

# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

OPTICKÉ SENZORICKÉ SYSTÉMY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

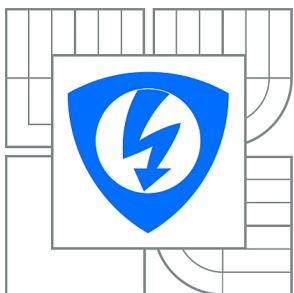
LEOŠ JANĎOUREK

BRNO 2015



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ**

**ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

## **OPTICKÉ SENZORICKÉ SYSTÉMY**

FIBER OPTIC SENSORS

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**LEOŠ JANĎOUREK**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. MILAN ČUČKA**

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor  
Teleinformatika

**Student:** Leoš Jandourek

**ID:** 146024

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2014/2015

**NÁZEV TÉMATU:**

## Optické sensorické systémy

### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Práce bude obsahovat teoretický rozbor optických sensorických systémů, jejich základní dělení, principy zapojení a možnosti jejich využití. Další částí bakalářské práce bude návrh interferometrických senzorů a senzorů využívajících Braggovských mřížek. Vybrané senzory budou ověřeny měřením, případně simulací.

### DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1.] Fiber optic sensors: an introduction for engineers and scientists. 2nd ed. Editor Eric Udd, William B Spillman. Hoboken: Wiley, c2011, xiii, 498 s. ISBN 978-0-470-12684-4

[2.] FILKA, Miloslav. Optoelektronika pro telekomunikace a informatiku. Vyd. 1. Brno: Miloslav Filka, 2009, 369 s. ISBN 978-80-86785-14-1.

**Termín zadání:** 9.2.2015

**Termín odevzdání:** 2.6.2015

**Vedoucí práce:** Ing. Milan Čučka

**Konzultanti bakalářské práce:**

**doc. Ing. Jiří Mišurec, CSc.**

*Předseda oborové rady*

### UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

## **ABSTRAKT**

Semestrální práce se zabývá optikou, optickými vlákny a především optickými senzory, se kterými se v ní podrobněji seznámíme. Dále si představíme nový simulační program od firmy VPI photonics. Ukážeme si jeho uživatelské prostředí a možnost simulace v něm.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Optické senzory, PN detektory, vláknový gyroskop, FBG, SOFO, PIR, DTS, DAS, Interferometr, Optický mikrofon, Biosenzor, VPI Photonics

## **ABSTRACT**

Term paper deals with optics, optical fibers and in particular with optical sensors, which are described in more detail. Furthermore, we introduce a new simulation program from VPI photonics. We will show the user interface and the possibilities of simulation in it.

## **KEYWORDS**

Optical sensors, PN detectors, optic gyroscope, FBG, SOFO, PIR, DTS, DAS, Interferometer, Optic microphone, Biosensor, VPI Photonics

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svůj semestrální projekt na téma „Optické senzorické systémy“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího semestrálního projektu a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedeného semestrálního projektu dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením tohoto semestrálního projektu jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno .....

.....

(podpis autora)

## PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce panu Ing. Milanu Čučkovi za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci.

Brno .....

.....

(podpis autora)

# OBSAH

<b>1 Úvod</b>	<b>7</b>
<b>2 Optické vlákno</b>	<b>8</b>
2.1 Mnohavidová vlákna . . . . .	8
2.2 Jednovidová vlákna . . . . .	9
<b>3 Optické senzory</b>	<b>10</b>
3.1 Vakuová fotodioda (fotonka) . . . . .	12
3.2 Polovodičové detektory . . . . .	12
3.3 SOFO senzory . . . . .	13
3.4 Pasivní infračervený senzor PIR . . . . .	13
3.5 DTS . . . . .	14
3.6 DAS . . . . .	14
3.7 Optický mikrofon . . . . .	14
3.8 Biosenzor . . . . .	15
3.9 Vláknový gyroskop . . . . .	15
3.10 Senzory FBG . . . . .	16
3.11 Interferometry . . . . .	16
<b>4 VPI photonics</b>	<b>19</b>
4.1 O programu . . . . .	19
4.2 Simulace interferometru . . . . .	20
4.2.1 Výsledky simulace . . . . .	22
<b>5 Závěr</b>	<b>24</b>
<b>Literatura</b>	<b>26</b>
<b>Seznam symbolů, veličin a zkratk</b>	<b>27</b>

# 1 ÚVOD

Informace a její přenos mezi subjekty, tj. komunikace je vedle metabolismu nejdůležitější charakteristikou živého světa, který se vyvinul v biosféře. Informace a komunikace existuje v biosféře na mnoha úrovních. Například genetický kód je základní informační entitou, která zajišťuje pokračování života a umožňuje adaptaci živých organismů v měnícím se prostředí.[3]

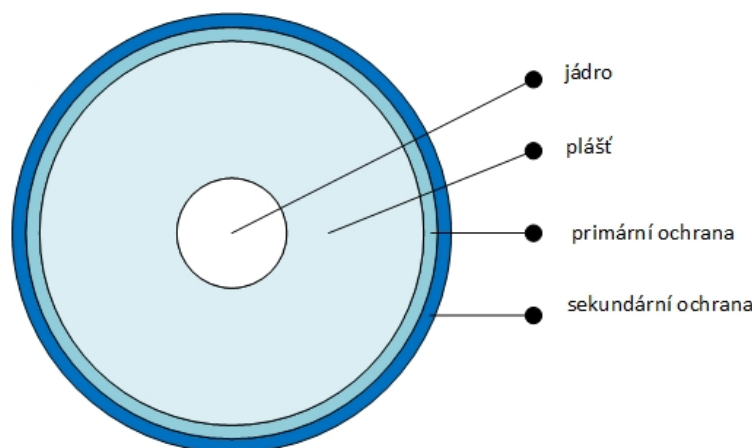
Komunikace nás jednoduše provází od samého počátku našich životů, kdy malé dítě křikem oznamuje problém až po dospělého jedince, který mávnutím ruky zdraví jiného dospělého jedince. Avšak v dnešní době nám komunikace tohoto typu již nedostačuje. Nynější komunikace probíhá na čím dál větší vzdálenosti při neustále se zvyšujících rychlostech. V současné době je nejrychlejší komunikace zajišťována optickými vlákny, protože rychlost přenášení informace pomocí laserového paprsku uvnitř optického vlákna se blíží rychlosti světla.

Pod pojmem optické senzory si můžeme představit jakýkoliv senzor, který získanou informaci předává dál pomocí optického vlákna, tudíž je optické vlákno pouze jeho pomocnou součástí, tyto senzory se nazývají extrinsické. Existují však již takové detektory, které k detekování používají přímo optická vlákna (intrinsické) a na základě odchylek při šíření světla ve vláknech detekují daný problém. Základním úkolem senzorů je převod optického záření na elektrický signál. Jejich využití je velmi široké. Dají se uplatnit při detekci tepla, světla, mechanického namáhání, vibrací, koncentrací chemických látek a v mnoha dalších. Velkou výhodou optických detektorů je ta skutečnost, že optická vlákna neobsahují metalické prvky a tudíž neovlivňují ani nejsou ovlivňovány různými elektrickými a elektromagnetickými prostředími a to ani v případě jejich poškození.

## 2 OPTICKÉ VLÁKNO

Optické vlákno je přenosové médium, které prostřednictvím světla přenáší signály ve směru své podélné osy. Optické vlákno je skleněné nebo plastové a je široce využíváno v komunikacích, jelikož umožňuje přenos na delší vzdálenost s vyšší rychlostí než jiná média. Dále má také menší ztráty při přenosu a není ovlivňováno elektromagnetickým zářením.

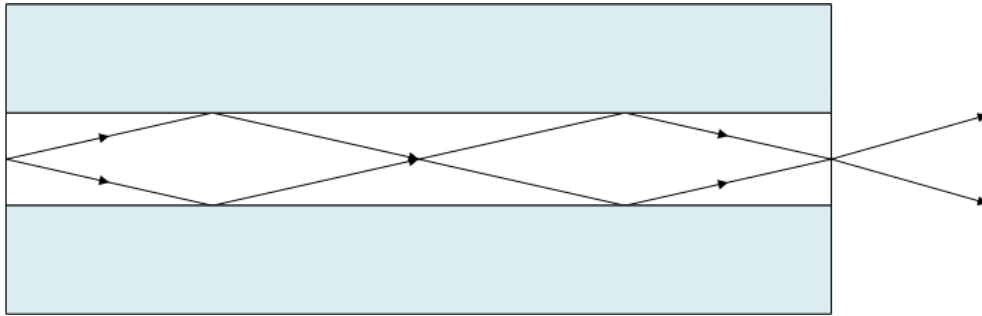
Optické vlákno je vlnovod, ve kterém se šíří elektromagnetické vlny ve směru osy vlákna. To funguje na principu totálního odrazu světla na rozhraní opticky hustšího prostředí (jádro vlákna) a opticky slabšího prostředí (plášť vlákna). Když světlo dopadne na toto rozhraní pod šikmým úhlem, který je vyšší než kritický úhel, tak je kompletně odraženo. Informace přenášená optickým vláknem se šíří různými vidy, jejichž trajektorie jsou různé. Dochází tak k deformaci signálu během přenosu. Tuto deformaci označujeme jako intervidovou disperzi. Optická vlákna nejčastěji dělíme na jednovidová a mnohovidová.



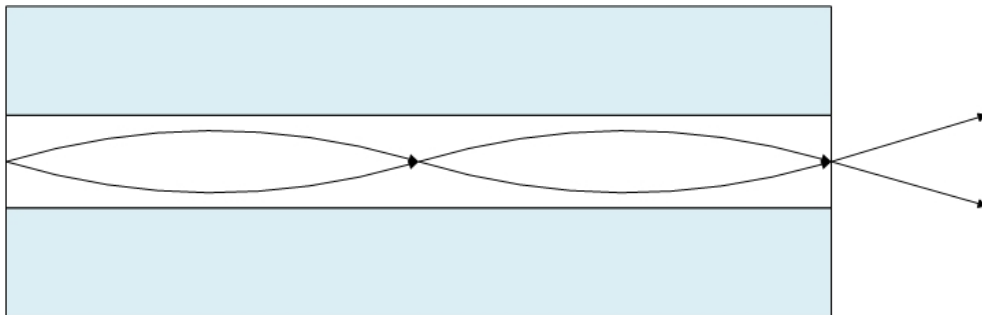
Obr. 2.1: Příčný řez optickým vláknem

### 2.1 Mnohavidová vlákna

Mnohavidové vlákno je vlákno s velkým průměrem jádra ( $50 - 60 \mu\text{m}$ ). V počítačových sítích se využívá na kratší vzdálenosti. U mnohovidových vláken rozlišujeme dva druhy. Prvním je vlákno se skokovým indexem lomu. Paprsky vstupují do vlnovodu pod mnoha úhly, tudíž se každý odráží pod různým úhlem, a tak na konci vlnovodu každý vystupuje s odlišným zpožděním. Dochází tak k vidové disperzi. Druhým typem mnohavidového vlákna je vlákno gradientní. To je tvořeno tenkými vrstvami s různými indexy lomu. S rostoucí vzdáleností od osy jádra se snižuje index lomu a tím se eliminuje vidová disperze.



Obr. 2.2: Mnohovidové vlákno se skokovým indexem lomu



Obr. 2.3: Mnohovidové vlákno s gradientním indexem lomu

## 2.2 Jednovidová vlákna

Jednovidové vlákno má nejlepší parametry optické přenosové cesty. To je způsobeno díky malému jádru (do  $10\ \mu\text{m}$ ), v němž dochází k velkému úhlu odrazu, a tak se podstatně zkracuje dráha světelného paprsku. Jednovidová vlákna se nejčastěji používají v telekomunikacích, kde díky svým vlastnostem odstraňují vidové disperze, a i když přenáší pouze jediný paprsek, lze s nimi dosáhnout nejvyšších přenosových rychlostí (přes 20 Tbit/s) a to do vzdálenosti 50 km. Ve srovnání s mnohovidovými vlákny je jednovidové vlákno daleko rychlejší, avšak vyžaduje mnohem dražší zdroje světla. Zároveň kvůli malým rozměrům vlákna podporuje pouze jeden příčný mód a také má nižší hodnotu numerické apertury, což zapříčiňuje horší shromažďování světla.

### 3 OPTICKÉ SENZORY

Optické senzory jsou důležitou součástí optických přenosových systémů a určují celkovou výkonnost a účinnost systému. Základním úkolem sensorů je převod optického záření na elektrický signál, jež mohou zpracovat další elektrické obvody. Nejčastěji se s nimi měří teplota nebo mechanické namáhání. Ovšem dají se použít i pro měření posunutí, vibrací, tlaku, deformací, koncentrací chemických látek a dalších.

Ve srovnání s jinými typy čidel mají optické senzory řadu výhod. Největší z nich je skutečnost, že se skládají z elektricky izolačních materiálů, což umožňuje jejich využití například v prostředí vysokého napětí. Dále mohou být bezpečně využity ve výbušném prostředí, jelikož zde nehrozí nebezpečí ze vzniku jisker a to ani v případě závady. Optické senzory jsou zároveň imunní vůči elektromagnetickému rušení a ani neruší jiná zařízení ve své blízkosti. Optická vlákna mají velmi široký rozsah provozních teplot (mnohem širší než mnoho elektronických zařízení) a materiály, ze kterých jsou vyrobeny, mohou být chemicky pasivní a tak nepodléhají korozi a nekontaminují měřené prostředí.

Jelikož kvalita optického přijímače určuje z velké části kvalitu optické trasy, je čím dál více požadavků na detektory:

- velká citlivost v oblasti pracovních vlnových délek,
- velmi krátká doba odezvy pro získání co největší šířky pásma,
- velká elektrická odezva na malý vstupní signál,
- minimální šum generovaný detektorem,
- malá velikost,
- velká životnost a spolehlivost,
- nízká cena,
- přijatelná pracovní teplota a další.

Optické senzory můžeme dělit podle mnoha různých kritérií. Dělíme je na extrin-sické, kde vlákno slouží pouze k přenosu informace, intrin-sické, ve kterých vlákno slouží jako čidlo, a nakonec smíšené. Další možností dělení je například na bodové a distribuované atd. Mezi zástupce extrin-sických sensorů patří optická závora s vláknovým vstupem i výstupem. Dále do této skupiny spadá sensor chemických veličin, který funguje na principu různé fotoluminiscence chemických látek. Do skupiny intrin-sických sensorů spadají například vláknové senzory s Braggovou mřížkou a vláknové gyroskopy. Nakonec ke skupině smíšených sensorů řadíme čidla polohy, která fungují na principu vazby mezi dvěma vlákny, a biochemický sensor, který k detekci využívá rezonanční excitace povrchových plazmonů.

Senzory však můžeme dělit i podle jiných kritérií. Například podle principu činnosti, oblasti použití nebo podle měřených veličin:[4]

**Teplota** - FBG, PIR, DTS,

**Mechanické napětí** - FBG,

**Deformace** - FBG, SOFO, Optický mikrofon,

**Tlak** - FBG, Optický mikrofon,

**Posuv** - FBG, Vláknový gyroskop,

**Vibrace** - FBG, Vláknový gyroskop, Optický mikrofon,

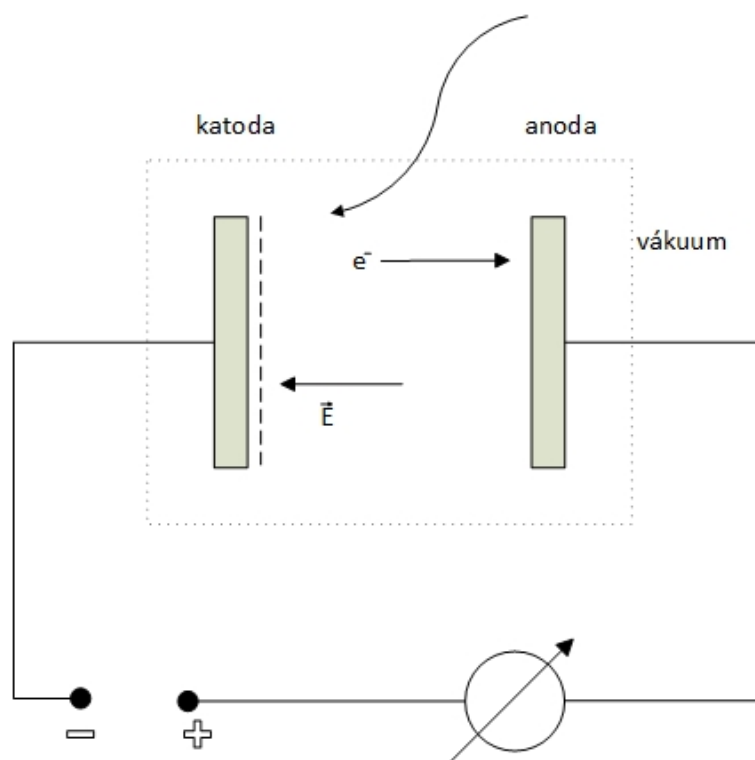
**Koncentrace chemických látek** - Optický biosenzor,

**Koncentrace biologických látek** - Optický biosenzor,

**Zvuk** - DAS, Optický mikrofon.

### 3.1 Vakuová fotodioda (fotonka)

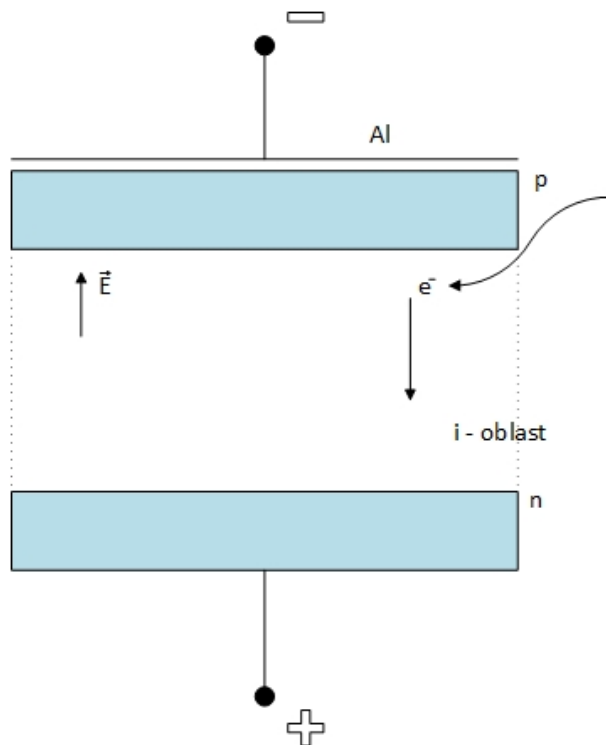
Jedná se o základní detektor založený na vnějším fotoelektrickém jevu. Fotonka je tvořena kovovou diodou, na kterou je napařena vrstvička fotocitlivého materiálu. Mezi výhody fotonky patří rychlost (elektrody jsou blízko u sebe), velkoplošnost, oproti polovodičům výkonová odolnost a velká škála různých druhů pro různé vlnové délky.



Obr. 3.1: Vakuová fotodioda

### 3.2 Polovodičové detektory

Tyto detektory jsou založeny na oddělování párů nosičů náboje (elektronů a děr), které vznikají vlivem pohlcování světelného záření detektorem. Jsou vyráběny z různých materiálů (Ge, Si, GaAs, InGaAs,...), jelikož šířka zakázaného pásu roste s teplotou, pracují různé detektory za různých podmínek a je nutné tomu uzpůsobit výběr detektoru (Ge se musí chladit, Si lze využívat při pokojové teplotě). Mezi nejrozšířenější polovodičové detektory patří fotodiody typu PIN a lavinové fotodiody. Tyto diody jsou výhradně používány pro telekomunikační účely. Výhoda fotodiody typu PIN je v rychlosti její odezvy, kdežto lavinová fotodioda se používá k dosažení větší citlivosti.



Obr. 3.2: Schéma PIN struktury

### 3.3 SOFO senzory

SOFO senzor je založen na bázi interferometru, který měří průměrné deformace mezi dvěma body. Senzor tvoří dvě vlákna, jedno je pevně přichyceno k měřené struktuře, zatímco druhé je volně položeno. Toto volně ložené vlákno slouží jako referenční bod (nulová hodnota) a dojde-li k deformaci měřeného objektu, stačí pouze porovnat daná vlákna.

Co se týče aplikace těchto senzorů, největší uplatnění najdou ve stavebnictví a geologii, kde jsou využívány k monitorování tuhnutí stavebních směsí, trhlin v konstrukci či skále, sesuvů půdy a mnoho dalších. Oproti jiným metodám měření přináší SOFO senzory řadu výhod, například nezávislost na okolní teplotě (obě vlákna reagují na změnu teploty stejně), není nutná kalibrace, malé rozměry, snadná instalace, minimální údržba, odolnost vůči vnějším vlivům (vlhkost, koroze, chemická odolnost) a další.

### 3.4 Pasivní infračervený senzor PIR

PIR funguje na principu pyroelektrického jevu. Uvnitř detektoru jsou pyroelektrické materiály, které se deformují se změnami teplot. V rámci těchto deformací dochází k piezoelektrickému jevu a na povrchu materiálu se tak indukuje elektrický náboj.

Samotný PIR senzor je vytvořen tak, že pyroelektrický materiál je vložen mezi elektrody, které tvoří dva sériově zapojené kondenzátory. Díky tomuto zapojení mohou být kompenzovány nežádoucí změny, které jsou detekovány v celém zorném poli (rozsvícení světel v místnosti apod.). A tak tedy budou detekovány pouze ty tepelné změny, které se projeví v různých částech zorného pole.

### **3.5 DTS**

Zkratka DTS znamená Distribuovaný senzor teploty. Jak již název napovídá, tento senzor využívá optické vlákno jako snímač teploty, který nám umožňuje zkoumat teplotu podél celé délky optického vlákna. Princip senzoru jen ten, že pošleme optickým vláknem světelný signál a následně analyzujeme světlo, které se nám vrací zpět. Dojde-li někde na trase ke změně teploty, změní se vlastnost vlákna v daném bodu a my zaznamenáme změnu v signálu. Pak již stačí ze znalosti odchylky a zpoždění zjistit změnu teploty a vzdálenost od zdroje vysílání.

Technologie DTS nachází uplatnění ve špatně dostupných a obtížně monitorovatelných prostorách jako jsou tunely, monitorování plynovodů (i ostatních produktovodů), monitorování kabelů, či ve skladech s hořlavými materiály (kromě monitorování požáru zkoumá i riziko samovznícení).

### **3.6 DAS**

DAS - distribuovaný akustický senzor je další z řady distribuovaných senzorů. Tento senzor dokáže podél optického vlákna detekovat zvuk a to do vzdálenosti až 40 km. Zvuk vytváří akustickou energii, která je absorbována molekulami v jádře vlákna. Daná abnormalita (energie) je pak detekována a následně analyzována. Tyto senzory nacházejí své uplatnění v ochraně produktovodů, v zabezpečovací technice a v oblasti železniční dopravy, kde zkoumá pohyb vlakových souprav. Velká výhoda tohoto systému spočívá v tom, že jako detekční vlákna může použít již položená vlákna telekomunikačních tras.

### **3.7 Optický mikrofon**

Optický mikrofon funguje na principu, kdy akustické vlny z okolí způsobují vibrace na tenké, reflexně upravené, membráně. Ta odráží, v závislosti na pohybu membrány, světelné paprsky k vlákně fotodetektoru. Vlákno přenáší paprsek na fotodiodu, která

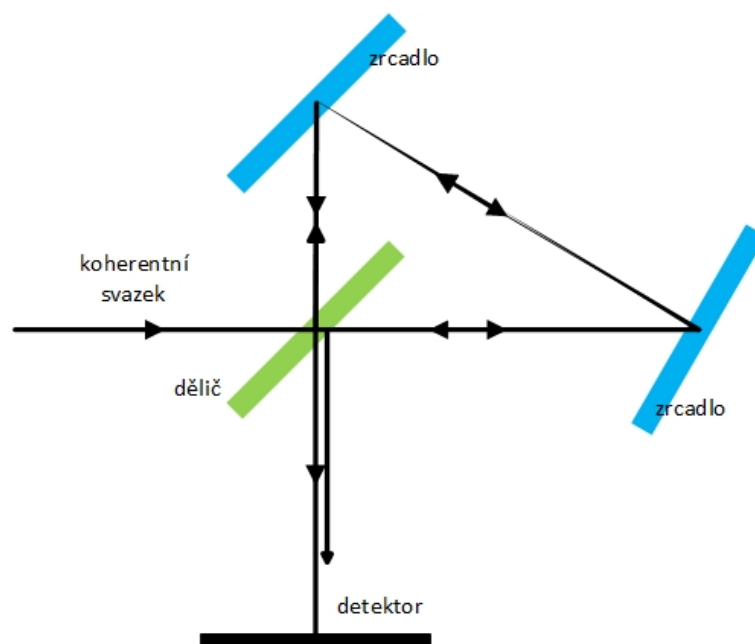
převádí optický signál na elektrický. Dielektrická povaha senzoru umožňuje jeho využití v odposlouchávací technice, energetice a také v medicíně, např. pro komunikaci lékařů s pacienty při vyšetření jako je magnetická rezonance, tomograf apod. [4], [6]

### 3.8 Biosenzor

Biosenzor je analytické zařízení určené pro detekci chemických a biologických látek. Přívlastek bio tyto senzory mají díky tomu, že k detekci používají biologický materiál. Ten je nanesen na tenkou zlatou vrstvu a spolu s ní umístěn na sklíčku. Zde zachytávají měřený materiál. Biologické receptory, které rozpoznávají detekovanou látku, spolu se zachycenými molekulami vytvoří chemickou reakci, která způsobí změnu indexu lomu. Ta je pak měřena pomocí elektromagnetické vlny šířící se po povrchu zlaté vrstvy. Biosenzory nacházejí uplatnění všude tam, kde jejich použití přináší oproti klasickým sensorům určitou výhodu. Tou může být např. selektivita odezvy, rychlost detekce nebo nízká cena.[7] Největší výhodou těchto sensorů je rychlá a velmi přesná detekce chemických a biologických látek, která v praxi slouží například pro lékařskou diagnostiku, monitorování životního prostředí, výzkum a vývoj léčiv, nebo kontrolu jakosti potravin.

### 3.9 Vláknový gyroskop

Optický gyroskop se využívá ke zjištění úhlové rychlosti a smyslu rotace vlastnosti optického záření. K tomu využívá principu Sagnacova interferometru. Tento interferometr vede proti sobě svazky laserového záření po stejné optické dráze. Na rozdíl od mechanických gyroskopů jsou u optických vyloučeny vlivy jako například zrychlení, setrvačnost, tření a vibrace. Další velké výhody optického gyroskopu jsou v tom, že oproti mechanickému má menší rozměry a hmotnost a také vyšší spolehlivost a životnost. Díky necitlivosti na gravitační zrychlení našli optické gyroskopy uplatnění například ve vojenství k navigaci letadel (taktéž i v civilní dopravě) či navádění raket, dále pak v automobilovém průmyslu. Zde slouží k regulaci tuhosti náprav na základě kmitání poloosy detekované právě gyroskopem.



Obr. 3.3: Princip optického vláknového gyroskopu

### 3.10 Senzory FBG

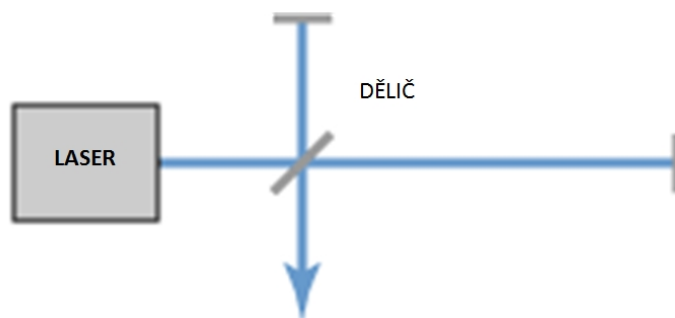
Optické senzory FBG (Fibre Bragg Grating) jsou založeny na principu vytvoření Braggovy difrakční mřížky uvnitř jádra. Princip detekce spočívá v tom, že světlo prochází mřížkou a vlnová délka, která splňuje Braggovu podmínku, je odražena zpět. Vystavíme-li vlákno mechanickému namáhání či změně teploty, změníme tím i periodu mřížky a tudíž dojde k odražení světla jiné vlnové délky. Tímto způsobem můžeme úspěšně měřit teplotu, deformace, mechanické namáhání, vibrace, posuv a tlak. Další nezanedbatelnou výhodou této technologie je možnost zapojení více senzorů na jednom vlákne a to buď sériově, nebo paralelně přes dělič.

### 3.11 Interferometry

Interferometr je optické zařízení zkoumající dráhové rozdíly koherentních vln. Interferometry ke své detekci využívají dělení vstupního paprsku nejčastěji na dva samostatné paprsky. Jeden z těchto paprsků slouží jako referenční a pomocí toho druhého zkoumáme dané objekty. V dnešní době existuje celá řada interferometrů a my si některé z nich blíže představíme.

## Michelsonův interferometr

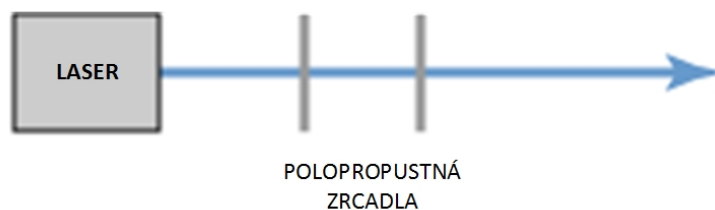
Michelsonův interferometr se skládá z jednoho děliče, který rozdělí a posléze opět sjednotí světelný svazek, a dvou odrazných zrcátek. U tohoto interferometru tedy máme pouze jeden použitelný výstup. Světlo ze druhého výstupu se vrací zpět do světelného zdroje. V takovém případě může nastat destabilizace světelného zdroje. Tomuto problému se může předejít použitím polarizačního děliče světla.



Obr. 3.4: Schéma Michelsonova interferometru

## Fabry-Perotův interferometr

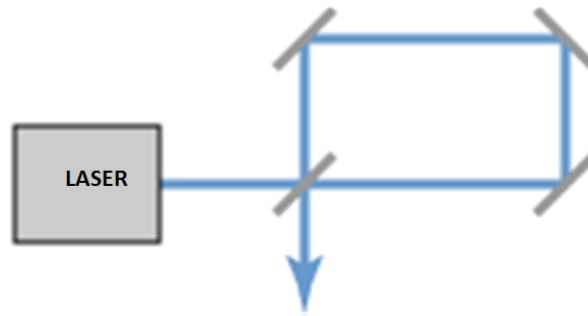
Fabry-Perotův interferometr se skládá ze dvou paralelních zrcadel. Díky tomu zde při určitých frekvencích záření dochází k mnohonásobnému odrazu paprsku a vzniká zde stojaté vlnění.



Obr. 3.5: Schéma Fabry-Perotova interferometru

## Sagnacův Interferometr

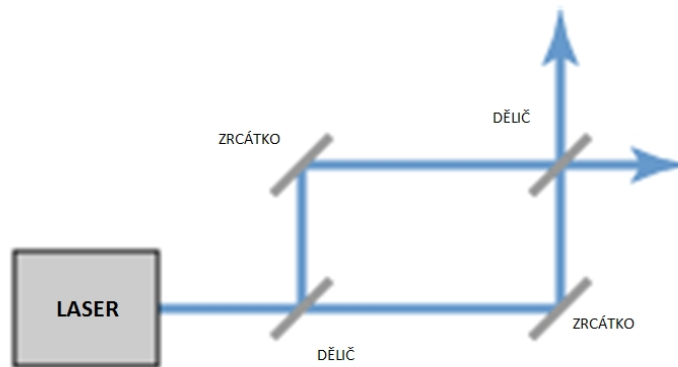
Sagnacův interferometr se díky svému uspořádání nazývá také kruhový interferometr. Skládá se z děliče a tří zcela odrazných zrcátek uspořádaných do kruhu. V případě, že necháme celý interferometr otáčet kolem své osy můžeme u něj pozorovat změnu fáze a určit tak úhlovou rychlost otáčení.



Obr. 3.6: Schéma Sagnacova interferometru

### Mach-Zehnderův interferometr

Mach-Zehnderův interferometr, jindy nazývaný dvoucestný interferometr, používá k detekci dvě naprosto nezávislá ramena s optickými dráhami. Díky tomu měřenou dráhu neustále měnit. Tento interferometr se používá v průmyslu pro přesná měření, například ve spektroskopii ke kontrole kvality ploch.

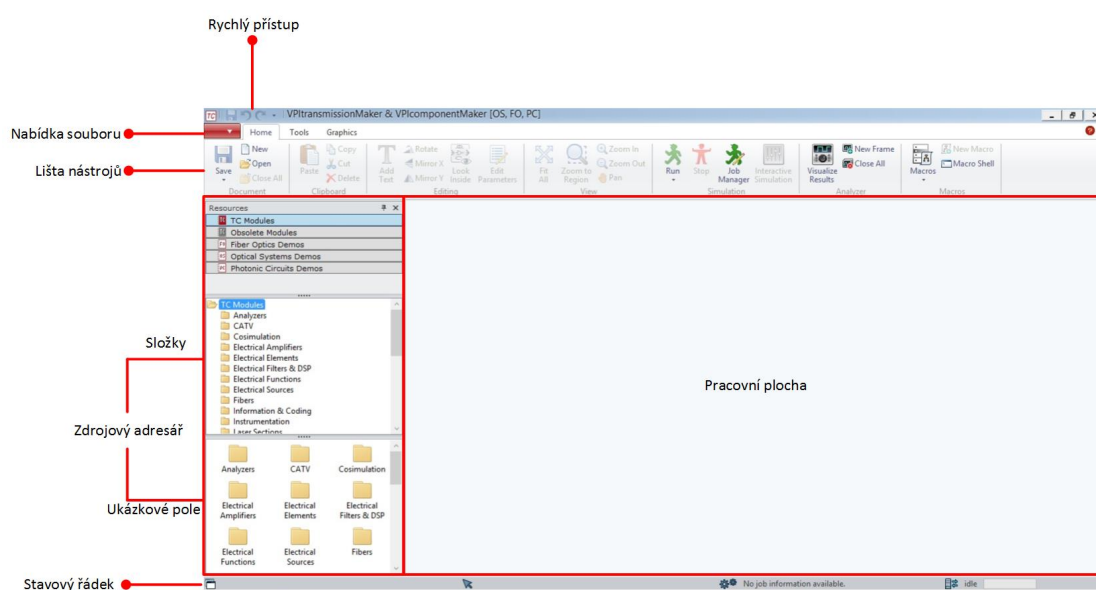


Obr. 3.7: Schéma Mach-Zehnderova interferometru

## 4 VPI PHOTONICS

### 4.1 O programu

Nyní si představíme program VPI transmission Maker od firmy Vpi photonics, ve kterém budeme provádět simulace optických senzorů. Jedná se o graficky uživatelské rozhraní, jež obsahuje řadu nástrojů nutných pro vytváření simulací. Nejprve se podíváme na uživatelské rozhraní a stručně si popíšeme jeho základní funkce.



Obr. 4.1: Uživatelské rozhraní programu VPItransmissionMaker

#### Nabídka souboru

Nabídka souboru poskytuje přístup ke standardním příkazům souboru, jako jsou otevírání, zavírání, ukládání, tisk také umožňuje export stávajících schémat nebo ukončení programu.

#### Lišta nástrojů

Obsahuje nejčastěji používané nástroje rozdělené do několika kategorií (záložek). Záložka Home (Obecné) představuje nejzákladnější nástroje používané pro úpravy, ovládání a ukládání simulace. Záložka Tools (Nástroje) umožňuje přístup k dalším

funkcím, které slouží k nastavení simulace. Nakonec karta Graphics (Grafika) poskytuje řadu nástrojů vhodných pro kreslení objektů, jako jsou obdélníky, mnohoúhelníky, oblouky nebo dokonce přidat vlastní obrázky a docílit tak větší realističnosti a atraktivitě pro diváka.

## Rychlý přístup

Jedná se o kolekci ikon patřících k nejčastěji používaným příkazům. V základním nastavení jsou zde pouze příkazy "Uložit", "Zpět" a "Vpřed".

## Pracovní plocha

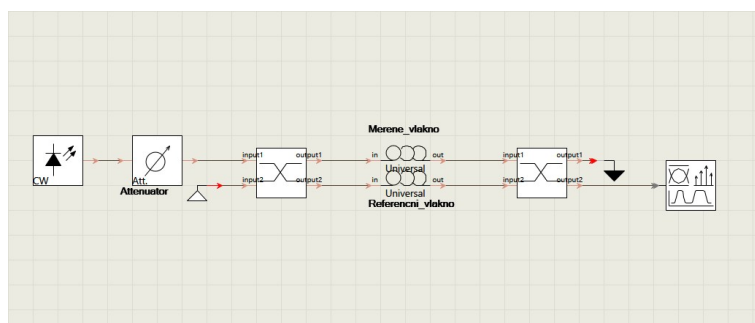
Zde se nachází hlavní pracovní prostor pro vytváření simulací.

## Stavový řádek

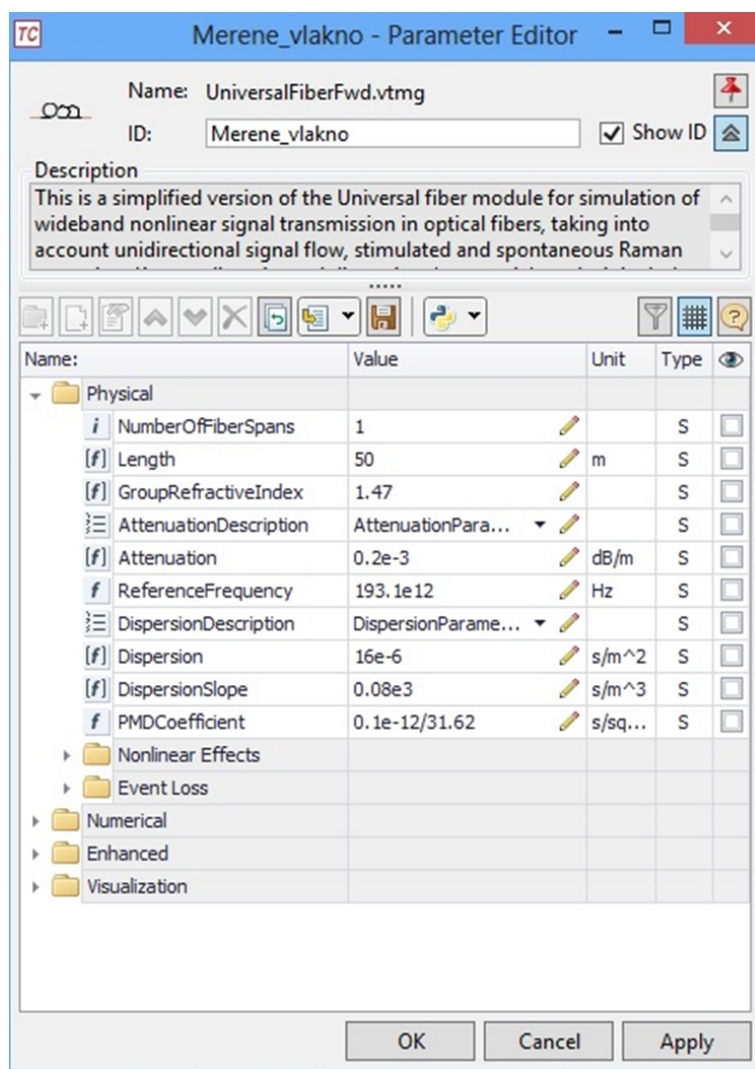
Tato oblast v dolní části okna aplikace je rozdělena do čtyř částí a poskytuje nám následující informace: aktuálně řešené příkazy, název vybraného zařízení, aktuální stav simulace a stav přenosu souborů mezi klientem a serverem.

## 4.2 Simulace interferometru

Program VPI transmission Maker / VPI component Maker disponuje velkou zásobou elektronických součástek všeho druhu, z nichž každou si můžeme vytvořit či uzpůsobit vlastním potřebám a proto je pro nás ideální. Jak je vidět na obrázcích, v tomto programu si ze součástek vytvoříte celé komponenty, které spojíte v ucelená schémata a pak již jen spustíte simulaci. V programu VPI photonic Analyzer pak již jen vyhodnotíme výsledky. Na obrázku můžete vidět mnou vytvořený Mach-Zehnderův interferometr, který se skládá z laseru, atenuátoru, který je zde proto, aby nedošlo na detektoru k saturaci signálu, dvou děličů a detektoru. Mezi děliči se nachází námi zkoumaný prostor. V tomto případě je jedno rameno propojeno optickým vláknem o délce 1 metr, to nám určuje referenční hodnotu. Druhé rameno je propojeno jiným, zkoumaným, optickým vláknem.



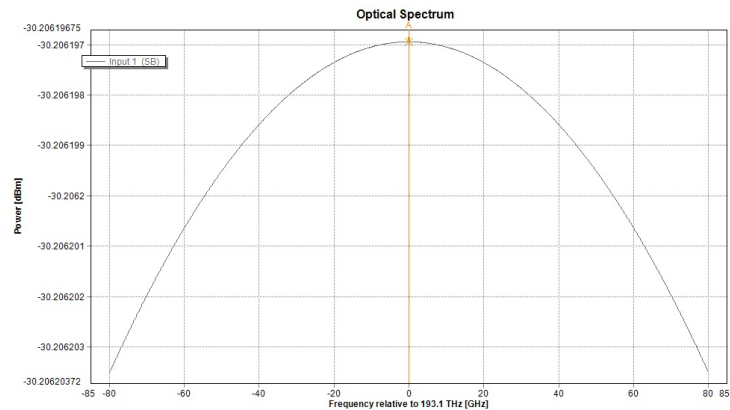
Obr. 4.2: Zapojení Mach-Zehnderova interferometru



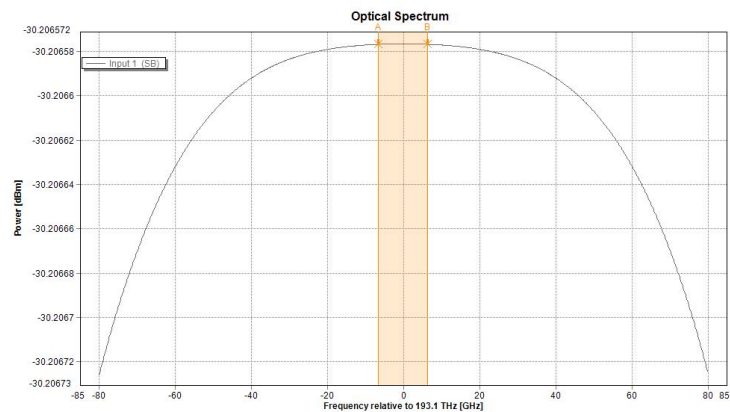
Obr. 4.3: Nastavování parametrů měřeného vlákna

### 4.2.1 Výsledky simulace

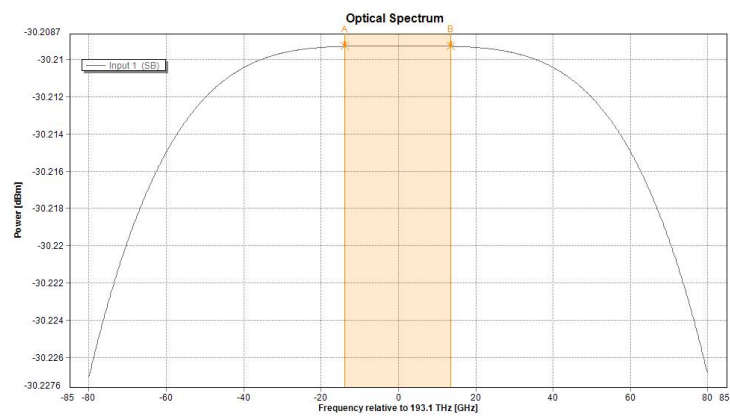
Po spuštění simulace se nám téměř okamžitě v programu VPI photonic Analyzer vykreslil graf závislosti výkonu signálu na odchylce vlnové délky od původního signálu. V následujících krocích jsme měnili délku zkoumaného optického vlákna a pozorovali změnu šířky pásma s nulovým výkonovým útlumem. Podobným způsobem by se dali zkoumat i jiné parametry optického vlákna. Například změna indexu lomu či změna teploty vlákna.



Obr. 4.4: Stejná délka referenčního a měřeného vlákna (1 m). Šířka pásma je 0 GHz



Obr. 4.5: Měřené vlákno s pětinasobnou délkou. Šířka pásma zde dosahuje 12,66 GHz



Obr. 4.6: Měřené vlákno s padesátinásobnou délkou. Šířka pásma zde dosahuje 13,6 GHz

## 5 ZÁVĚR

Tato bakalářská práce byla zaměřena na optické senzorické systémy. Nejprve jsme se však museli seznámit s obecnými poznatky o optických vláknech, a různými druhy optických vláken.

V další kapitole jsme si popsali základní principy optických detektorů, včetně neustále se zvyšujících požadavků na ně kladených. Mezi hlavní výhody těchto detektorů je obrovská škála možného využití, jako například měření teploty, tlaku, mechanického namáhání, posunutí, vibrací, přítomnosti chemických látek a mnoha dalších. Oproti ostatním metalickým sensorům mají také výhodu toho, že jdou tvořeny z elektricky izolačních materiálů, tudíž nejsou ovlivňovány a ani neovlivňují okolní prostředí.

V poslední kapitole jsme se zaměřili na nový program firmy VPI photonics, který je výbornou simulační pomůckou pro všechny elektronické obory. Můžete si zde naprogramovat v podstatě jakoukoli elektronickou součástku anebo si zde vybrat ze široké škály předem naprogramovaných a pouze si ji upravit podle vlastních potřeb. Nakonec jsme si pomocí tohoto programu vytvořili Mach-Zehnderův interferometr a zkoumali rozdílné šířky pásem v závislosti na rozdílných délkách vláken. Jediná škoda, že program neumí nasimulovat volný prostor, prostředí či laboratoř, kde bychom mohli nasimulovat něco více co se týče optických sensorů.

## SEZNAM OBRÁZKŮ

2.1	Příčný řez optickým vláknem . . . . .	8
2.2	Mnohovidové vlákno se skokovým indexem lomu . . . . .	9
2.3	Mnohovidové vlákno s gradientním indexem lomu . . . . .	9
3.1	Vakuová fotodioda . . . . .	12
3.2	Schéma PIN struktury . . . . .	13
3.3	Princip optického vláknového gyroskopu . . . . .	16
3.4	Schéma Michelsonova interferometru . . . . .	17
3.5	Schéma Fabry-Perotova interferometru . . . . .	17
3.6	Schéma Sagnacova interferometru . . . . .	18
3.7	Schéma Mach-Zehnderova interferometru . . . . .	18
4.1	Uživatelské rozhraní programu VPItransmissionMaker . . . . .	19
4.2	Zapojení Mach-Zehnderova interferometru . . . . .	21
4.3	Nastavování parametrů měřeného vlákna . . . . .	21
4.4	Stejná délka referenčního a měřeného vlákna (1 m). Šířka pásma je 0 GHz . . . . .	22
4.5	Měřené vlákno s pětinasobnou délkou. Šířka pásma zde dosahuje 12,66 GHz . . . . .	22
4.6	Měřené vlákno s padesátinasobnou délkou. Šířka pásma zde dosahuje 13,6 GHz . . . . .	23

## LITERATURA

- [1] FILKA, M: *Optoelektronika pro telekomunikace a informatiku*. Vyd. 1., Brno: Miloslav Filka, 2009, ISBN 978-80-86785-14-1.
- [2] *Senzory*, [on-line], 2014 [citováno 2014-12-10].  
<http://www.http://senzory.aspone.cz>
- [3] KUCHAR, A: *Optické komunikace*. Praha, prosinec 2008.
- [4] DUŠEK, M; MAZANEC, M: *Fyzikální principy optických a optovláknových snímačů*. červen 2012.  
<http://http://www.safibra.cz>
- [5] PÍNA, L; ŠVÉDA, L: *Fyzika detekce a detektory záření*. Praha.
- [6] HOSPODÁŘSKÉ NOVINY: *Optický mikrofón*, [on-line], 2005 [citováno 2015-1-21.]  
<http://ihned.cz/c1-16111440-opticky-mikrofon>
- [7] ODBORNÉ ČASOPISY: *Biosenzory*, [on-line], [citováno 2015-1-23.]  
[http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=31055](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=31055)
- [8] *Fiber-based Orthogonal Frequency Division Multiplexing Transmission Systems*, [on-line], [citováno 2015-5-13.]  
<http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/10055/1/memoria.pdf>
- [9] *Konstrukce vláknového Mach-Zehnderova interferometru se dvěma děliči s proměnnými dělicími poměry*, [on-line], 2012 [citováno 2015-5-15].  
[http://orgchem.upol.cz/lemr/data/bula\\_bakalarka.pdf](http://orgchem.upol.cz/lemr/data/bula_bakalarka.pdf)

## SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

BER	Bit error rate
DAS	Distributed acoustic sensor
DTS	Distributed temperature sensor
FBG	Fibre Bragg grating
OLT	Optical line termination
ONU	Optical network unit
PIR	Passive infrared sensor
PON	Passive optical network
SOFO	Surveillance d'Ouvrages par Fibres Optiques