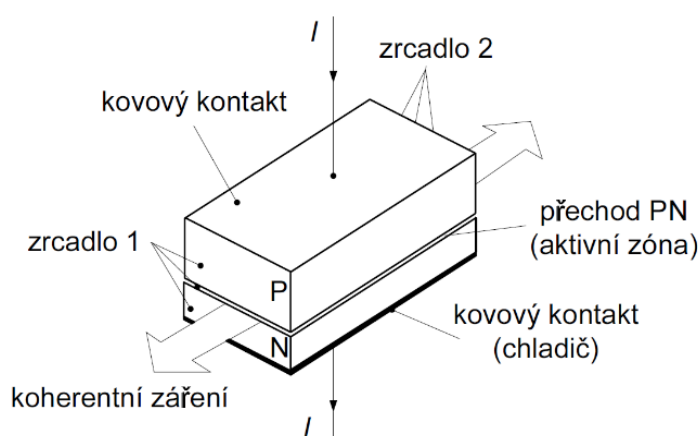
b) Laserové diody

Zkratka laser pochází z anglického originálu Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation. Elektromagnetické záření, vytvářené laserem, je soustředěno do velmi úzkého intervalu vlnových délek, samotný laser se vyznačuje vysokou zářivostí a malou rozbíhavostí (divergencí) laserového svazku. Laserová dioda je založena na podobném principu jako luminiscenční dioda, kde vstřikováním nosičů náboje je vytvořeno prostředí pro vyzařující rekombinaci. Zároveň však jsou připojeny další dva jevy a to optická rezonance a stimulovaná emise v polovodičovém krystalu, které vytváří vlastnost vyzařovat koherentní světlo. Pod pojmem koherentní světlo se skrývá vlastnost kvant světla mít stále v určitém místě a okamžiku stejnou fázi a vlnovou délku. Z čehož vyplývá, že takové světlo je zároveň monochromatické. Na rozdíl od LED diod, kde dochází ke spontánní emisi, pro kterou je charakteristické, že k rekombinaci dochází v libovolném okamžiku, tak u laserových diod vyvolaná emise rekombinačního jevu je buzena rovnoměrně světlem žádoucí frekvence.

Přechod elektronu do stavu s menší energií, vyvolaný stimulujícím fotonem, je doprovázen vyzářením fotonu, který má stejnou energii, stejný směr šíření, stejnou fázi i polarizaci vlnění jako stimulující foton. Stimulující foton se uvažovanou kvantovou soustavou nepohltí, pouze soustavou prošel a k němu se přidal stimulovaný foton (do soustavy vstupuje jeden foton – vystupují dva fotony). [12]

Zesilovací jev zajišťuje optický rezonátor se dvěma planoparalelními zrcadly. Jedna strana GaAs kvádrů je polopropustná a druhá je opatřena tenkou vrstvou stříbra, které tvoří dokonalé zrcadlo. Fotony, které vznikají v optickém zesilovači stimulovanou emisí, se mezi zrcadly odrážejí (obr. 7). Postupně se přidávají další vybuzené atomy, až naroste intenzita světla na určitou mez a dojde k vyzáření světelného výboje skrz polopropustné zrcadlo. Po vyzáření světla ve formě fotonů se atomy navrátí do elementárního stavu a po buzení se celý cyklus opakuje.

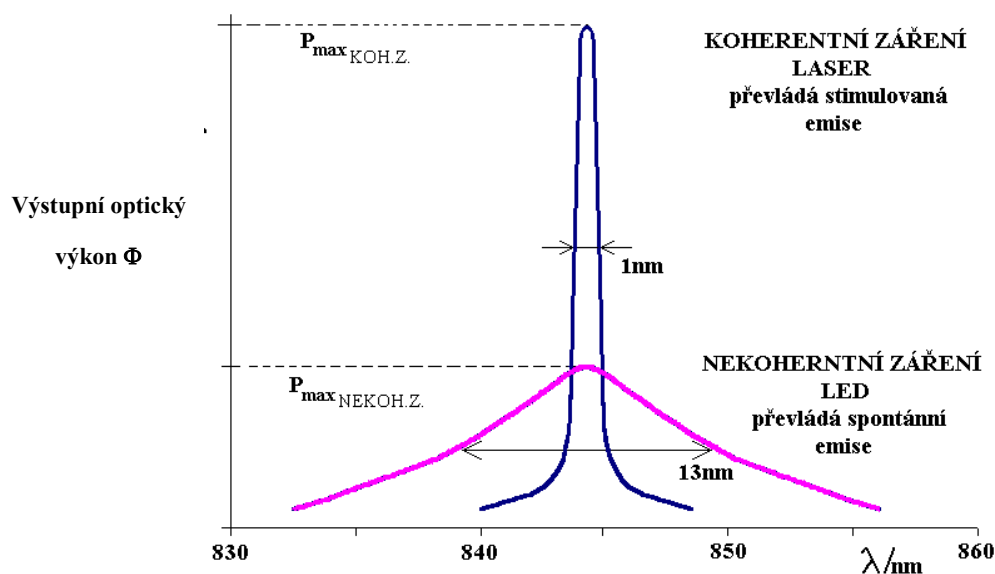
Obr. 7 Polovodičový laser GaAs [12]



Spektrální charakteristika a světelná charakteristika

Koherentní záření laserových diod je díky stimulovanému vyzařování a zesílení v optickém rezonátoru velmi úzké. Velmi často bývá spektrum laserového záření složeno z diskretních harmonických čar základní vlny, na rozdíl od LED diod, které mají průběh spektra spojitý.

Obr. 8 Porovnání šířky pásma emitovaného záření při spontánní a stimulované emisi [13]

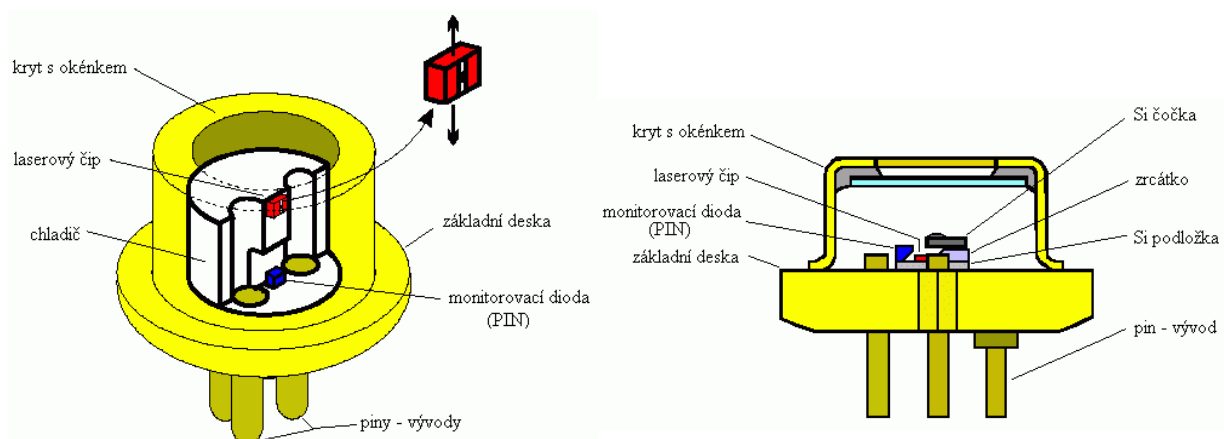


Pro malé proudy má záření spontánní charakter a chová se jako luminiscenční dioda. Překročením prahového proudu I_p , resp. prahu laserového generování, započne prudce narůstat výkon stimulovaného záření a ze zrcadel rezonátoru je emitováno koherentní záření. V ideálním případě lineárně závislé na velikosti budícího proudu. Lasery jsou modulovány tak, aby pracovní bod charakteristiky byl umístěn lehce nad hodnotou prahového proudu I_p a tím bylo zajištěno, že nebude dioda pracovat v nežádoucí oblasti spontánní emise (obr. 8). [1,14]

Konstrukce laserových diod

Pouzdro laserové diody (obr. 9) je složeno z vlastního laserového čipu, snímací PIN diody, základní desky, na které jsou lepidlem uchyceny tyto součásti, pinů (nožiček), spojující a krytu s okénkem, které bývá u dražších laserových diod antireflektované, nebo také skloněné. Mnohé z pouzder laserových diod obsahují také odrazné zrcátko a čočku, která fokusuje vycházející záření. Celá dioda je hermeticky zapouzdrěna. [15]

Obr. 9 Konstrukce zapouzdrěné laserové diody [15]



c) Neon-heliový laser

Aktivní prostředí je tvořeno výbojovou dráhou výbojky plněné směsí helia a neonu. Čerpání je realizováno elektrickým výbojem, při kterém dojde k buzení atomů helia na vyšší energetickou hladinu. Nabuzené atomy pak předávají při srážkách energii atomům neonu. Stimulované emise při přechodech takto vyvolaných atomů plynu neonu na nižší energetické hladiny generuje koherentní záření. Generace záření u toho typu laseru vzniká nepřetržitě. Výhodou je taktéž, jako u laserové diody, divergence energického svazku, koherence a monochromaticnost. [2]

3.2.2 Přijímací prvky senzorů

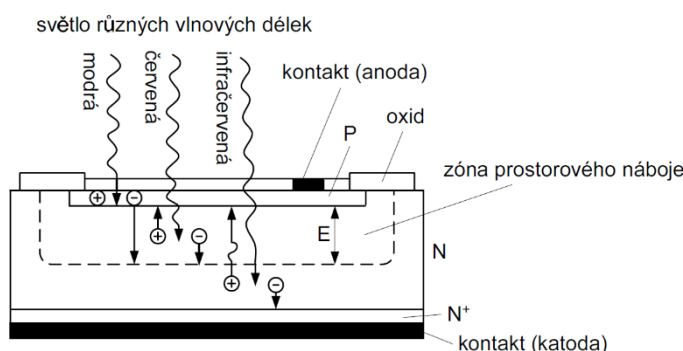
Přijímací prvky neboli polovodičové fotodetektory jsou zařízení, která měří fotonový tok nebo optický výkon tím způsobem, že přeměňují energii absorbovaných fotonů do měřitelné formy. V minulosti byl nejzákladnějším příkladem fotodetektoru fotografický film. Nejčastějšími přijímacími prvky v této době jsou [2]:

- a) Fotodioda PN a PIN
- b) Fototranzistor
- c) Fotorezistor
- d) Fototyristor

a) Fotodioda PN a PIN

Fotodiody pracují na principu převodu přijatého světla ve formě signálu na elektrický proud. Vstupující fotony s energií o minimální velikosti, rovnající se rozdílu energií mezi valenčním a vodivým pásem, vytvoří v oblasti přechodu PN pár elektronu a díry. Existující elektrické pole oddělí páry nosičů, vzniklé v zóně prostorového náboje, a přemístí je na druhou stranu. Elektrony jsou přemístěny do pásu P a naopak díry do pásu N (obr. 10). V závěrném směru i bez přiložení vnějšího napětí dojde k průtoku tzv. driftového proudu (drift current). Páry děr a elektronů, které vznikly, mimo zónu prostorového náboje, musí nejprve do této zóny prosáknout, a pak až je možné jejich připojení k proudu elektronů. Takovému proudu se říká difuzní proud (diffusion current).

Obr. 10 Činnost fotodiody PN [1]



Fotodiody PN se vyrábějí z velkého množství materiálů, mezi nejpoužívanější materiály patří Si (křemík), Ge (germanium) a sloučeniny InGaAsP, InGaAs. Typická pro fotodiody typu PN je převaha difuzního proudu, což je způsobeno velmi úzkým pásem zóny prostorového náboje. PN diody jsou vhodné pro měření malých intenzit osvětlení. Doba náběhu proudu je poměrně dlouhá a mezní kmitočet nízký.

Dioda typu PIN je tvořena taktéž přechodem P-N, avšak mezi vrstvami je navíc uzavřen polovodičový pás s vlastní vodivostí, který bývá lehce dotován. Diody PIN mají větší plochu k zachycení přijímaného světla díky ochuzené vrstvě, ve které se nosiče pohybují driftem. Doba náběhu je kratší a mezní kmitočet vyšší. Výhody PIN diody spočívají ve vyšší přenosové rychlosti, menším šumu, větší citlivosti k delším vlnovým délkám viditelného světla (infračervené záření). [1]

b) Fototranzistor

Základní struktura je obdobná jako u tranzistoru, avšak napětí na bázi není přivedené z vnějšku. O činnosti fototranzistoru rozhoduje intenzita dopadajícího záření, které uvolňuje dvojice nosičů, jejichž majoritní nositelé se na bázi hromadí. [3]

c) Fotorezistor

Základem fotorezistoru je nedotovaný polovodičový materiál, např.: sulfid kadmia (CdS), rozmístěný mezi tenkými hřebenovitými vzájemně prostupujícími elektrodami. Na rozdíl od fotodiody nemá fotorezistor polovodičový přechod, což mu umožňuje pracovat nezávisle na polaritě připojeného napětí. Výhodou je, že při zapojení není nutné rozlišovat polaritu na vývodech. Odpor fotorezistoru je bez dopadajícího světelného záření (za tmy) velmi vysoký, může převyšovat i $1 \text{ M}\Omega$. S dopadem světla klesá odpor o několik řádů k desítkám $\text{k}\Omega$. Teplotní závislost je velmi nepatrná. [3]

d) Fototyristor

Struktura základové Si (křemíkové) destičky je velmi podobná standardnímu tyristoru, rozdíl nastává v tloušťce jednotlivých vrstev z důvodu možnosti průchodu světla do vnitřní části. Dopadající elektromagnetické záření vyvolává ve střední oblasti vznik volných nosičů. Postupně dochází k akumulaci náboje na řídicí elektrodě, až přejde určitou hranici a přeroste ve spínací proud. Hlavní vlastností, kterou se mezi sebou fototyristory liší, je různá citlivost na vlnovou délku dopadajícího záření, které je nutné sladit s paprsky vysílače. [3]

3.3 Druhy optických senzorů

Optosenzory lze rozdělit na několik elementárních druhů:

- Reflexní senzory
- Reflexní senzory s odrazkou – reflexní závory
- Senzory obsahující oddělený vysílač a přijímač – jednocestné závory
- Vláknová optika
- Senzor turbidity
- Senzory nefelometrické
- Optické vidlicové senzory
- Senzory barevné značky

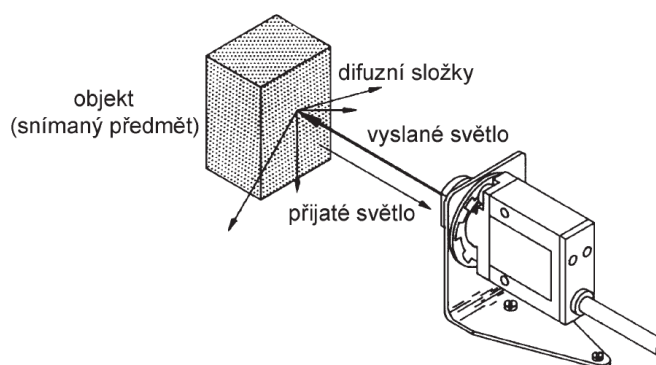
3.3.1 Reflexní senzory

Senzory reflexní pracují na principu snímání či měření světelného výkonu, který je srovnáván s měřenou hodnotou, která je pro daný senzor či vyhodnocovací zařízení nastavena. Kromě měření přesné vzdálenosti, či využití pro jednoduchou logiku přerušení paprsku 0/I, lze také reflexní senzory využít pro vyhodnocení dalších optických parametrů, mezi které patří kontrast a barva.

Reflexní senzory lze dle způsobu použití, resp. provedení, rozdělit na tři skupiny. Difuzní, divergentní a konvergentní senzory.

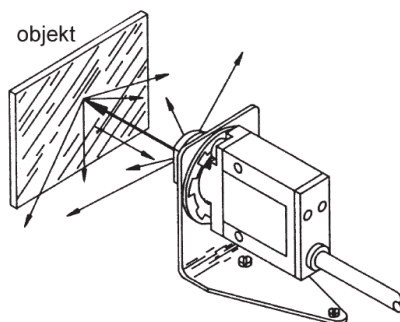
Difuzní reflexní senzor využívá pro svoji funkci emise světla z vysílací jednotky, které je rozptýleně reflektováno od opticky matného tělesa nazpět k přijímacímu prvku (obr. 11). Difuzní paprsek nelze koncentrovat. Spínací vzdálenost, kdy senzor je schopný správně vyhodnotit odražený paprsek, je závislá na optické reflexi a na citlivosti přijímacího prvku. Světlé předměty mají dlouhou snímací vzdálenost a tmavé předměty naopak krátkou. Difuzní senzor bývá často vybaven optickými čočkami pro seřízení (kolimaci) toku světelného záření tak, aby bylo zabezpečeno zpětné odražení co možná největšího množství světla. Seřízení optických čoček má i negativní vliv a to na zvýšení citlivosti na úhel odklonění odraženého paprsku u lesklých povrchů. Lesklé zaoblené předměty a kmitající pásy nejsou příliš vhodné pro difuzní čidlo, protože nedochází k dostatečné intenzitě odraženého světelného paprsku nazpět do přijímače. Tento druh senzoru je vhodný pro snímání i velmi malých těles s opticky hrubým povrchem. Snímací vzdálenost 0 - 500 mm. [1]

Obr. 11 Činnost difuzního senzoru [1]



Divergentní reflexní senzor je vhodný pro aplikace, kde standardní difuzní senzor nelze vhodně použít. Takovým příkladem jsou transparentní plochy, lesklé či zrcadlicí předměty. Tento senzor nemá zabudované seřizovací čočky, čímž dochází ke zkrácení snímací vzdálenosti a není proto tolik závislý na úhlu odklonu odraženého paprsku. Objekty o malé velikosti nejsou vhodné pro snímání divergentním čidlem, naopak vyniká při snímání úzkých dlouhých objektů např. struna, drát, lanko, které však musí být umístěny v blízké vzdálenosti 0 - 20 mm. [1]

Obr. 12 Činnost konvergentního senzoru [1]

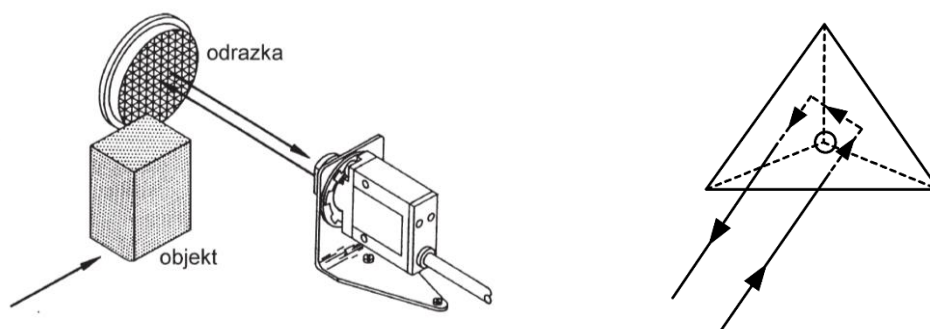


Třetím druhem reflexních senzorů je konvergentní. Tento senzor využívá optickou čočku, která usměrňuje paprsek procházejícího světla do ohniska čočky (obr. 12). Přijímací optická čočka musí vykazovat stejnou ohniskovou vzdálenost. Senzor je charakterizován spínací vzdáleností a vlnovou délkou dopadajícího záření intenzivního snímaného bodu. Oproti divergentnímu a difuznímu senzoru je tento vhodný pro objekty, které mají špatné odrazové vlastnosti a jsou malé. Nevýhodou tohoto senzoru je nutnost dodržet umístění snímaného předmětu v přesné vzdálenosti ohniska čočky, či brát v potaz snížení hloubky ostrosti, která má za následek případné nepřesnosti snímání. [1]

3.3.2 Reflexní závora

Reflexní závory pracují na principu emise světelného paprsku, který je odražen od odrazky na přijímač senzoru. Procházející předmět mezi senzorem a odrazkou přeruší proud vysílaného resp. snímaného světla a tím dojde k vyhodnocení senzorem a předání informace nadřazené vyhodnocovací jednotce (obr. 13). Kladné vlastnosti odrazky jsou, že intenzitu proudu navracejícího světla je schopná znásobit až 3000 krát a tím eliminovat chybné vyhodnocení, např. znečištěním optické části senzoru. Odrazka je buď vyrobena z lisovaného odolného plastu, skládajícího se z malých trojbokých hranolů, nebo z tenké folie s lepicí vrstvou (samolepka). V případě, že povrch snímaného senzoru je silně reflexní a mohlo by docházet k falešnému zpětnému odrazu, je nutné senzor a odrazku z polohy kolmé vůči směru průchodu předmětů vychýlit ve směru svislé i vodorovné polohy. [1]

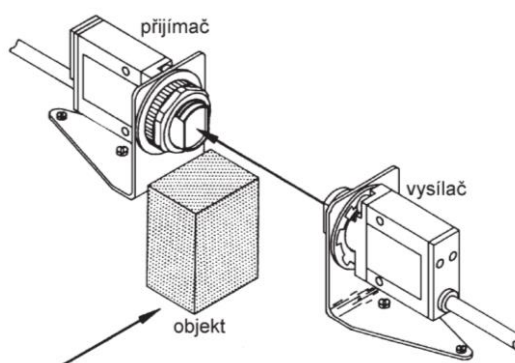
Obr. 13 Činnost reflexní závory a funkce odrazky [1]



3.3.3 Jednocestné závory

Jednocestné závory pracují na podobném principu jako reflexní závory, avšak odrazka je nahrazena přijímačem, který je elektricky propojen s vysílačem (obr. 14). Kladnou vlastností je jejich snímací vzdálenost, která může být až 200 m. Slabinou tohoto senzoru je nutnost přesného seřízení, které je při větších vzdálenostech složitější, protože vysílač i přijímač pro správnou funkci musí být v tzv. optické ose. Moderní senzory tohoto typu jsou vybaveny kvalitnější a odolnější technikou modulovaného světla, které ve spojení s optoelektronickou indikací seřízení usnadňuje proces seřízení. Výhodou oproti reflexním sensorům je u jednocestné závory fakt, že odrazivost snímaného předmětu nemá na měření vliv, protože přerušением toku světelného paprsku dojde k vyhodnocení přítomnosti předmětu. Zároveň je tento druh nejméně náchylný na nepřesnost snímání z důvodu nečistot optiky a změny vlastností snímaného objektu. [1]

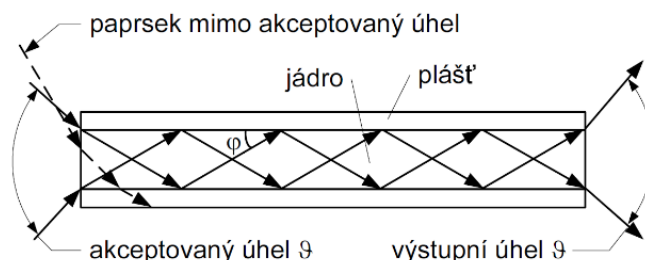
Obr. 14 Činnost jednocestné závory [1]



3.3.4 Senzory optických vláken

Senzory optických vláken využívají fyzikální podstaty odrazu světla. V případě, že paprsek dopadá na rozhraní dvou prostředí s rozdílným indexem lomu n , pak určitá část jeho světelné energie se odrazí zpět a část pronikne do jiného prostředí. V případě, že proud světla vstoupí pod větším úhlem do optického vlákna, nežli je akceptovaný úhel ϑ , dojde ke ztracení paprsku v obalu (obr. 15). Pro výrobu optických vláken, které jsou u senzoru vlastně pasivní prvek, se nejčastěji využívá oxid křemičitý (sklo) a plasty. Vlákno je složeno z jádra, které je určeno k přenosu světla, pláště, který zajišťuje odrazové rozhraní, primární a sekundární ochrany. Optické vlákno je vyráběno o průměru 8 až 200 μm , dle způsobu použití. Vlastnost totální reflexe je zajištěna i za předpokladu, že je vlákno ohnuté (s omezením nejmenšího povoleného radiusu). V případě, že je umístěno v jednom svazku více vláken, pak je primární i sekundární ochrana společná pro všechna vlákna. Není ojedinělým úkazem, že v jednom svazku bývá stovky až tisíce světlovodů.

Obr. 15 Vstupní akceptovaný úhel a výstupní úhel jednoho vlákna [1]



Světlovody lze podle fyzikálních vlastností rozdělit na jednovidové, mnohovidové a mnohovidové s postupnou změnou indexu lomu. Jednovidové bývají malého průměru a charakteristická vlastnost pro ně je malá disperze a nižší útlum, ale díky jejich velikosti je složitější navázat světlo do vlákna. Signál je uvnitř vlákna veden pouze jediným paprskem, který se při pohybu odráží. Nejčastěji používané zdroje světelného paprsku jsou pro tato vlákna polovodičové lasery. Mnohovidová vlákna bývají většího průměru nežli jednovidová a signál je veden několika světelnými impulzy. Světelné paprsky jsou odrazeny ve vláknu v jiných úhlech a dojdou ke snímači s určitým zpožděním (vidová disperze). Použití těchto světlovodů je optimálnější pro krátké vzdálenosti, protože vidová disperze zkrusuje přenesený signál. Nejčastěji používanými zdroji světelného paprsku jsou LED diody.

Jak už bylo výše zmíněno, optická vlákna se vyrábějí nejčastěji ze skla a plastu. Vlákna vyrobená z plastu mají však negativní vlastnosti vůči průchodu světla o určitých vlnových délkách a tato vlastnost se projevuje pohlcením přenosu záření. Nejhuře se tato vlastnost projevuje u infračerveného záření. Při použití plastového vlákna je doporučeno využívat vysílače, které generují viditelné světlo, pro které neplatí tak razantní útlum.

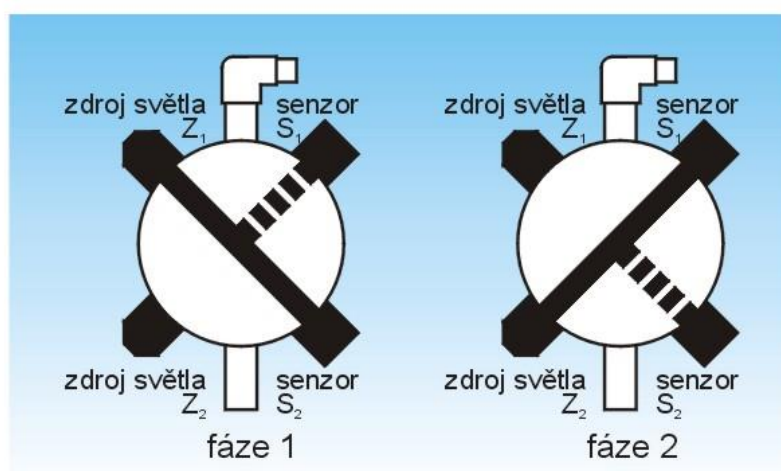
Vedení světlovodů pro optické senzory lze také rozdělit na dvě skupiny z pohledu počtu vodičů: jednotlivé a rozdvojené. Jednotlivé světlovodiče pracují na principu přenosu paprsku od vysílače k místu odrazu po jednom vlákne a nazpět od místa odrazu k přijímači po druhém. Rozdvojené světlovodiče jsou vyrobeny tak, že obě vlákna jsou vedena v jenom kabelu a těsně před pouzdem senzoru jsou rozdvojena. Optické vláknové senzory mají velké opodstatnění v aplikacích, kde nelze normální senzory použít, ať už z důvodu prašnosti, nedostatku zástavbového místa, zvýšené teploty prostředí, chvění, nebezpečí výbuchu či elektromagnetického rušení, která na optická vlákna nemá žádný vliv. [1]

3.3.5 Senzor turbidity

Tento senzor má funkci zjištění koncentrace nerozpuštěných částic v kapalině. Rozptyl elektromagnetického záření závisí také na vlnové délce a poměru velikosti částic. Částice o velikosti menší nežli 1/10 vlnové délky vykazují rozptyl do všech směrů shodný. V případě, že částice nabírá na velikosti, pak započne převládat rozptyl ve směru šíření elektromagnetického záření. Částice o velikosti 45 μm se bere už jako nerozpuštěná. Kromě

prvního faktoru jsou ještě dva faktory, které ovlivňují turbiditu a to barva a tvar částice. Sensory turbidity jsou nejčastěji na bázi měření poměru světelného toku pod úhlem 90° k proudu ve směru šíření. Vhodnou opakovatelnost zajišťuje typ senzoru se čtyřmi modulovanými světelnými svazky (obr. 16). „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.“ Využití senzoru je hlavně ve vodním hospodářství. [15]

Obr. 16 Princip měření turbidity [17]



3.3.6 Sensory nefelometrické

Tento typ senzoru je založen na metodě určení koncentrace jemně rozptýlených mikroskopických látek v plynech nebo kapalinách na principu rozptylu světla. Hlavním měřicím parametrem je měření absorpce. Generátor světelného paprsku a senzor intenzity jsou vůči sobě opačně umístěny na stěně potrubí, popřípadě na jedné straně a ke snímání dochází pomocí odrazného zrcátka. Vhodným zdrojem světelného paprsku je laser a to helium-neonový, který přispívá ke zvýšení kvality snímání nefelometrických senzorů. Tento senzor našel uplatnění pro aplikace, kterými měříme zákal nápojů, detekujeme kouř v hlídaných prostorách či pro měření kvality zdrojů pitné vody. [15]

3.3.7 Optické vidlicové senzory

Vidlicové senzory (obr. 17) v sobě snoubí klady optických senzorů, jako jsou vysoká spínací frekvence, krátký čas odezvy, vysoká přesnost a zároveň už od výrobce je vyřešena problematika přesného ustavení vysílacího a přijímacího prvku, které jsou vždy v optické ose. Nejčastěji bývají vyráběny v systému jednocestné světelné závory. Jako vysílací zdroj se používají diody s červeným, infračerveným i laserovým zářením. Pro větší rozteče závory jsou integrovány i naváděcí viditelné značky paprsku pro jednodušší umístění senzoru do správné

polohy. Tento typ senzoru byl vyvinut hlavně pro dynamický režim snímání, jako je třeba odměření folie pro etiketovací stroj, avšak své uplatnění najde i při kontrole výšky hladiny v nápojových lahvích. [18]

Obr. 17 Optický vidlicový senzor STM, OEM automatic, CZ [19]



3.3.8 Senzory barevné značky

Senzor barevné značky je senzorem snímající kontrast pouze jediné určité barvy, která se musí vyskytovat na snímaném objektu. Barva světelného paprsku je zvolena podle barvy snímané značky a zároveň podle toho, zdali je objekt průhledný či neprůhledný. Pro nedefinované barvy je nejideálnější využít LED diody s bílým světlem, ostatní barvy mají od výrobce doporučené barvy vysílajícího paprsku. Nejčastěji se pro tento typ detekce využívá difuzní senzor s viditelným světlem, velmi krátkou reakční odezvou a integrovaným RGB elektronickým filtrem. Vhodné použití našel tento typ senzoru pro stroje na stříhání pásů pohybující se rychlostí až 10 m/s, kde jsou už z výroby předtištěny registrační značky. V případě, že je pás silně reflexní, může docházet k přesycení snímačů a senzor nebude pracovat správně. Řešením je sklopit čidlo z úhlu snímání 90° o minimálně 10°, kdy dojde k odrazu mimo snímač. [1]

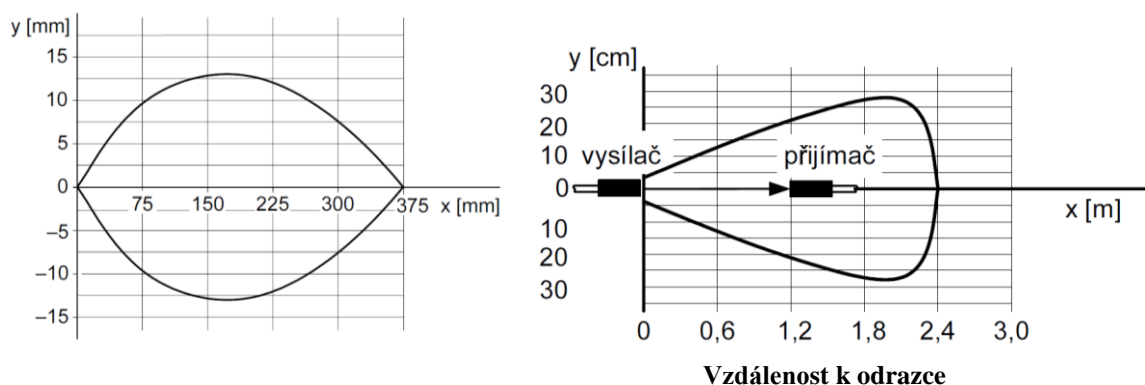
4 PARAMETRY OPTICKÝCH SENZORŮ

4.1 Směrová charakteristika

Každý typ senzoru má jedinečnou charakteristiku, která je daná jak konstrukcí, tak i způsobem snímání a to platí i pro stejné senzory od různých výrobců. V případě, že parametr velikosti a vzdálenosti snímaného předmětu vychází uvnitř plochy ohraničené křivkami grafu směrové charakteristiky a zároveň jsou splněny i další potřebné požadavky snímání, je zaručeno, že bude předmět čidlem detekován (obr. 18).

Pro veškeré reflexní senzory je definována tzv. karta odrazivosti, která představuje závislost druhu povrchu snímaného materiálu na odrazivosti. Etalonem je testovací papír Kodak, který představuje reflexi 90 % a rezervu 1,0 (například černý neopren má reflexi 4 % a rezervu 22,5). Čím je větší rozdíl odrazivosti předmětu, tím je rozdílnější plocha charakteristiky, tzn. předměty s větší odrazivostí, nežli je testovací papír Kodak, budou mít větší plochu charakteristiky a naopak. [1]

Obr. 18 Směrová charakteristika reflexního senzoru, typ SM 319D a jednocestné závory, typ SME31E/SME31R, firma Banner, USA [1]



U směrové charakteristiky jednocestné závory vstupuje do grafu ještě pozice přijímače, která určuje umístění přijímače tak, aby byl paprsek spolehlivě zachycen. Zároveň je možné ze směrové charakteristiky určit jak blízko mohou být u sebe vysílací a přijímací prvky senzorů v multisenzorovém systému tak, aby nedocházelo ke vzájemnému rušení. V případě, že je nutné ustavit senzorové páry velmi blízko u sebe a vystavit se tak nebezpečí rušení, využívá se funkce spínání párů postupně. Každý vysílací prvek je aktivní jen po dobu, kdy je jeho párový přijímací prvek připraven k přijímání. Řídící logiku pak zajišťuje nadřazený řídicí člen a tím je elektronický modul. [1]

4.2 Výkonová rezerva

Vlastnosti senzorů jsou většinou od výrobce charakterizované pro ideální prostředí, ve skutečnosti jsou však tyto vlastnosti kvůli okolním vlivům (špína, kouř, prach, vlhkost, atd..)

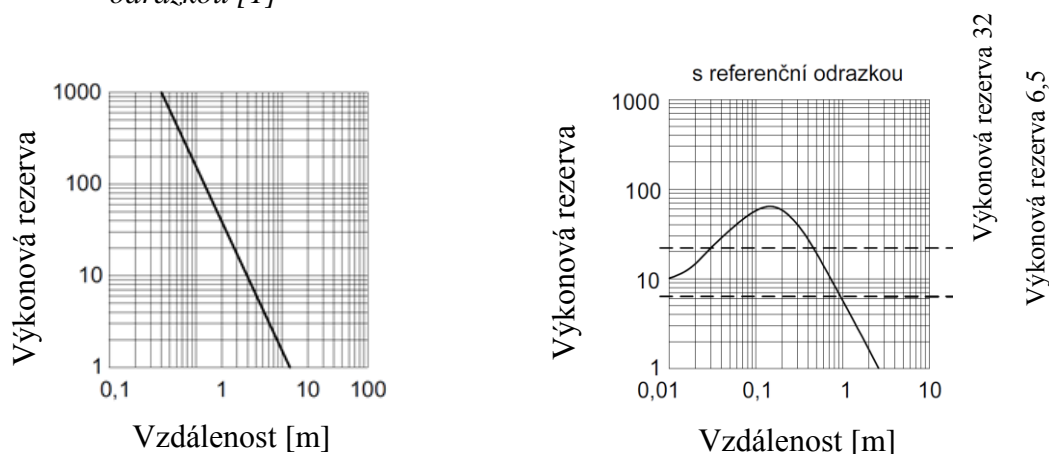
poníženy. Výkonová rezerva má zaručit překlenutí těchto negativních vlivů a zajistit správnou funkci senzoru.

$$\text{výkonová rezerva} = \frac{\text{světelná energie na přijímacím prvku}}{\text{prahová úroveň}} \quad (14)$$

„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 prvku. Toto napětí je porovnáváno s prahovou úrovní. Koeficient, který říká kolikrát je hodnota přijatého signálu větší než prahová úroveň, je výkonová rezerva“. [1]

Při výběru senzoru a jeho výkonnosti může pomoci orientační tabulka přepočtu potřebného výkonu při používání v daném prostředí, např. při středním znečištění, zřejmém usazování nečistot, předepsání jen příležitostného čištění čoček – 10 x. Číslo 10 udává násobek potřebné rezervy od ideálního prostředí. Výkonová rezerva je v grafu definována jako funkce vzdálenosti, která je pro každý režim optosnímání rozdílná. Senzory jsou už při výrobě na tento průběh křivky naprogramovány a výrobcem zaručeny. U reflexních senzorů je jako u směrové charakteristiky pro snímání používána tabulka reflexní odrazivosti (obr. 19), dle které je možno odhadnout do jaké vzdálenosti je vhodné umístit snímáný předmět. Tato hodnota však není konečná a je nutné jí ještě vynásobit koeficientem znečištění daného prostředí. [1]

Obr. 19 Průběh výkonové rezervy pro jednocestnou závoru a pro difuzní senzor s referenční odrazkou [1]



4.3 Kontrast

Veškeré fotoelektrické přístroje jsou založeny na principu vyhodnocení rozdílu nebo poměru dvou světelných úrovní. Hodnota kontrastu je definována jako vztah dvou hodnot světelného záření, odpovídající stavům světlá a tmavá. Příkladem je světelná závoru, která v případě průchodu předmětu změní logiku ze stavu 1 na 0. Bohužel však většina ostatních aplikací nemá tak jednoduché vyhodnocení, protože předmět může být menší a část paprsku dopadá mimo něj, není dostatečně potlačeno pozadí, objekt není zcela průhledný atd.

Ze zkušeností výrobců senzorů a reálných aplikací, které byly už v minulosti provedeny, je stanovena optimální základní hodnota kontrastu rovna 3. V případě, že hodnota klesne pod tuto hodnotu, je obtížné předmět zaregistrovat a je nutno použít speciální technologii. Typickým příkladem je snímání barevné značky na obalové folii, kde je nutné v sestavě přístroje zaměnit standardní senzor za dynamický senzor, který obsahuje střídavý zesilovač. Naopak pokud hodnota stoupne nad hodnotu 10, je zaručeno snímání i za špatných okolních podmínek. [1]

4.4 Výstupní signály

Tak jako ostatní druhy senzorů i optosenzory nabízí možnost digitálního či analogového výstupu. Digitální výstupy souvisí se zapínáním a vypínáním zátěže, zároveň bývají doplněny i o reléové výstupy, pro aplikace, kde uživatel chce využít připojení čidla přímo na akční člen bez nutnosti nadřazeného řídicího systému. Příkladem může být spojka dopravníku při nahromadění objektů v zorném poli čidla. Analogové výstupy jsou závislé na intenzitě dopadajícího světelného záření či poloze světelného bodu na snímacím prvku. Nejčastěji se tento typ výstupu využívá pro aplikace, kde je potřeba určitá regulace či měření. [1]

4.5 Reakční doba

Výrobcem předepsaná reakční doba definuje časový úsek, který je potřebný pro zpracování změny stavu snímaného signálu na změnu výstupního signálu. Sensory nemívají časovou hodnotu přechodu z logiky tma/světlo a světlo/tma stejné, proto výrobce často udává dvě různé hodnoty. Vhodným řešením je vždy vybrat tu vyšší hodnotu a počítat s ní jako s rezervou, i když daná aplikace využije tu kratší. Zda-li bude reakční doba daného senzoru vyhovovat, lze u jednodušších aplikací zjistit na základě dostupnosti parametrů. Příkladem je dopravníkový pás, kde známe rychlost pásu, velikost snímaného objektu a vzdálenost mezi objekty, z čehož je možno vypočítat potřebnou reakční dobu. Aplikace, kde je potřeba snímat počet otočení rotujícího předmětu, je vybavena navíc jen o odraznou lepicí samolepku a otáčky jsou převedeny na úhlovou rychlost. [1]

5 APLIKACE OPTICKÝCH SENZORŮ

Jak už bylo v úvodu práce zmíněno, optické senzory jsou využity ve většině odvětví výrobní činnosti. Z nepřeberného množství je uvedeno několik vzorových aplikací, jak lze tyto senzory aplikovat.

5.1 Robotické pracoviště

Vícepraskové bezpečnostní světelné závory se nejčastěji využívají jako ochranný prvek. Například v místech, kde do nebezpečného prostoru automaticky vjíždějí, nebo jej opouštějí produkty a také tam, kde je požadován či očekáván častý přístup obsluhy (obr. 20).

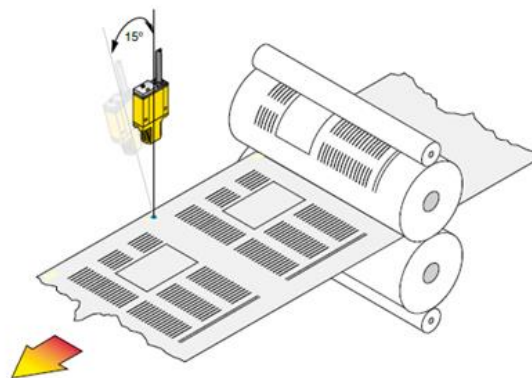
Obr. 20 Využití světelné závory jako bezpečnostního prvku [20]



5.2 Detekce barevné značky

Využití difuzního optického senzoru pro snímání barevné (černé) značky tisknuté na nekonečný pás novinové role. Signál ze senzoru rozpoznání přechodu je během několika milisekund předán k zařízení pro přesný řez (obr. 21).

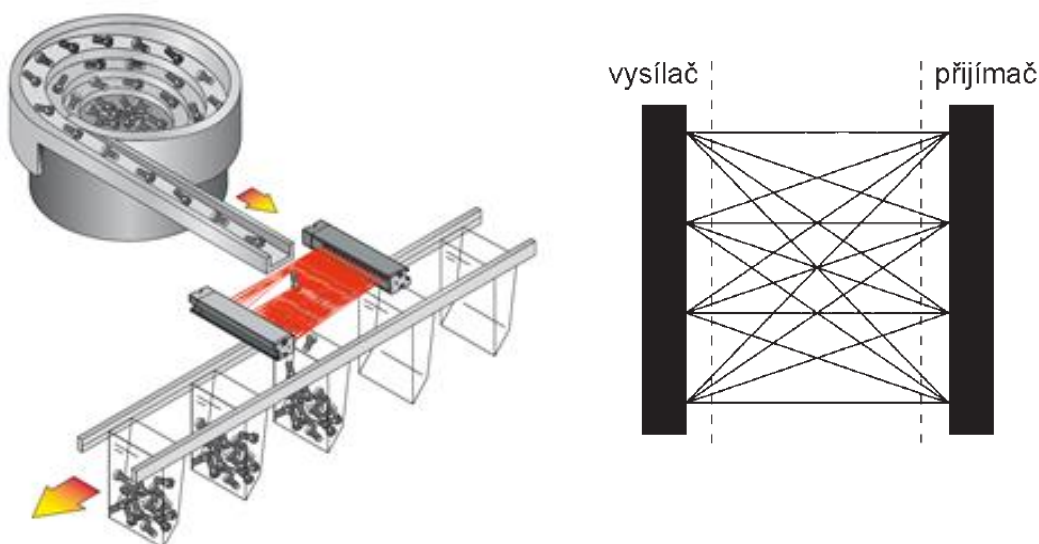
Obr. 21 Využití difuzního senzoru [22]



5.3 Detekce množství kusů

Využití speciální jednocestné světelné závory pro zjištění počtu uložených součástek vypadávajících z vibračního podavače. Při dosažení definovaného množství dojde k posunu sběrné nádoby na dopravníku (obr. 22).

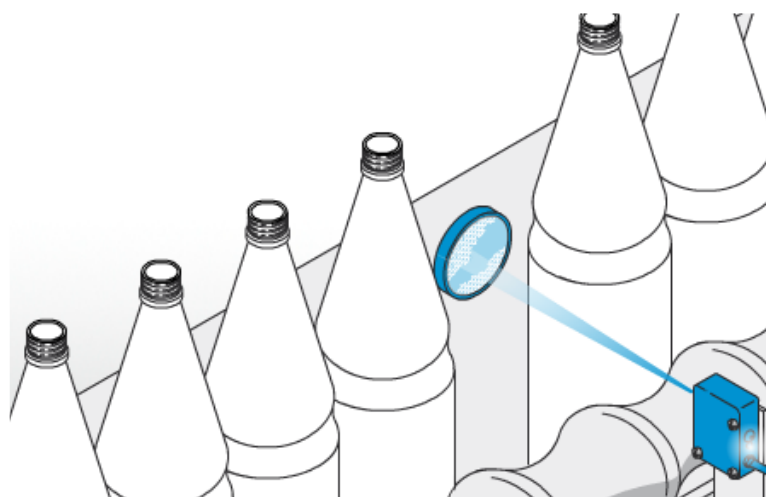
Obr. 22 Speciální světelná závora pro detekci rychlého průchodu objektů [22]



5.4 Detekce skleněných lahví

Příklad použití závory s reflexní odrazkou pro snímání počtu průsvitných lahví procházejících danou oblastí. V případě, že je čidlo nastaveno na velkou citlivost, je zaručena detekce i při ztrátě intenzity světla, která může zapříčinit dvojitý průchod paprsku různými prostředím (obr. 23).

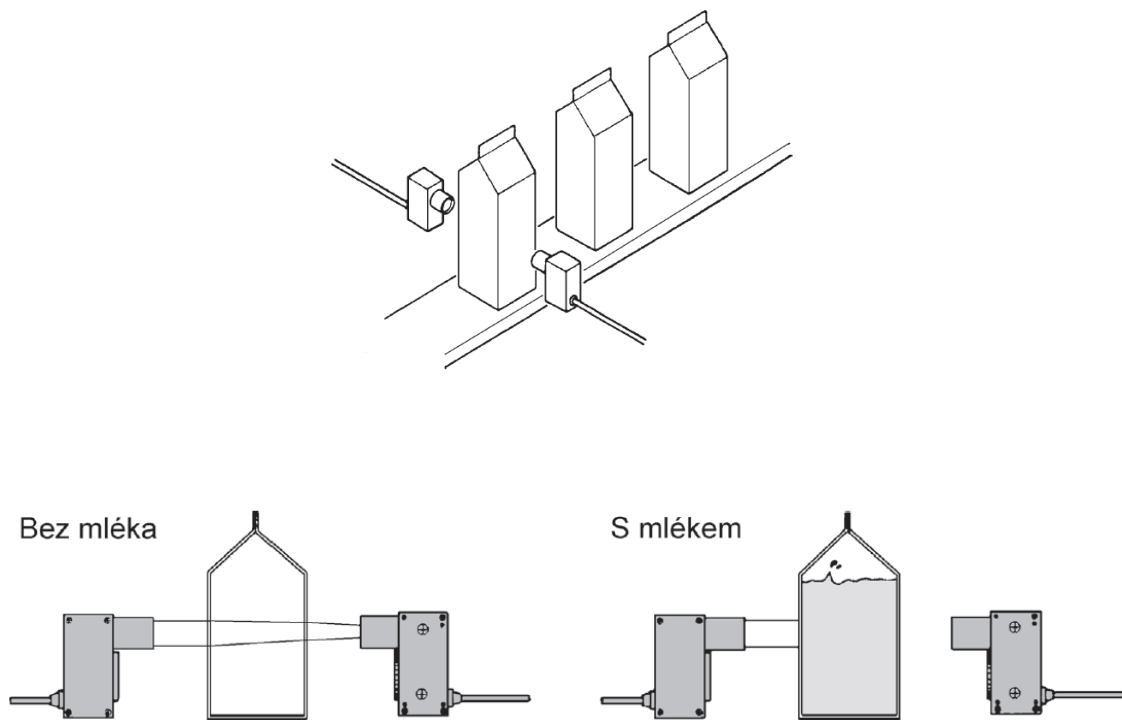
Obr. 23 Reflexní závora a počítání skleněných lahví [24]



5.5 Detekce přítomnosti mléka v krabici

K zjištění přítomnosti mléka (obr. 24) v krabici je vhodná jednocestná závora s velkým dosahem. Citlivost senzoru je nastavena tak, že paprsek infračerveného záření prochází krabicí, pokud není mléko v krabici obsaženo či pokud krabice není v trajektorii paprsku. V případě, že mléko je uvnitř krabice, pak nedostatečně silný signál neprojde a senzor vyhodnotí logickou hodnotu „rozepruto“.

Obr. 24 Využití jednocestné infrazávory [1]



6 FYZIKÁLNÍ ZÁKLADY ULTRAZVUKU A ZÁKLADNÍ PRINCIPY ULTRAZVUKOVÝCH SENZORŮ

6.1 Fyzikální základy ultrazvuku

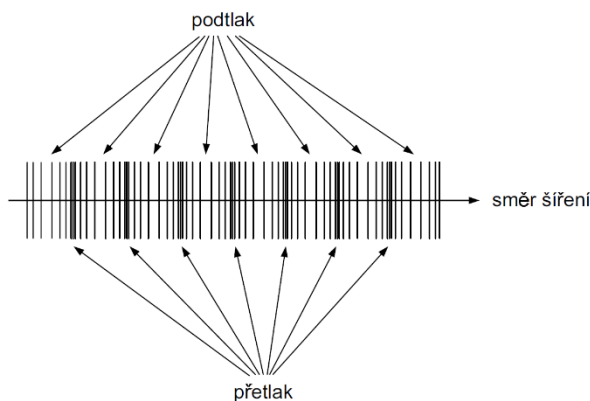
Za ultrazvuk jsou označovány akustické vlny, které mají frekvenční rozpětí na hranici slyšitelnosti člověka. Spodní hodnotou ultrazvuku je cca 20 kHz a horní hranicí je 1 GHz.

Využití ultrazvuku lze rozdělit na dva druhy a to aktivní a pasivní. Pod pojmem aktivní se skrývají ultrazvukové vlny, které se během svého šíření projeví fyzikálními či chemickými účinky. Takovým příkladem může být čištění, svařování, emulzifikace atd. Mnohem menší výkon s malými amplitudami kmitajících částic oproti aktivnímu ultrazvuku má pasivní ultrazvuk, jehož vlastnosti jsou využívány v lékařství, v nedestruktivních zkouškách a diagnostice.

Zvuk vzniká chvěním hmoty (obr. 25), která toto chvění předává hmotným částicím prostředí (pevné hmotě, kapalině či plynu). Hlavním rozdílem mezi akustickými vlnami a elektromagnetickými vlnami je fakt, že akustické vlny se nemohou v prostředí bez hmotných částic šířit, tudíž ani ve vakuu. Částice vůči sobě ve vzduchu jsou zhušťovány a zředovány a tyto jejich vlastnosti následně putují vzduchem o rychlosti c , tzv. rychlost šíření zvuku. Samotná částice však neputuje prostorem, nýbrž jen osciluje okolo své rovnovážné polohy. Hmota, jíž by měl zvuk procházet, musí splňovat podmínku elasticity. Zvuková vlna pak vzniká propojením dvou maximálně či minimálně zhuštěných sousedících míst. Počet zhuštění nebo zředění za časový úsek se označuje jakožto kmitočet f . Vzdálenost sousedících míst se nazývá délka zvukové vlny λ . Všechny tyto tři vlastnosti (rychlost, kmitočet a délka) spolu souvisí a lze je vyjádřit vztahem. [1,5]:

$$\lambda = c \cdot T = c/f \quad (15)$$

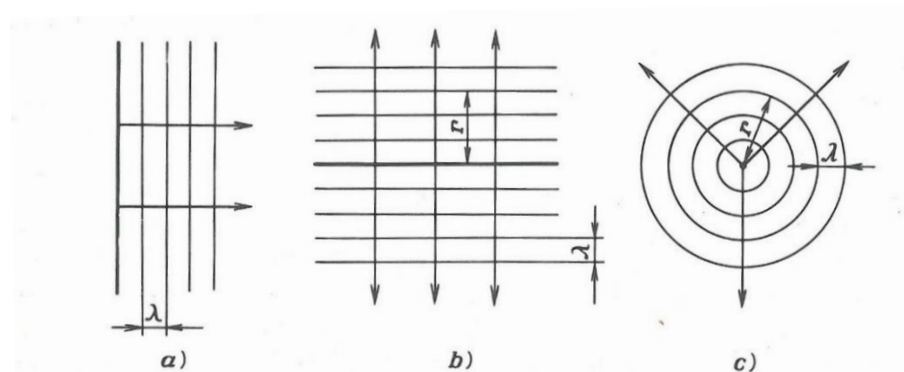
Obr. 25 Zhušťování a zředování částic vzduchu při vzniku ultrazvukové vlny [1]



6.1.1 Způsoby šíření ultrazvukových vln

V izotropním hranicemi neomezeném prostředí je šíření ultrazvukové vlny od vlastního generátoru prostorové. V případě, že dojde ke společným kmitům sousedně umístěných částic, vytvoří se vlnoplocha, která může nabývat rovinných, válcových či kulových tvarů (obr. 26).

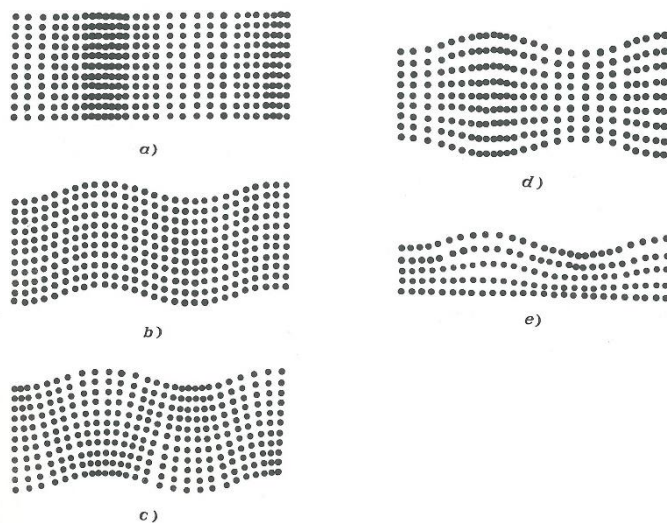
Obr. 26 Tvary vlnoploch: a) rovinná vlna, b) válcová vlna, c) kulová vlna [5]



6.1.2 Druhy ultrazvukových vln

Podle pohybu částic prostředím a vzhledem ke směru postupu vlny rozlišujeme několik druhů vln (obr. 27). Prvním druhem jsou podélné vlny, které jsou schopny šířit se všemi prostředími (kapalně, plynně a pevně) za podmínky, že prostředí je dostatečně velké vůči délce vlny λ . Tyto vlny se vyznačují střídavou kompresí a zředěním částic prostředí, u něhož se zároveň střídavě mění objem prostředí. Dalším druhem jsou vlny příčné, které se dokáží šířit prostředím s odolností proti smykovému namáhání, což odpovídá pouze prostředí pevnému. Částice těchto vln kmitají v jednom směru a to v rovině kolmé na směr šíření a zároveň jejich rychlost a délka je nižší nežli vln podélných. Třetí druh vlny je vlna povrchová, tzv. Rayleighova, která je zvláštním druhem příčných vln, kde se vlna šíří po povrchu pevného prostředí a přibližně na její délku zasahuje do pevného tělesa. Rozkládá se na dva vektory, kde jeden je kolmý na směr šíření a druhý rovnoběžný. Složením vektorů vzniká průběh protáhlé elipsy. Čtvrtým druhem vln je obdobná vlna povrchové vlně a to Loveova vlna. Její částice prostředí kmitají pouze příčným pohybem v rovině rovnoběžné s povrchem. Lze je nalézt jen ve vrstvách velmi tenkého prostředí, které je pevně fixováno s jiným tuhým prostředím. Pátým druhem jsou vlny, které se vyskytují v tělesech, jejichž rozměry v jednom směru či dvou směrech odpovídají přibližně délce vlny tzv. deskové. Tuto vlnu je možné rozdělit ještě na asymetrickou (ohybovou), kde částice prostředí kmitají po neutrální ose příčné a na povrchu se pohybují po elipse a na vlnu symetrickou (dilatační), kde částice na neutrální ose kmitají podélným pohybem a na povrchu po elipse. [5]

Obr. 27 Kmitání částic prostředí při šíření vlny: a) podélné, b) příčné, c) deskové asymetrické ohybové, d) deskové symetrické dilatační, e) povrchové [5]



6.1.3 Rychlost šíření zvukových vln

Tuhé látky díky své struktuře, která je schopna přenést i smykové namáhání, jsou jediné, jimiž lze přenášet veškeré druhy ultrazvukových vln. Rychlost šíření podélných vln c_L je rozdílná dle poměrů rozměru prostředí a vlnové délky vlny λ .

Kapalné látky díky své vysoké viskozitě nekladou žádný odpor smykovému namáhání, a tak je možné vytvořit v nich pouze podélné vlny. Rychlost šíření závisí na tlaku, hustotě a teplotě. Změna zředování a komprese kmitajících částí probíhá v těchto látkách adiabaticky.

Šíření ultrazvuku v plynném prostředí ovlivňuje hlavně tlak prostředí, s jehož zvyšováním dochází ke snížení rychlosti. V případě vzduchu jakožto plynného prostředí, dochází se stoupajícím obsahem vodních par i k lineárnímu stoupání rychlosti. Uvnitř plynů, které jsou sloučeniny více atomů, dochází k disperzi rychlosti, což je závislost rychlosti na frekvenci. [5]

6.1.4 Útlum ultrazvukových vln

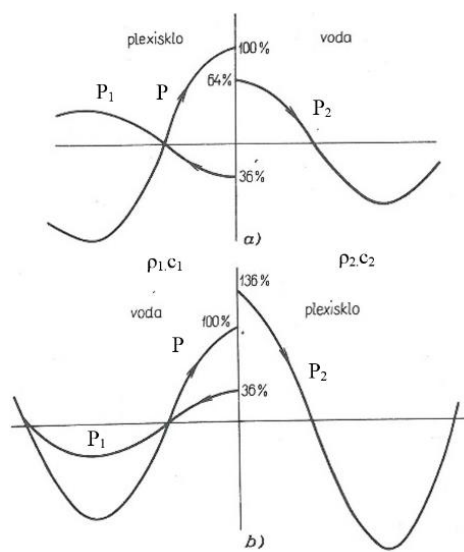
Šíření ultrazvukových rovinných vln v prostředí je spojeno se ztrátou energie a akustického tlaku dle vlastností prostředí, kterým procházejí. Rozlišují se dva druhy útlumu. Prvním je pohlcování, kdy vlivem vnitřního tření kmitajících částic dochází k přeměně mechanické energie na energii tepelnou. Druhý způsob, respektive způsoby, mohou být odraz, lom, ohyb a rozptyl, nejčastěji vyskytující se v nestejnorodých a polykrystalických prostředích. Původem je dopad ultrazvukových vln na jednotlivá rozhraní v nestejnorodé látce. Vhodným příkladem je průchod ultrazvukových vln skrz kovový předmět, kde dochází ke ztrátám rozptylem z důvodu nárazu do bezděčně orientovaných zrn. [5]

6.1.5 Odraz a lom ultrazvukových vln

Ultrazvuková vlna většinou neprochází pouze jedním prostředím, ale přechází dvěma či více. Pokud vlna o určitém akustickém tlaku a rychlosti dosáhne rozhraní různých prostředí s různými vlnovými odpory, dojde z části k průchodu vlny do druhého prostředí a z části je odražena. K odrazu a lomu může dojít pouze za podmínky, že jsou rozměry rozhraní větší než vlnová délka ultrazvukového vlnění. V případě, že jsou rozměry překážky a vlnové délky podobné, je lom provázen ohybem. Dopad ultrazvukové vlny na rozhraní můžeme rozdělit na dopad šikmý a kolmý.

Při kolmém odrazu ultrazvukové vlny lze určit dva případy (obr. 28). Prvním případem je, že akustický vlnový odpor prostředí, ze kterého vlna vychází, je hustší, nežli prostředí do kterého vlna prochází, pak $m > 1$. Na obr. číslo 28 je názorně zobrazeno, že fáze odraženého akustického tlaku je opačná než fáze tlaku dopadající vlny. Naproti tomu má akustická rychlost odražené vlny tutéž fázi. V druhém případě, kdy akustická vlna prochází z prostředí řidšího do prostředí hustšího, kde $m < 1$, je tomu naopak. [5]

Obr. 28 Kolmý dopad ultrazvukové vlny na rozhraní, kde je zobrazen činitel odrazu R a činitel propustnosti D : a) plexisklo - voda, b) voda - plexisklo [5]



Při šikmém dopadu ultrazvukové vlny na rozhraní dvou prostředí se vlna rozdělí na část prošlou a část odraženou. Pokud je prostředí schopné přenášet příčné vlny, tak dojde i k transformaci. Pokud dopadne ultrazvuková podélná vlna na rozmezí dvou pevných prostředí, může pak v každém z nich vzniknout část vlny podélné a část příčné.

6.1.6 Dopplerův jev

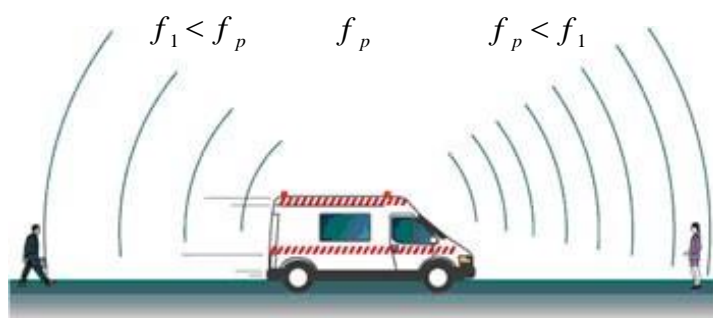
Dopplerův jev, nazvaný dle svého objevitele Christiana Dopplera, popisuje změnu přijímané frekvence a vlnové délky při pohybu zdroje vzhledem k vysílači oproti konstantní

frekvenci zdroje. Pokud se zdroj pohybuje směrem k vysílači, dopadne za vteřinu do přijímače větší počet kmitů nežli v klidu a zároveň přijímaná frekvence je vyšší nežli vysílaná. Při vzdalujícím zdroji je jev obrácený jak zobrazuje obr. číslo 29. V případě, že se všechny objekty pohybují stejným směrem, platí vztah [7]:

$$f_p = \frac{c-v}{c-u} \cdot f \quad (16)$$

kde c je rychlost šíření ultrazvukových vln [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$], u je rychlost zdroje [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] a v rychlost přijímače [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]

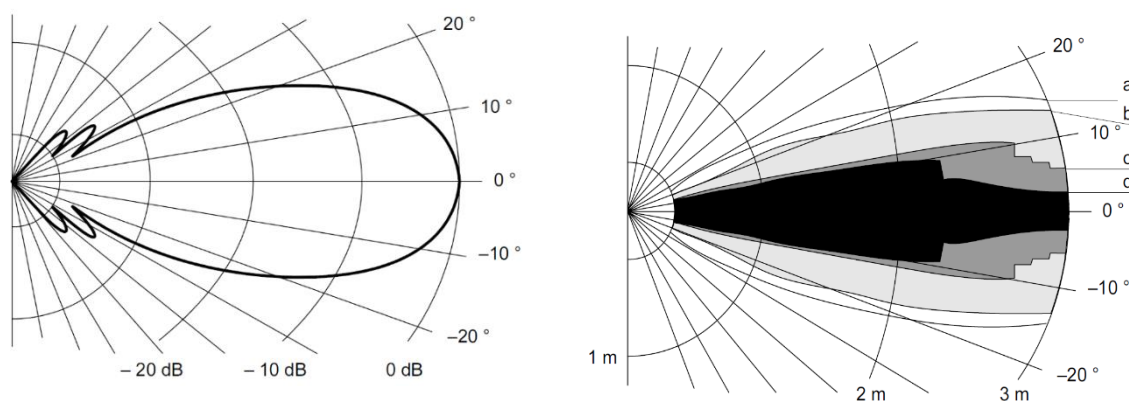
Obr. 29 Dopplerův jev[25]



6.1.7 Směrová vyzařovací a snímací charakteristika

Směrová vyzařovací charakteristika, vyjádřená grafem, zobrazuje závislost hladiny akustického tlaku na úhlu natočení měřicího mikrofону od osy senzoru při stálé vzdálenosti. Nulový úhel je v akustické ose senzoru a charakteristika je podél této osy v prostoru symetrická. Snímací charakteristika vznikne z vyzařovací charakteristiky při vyhodnocování odrazu. Tvar této charakteristiky je závislý na rozměrech, materiálu a tvaru předmětu, který je snímán. Na obr. číslo 30 jsou zobrazeny: a) rovinná deska 70 x 70 cm, b) předmět o rozměrech 10 x 10 cm, c) trubka potažená plstí o průměru 16 cm, d) dřevěná tyčka o průměru 2,5 cm. [1]

Obr. 30 Směrová vyzařovací a snímací charakteristika senzoru [1]



6.2 Princip ultrazvukových senzorů

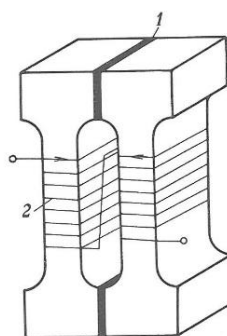
6.2.1 Piezoelektrické měniče

Za pomoci elektroakustických měničů je možné převádět elektrickou energii na mechanickou a naopak, díky nim lze ultrazvukové vlny přijímat a vysílat. Z elektroakustických měničů jsou možné pro senzory využít pouze magnetostrikční či piezoelektrické. Na rozdíl od ostatních v těchto dochází k přeměně energie už na hladině molekul za pomoci elastických a elektromagnetických vazeb. Prvky s piezoelektrickými vlastnostmi jsou v přírodě obsaženy ve formě krystalů, například Seignettova sůl, křemen, turmalín. Ionty tvoří krystalickou mřížku, která je složena tak, že pro negativní deformaci dojde k posunu pozitivních iontů tak, že každý element obdrží elektrický dipólový moment a tím na celém krystalu vznikne elektrický náboj. Tento jev je označován jako přímý piezoelektrický jev. Opačným jevem je nepřímý piezoelektrický jev, který je způsoben mechanickou deformací v elektrickém poli. Pro funkci piezoelektrických měničů je možné využít i umělé krystaly. Piezoelektrické měniče jsou většinou zatíženy kapalným či tuhým prostředím, působícím na jednu či obě strany vybroušených ploch. Přes rozhraní měniče je do prostředí přenášena akustická tlak, který je závislý na poměru akustických vlnových odporů. [5]

6.2.2 Magnetostrikční měniče

Jak už bylo zmíněno výše, pro ultrazvukové měniče lze využít i měniče na bázi magnetostrikce, což je jev obdobný elektrostrikci, který je možné získat z feromagnetických materiálů a některých feritů (nekovové práškové materiály). V případě, že je vložena tyč z materiálu magnetostrikčního do magnetického pole, započne se deformovat prodlužováním. Naopak pokud danou tyč namáháme mechanicky, dochází ke změně magnetizace a permeability magnetostrikční látky. Nejčastějšími materiály používanými pro tento druh měniče jsou kobalt, nikl, permalloy, ferity. Magnetostrikční jev je stejně jako u elektrostrikčního pouze jednostranný, tudíž dochází k prodloužení pouze na jednu stranu. Jádra měničů jsou složena z kovových plechů o tloušťce 0,05 - 0,2 mm do kompaktního tělesa (obr. 31). [5]

Obr. 31 Okénkový magnetostrikční měnič (1 - permanentní magnet, 2 - budicí cívka) [5]

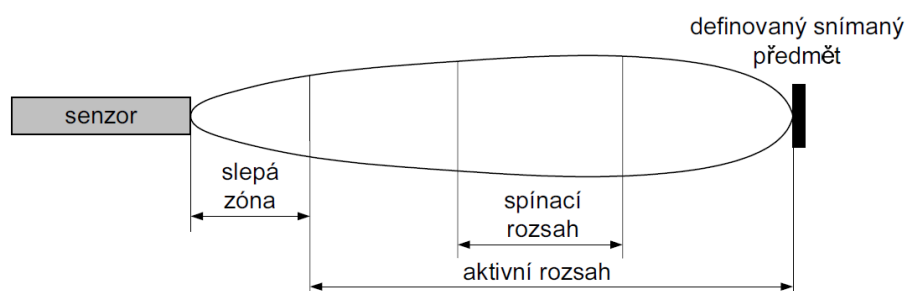


7 PARAMETRY ULTRAZVUKOVÝCH SENZORŮ

Při charakterizaci ultrazvukových senzorů je možno definovat následujících sedm parametrů:

- a) **Aktivní rozsah** - popisuje maximální dosah daného čidla (znázorněný křivkou v grafu na obr. číslo 32), uvnitř kterého je možné detekovat objekt při dodržení podmínek stanovených normou.

Obr. 32 Definice rozsahů ultrazvukového senzoru, vyzařovací charakteristika [1]



- b) **Slepá zóna** - určuje část vyzařovací charakteristiky, uvnitř které není schopen senzor snímat předmět. Tato oblast je mezi senzorem a začátkem snímacího rozsahu a je způsobena dokmitáváním membrány měniče, kdy ještě senzor nemůže přijímat.
- c) **Snímací rozsah** - určuje interval, ve kterém je senzor schopný po detekování předmětu aktivovat výstup.
- d) **Úhel odklonu** – předepisuje maximální výchylku, kterou může rovina předmětu mít, aby byl senzor schopen ještě daný objekt zachytit.
- e) **Hystereze snímání** - je definována jako rozdíl vzdáleností předmětu od čela senzoru mezi výstupními stavy sepnuto a rozepnuto. Rozpětí této hodnoty se dá u některých senzorů nastavovat v širokém rozsahu.
- f) **Rychlost přeběhu** – předepisuje maximální rychlost předmětu pohybujícího se kolmo na senzor, kterou senzor dokáže ještě zachytit a vyhodnotit.
- g) **Reakční doba** – určuje maximální dobu mezi vysláním zvukové vlny ze senzoru a aktivováním jeho výstupu (po zachycení odraženého signálu). Od tohoto parametru bývá odvozena maximální spínací frekvence senzoru. [1]

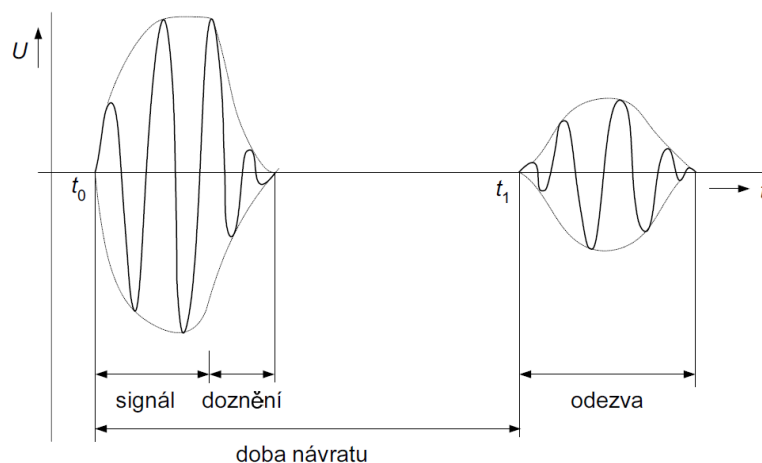
8 DRUHY PROVEDENÍ ULTRAZVUKOVÝCH SENZORŮ, ZPRACOVÁNÍ SIGNÁLU

Pouze měnič netvoří ultrazvukový senzor, pro správnou funkci musí být osazen dalšími součástkami, které zajistí například zesílení výstupního signálu, vyhodnocení navráceného signálu atd. Ultrazvukové senzory lze rozdělit na dva druhy a to senzor pro měření vzdálenosti a senzor v režimu závora.

8.1 Senzory pro měření vzdálenosti

Senzory pro měření vzdálenosti jsou založeny na principu propočtu času vyslaného vlnění z vysílače a jeho navrácení k přijímači. Senzor je staticky umístěn a tak dle obdoby u optických senzorů se nazývá tento druh měření jako reflexní či difuzní. Ultrazvukový měnič v jednu chvíli vyšle určitý počet krátkých dávek signálu, který je šířen prostředím před senzorem rychlostí zvuku. V případě, že daný signál dosáhne přechodu mezi prostředími, část ultrazvukové vlny se odrazí a část projde do druhého prostředí resp. tělesa. Odražená vlna dopadne na přijímač a senzor vyhodnotí časový úsek pohybu vlny od vyslání po přijetí. Na základě časového intervalu je pak podle předem naprogramovaného algoritmu schopen vyhodnotit vzdálenost předmětu, od kterého byla vlna odražena. Přijímač může být buď stejný měnič jako vysílač, popřípadě dle konstrukce senzoru druhý měnič kompaktně uložený v jednom pouzdře senzoru. Odezva odraženého signálu je pak zesilovačem navýšena na hodnotu, která je následně použita k dalšímu zpracování. Nejčastěji používané množství měničů je jeden a takový systém se nazývá jednoduchý. Jeho nevýhodou je, že do doby než se měnič dokmitá od vyslaného signálu, nemůže přijímat odražený signál a tuto časovou prodlevu resp. vzdálenost určuje právě slepá zóna. Doba doznění je závislá na uchycení měniče v senzoru, na tlumícím materiálu a objemu kmitající hmoty měniče. Hodnota se pohybuje od 1 do 5 ms, nebo v délkové míře od 20 do 80 cm, dle druhu senzoru. Zjednodušený časový průběh budicího napětí je zobrazen na obr. číslo 33.

Obr. 33 Zjednodušený časový průběh budicího napětí jednoduchého měniče [1]

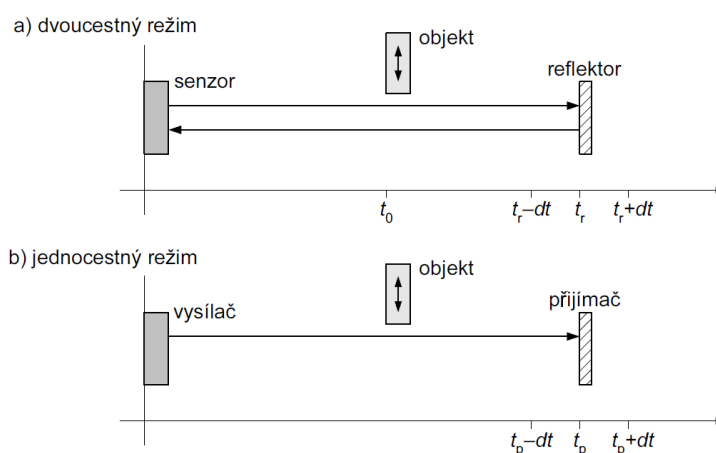


Negativní vlastnost slepé zóny je možno eliminovat použitím senzoru s druhým odděleným měničem, důležitá podmínka je však, že oba měniče musí být nakalibrovány na stejnou frekvenci vlnění. [1]

8.2 Senzory v režimu závora

Druhým způsobem využití ultrazvukových senzorů je v režimu závory, který však je možno rozdělit ještě na dvě podkategorie a to reflexní závora a jednocestnou závora. Pod pojmem reflexní závora se skrývá senzor, který vysílá ultrazvukovou vlnu, která je odrazena od reflektoru nazpět k přijímači umístěném v senzoru. Tím, že senzor i reflektor jsou umístěny staticky, dochází vlastně k hlídání konstantní vzdálenosti, kterou vyhodnocovací zařízení v senzoru rozpoznává podle stejné časové doby návratu odraženého signálu. Jednocestná závora funguje na obdobném principu s jediným rozdílem, že přijímací měnič není umístěn ve stejném kompaktním pouzdře senzoru jako vysílací měnič, ale jako samostatný přijímací měnič v pomyslné ose jak ukazuje obr. číslo 34. V případě, že dojde k přerušení pásu vysílaného a přijímaného vlnění, pak vyhodnocovací zařízení vydá příkaz k přepnutí výstupu senzoru. Umístění přijímače a vysílače, či reflektoru musí ležet v tolerančním poli t_r , $t_p = \pm dt$, ve kterém je odezva či přímý signál očekáván. Nevýhodou reflexní závora je, že signál musí urazit dvojnásobnou dráhu a vlivem ztrát lze realizovat pouze menší detekční vzdálenosti. Tyto negativní faktory z části u jednocestných závor odpadají a lze navýšit snímací vzdálenost na zhruba trojnásobek možností reflexních závor. [1]

Obr. 34 Činnost senzoru v režimu reflexní závora a v jednocestném režimu [1]



8.3 Zpracování signálu

Ultrazvukový vysílač je složen z elektronického spínače, oscilátoru (obvod vytvářející periodické průběhy signálu) a zesilovače, který vytvoří pro měnič dostatečné napětí k jeho buzení. Měnič a oscilátor jsou naladěny na stejnou rezonanční frekvenci, která bývá v rozmezí 50 - 250 kHz, z důvodu získání co největší účinnosti. Elektronický spínač se vypíná a zapíná v závislosti na šířce spouštěcích impulsů oscilátoru a umožňuje tím vytváření malých segmentů vysílaných vln. Ultrazvukový přijímač obsahuje omezovač, regulovaný a selektivní zesilovač,

demodulátor, zesilovač a komparátor. Regulovaný zesilovač s vyráběným řídicím napětím zajišťuje potlačení odezvy vzdálených předmětů. Selekcí správného signálu o správné frekvenci provádí selektivní zesilovač, který propustí pouze určitý druh signálu. Ultrazvukový signál je následně demodulován, usměrněn a pouze amplituda obalové křivky se zase zesiluje z důvodu realizace na nízkofrekvenčních prvcích. Porovnání znovu zesíleného napětí je s předem nastavenou hodnotou prahového napětí, která když přesáhne zvolenou mez, tak se na výstupu komparátoru vygeneruje signál o velikosti napájecího napětí. Tento signál je následně předán vyhodnocovacímu zařízení. Dalším důležitým prvkem, který je umístěn v bloku senzoru, je mikroprocesor s předem nadefinovaným algoritmem, který zajišťuje řízení taktování, vytvoření výstupního signálu, řízení šířky vysílacích impulsů, zjišťování doby běhu odezvy, rozpoznání rušivého zvuku, řízení výstupů, test samokontroly a zároveň komunikaci s nadřazenou periferií. Nepřesnosti při měření, způsobené kolísáním vlastností prostředí, ve kterém se signál pohybuje (například vzduch), bývají nejčastěji eliminovány tím, že mikroprocesor vyhodnotí více impulsů navrácené odezvy a z ní vypočítá střední hodnotu. [1,5]

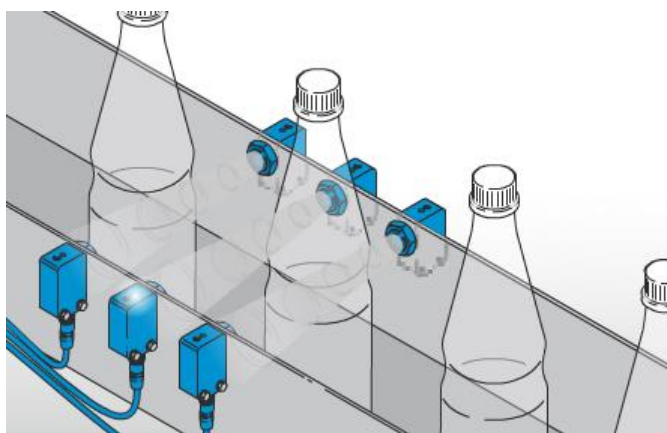
9 APLIKACE ULTRAZVUKOVÝCH SENZORŮ

Ultrazvukové senzory stejně jako optické senzory mají využití ve více odvětvích výrobní činnosti, dále je zobrazeno několik možností využití.

9.1 Počítání průhledných plastových lahví

Pro počítání průhledných tvarových lahví je ultrazvukový senzor ideální. Na rozdíl od jiných použitelných senzorů není u něj důležité, aby lahev měla určitou propustnost světla popřípadě tvar, který by zabezpečil správný odraz paprsku. V tomto případě je použita jednocestná ultrazvuková závora, která zároveň může zjistit, zdali nejsou uvnitř lahve přítomny větší nečistoty (obr. 35).

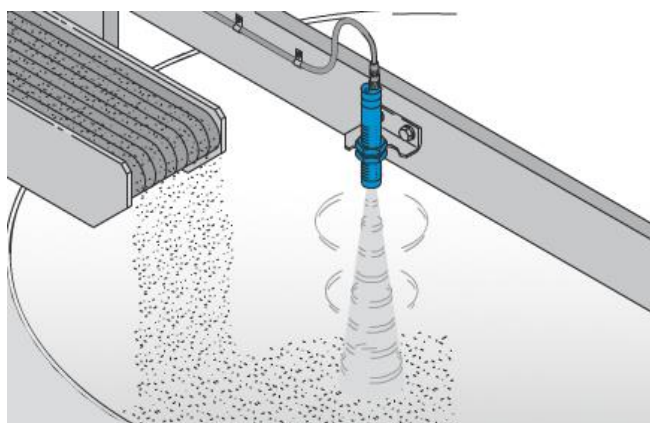
Obr. 35 Kontrola průhledných lahví [26]



9.2 Detekce hladiny sypkého materiálu

Své využití nalezne ultrazvukový senzor i u kontroly hladiny sypkého nekovového materiálu (např. obilí), přiváděného do sila pomocí dopravníkového pásu. Detekce jinými senzory by byla obtížná či vůbec nerealizovatelná, z důvodu pohlcení optického paprsku, absence kovových částic či vysoké prašnosti. Ultrazvukový senzor je nastaven na určitou vzdálenost resp. čas, za kterou má být odezva od odraženého materiálu zaznamenána (obr. 36).

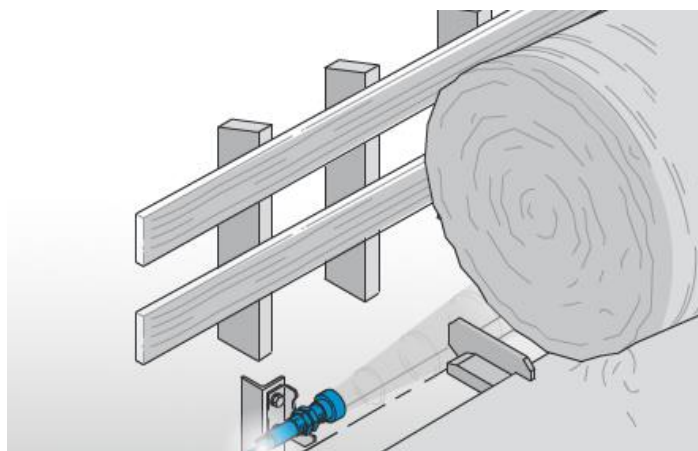
Obr. 36 Kontrola množství sypkého materiálu [26]



9.3 Detekce objektu s hrubým povrchem

Další vhodnou aplikací, kde lze použít ultrazvukový senzor, je detekce balíku slámy přicházející v neregulárních intervalech na dopravník. V případě použití optického senzoru by nebylo 100 % zaručeno, že paprsek nebude pohlcen či odražen jiným směrem. Senzor funguje na podobném principu jako u detekce hladiny sypkého materiálu (obr. 36).

Obr. 37 Detekce objektu s hrubým povrchem [26]



10 POROVNÁNÍ OPTICKÝCH A ULTRAZVUKOVÝCH SENZORŮ, JEJICH VÝHODY A NEVÝHODY

Optické i ultrazvukové senzory dosahují v určitých směrech podobných parametrů a proto nelze jednoznačně určit, které senzory jsou lepší. Každý druh senzoru má své specifické vlastnosti, které jsou vhodné pro určitou aplikaci a naopak nevhodné pro jinou. Zároveň je velká část aplikací, kde je možno využít oba senzory, a pak už je uživatel limitován pouze technologií, která je mu bližší, cenou senzoru, jeho rozměry či náročností jeho montáže. Níže jsou uvedeny výhody a nevýhody optických senzorů z pohledu praxe.

10.1 Výhody optických senzorů

- a) Světlo laseru je vidět a usnadňuje zaměření snímače.
- b) Světelný paprsek má malý průměr a proto dokáže snímat malé předměty.
- c) Senzory mohou mít velmi malé zástavbové rozměry.
- d) Detekce rychle pohybujících se objektů díky rychlé odezvě.
- e) Možnost bezkontaktního snímání.
- f) Vysoká procesní spolehlivost díky pevně ustavenému vysílači a přijímači u vidlicového typu.
- g) Možnost snímání určitého druhu barvy.
- h) Detekce různých odstínů na principu rozdílného kontrastu.

10.2 Nevýhody optických senzorů

- a) Zhoršená či žádná detekce v prašném prostředí.
- b) Nutnost čistit po určité době optiku senzoru.
- c) Nízká odolnost proti vlhkosti.
- d) Zhoršená možnost detekce při jiných světelných zdrojích.
- f) Snížená možnost detekce lesklých a transparentních předmětů.
- g) Rušení při přítomnosti jiného senzoru.

10.3 Výhody ultrazvukových senzorů

- a) Malé zástavbové rozměry senzoru.
- b) Možnost bezkontaktního snímání.
- c) Možnost detekování předmětů z transparentních a lesklých materiálů.

- d) Možnost detekování předmětů tvarově různorodých.
- e) Možnost detekování sypkých, granulovaných materiálů s nepravidelným povrchem.
- f) Možnost měření hladiny kapalin a pastovitých látek.
- g) Konstantní rozlišení v celém rozsahu měření.
- h) Možnost měření v prašném, znečištěném či mlhavém prostředí.
- i) Nezávislost na barvě a velikosti snímaného předmětu.
- j) Samočištění čelní membrány vibrační měniče.
- k) Provedení s odolností proti vlhkosti a vodě.
- l) Bezúdržbové vlivem absence dotyku s materiálem.

10.4 Nevýhody ultrazvukových senzorů

- a) Nelze detekovat předměty, které utlumí ultrazvukové vlny.
(Pokud naopak aplikace nevyžaduje k vyhodnocení ztrátu echa).
- b) Detekční vlna se vzdáleností rozšiřuje kuželovým tvarem a tím je záběr širší.
- c) Doba odezvy echa je delší.
- d) Při vysokých rychlostech proudícího vzduchu dochází k omezení použití.

11 ZÁVĚR

V této bakalářské práci je osvětlena problematika optických i ultrazvukových senzorů na takové úrovni, aby i čtenář neznalý dané problematiky získal ucelený přehled o funkci a použití daných senzorů.

Optické a ultrazvukové senzory jsou jedny z nejvíce používaných senzorů v průmyslu. Optické senzory, díky tomu, že byly povětšinou vyvíjeny dle potřeb reálných aplikací, mají velmi široké pole působnosti, kde lze jejich služeb využít. Ultrazvukové senzory vyplňují svými vlastnostmi mezeru, kterou optická sensorika nemůže pokrýt.

Obsah práce je rozdělen na dvě hlavní oblasti - optickou a ultrazvukovou sensoriku.

V úvodu první části práce jsou popsány hlavní fyzikální principy, na jejichž bázi pracují optické senzory, jejich konstrukční provedení a podle jakých kritérií se dělí. Důležitým prvkem u optických senzorů je druh elektromagnetického záření, které využívají ke své funkci a na jehož základě se pak výše zmíněné aspekty odvíjejí. Navazující část práce, je věnována parametrům senzorů, které jsou často po ceně pro uživatele hlavním kritériem, podle kterého senzor vybírá, a které mu mohou prozradit, zdali je daný senzor vhodný pro jeho aplikaci.

Kapitola optických senzorů je uzavřena částí, která popisuje senzory s rozdílnými vlastnostmi a jejich použití v reálných aplikacích.

Druhá část práce je věnována popisu ultrazvukových senzorů, kde v úvodu jsou nastíněny hlavní fyzikální principy, na jejichž základě funguje ultrazvuk a ultrazvukové senzory. Následně tak jako u optických senzorů jsou vyjmenovány a vysvětleny hlavní parametry, které popisují možnosti daného senzoru a popis vyráběných druhů senzorů. Kapitola ultrazvukových senzorů je uzavřena částí, která popisuje použití v reálných aplikacích.

Práce je zakončena shrnutím výhod a nevýhod optických a ultrazvukových senzorů. Z pohledu praxe se mezi hlavní pozitiva optických senzorů řadí jejich přesnější detekce a možnost využití i ve vakuu, zatímco ultrazvukové senzory nabízí korektní funkci i v prašném prostředí a detekci lesklých či transparentních materiálů.

Optická a ultrazvuková sensorika je velmi rozsáhlá oblast se širokou nabídkou využití ve většině aplikací a zároveň s velkým potenciálem do budoucnosti. Hlavním směrem, kam se nejspíše bude optická sensorika ubírat je miniaturizace kamerových senzorů a barevně rozlišovacích senzorů. Tyto senzory nabídly zákazníkům nový rozměr v detekčních možnostech, avšak jejich zástavbové rozměry jsou často překážkou. Ultrazvukové senzory mají silný potenciál v programovatelných řídicích jednotkách, které se u modernějších senzorů implementují přímo do čidla.

12 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] MARTINEK, Radislav. *Senzory v průmyslové praxi*. 1. vydání. Praha: BEN, 2004. 200 s. ISBN 80-7300-114-4.
- [2] SALEH, Bahaa - TIECH, Carl. *Fundamentals of Photonics*, český překlad *Základy fotoniky*. 3. svazek. Praha: Matfyzpress, 1994. 360 s. ISBN 80-85863-05-7.
- [3] MALINA, Václav. *Poznáváme elektroniku VI od A do Z*. 2. vydání. České Budějovice: KOPP, 2007. 289 s. ISBN 978-80-7232-324-1.
- [4] ĎAŘO, Stanislav - KREIDL, Marcel. *Senzory a měřicí obvody*. 2. vydání. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1996. 315 s. ISBN 80-01-02057-6.
- [5] OBRAZ, Jaroslav. *Ultrazvuková defektoskopie*. 2. vydání. Praha: SNTL, 1984. 488 s. L13-B2-III-84f/22807.
- [6] DRASTICH, Aleš. *Zobrazovací systémy v lékařství*. Brno: Skripta FEI VUT, 1990. ISBN 55-578/1-90.
- [7] HORÁK, Zdeněk - KRUPKA František. *Fyzika: příručka pro vysoké školy technického směru*. 1 svazek. 2. vydání. Praha: SNTL, 1976. 424 s. L11-C3-IV-41/17693.

12.1 Internetové odkazy

- [8] *Technologie LED od L po D* [online] [cit. 2015-1-27] Dostupné z: <http://elektrika.cz/data/clanky/technologie-led-od-l-po-d>.
- [9] *Víte, jak funguje LED a OLED dioda?* [online] [cit. 2015-1-27] Dostupné z: <http://www.proelektrotechniky.cz/vzdelavani/15.php>.
- [10] *Světelná technika* [online] [cit. 2014-12-6] Dostupné z: https://www.pslib.cz/pe/skola/studijni_materialy/prezentace/silnopruda_elektrotechnika/svetlo_LED_e3a.pps.
- [11] *Optika jednoduše* [online] [cit. 2015-1-3] Dostupné z: <http://optika.kuratkoo.net/odraz.htm>.
- [12] *Laserové diody* [online] [cit. 2015-1-12] Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=35057.
- [13] *Laserové diody* [online] [cit. 2015-2-16] Dostupné z: <http://www.elektrorevue.cz/clanky/01034/index.html>.
- [14] *Laserové diody – konstrukce* [online] [cit. 2015-1-16] Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=34933.

- [15] *Laserové diody 2* [online] [cit. 2015-2-15] Dostupné z:
<http://www.elektrorevue.cz/clanky/01043/index.html>.
- [16] *Technologie optických vláken a kabelů* [online] [cit. 2015-2-14] Dostupné z:
<http://coptel.coptkm.cz/reposit.php?action=0&id=15122&revision=-1&instance=1>.
- [17] *Princip měření turbidity* [online] [cit. 2015-2-15] Dostupné z:
http://www.eamos.cz/amos/kat_fyz/externi/kat_fyz_6544/image/velke/obr16.jpg.
- [18] *Vidlicové optické závory BGL* [online] [cit. 2015-1-8] Dostupné z:
<http://www.balluff.com/balluff/MCZ/cs/products/580.jsp>.
- [19] *STM vidlicové fotoelektrické snímače s vysokým rozlišením* [online] [cit. 2015-1-6] Dostupné z: http://www.oemautomatic.cz/Products/Elektricke_stroje/Fotoelektricke_snimae/Vidlicove_fotoelektricke_snimae/STM_Vidlicove_fotoelektricke_snimae_s_vysokm_rozlienim/604924-305519.html.
- [20] *Bezpečnost strojů realizovaná světelnými závory* [online] [cit. 2015-1-23] Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/bezpecnost-stroju/bezpecnost-stroju-a-zarizeni-realizovana-svetelnymi-zavesy>.
- [21] *Elektromagnetické vlnění* [online] [cit. 2015-1-6] Dostupné z:
http://www.gymkren.cz/text_old/Fyzika/f24.pdf.
- [22] *Katalog optosenzory 2014* [online] [cit. 2015-2-22] Dostupné z:
http://www.turck.cz/download/files/C800002_0106_optosenzory_web.pdf.
- [23] *Infračervené záření* [online] [cit. 2015-1-28] Dostupné z:
http://www.techmania.cz/edutorium/art_exponaty.php?xkat=fyzika&xser=456c656b74726f6d61676e657469636be920766c6e79h&key=690.
- [24] *Průvodce průmyslovými senzory 2012* [online] [cit. 2015-2-1] Dostupné z:
<http://downloads.industrial.omron.cz/IAB/Products/Sensing/Fiber%20Optic%20Sensors/Y206/Y206-EN2-04+IndustSensGuide2012.pdf>.
- [25] *Ultrazvuk: Jak lze zobrazit průtok krve cévou?* [online] [cit. 2015-2-22] Dostupné z:
<http://popular.fbmi.cvut.cz/biomedicina/Stranky/Ultrazvuk-8---Jak-lze-zobrazit-prutok-krve-cevou.aspx>.
- [26] *Ultrasonic sensors* [online] [cit. 2015-1-6] Dostupné z:
<http://www.di-soric.com/en/Ultrasonic-Sensors-di-soric-30505.html>.
- [27] *EM spectrum* [online] [cit. 2015-3-2] Dostupné z:
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:EM_spectrum.svg.
- [28] *Elektromagnetické záření* [online] [cit. 2015-3-2] Dostupné z:
http://www.belanr.cz/skola/dum/prace2/VY_32_INOVACE_Fy.16-prezentace.pdf.

- [29] *Ultrafialové záření* [online] [cit. 2014-12-11] Dostupné z:
<http://www.gama.optikarium.cz/optika-fyzika/ultrafialove-uv-zareni>.
- [30] *Optické vlákna* [online] [cit. 2015-3-15] Dostupné z:
<http://opte.imatte.cz/teorie/opticke-vlakna/90-opticke-vlakna>.
- [31] *Odraz a lom světla* [online] [cit. 2015-3-15] Dostupné z:
http://www.techmania.cz/edutorium/art_exponaty.php?xkat=fyzika&xser=4f7074696b61h&key=696.
- [32] *Disperze světla* [online] [cit. 2014-12-14] Dostupné z:
http://www.gymhol.cz/projekt/fyzika/03_disperze/03_disperze.htm.
- [33] *Fotometrické veličiny* [online] [cit. 2014-12-12] Dostupné z:
<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/535-fotometricke-veliciny>.
- [34] *Základy elektroniky* [online] [cit. 2015-1-10] Dostupné z:
<http://www.spsemoh.cz/vyuka/zel/>.
- [35] *R58E expert registration mark senzor* [online] [cit. 2015-2-11] Dostupné z:
<http://www.bannerengineering.com/en-US/products/sub/188>.
- [36] *Barevné vidění* [online] [cit. 2015-1-5] Dostupné z:
<http://www.videni.cz/oko/29-barevne-videni>.

13 SEZNAM OBRÁZKŮ

- obr. 1 Přehled kmitočtového spektra elektromagnetického záření
- obr. 2 Rozsah viditelného světla v elektromagnetickém spektru
- obr. 3 Lom světla
- obr. 4 Energetické schéma PN přechodu, stav bez proudu
- obr. 5 Konstrukce LED diody
- obr. 6 Složení bílé barvy ze tří barev
- obr. 7 Polovodičový laser GaAs
- obr. 8 Porovnání šířky pásma emitovaného záření při spontánní a stimulované emisi
- obr. 9 Konstrukce zapouzdřené laserové diody
- obr. 10 Činnost fotodiody PN
- obr. 11 Činnost difuzního senzoru
- obr. 12 Činnost konvergentního senzoru
- obr. 13 Činnost reflexní závory a funkce odrazky
- obr. 14 Činnost jednocestné závory
- obr. 15 Vstupní akceptovaný úhel a výstupní úhel jednoho vlákna
- obr. 16 Princip měření turbidity
- obr. 17 Optický vidlicový senzor STM, OEM automatic, CZ
- obr. 18 Směrová charakteristika reflexního senzoru, typ SM 319D a jednocestné závory, typ SME31E/SME31R, firma Banner, USA
- obr. 19 Průběh výkonové rezervy pro jednocestnou závoru a pro difuzní senzor s referenční odrazkou
- obr. 20 Využití světelné závory jako bezpečnostního prvku
- obr. 21 Využití difuzního senzoru
- obr. 22 Speciální světelná závora pro detekci rychlého průchodu objektů
- obr. 23 Reflexní závora a počítání skleněných lahví
- obr. 24 Využití jednocestné infrazávory
- obr. 25 Zhušťování a zředování částic vzduchu při vzniku ultrazvukové vlny
- obr. 26 Tvary vlnoploch: a) rovinná vlna, b) válcová vlna, c) kulová vlna
- obr. 27 Kmitání částic prostředí při šíření vlny: a) podélné, b) příčné, c) deskové asymetrické ohybové, d) deskové symetrické dilatační, e) povrchové
- obr. 28 Kolmý dopad ultrazvukové vlny na rozhraní, kde je zobrazen činitel odrazu R a činitel propustnosti D: a) plexisklo - voda, b) voda - plexisklo
- obr. 29 Dopplerův jev
- obr. 30 Směrová vyzařovací a snímací charakteristika senzoru
- obr. 31 Okénkový magnetostrikční měnič (1 - permanentní magnet, 2 - budicí cívka)
- obr. 32 Definice rozsahů ultrazvukového senzoru, vyzařovací charakteristika
- obr. 33 Zjednodušený časový průběh budicího napětí jednoduchého měniče
- obr. 34 Činnost senzoru v režimu reflexní závory a v jednocestném režimu
- obr. 35 Kontrola průhledných lahví
- obr. 36 Kontrola množství sypkého materiálu
- obr. 37 Detekce objektu s hrubým povrchem