

# **Inovace laboratorních úloh na komunikační soustavě Promax EF-970**

Inovation of laboratory practices on communication setup  
Promax EF-970

Bc. Radek Zvonek

---

Diplomová práce  
2011



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky  
akademický rok: 2010/2011

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Radek ZVONEK**  
Osobní číslo: **A09421**  
Studijní program: **N 3902 Inženýrská informatika**  
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**

Téma práce: **Inovace laboratorních úloh na komunikační sestavě Promax EF-970**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární průzkum z oblasti optických komunikačních kanálů a tras.
2. Seznamte se s laboratorní komunikační sestavou Promax EF-970 a jejími anglickými manuály.
3. Proveďte všechna měření na sestavě, která jsou popsána v anglickém návodu.
4. Vytvořte český učitelský manuál k dané sestavě, popište česky všechny laboratorní úlohy anglického manuálu měřené na této sestavě, jejich zapojení, to lze realizovat formou obrázků, dále zaznamenejte všechny výsledky a uveďte závěry k úlohám.
5. Vytvořte studentský manuál, který nebude obsahovat výsledky.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. PETERKA, Jiří . Optická vlákna. Earchiv.cz [online]. 2003, [cit. 2011-01-21]. Dostupný z WWW: <http://www.earchiv.cz/a96/a645k150.php3>.
2. DOLEČEK, Jaroslav. Moderní učebnice elektroniky 3 : Optoelektronika a optoelektronické prvky. 1. české. Praha : BEN - technická literatura, 2005. 160 s. ISBN 80-7300-184-5.
3. TRULOVE, James. Sítě LAN - hardware, instalace a zapojení. 1. Praha : Grada Publishing a.s., 2009. 384 s. ISBN 978-80-247-2098-1.
4. Příručka pro výukovou soustavu EF-970 pro optickou komunikaci a optoelektronické přenosy od firmy Promax
5. SHARMA, K.K. Optics : principles and applications . 1. London, UK : Elsevier Inc., 2006. 638 s. ISBN 978-0-12-370611-9.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Karel Perůtka, Ph.D.  
Ústav řízení procesů

Datum zadání diplomové práce: 25. února 2011

Termín odevzdání diplomové práce: 27. května 2011

Ve Zlíně dne 25. února 2011

  
prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.  
děkan

L.S.

  
doc. RNDr. Vojtěch Křesálek, CSc.  
ředitel ústavu

## **ABSTRAKT**

Cílem diplomové práce je vypracování literárního přehledu z oblasti optických kanálů a tras. Seznámení se s laboratorní sestavou Promax EF-970 a jejími anglickými manuály. Provést všechna měření na sestavě, která jsou popsána v anglickém návodu. Vytvořit český učitelský manuál k dané sestavě. Česky popsat všechny laboratorní úlohy anglického manuálu, měřené na této sestavě. Zapojení laboratorních úloh lze realizovat formou obrázků a všechny výsledky měření zaznamenat a uvést závěry k jednotlivým úlohám. Dále vytvořit studentský manuál, který nebude obsahovat výsledky.

Klíčová slova: Optické vlákno, světlený paprsek, světlovod, jádro, výuková soustava, manuál.

## **ABSTRACT**

The aim of my thesis is working out a literary review of the optical channels and paths. Identification to laboratory group Promax EF-970 and its english manuals. Make all measurements on the group, which described in english manual. Create a Czech teacher's manual for the group. Czech describe all laboratory tasks in english manual, measured in this group. Involvement of laboratory tasks can be realized through pictures and record all results of measurements and specify the conclusions of the individual tasks. We also create student's manual, which will not include the results.

Keywords: Optical fibre, the light beam, the fibre optic link, the core, education system, manual.

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu mojí diplomové práce panu Ing. Karlu Perůtkovi Ph.D. za odborné vedení, ochotu, a cenné rady, které mi v průběhu zpracování diplomové práce poskytl.

**Prohlašuji, že**

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

**Prohlašuji,**

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

Ve Zlíně

.....  
podpis diplomanta

**OBSAH**

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>11</b>
<b>1 HISTORIE</b> .....	<b>12</b>
<b>2 OPTICKÁ VLÁKNA</b> .....	<b>13</b>
<b>3 PRINCIP FUNKCE OPTICKÝCH VLÁKEN</b> .....	<b>15</b>
3.1 INDEX LOMU.....	16
<b>4 TYPY OPTICKÝCH VLÁKEN</b> .....	<b>17</b>
4.1 JEDNOVIDOVÁ OPTICKÁ VLÁKNA .....	17
4.2 MNOHOVIDOVÁ OPTICKÁ VLÁKNA .....	18
4.2.1 Se skokovou změnou indexu lomu (step index – SI).....	19
4.2.2 S gradientní změnou indexu lomu - GI.....	20
<b>5 HLAVNÍ PARAMETRY OPTICKÝCH VLÁKEN</b> .....	<b>21</b>
5.1 ŠÍŘKA PÁSMO .....	21
5.2 NUMERICKÁ APERTURA - NA .....	21
5.3 DISPERZE .....	22
5.3.1 Vidová disperze.....	22
5.3.2 Chromatická disperze.....	22
5.4 ÚTLUM.....	23
5.4.1 Obsah OH <sup>-</sup> .....	25
5.5 MINIMÁLNÍ POLOMĚR OHYBU.....	25
5.6 PARAMETR MFD (MODE FIELD DIAMETER) .....	26
<b>6 POUŽITÍ A APLIKACE OPTICKÝCH VLÁKEN</b> .....	<b>27</b>
<b>7 OPTICKÉ KABELY</b> .....	<b>28</b>
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>29</b>
<b>8 ÚVOD</b> .....	<b>30</b>
<b>9 VÝUKOVÁ SOUSTAVA PROMAX EF-970</b> .....	<b>31</b>
9.1 MULTIFUNKČNÍ VYSÍLAČ.....	32
9.1.1 Dvě nezávislé signálové cesty CH1 a CH2.....	32
9.1.2 Osm možností modulace CH1 a CH2 .....	32
9.1.3 Vestavěný signální generátor .....	32
9.1.4 Šest různých zdrojů záření .....	32
9.1.5 Vestavěný miliampérmetr .....	33
9.1.6 Bezpečný laserový vysílač .....	33
9.2 MULTIFUNKČNÍ PŘIJÍMAČ .....	34
9.2.1 Dvě nezávislé signálové cesty (analogová + digitální).....	34
9.2.2 4 vestavěné fotodetektory: .....	34
9.2.3 Vestavěný měřič optického výkonu .....	35
<b>10 UČITELSKÝ MANUÁL</b> .....	<b>37</b>

10.1	ÚLOHA 1. MĚŘENÍ OPTICKÉHO VÝKONU .....	37
10.2	ÚLOHA 2. MĚŘENÍ ÚTLUMU OPTICKÝCH VLÁKEN: METODA VLOŽENÝCH ZTRÁT .....	39
10.3	ÚLOHA 3. MĚŘENÍ ÚTLUMU OPTICKÝCH TRAS .....	42
10.4	ÚLOHA 4: SPEKTRÁLNÍ ZÁVISLOST ÚTLUMU OPTICKÉHO VLÁKNA .....	46
10.5	ÚLOHA 5. VLIV OKOLNÍHO OPTICKÉHO ZÁŘENÍ.....	50
10.6	ÚLOHA 6: SPOJENÍ OPTICKÝCH VLÁKEN POUŽITÍM ST KONEKTOROVÝCH SPOJEK: MĚŘENÍ OPAKOVATELNOSTI SPOJENÍ .....	53
10.7	ÚLOHA 7: MĚŘENÍ PŘEVODNÍCH (W/A) CHARAKTERISTIK ZDROJŮ ZÁŘENÍ .....	56
10.8	ÚLOHA 8: MĚŘENÍ STABILITY VÝKONU ZDROJŮ OPTICKÉHO ZÁŘENÍ .....	62
10.9	ÚLOHA 9: MĚŘENÍ V/A CHARAKTERISTIK ZDROJŮ OPTICKÉHO ZÁŘENÍ .....	67
10.10	ÚLOHA 10: MODULAČNÍ VLASTNOSTI ZDROJŮ OPTICKÉHO ZÁŘENÍ .....	69
10.11	ÚLOHA 11: SPEKTRÁLNÍ ZÁVISLOST FOTODETEKTORŮ .....	74
10.12	ÚLOHA 12: CITLIVOST FOTODETEKTORŮ: ZÁVĚRNÉ NAPĚTÍ NA FOTODEKTORECH .....	78
10.13	ÚLOHA 13: ŠÍŘKA PÁSKA FOTODETEKTORŮ .....	82
10.14	ÚLOHA 14: PŘENOS ANALOGOVÉHO SIGNÁLU .....	87
10.15	ÚLOHA 15: PŘENOS AUDIO SIGNÁLU .....	91
10.16	ÚLOHA 16: PŘENOS DIGITÁLNÍHO SIGNÁLU .....	94
10.17	ÚLOHA 17: VLIV OHYBU NA ÚTLUM OPTICKÉHO VLÁKNA (MAKROOHYBY) .....	99
10.18	ÚLOHA 18: VLIV OHYBU NA ÚTLUM OPTICKÉHO VLÁKNA (MIKROOHYB).....	102
10.19	ÚLOHA 19: VLIV NEIDEÁLNÍHO KONEKTOROVÉHO SPOJENÍ OPTICKÝCH VLÁKEN A JEHO ÚTLUM .....	104
10.20	ÚLOHA 20: MĚŘENÍ OPTICKÉ ROZBOČNICE.....	109
10.21	ÚLOHA 21: MĚŘENÍ PROMĚNNÉ OPTICKÉ ROZBOČNICE .....	111
10.22	ÚLOHA 22: MĚŘENÍ NEUTRÁLNÍCH OPTICKÝCH FILTRŮ .....	114
10.23	ÚLOHA 23: MĚŘENÍ ÚTLUMU PROMĚNNÉHO OPTICKÉHO ATENUÁTORU.....	116
10.24	ÚLOHA 24: SPEKTRÁLNÍ ZÁVISLOST ÚTLUMU PROMĚNNÉHO OPTICKÉHO ATENUÁTORU .....	119
10.25	ÚLOHA 25: POROVNÁNÍ ŠUMOVÝCH VLASTNOSTÍ RŮZNÝCH DETEKTORŮ OPTICKÉHO ZÁŘENÍ.....	122
10.26	ÚLOHA 26: WDM: MULTIPLEXOVÁNÍ A DEMULTIPLEXOVÁNÍ .....	126
10.27	ÚLOHA 27: WDM SYSTÉM .....	129
10.28	ÚLOHA 28: WDM PŘENOS .....	134
10.29	ÚLOHA 29: TRANSMISNÍ SENZOR .....	138

---

10.30 ÚLOHA 30: REFLEXNÍ SONDA .....	141
10.31 ÚLOHA 31: SENZOR HLADINY KAPALINY .....	143
10.32 ÚLOHA 32: TRANSMISNÍ SENZOR PŘÍTOMNOSTI KAPALINY .....	145
<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>148</b>
<b>ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ.....</b>	<b>149</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>150</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>151</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>152</b>
<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>156</b>
<b>SEZNAM GRAFŮ .....</b>	<b>158</b>

## ÚVOD

Budoucnost v oblasti vysokorychlostních komunikací na větší vzdálenosti bude patřit optickým přenosům po optických vláknech, kabelech. Jaký je vůbec princip optického přenosu a jaké mají vlastnosti optické přenosové systémy? Tyto otázky zodpoví diplomová práce. Její koncepce nás přiblíží do problematiky optického přenosu a kabeláže. Dodá potřebný rozhled a základní informace o specifických vlastnostech optického přenosu, jeho srovnání se současnými typy přenosu informací a také stručnou historii optických vláken.

V současné praxi se nejvíce uplatňují tři způsoby přenosů. Přenos po optických vláknech, metalické vedení a bezdrátový přenos. Každý z nich má své klady i zápory. Zaměříme se pouze na přenos informace po optických vláknech, protože tento typ má největší zabezpečení přenosu informace. Je odolný vůči elektromagnetickému rušení.

Optická vlákna jsou široce využívána v komunikacích, kde umožňují přenos na delší vzdálenosti a při vyšších přenosových rychlostech dat než jiné druhy komunikace. Signály se přenášejí s menší ztrátou a zároveň jsou odolné proti elektromagnetickému rušení. Optická vlákna lze využít i pro osvětlení a jsou balena po svazcích.

Optická vlákna mají důležité místo také v síťové kabeláži. Ve srovnání s mědí podporují větší vzdálenost a vyšší rychlost. Optické kabely mají v sítích stále důležitější úlohu a stávají se klíčovou technologií, které je dobré rozumět. Z optických kabelů těží i mezinárodní komunikace. Na mořské dno mezi kontinenty byly položeny doslova tisíce optických vláken.

Optické technologie jsou nedílnou součástí strukturované kabeláže a dají se použít i v kombinaci s měděnými kabely. Poté každá technologie dělá to, co umí nejlépe.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 HISTORIE

Optické komunikační systémy mají počátek na konci 18. století. V 90. letech tohoto století vynalezl francouzský inženýr Claude Chappe „optický telegraf“. Jeho systém sestával z množství semaforů namontovaných na věžích, ze kterých obsluhy postupně signalizovali zprávy z vysílaného místa k příjemci informace. První demonstrační pokusy v oblasti optiky a vedení světla lze datovat až do poloviny 19. století. Např. v roce 1854 anglický fyzik John Tyndall předváděl britské královské společnosti vedená světla proudem vody vytékajícím z nádoby, do které svítil zdrojem světla v podobě lampy. Realizoval vlastně takto první uměle vytvořený optický vlnovod.

V roce 1880 patentoval Alexander Graham Bell optický telefonní systém, který nazval „Photophone“. V té době, byl mnohem praktičtější jeho dřívější vynález, telefon. Chtěl přenášet signál vzduchem, ale atmosféra není pro přenos světla tak spolehlivá jako dráty pro přenos elektrického signálu.

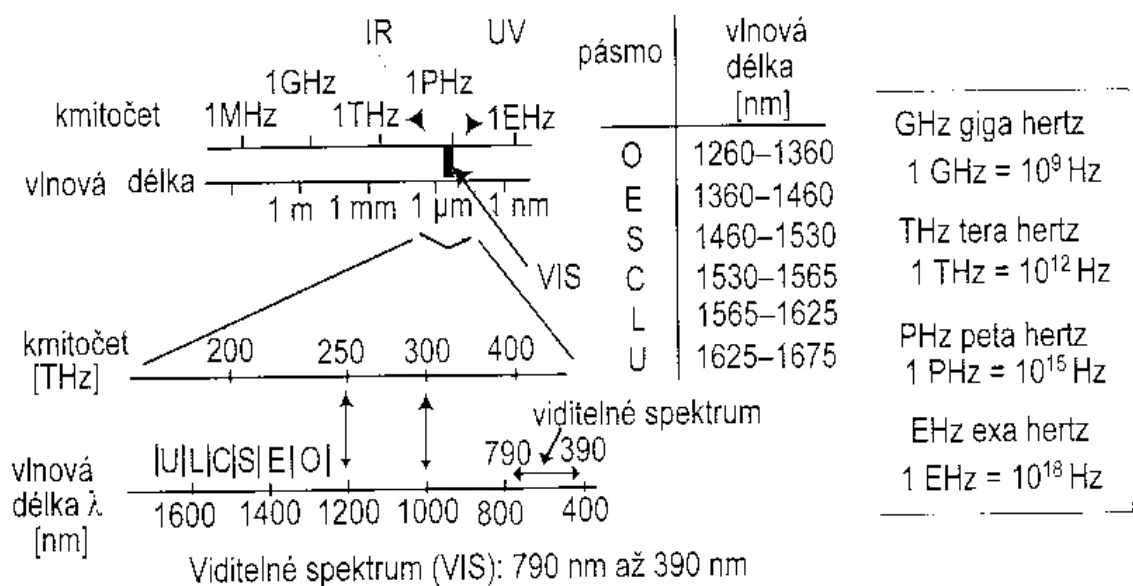
Skutečný rozvoj optické komunikační techniky byl umožněn počátkem 70. let minulého století. Americká firma Corning Glass Work vyvinula technologii výroby nízkoútlumových optických vláken. První vyrobená vlákna se vyznačovala útlumem 20dB/km. Vývojem byla zdokonalena na útlum 0,2dB/km u současných špičkových výrobků. V současné době není útlum limitujícím faktorem.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> DOLEČEK, Jaroslav. *Moderní učebnice optoelektroniky 3: Optoelektronika a optoelektronické prvky*. 1. české. Praha : BEN - technická literatura, 2005. 160 s. ISBN 978-80-7300-184-1.

## 2 OPTICKÁ VLÁKNA

Optická vlákna, světlovody, jsou skleněná nebo plastová vlákna, které prostřednictvím světla přenáší signály ve směru své podélné osy. Přenos světla optickými vlákny spoléhá na odraz a lom světelných paprsků. Na jedné straně je vysílač a na druhé straně přijímač. Jako zdroj světla se používají laserové diody u jednovidových vláken a LED diody u mnohovidových vláken. Paprsek světla se při přechodu u jednoho prostředí do druhého ohýbá. Typickým příkladem tohoto efektu je přechod paprsku mezi vodou a vzduchem. Světlovody, umožňují přenos optického záření o vlnových délkách od 200 nm do 20  $\mu\text{m}$ , to znamená ultrafialové (UV), viditelné (VIS) a infračervené (IR) optické záření. Pro optický přenos informace má největší význam oblast od 1,7  $\mu\text{m}$  do 400 nm. V této oblasti vlnových délek je minimum útlumu materiálů používaných pro výrobu vodičů optických vláken.



Obr. 1. Dělení elektromagnetického spektra<sup>2</sup>

<sup>2</sup> DOLEČEK, Jaroslav. *Moderní učebnice optoelektroniky 3: Optoelektronika a optoelektronické prvky*. 1. české. Praha : BEN - technická literatura, 2005. 160 s. ISBN 978-80-7300-184-1.

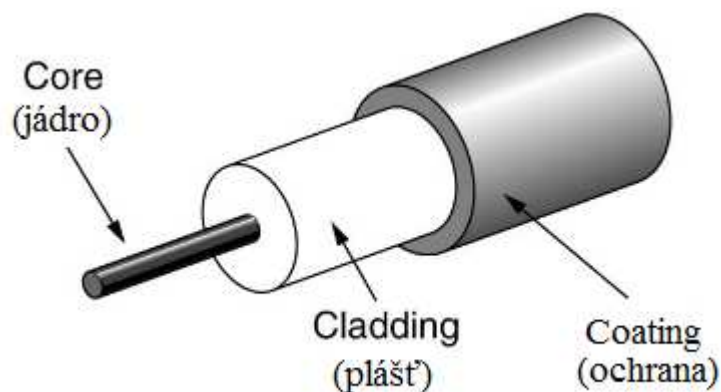
Podle konstrukce světlovodů lze optická vlákna rozdělit na:

- Vlákna s jádrem tvořeným sklem nebo plastem
- Kapalinovými světlovody – jádro tvořeno kapalinou
- Dutými světlovody – kapilárními trubičkami, optické záření se přenáší v dutinách vlasově tenkých trubiček

### 3 PRINCIP FUNKCE OPTICKÝCH VLÁKEN

Optické záření prochází světelným vláknem u jednoho konce na druhý. Optické vlákno se skládá ze tří vrstev:

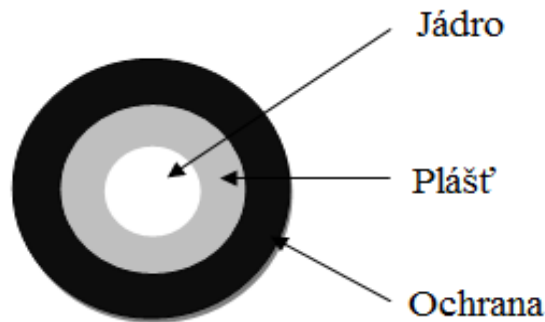
- Jádro (core) – vnitřní vrstva, jedná se o nejdůležitější prvek vlákna určený pro vlastní přenos dat. Průměr jádra závisí na typu kabelu. Standardně bývá 9 $\mu$ m, 50 $\mu$ m a 62,5 $\mu$ m
- Plášť (cladding) – střední vrstva, chrání a zpevňuje jádro. Spolu s jádrem má průměr 125 $\mu$ m.
- Ochrana (coating) – vrchní vrstva, prvotní ochrana optického vlákna do nepříznivých účinků okolního prostředí. Vrstva je nejčastěji tvořena tvrzeným akrylátovým lakem. S jádrem a obalem jádra má průměr 250 $\mu$ m.



Obr. 2. Princip optického vlákna<sup>3</sup>

---

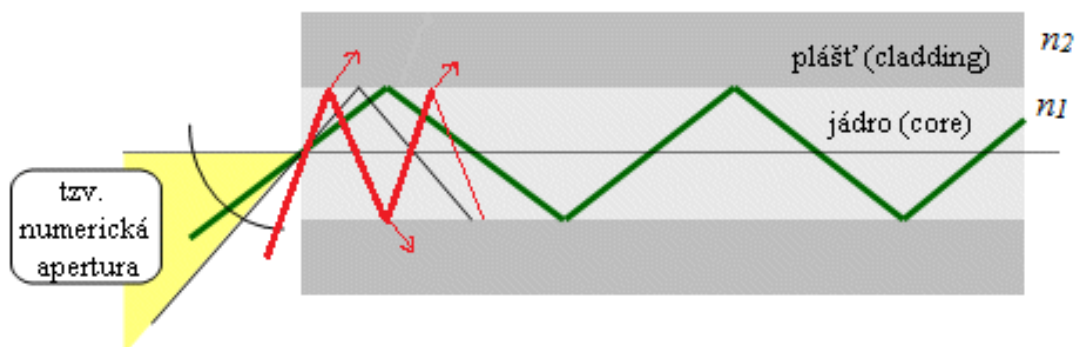
<sup>3</sup> GoGetFiber.com [online]. 2010 [cit. 2011-03-03]. GoGetFiber.com. Dostupné z WWW: <<http://www.gogetfiber.com/index.php?page=what-is-fiber>>.



Obr. 3. Řez optickým vláknem

### 3.1 Index lomu

Index lomu jádra  $n_1$  je větší než index lomu pláště  $n_2$ ,  $n_1 > n_2$ . Pro přenos optického záření optickým vláknem je využit zákon o lomu a odrazu optického záření na styku dvou prostředí. Zapotřebí je, aby úhel dopadu světelného paprsku, měřený od osy vlákna, byl menší než určitá mezní hodnota (označována jako numerická apertura), tím bude uvnitř vlákna docházet jen k úplným odrazům a světelný paprsek bude veden po celé délce optického vlákna (zelený paprsek). U paprsku, který dopadne pod větším úhlem (červený paprsek), dochází jen k částečnému odrazu a zbytek energie se během několika odrazů vyváže z vlákna ven.

Obr. 4. Základní princip fungování optického vlákna<sup>4</sup>

<sup>4</sup> PETERKA, Jiří. *Earchiv.cz* [online]. 2008 [cit. 2011-03-03]. Dostupné z WWW: <<http://www.earchiv.cz/b05/b0900001.php3>>

## 4 TYPY OPTICKÝCH VLÁKEN

Z hlediska způsobu přenosu světelných paprsků dělíme optická vlákna na dva základní typy:

- Jednovidová vlákna
- Mnohovidová vlákna

Rozdíl mezi nimi je dán rozměry jádra neboli rozměry prostředí, kterým je přenášeno optické záření. Jednovidová vlákna přenášejí jeden paprsek (vid), mnohovidová více paprsků (vidů).

### 4.1 Jednovidová optická vlákna

Jednovidová vlákna vykazují nejlepší parametry optické přenosové cesty, a proto jsou používána převážně pro přenos informací na velké vzdálenosti (mezi městy, státy, kontinenty). Schopnosti vést jediný vid bez odrazů je většinou dosaženo velmi malým průměrem jádra. Velikost používaného průměru je závislá na přenášené vlnové délce světelného paprsku. Průměr jádra jednovidového vlákna se pohybuje v rozmezí od 4  $\mu\text{m}$  do 10  $\mu\text{m}$  (rozsah vlnových délek optického záření od 300 nm do 1600 nm). Paprsek se vláknem šíří ve směru osy bez odrazů. Pomáhá tomu také velmi malý poměrný rozdíl indexů lomů jádra a pláště.

Materiálem používaným pro výrobu jednovidových vláken určených pro oblast vlnových délek 850 nm až 1600 nm je sklo s vhodnými příměsemi.<sup>5</sup>

Vlastnosti jednovidového vlákna:

- Dosahují nejvyšších přenosových rychlostí (až Gbit/s) na vzdálenost do 1 km
- Malý útlum
- Nevykazují vidovou disperzi
- Velká šířka pásma

---

<sup>5</sup> DOLEČEK, Jaroslav. *Moderní učebnice optoelektroniky 3: Optoelektronika a optoelektronické prvky*. 1. české. Praha : BEN - technická literatura, 2005. 160 s. ISBN 978-80-7300-184-1.

- Malá hodnota numerické apertury
- Generátorem světla jsou laserové diody
- Vede pouze jediný paprsek
- Dražší než mnohovidové vlákna



Obr. 5. Princip přenosu paprsku jednovídným vláknem

#### Technické parametry:

- Průměr jádra 4 – 10  $\mu\text{m}$
- Průměr pláště 125  $\mu\text{m}$
- Útlum 0,3 – 0,35 dB/km při  $\lambda = 1310 \text{ nm}$
- $\text{NA} = 0,12 - 0,13$
- Vlnové délky 350 – 1800 nm dle typu vlákna
- Přenos dat na vzdálenost 100x větší než mnohovidové vlákna

## 4.2 Mnohovidová optická vlákna

Monohavidová optická vlákna se vyznačují větším průměrem než vlákna jednovídná (větší než 10  $\mu\text{m}$ ). Na rozdíl od jednovídných vláken může být generátorem světla relativně jednodušší a může generovat světelné impulsy tvořené několika světelnými paprsky. Mnohovidová vlákna jsou skleněná nebo plastová, jsou vyráběna s průměry jader 50  $\mu\text{m}$  až 2000  $\mu\text{m}$ .

Vlastnosti větších průměrů (mnohovidových vláken):

- Přenos dat omezen vidovou disperzí, ta snižuje mezní kmitočet
- Větší hodnota numerické apertury
- Větší útlum
- Snadnější spojování a navazování optického záření

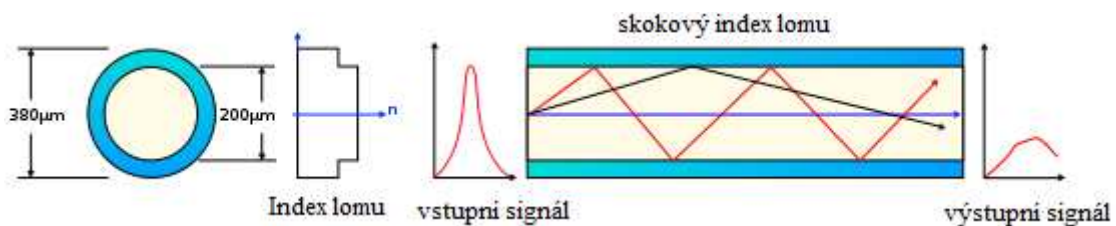
- Nižší výrobní cena

Podle způsobu vedení paprsků a změn optických vlastností (konkrétně indexu lomu) mezi jádrem a pláštěm rozlišujeme dva druhy mnohovidových vláken:

- Se skokovou změnou indexu lomu,
- S gradientní (postupnou) změnou indexu lomu.

#### 4.2.1 Se skokovou změnou indexu lomu (step index – SI)

Na rozhraní jádra a pláště dochází k ostrému lomu. V mnohovidových vláknech se paprsky šíří po různých drahách. Nejkratší dráhu vykoná přímý paprsek (na obr. 6 modrý paprsek). Nejdelší dráhu vykoná paprsek, který má úhel odrazu na úrovni mezního úhlu (červený paprsek). Vzhledem k rozdílným drahám nedorazí jednotlivé paprsky na konec vlákna ve stejném čase, ale postupně. Přenos signálu se rozprostře do delšího časového úseku, než byla jeho šířka na vstupu vlákna.



Obr. 6. Princip vlákna se skokovou změnou indexu lomu<sup>6</sup>

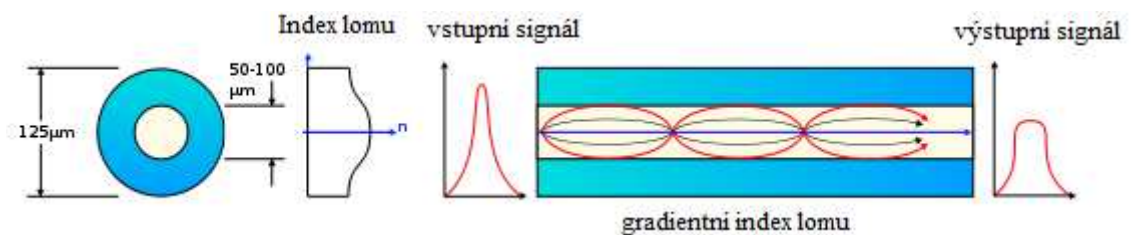
#### Technické parametry:

- $NA = 0,2$  pro rozměry vlákna jádro/plášť  $50/125 \mu\text{m}$ ,  $NA = 0,275$  pro  $62,5/125 \mu\text{m}$
- Průměr primární ochrany  $250 \mu\text{m}$
- Útlum  $5 - 10 \text{ dB/km}$
- Šířka pásma  $50 \text{ MHz} \cdot \text{km}$

<sup>6, 8</sup> DVOŘÁK, Petr. *Jihlavská astronomická společnost* [online]. 2010 [cit. 2011-03-07]. Dostupné z WWW: <<http://www.jiast.cz/clanky/svetlo-xii-opticke-vlakno>>.

#### 4.2.2 S gradientní změnou indexu lomu - GI

V jádru s gradientní (postupnou) změnou indexu lomu dochází k plynulé změně drah paprsků. Zakřivení dráhy paprsků odpovídá sinusové funkci. Optické záření se šíří rychleji v prostředí s nižším indexem lomu než v prostředí s vyšším. Paprsky šířící se blíže k plášti, kde je index lomu menší, mají větší rychlost a celková doba šíření vláknem na velké vzdálenosti se jen málo liší od šíření přímého paprsku, který prochází středem jádra (prostředí s největší hodnotou indexu lomu).<sup>7</sup>



Obr. 7. Princip vlákna s gradientní změnou indexu lomu<sup>8</sup>

#### Technické parametry:

- Útlum 0,8 – 5 dB/km
- NA přibližně 0,2
- Pro rozměry vlákna jádro/plášť 50/125 μm - šířka pásma 500 - 1500 MHz . km na vlnových délkách 850 – 1310 nm
- Pro vlákna 62,5/125 μm - šířka pásma 160 - 500 MHz . km na vlnových délkách 850 – 1310 nm

---

<sup>7</sup> DOLEČEK, Jaroslav. *Moderní učebnice optoelektroniky 3: Optoelektronika a optoelektronické prvky*. 1. české. Praha : BEN - technická literatura, 2005. 160 s. ISBN 978-80-7300-184-1.

## 5 HLAVNÍ PARAMETRY OPTICKÝCH VLÁKEN

### 5.1 Šířka pásma

Šířka pásma udává nejvyšší kmitočet signálu, který může být spolehlivě přenesen na vzdálenost 1 km mnohovidových vláken bez nadměrného zkreslení signálu vlivem šíření více vidů ve vláknu. Je udávána v MHz . km.

Šířka pásma závisí na:

- Konstrukčním uspořádání
- Materiálu optického vlákna
- Vlnové délce optického signálu

Na šířku pásma má velký vliv vlnová délka. Např. vlákno o vlnové délce 850 nm má šířku pásma 160 MHz. S vlnovou délkou optického záření, se mění také útlum vlákna.

### 5.2 Numerická apertura - NA

Definuje největší úhel, pod kterým může světelný paprsek vstupovat do optického vlákna, aby byl vláknem přenášen. NA je vyjádřena vztahem:

$$NA = \sin \nu = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (1)$$

Kde  $\nu$  ... maximální úhel vstupujícího paprsku, pod kterým se bude šířit od začátku do konce

$n_1$  ... index lomu jádra

$n_2$  ... index lomu pláště

Podmínkou pro vedení je úplný odraz paprsku na rozhraní jádro – plášť. Je – li mezní úhel paprsku překročen, dojde na styku jádra s pláštěm k lomu a paprsek se neodrazí. Projde do pláště a dojde k jeho vyvázání ven z vlákna.

NA je nejčastěji odvozen z vyzařovací charakteristiky vlákna, která je měřena fotodetektořem rotujícím kolem čela vlákna ve vzdálenosti cca 3 – 5 cm.<sup>9</sup>

### 5.3 Disperze

Tento parametr charakterizuje vlákno z hlediska maximální přenosové rychlosti. Je příčinou zkreslení přijímaného signálu. Dochází k ní v mnohovidových vláknech vlivem uvedeného rozdílného šíření. U mnohovidového vlákna s postupnou změnou indexu lomu dochází k podstatnému zmenšení disperze než u vlákna se SI změnou. Disperzi obecně lze rozdělit na vidovou a chromatickou.

#### 5.3.1 Vidová disperze

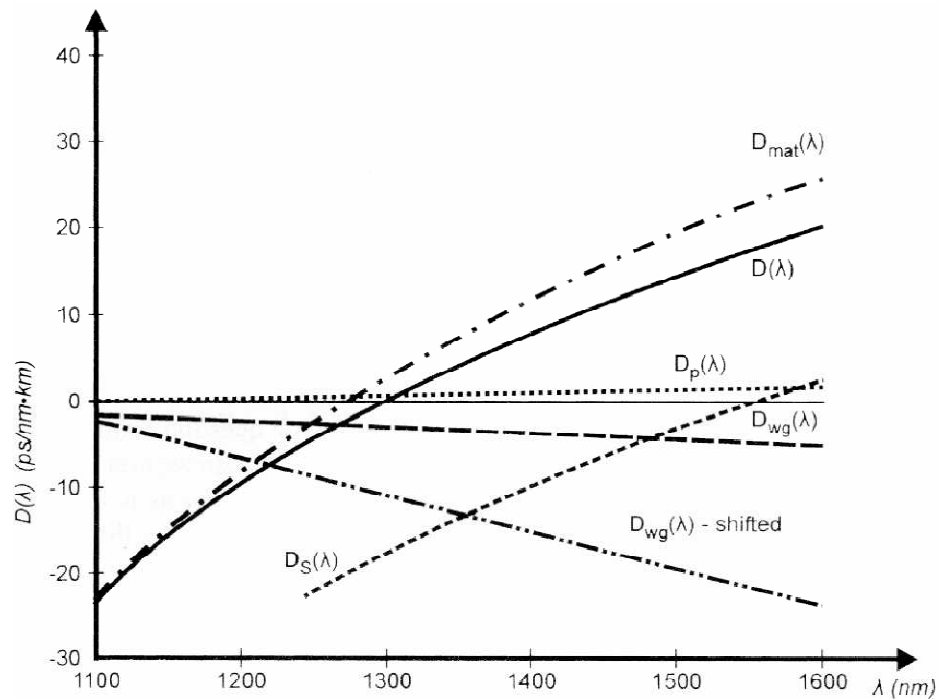
Převažuje u mnoho vidových vláken. Každý paprsek dorazí díky rozdílné délce drah na konec vlákna v různých časových okamžicích. Impuls na výstupu se liší od toho na vstupního jeho šířkou. Vidovou disperzi nelze úplně odstranit, lze její vliv eliminovat použitím gradientních vláken. Omezuje mezní šířku pásma nebo přenosovou rychlost nebo vzdálenost na jakou přenášíme data.

#### 5.3.2 Chromatická disperze

Vyskytuje se jen u jednovidových vláken a je způsobena rozdílnou rychlostí šíření složek světla (mají rozdílné vlnové délky). Na konci vlákna se jednotlivé složky skládají s časovými rozdíly. Mají jiný časový průběh než na začátku vlákna. U standardních jednovidových vláken je chromatická disperze v oblasti 1310 nm nulová a na 1550 nm může omezovat přenosovou rychlost a vzdálenost. Chromatická disperze se skládá ze dvou složek: materiálové a vlnododové disperze. Materiálová je závislá na indexu lomu použitého materiálu pro výrobu vláken (základní materiál je sklo SiO<sub>2</sub>), nelze ji ovlivnit. Vlnododová disperze je způsobena profilem indexu lomu ve vláknu. Profil indexu lomu již lze ovlivnit a tím můžeme vyrobit vlákno, které bude mít na určité vlnové délce nulovou chromatickou disperzi.

---

<sup>9</sup> DOLEČEK, Jaroslav. *Moderní učebnice optoelektroniky 3: Optoelektronika a optoelektronické prvky*. 1. české. Praha : BEN - technická literatura, 2005. 160 s. ISBN 978-80-7300-184-1

Obr. 8. Rozložení jednotlivých chromatických disperzí<sup>10</sup>

kde:

$D_{mat}$  materiálová disperze

$D_p$  profilová disperze

$D_{wg}$  vlnovodová disperze

$D$  výsledná disperze  $D(\lambda) = D_{mat}(\lambda) + D_{wg}(\lambda) + D_p(\lambda)$

$D_{wg}$  vlnovodová disperze-posunutá

$D_S$  výsledná disperze-posunutá  $D_S(\lambda) = D_{mat}(\lambda) + D_{wg}(\lambda) - \text{posunutá} + D_p(\lambda)$

## 5.4 Útlum

V optickém vláknu výkon signálu se vzdáleností od zdroje signálu postupně klesá. Útlum je měřítkem ztráty optické energie ve vlákne. Pro danou vlnovou délku  $\lambda$  je definován jako:

$$\text{útlum} = b = 10 \cdot \log \frac{P_1}{P_2} \quad (2)$$

<sup>10</sup> MARŠÁLEK, Leoš. *Optická vlákna*. 2006. aktualizované vydání VŠB v Ostravě : [s.n.], 2006.

Důležitější vlastností optického vlákna je měrný útlum, který určuje maximální vzdálenost, jakou lze překonat. Obecně se dá říci, že ztráty při přenosu mají pevnou složku danou ztrátami na obou koncích kabelu a složku závislou na délce kabelu. Tato složka může být vyjádřena jako útlum kabelu na jednotkách decibel na metr (dB/m):

$$\alpha(\lambda) = \frac{b(\lambda)}{L} = \frac{10 \cdot \log \frac{P_1}{P_2}}{L} \quad (3)$$

kde:

$\alpha$  ... měrný útlum [dB/m]

$b$  ... útlum [dB]

$P_1, P_2$  ... optický výkon na vstupu, na výstupu

$L$  ... délka optického kabelu

Hlavními příčinami útlumu světelného signálu v optickém vláknu jsou absorpce a rozptyl světelných paprsků. Ztráty může vznikat:

- Přímou v materiálu vlákna – projevují se vlastní a nevlastní absorpcí a rozptylem materiálu v jádru. Při vlastní absorpci je pohlcováno optické záření molekulami materiálu. Při nevlastní absorpci je optické záření pohlcováno molekulami nečistot, které se do vlákna dostaly při výrobě. Během výroby optického vlákna dochází ke složitým chemickým reakcím, na kterých se významně podílí voda. Elastické kolize mezi procházejícím optickým zářením a molekulami hmoty jádra optického vlákna vytváří **Rayleighův rozptyl**. Čímž vznikají lomy a odrazy části paprsků, které se tříští do všech směrů. Rozptýlené záření, je odkloněno a pronikne do pláště, tím se ztratí.
- Ohybem optického vlákna – dochází ke změně úhlů dopadu a odrazu přenášených paprsků. Některý paprsek překročí mezní hodnotu úhlu odrazu a nevrátí se do jádra, ale pronikne do pláště. Na výstup se dostane menší počet paprsků, než bylo na vstupu. Tento jev lze využít při konstrukci optických senzorů založených na zakřívání optického vlákna. Aby nedocházelo k velkým ztrátám je nutné vlákno ohýbat s co nejmenším poloměrem. Při působení vnějších sil na optické vlákno vznikají tzv. mikroohyby. Plášť se zdeformuje, způsobí malý ohyb vlákna a některé

paprsky se odrazí pod velkým úhlem, uniknou mimo jádro a dochází tak ke zvětšení útlumu.

- Při spojování vláken – jsou způsobeny ztráty tím, že vlákna mají rozdílný průřez jádra a část paprsků dopadá na plášť následujícího vlákna. Ztráty mohou vzniknout i nepřesností při spojování a to tak, že dochází k posunutí os vláken a část paprsků se nenaváže do jádra navazujícího vlákna. Při spojování vláken zejména malých průměrů jader je nutnost dbát na vysokou přesnost.
- V praxi můžeme útlum ovlivnit především kvalitou pokládky a montáže spojek.<sup>11</sup>

*Obr. 9. Možné druhy ztrát paprsků*

#### 5.4.1 Obsah $\text{OH}^-$

Na určitých vlnových délkách je útlum vlákna ovlivněn zbytkovou vlhkostí, která se nachází ve vlákně formou iontů  $\text{OH}^-$ .

- Vlákna s nízkým obsahem  $\text{OH}^-$  (označení „low  $\text{OH}^-$ “ – použití v infračervené oblasti)
- Vlákna s vysokým obsahem  $\text{OH}^-$  („high  $\text{OH}^-$ “ – vyráběna ve více skupinách a používána pro aplikace v ultrafialové a viditelné oblasti záření)

#### 5.5 Minimální poloměr ohybu

Je nejmenší ohyb, který je možné při instalaci vlákna použít. Je závislý na:

- Průměru optického vlákna, případně kabelu
- Materiálu, ze kterého je vlákno vyrobeno

Čím je průměr vlákna větší, tím je větší je minimální poloměr ohybu. Plastová vlákna mají menší minimální poloměr ohybu než vlákna skleněná (při stejném průměru).<sup>12</sup>

---

<sup>11</sup> DOLEČEK, Jaroslav. *Moderní učebnice optoelektroniky 3: Optoelektronika a optoelektronické prvky*. 1. české. Praha : BEN - technická literatura, 2005. 160 s. ISBN 978-80-7300-184-1

## 5.6 Parametr MFD (Mode Field Diameter)

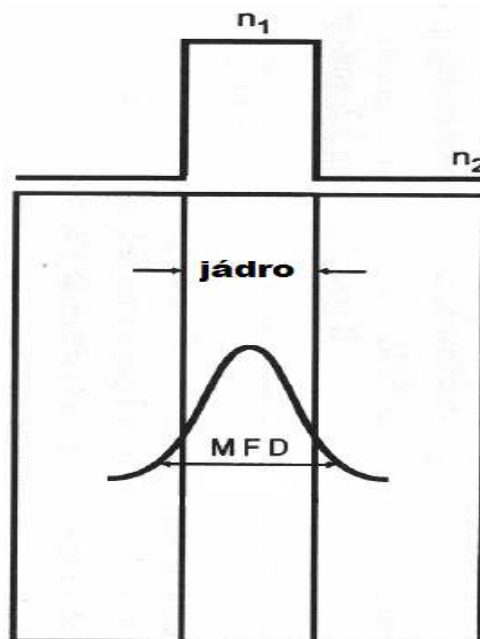
Pro jednovrstevná vlákna se místo průměru jádra často uvádí parametr MFD. Ten je důležitý také pro výpočet útlumu při spojování vláken, které mají stejné geometrické rozměry, ale různý MFD. Je to konstanta, která udává šířku, ve které je intenzita přenášeného optického záření větší nebo rovna 0,135 z maximální intenzity. Čím je vlnová délka kratší, tím je menší MFD, jelikož vidový průměr je závislý na vlnové délce. Vztah pro velikost útlumu pomocí parametru MFD:

$$b = -20 \cdot \log \frac{2MFD_1 \cdot MFD_2}{MFD_1^2 + MFD_2^2} \quad (4)$$

kde:

b ... útlum [dB]

$MFD_1, MFD_2$  ... parametry dvou spojovaných vláken



Obr. 10. Znáznornění parametru MFD

<sup>12</sup> DOLEČEK, Jaroslav. *Moderní učebnice optoelektroniky 3: Optoelektronika a optoelektronické prvky*. 1. české. Praha : BEN - technická literatura, 2005. 160 s. ISBN 978-80-7300-184-1

## 6 POUŽITÍ A APLIKACE OPTICKÝCH VLÁKEN

Odvětví využívající optická vlákna:

- Telekomunikace (dálkové – WAN síť, metropolitní, místní síť – LAN síť) – přenos dat
- Průmyslové odvětví – technologické linky, realizace senzorů, spektroskopie, přenos signálů v měřicích zařízeních a systémech, osvětlení a světelné efekty
- Zdravotnictví – lékařské zařízení
- Letectví a kosmonautika
- Automobilový průmysl
- Vojenské systémy

## 7 OPTICKÉ KABELY

Optické kabely se vyrábí v mnoha různých konstrukčních variantách. Optický kabel může být od jednoduchého propojovacího kabelu až po meziměstský kabel se 144 vlákny. Kabely pro venkovní použití mohou mít ocelové výztuže nebo armování, které je ochrání před hlodavci. Většina optických kabelů pro místní sítě jsou obyčejné vnitřní vícevláknové kabely. V kabelu jsou vlákna chráněna proti otěru a jiným druhům mechanického poškození. Plášť kabelu chrání vlákna proti vlhkosti a jiným nepříznivým vlivům prostředí. Konstrukce kabelu chrání před mikroohyby. Pro dané prostředí a aplikaci je důležité vybrat vhodný typ optického kabelu. Vyrábí se ve třech provedení sekundární ochrany.

### **Těsná sekundární ochrana**

Poskytuje ochranu proti ztrátám mikroohyby, ale může k nim dojít při výrobě ( průměr 0,25 mm – 2,5 mm). Těsná sekundární ochrana je plastová vrstva, která holé optické vlákno odděluje od dalších vrstev a chrání vlákno po jejich odstranění. Kabely s těsné ochranou jsou využívány v optických propojovacích kabelech a tam, kde je potřeba natáhnout menší počet kabelů bez ochrany lištami. Většinou mají pevný vnější plášť.

### **Volná sekundární ochrana**

Kabely s volnou sekundární ochranou jsou holá vlákna jen s primární ochranou vedená volně uvnitř plastové trubky. Je malá pravděpodobnost vzniku mikroohybů (průměr 1 mm – 2 mm). Nejčastěji se používají pro velkokapacitní spoje mezi distribučními body (telekomunikační místnosti). Jsou vhodné pro páteřní rozvody.<sup>13</sup>

### **Plněná sekundární ochrana**

Je variantou volné sekundární ochrany. Ihned po vložení vlákna do duriny je durina naplněna speciálním plnidlem, které je odolné a chrání vlákna proti vlhkosti.

---

<sup>13</sup> JAMES, Trulove. *Sítě LAN : hardware, instalace, zapojení*. 1. Praha : Grada Publishing a.s., 2009. 384 s. ISBN 978-80-247-2098-1

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 8 ÚVOD

Praktická část diplomové práce se skládá ze tří částí. První část je teoretický úvod k výukové komunikační soustavě Promax EF-970. Jedná se o popis vysílacího a přijímacího modulu, který poslouží jako návod na jejich obsluhu. Na obrázcích je názorně ukázáno, co která část daného modulu obsahuje a k čemu slouží.

Druhá část praktické části je vytvoření učitelského manuálu. Jsou v něm zaznamenány všechny úlohy k praktickému cvičení na soustavě PROMAX EF-970, jejich zadání, návody, postupy, schémata zapojení, naměřené a vypočtené výsledky a uvedeny závěry k jednotlivým úlohám.

Třetí část je studentský manuál, který bude sloužit studentům jako návod k obsluze výukové soustavy. Ve studentském manuálu jsou popsány všechny úlohy k praktickému cvičení, jejich zadání, návody, postupy a schémata zapojení. Studentský manuál neobsahuje naměřené a vypočtené výsledky, grafy ani závěry u jednotlivých úloh.

Součástí výukové komunikační soustavy Promax EF – 970 je i sada kabelových a vláknových modulů, měřicí doplňky a přípravky, optický vláknový manipulátor, proměnný optický atenuátor, externí sonda s detektorem, vláknové rozbočnice (pevné a proměnné), sada optických filtrů a různé měřicí sondy (U – sonda, apod.). Tímto příslušenstvím je možné měřit parametry optických vláken jako je numerická apertura, citlivost útlumu vláken na ohyby nebo testovat vlastnosti konektorového spojení optických vláken. Součástí soustavy je i příslušenství ke konektorování optických vláken (sada přípravků pro zakončení vlákna, krimpovací kleště, sadu leštících přípravků včetně vlákna a ST konektorů).

## 9 VÝUKOVÁ SOUSTAVA PROMAX EF-970

Výuková soustava EF-970 tvoří komplexní učební pomůcku zaměřenou na:

- přenos optického záření vláknem, fyzikální principy
- parametry optických vláken, měření
- zdroje záření a detektory, optický komunikační systém
- moderní optické součástky, jejich využití a parametry
- optické vlnové multiplexy
- optické vláknové senzory

Výuková soustava EF-970 je založena na optických vláknech, optické prvky jsou jednoduché na manipulaci, odolné proti mechanickému namáhání. Přenosy ve viditelné oblasti spektra poskytují experimentům názornost. Soubory jsou velmi vhodné jako základní učební pomůcka pro úvod do problematiky vláknové optiky i jako učební pomůcka pro školy s vyšší odborností nebo specializací.

Soustava EF-970 je pro výuku optických komunikací a optoelektronických přenosů.

Obsahuje multifunkční optický vysílač a multifunkční optický přijímač, sadu optických modulů, optickou trasu, konektorové spojky a příslušenství pro čištění.

Soustava umožňuje komplexní seznámení s optickým přenosovým systémem, pomocí soustavy lze provádět:

- měření útlumu optických vláken a tras,
- zjišťovat spektrální závislost útlumu,
- měřit parametry zdrojů optického záření (LED i laserové vysílače - převodní a voltampérovou charakteristiku, stabilitu či modulační vlastnosti).

Vzhledem k tomu, že je soustava vybavena různými typy detektorů (PIN, APD) z různých detekčních materiálů (Si, Ge, InGaAs), lze také zkoumat parametry detektorů (citlivost, spektrální závislost, modulační vlastnosti).

Kromě výše uvedených typů měření soustava EF-970 dále umožňuje experimenty s optickými vlnovými multiplexy WDM.

- analogové a digitální přenosy

- přenosy audio signálu, video signálu
- datové přenosy
- vlnové multiplexy WDM
- LED i Laserové vysílače
- PIN i APD přijímače
- Simulace poruch vysílací a přijímací cesty

## **9.1 Multifunkční vysílač**

### **9.1.1 Dvě nezávislé signálové cesty CH1 a CH2**

Umožňují přenos (vysílání) z libovolných dvou elektrických vstupů na dva libovolné optické výstupy

### **9.1.2 Osm možností modulace CH1 a CH2**

Ve vysílacím směru lze k modulaci optického záření využít:

1. generátor signálů
2. externí analogový vstup DC
3. externí analogový vstup AC
4. externí mikrofon
5. externí digitální vstup
6. externí digitální vstup (invertovaný)
7. trvalá digitální „1“
8. klíčování „1“ nebo „0“ tlačítkem

### **9.1.3 Vestavěný signální generátor**

Generuje signály ve tvaru sinus, obdélník, pila.

### **9.1.4 Šest různých zdrojů záření**

1. LED 526 nm
2. LED 590 nm

3. LED 660 nm
4. LED 850 nm
5. LED 1300 nm
6. LASER 635 nm

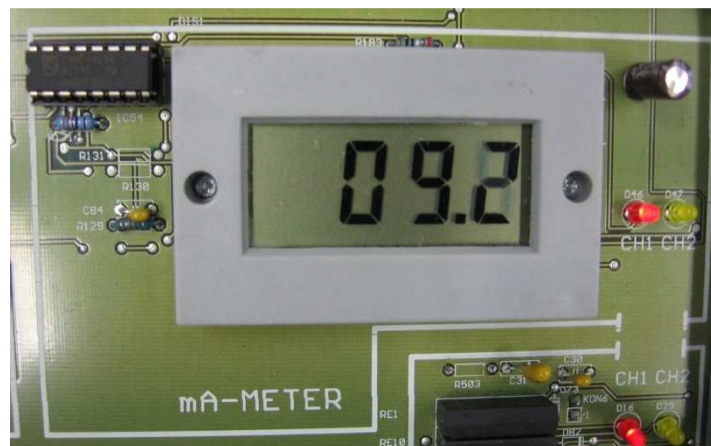
Umožňuje experimenty s WDM optickým multiplexem i s vysílači LED i LASER.



*Obr. 11. Zdroje záření*

### 9.1.5 Vestavěný miliampérmetr

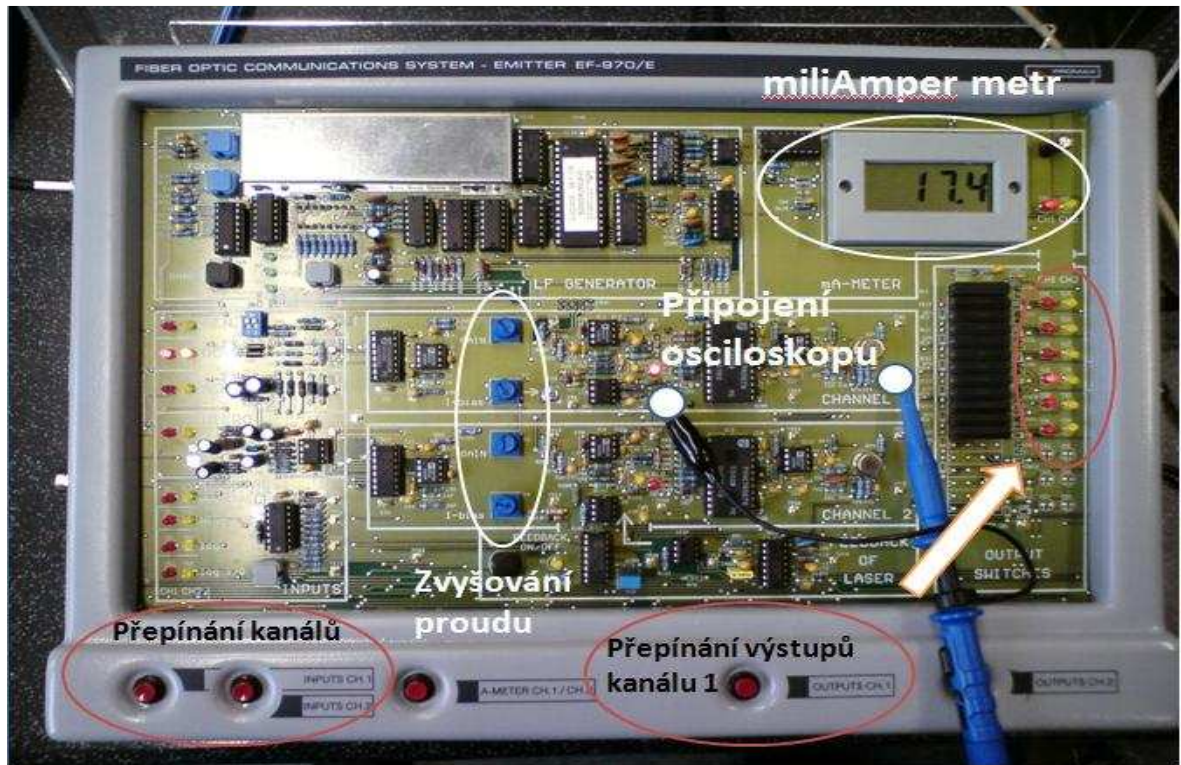
Měření převodních wattampérových charakteristik LED a LASERU.



*Obr. 12. Vestavěný miliampérmetr*

### 9.1.6 Bezpečný laserový vysílač

Bezpečné záření - vestavěná optická ochrana před laserovým zářením (útlumový filtr).  
Stabilizace pracovního bodu laseru optickou zpětnou vazbou (monitorovací diodou).  
Možnost odpojení zpětnovazební smyčky pro měření charakteristik laseru



Obr. 13. Popis multifunkčního vysílače

## 9.2 Multifunkční přijímač

### 9.2.1 Dvě nezávislé signálové cesty (analogová + digitální)

Umožňují optimální příjem analogových nebo digitálních signálů z optických vstupů. Současný příjem analogového i digitálního signálu dvěma samostatnými kanály.

### 9.2.2 4 vestavěné fotodetektory:

1. Si detektor 1mm
2. InGaAs detektor 1mm
3. Ge lavinový APD detektor
4. Si detektor 2,5 mm
5. Detektor je externí sonda

Umožňují demonstrovat různé spektrální citlivosti, různé rychlosti detekce, vícekanálové WDM přenosy.



Obr. 14. Vestavěné fotodetektory

### 9.2.3 Vestavěný měřič optického výkonu

Kalibrován pro měření na různých vlnových délkách a je určen pro měření optických signálů v režimu:

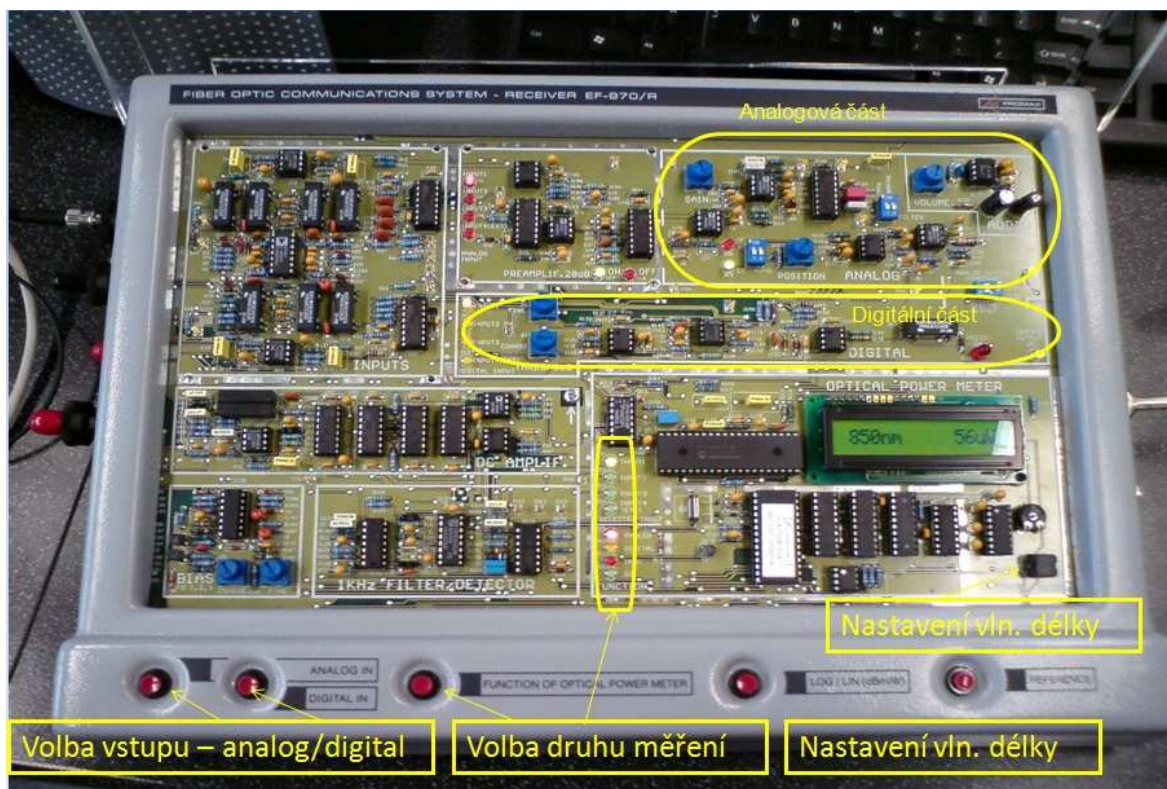
- stejnosměrné detekce (DC signál) dBm, W, dB
- střídavé detekce (signál 1kHz)
- analogovém
- digitálním<sup>14</sup>



Obr. 15. Měřič optického výkonu

---

<sup>14</sup> Příručka pro výukovou soustavu EF-970 pro optickou komunikaci a optoelektronické přenosy od firmy Promax



Obr. 16. Popis multifunkčního přijímače

## 10 UČITELSKÝ MANUÁL

### 10.1 ÚLOHA 1. MĚŘENÍ OPTICKÉHO VÝKONU

#### Zadání

Změřte optický výkon pomocí fotodetektorů s rozdílnou fotosenzitivní plochou.

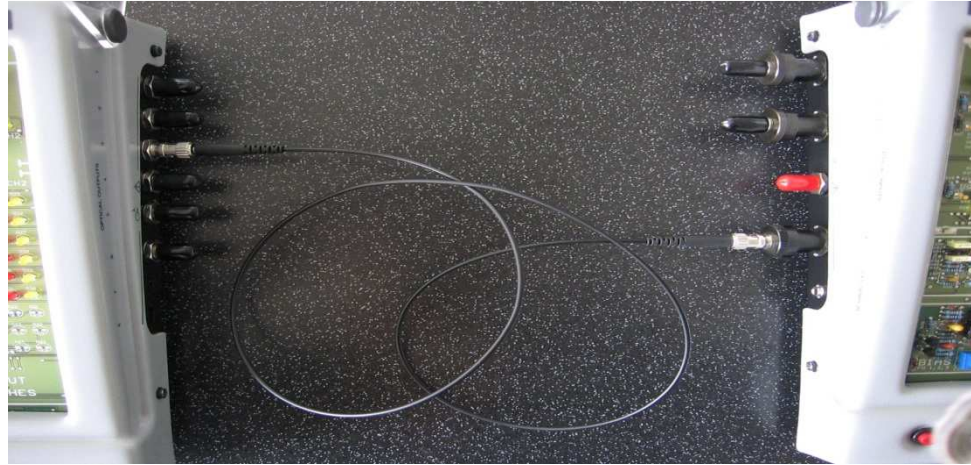
#### Přístroje, pomůcky a materiály

- Propojovací kabel
- Čistící prvky

#### Praktický postup

- Nastavení – provedli jsme požadované nastavení na vysílači a na přijímači
  - o Vysílač:
    - Vstup: DC (bez zapojení) na kanálu CH1
    - mA měření: CH1
    - Optický výstup: Optický zdroj č. 3 (LED 660nm) pro CH1
  - o Přijímač:
    - Funkce: DC měření
    - Optický vstup: Fotodetektor č. 4 (Si 2,5 mm)
    - Vlnová délka: 660 nm
- Zvyšovali jsme proud ( $I_{BIAS}$ ) optického zdroje přibližně do 11 mA. Se vzrůstem proudu se zvyšuje intenzita světla.
- Propojili jsme propojovacím kabelem výstup vysílače s odpovídajícím vstupem přijímače.

#### Schéma zapojení:



*Obr. 17. Schéma zapojení propojovacím kabelem*

- Změřili jsme přijatý výkon na fotodetektoru č. 4 (Si 2,5 mm) ve W a dBm.
- Připojili jsme kabel k fotodetektoru č. 1 (Si 1 mm) a vybrali tento vstup na přijímači.
- Změřili jsme výkon ve W a dBm, taktéž na vlnové délce 660 nm.

**Naměřené hodnoty:**

$$I_{\text{BIAS}} = 19,6 \text{ mA}$$

*Tab. 1. Hodnoty při  $I_{\text{BIAS}} = 19,6 \text{ mA}$*

Fot. č.	dBm	Photosensitive
1	-19,5	526 nm
4	-9,0	526 nm

\* změnou kabelu rozdíl 0,3 dBm

\* vyčištěním se zlepšilo o 0,3 dBm

- Naměřené výsledky jsme zapsali do tabulky.
- Snížili jsme proud zdroje ( $I_{\text{BIAS}}$ ) na 5 mA a zopakovali předchozí postup měření.

$$I_{\text{BIAS}} = 5 \text{ mA}$$

*Tab. 2. Hodnoty při  $I_{\text{BIAS}} = 5 \text{ mA}$*

Fot. č.	dBm	Photosensitive
1	-20,5	526 nm
4	-11,0	526 nm

- Nyní jsme vybrali na vysílači zdroj č. 4 (LED 850 nm) a propojili jej fotodetektořem č. 1. Na přijímači jsme vybrali odpovídající vstup.
- Nastavili jsme proud ( $I_{BIAS}$ ) zdroje na 17 mA (přibližně).
- Změřili jsme výkon přijímaný fotodetektořem č. 1 na vlnové délce 850 nm ve W a dBm.
- Měření jsme opakovali i pro ostatní fotodetektořy č. 2, č. 3, č. 4, vždy na vlnové délce 850 nm.

$$I_{BIAS} = 17,3 \text{ mA}$$

Tab. 3. Hodnoty při  $I_{BIAS} = 17,3 \text{ mA}$

Fot. č.	Received power (dBm)	Photosensitive
1	-9,0	526 nm
2	-12,4	850 nm
3	-22,5	850 nm
4	-7,4	526 nm

### Závěr:

Z měření lze odvodit, že fotodetektořy, které mají větší fotosenzitivní plochu, tak zachytí všechno nebo většinu světla z optického vlákna. Tyto fotodetektořy jsou především vhodné pro měřicí aplikace. Fotodetektořy s malou fotosenzitivní plochou najdou uplatnění v telekomunikační sféře. Protože tyto fotodetektořy jsou schopné zpracovávat signály s vyšší přenosovou rychlostí.

## 10.2 ÚLOHA 2. MĚŘENÍ ÚTLUMU OPTICKÝCH VLÁKEN: METODA VLOŽENÝCH ZTRÁT

### Zadání

Pomocí metody vloženého útlumu změřte útlum optického vlákna. Analyzujte důsledky, které vytvářejí ohyby optických vláken.

### Přístroje, pomůcky a materiály

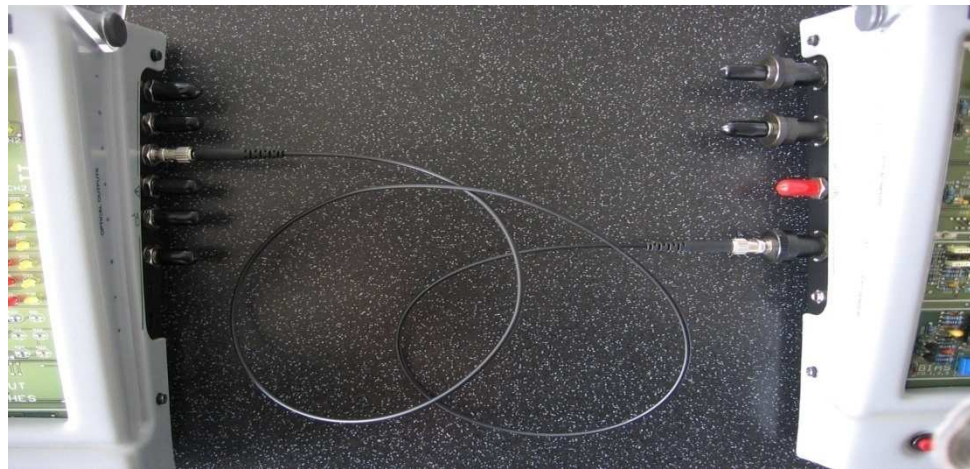
- Propojovací kabely
- Optický kabel dlouhý 50 m
- Propojovací vlákno

- Čistící prvky

### Praktický postup

- Nastavení
  - Vysílač:
    - Vstup: DC (bez zapojení) na kanálu CH1
    - mA měření: CH1
    - Optický výstup: Optický zdroj č. 3 (LED 660nm) pro CH1
  - Přijímač:
    - Funkce: DC měření
    - Optický vstup: Fotodetektor č. 4 (Si 2,5 mm)
    - Vlnová délka: 660 nm
- Propojili jsme propojovacím kabelem výstup vysílače s odpovídajícím vstupem přijímače.

### Schéma zapojení:



*Obr. 18. Schéma zapojení propojovacím kabelem*

- Nastavili jsme proud vysílače ( $I_{BIAS}$ ) přibližně na 11mA. Počkali jsme asi 1 minutu pro jeho stabilizaci.
- Na optickém wattmetru jsme nastavili referenční hodnotu měřeného výkonu.
- Propojovací kabel jsme nahradili optickým kabelem délky 50 m.

### Schéma zapojení:



Obr. 19. Schéma zapojení propojovacím kabelem (50m)

- Měření relativní výkon udává ztráty (útlum) 50 m optického kabelu.

### Poznámka

Ve skutečnosti útlum odpovídá 49 m kabelu, protože reference byla stanovena propojovacím kabelem délky 1 m.

- Odpojili jsme 50 m dlouhý optický kabel a připojili jej nyní opačně. Změřili jsme opět útlum.
- Změřené útlumy z obou směrů jsme zprůměrnovali a určili měrný útlum  $\alpha$  [dB/m].
- Opakovali jsme proces několikrát a naměřené hodnoty jsme zapsali do tabulky.

### Naměřené hodnoty:

Tab. 4. Hodnoty naměřené na normálním a 50m kabelu

Měření	A[dB]		Průměr	$\alpha$ [db/m]
	A-B	B-A		
1.	-7,2	-7,5	-7,35	-7,35
2.	-19,8	-19,6	-19,7	-0,394
3.	-9,9	-9,6	-9,75	-9,75

- Z naměřených hodnot měrného útlumu jsme spočítali jeho průměrnou hodnotu.

### Závěr

Při mírném ohybu vlákna se v místě ohybu objeví úsek načervenalé barvy. To je způsobeno zvýšeným ohybem vlákna, v jehož místě částečně vychází optické záření ven z vlákna. Vlnová délka 660 nm odpovídá červené barvě. Při zvyšujícím se ohybu vlákna útlum roste.

### 10.3 ÚLOHA 3. MĚŘENÍ ÚTLUMU OPTICKÝCH TRAS

#### Zadání

Určete útlum 50 m optického vlákna (trasy) pomocí tří metod.

#### Přístroje, pomůcky a materiály

- Propojovací kabely
- Optické vlákno dlouho 50 m
- ST konektorové spojky
- Čistící prvky

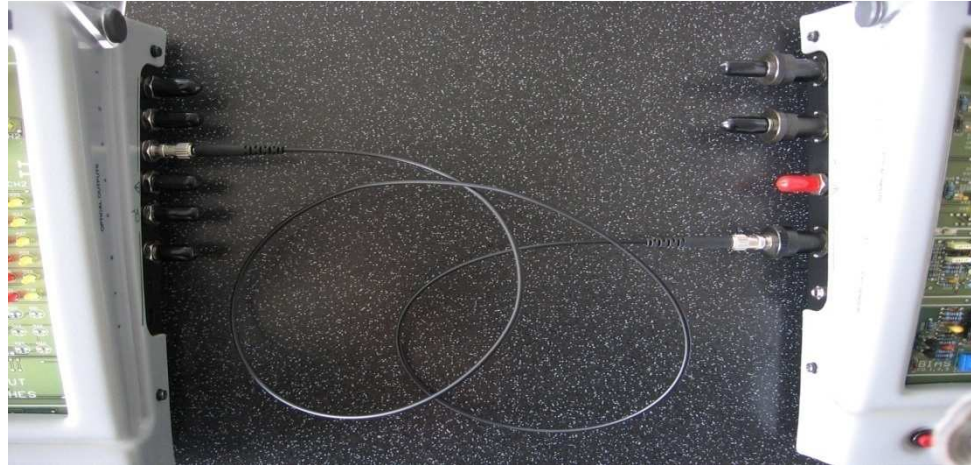
#### Praktické postup

- Nastavení
  - Vysílač:
    - Vstup: DC (bez zapojení) na kanálu CH1
    - mA měření: CH1
    - Optický výstup: Optický zdroj č. 3 (LED 660nm) pro CH1
  - Přijímač:
    - Funkce: DC měření
    - Optický vstup: Fotodetektor č. 4 (Si 2,5 mm)
    - Vlnová délka: 660 nm

#### 1. Metoda:

- Propojili jsme propojovacím kabelem výstup vysílače s odpovídajícím vstupem přijímače.

#### Schéma zapojení:



*Obr. 20. Schéma zapojení propojovacím kabelem*

- Nastavili jsme proud vysílače ( $I_{BIAS}$ ) přibližně na 11 mA. Počkali jsme asi tak 1 minutu pro jeho stabilizaci.
- Stanovili jsme referenční hodnotu měřeného výkonu.
- Zapojili jsme 50 m dlouhé optické vlákno s použitím dvou ST konektorových spojek adaptérů a dalšího propojovacího kabelu.

**Schéma zapojení:**



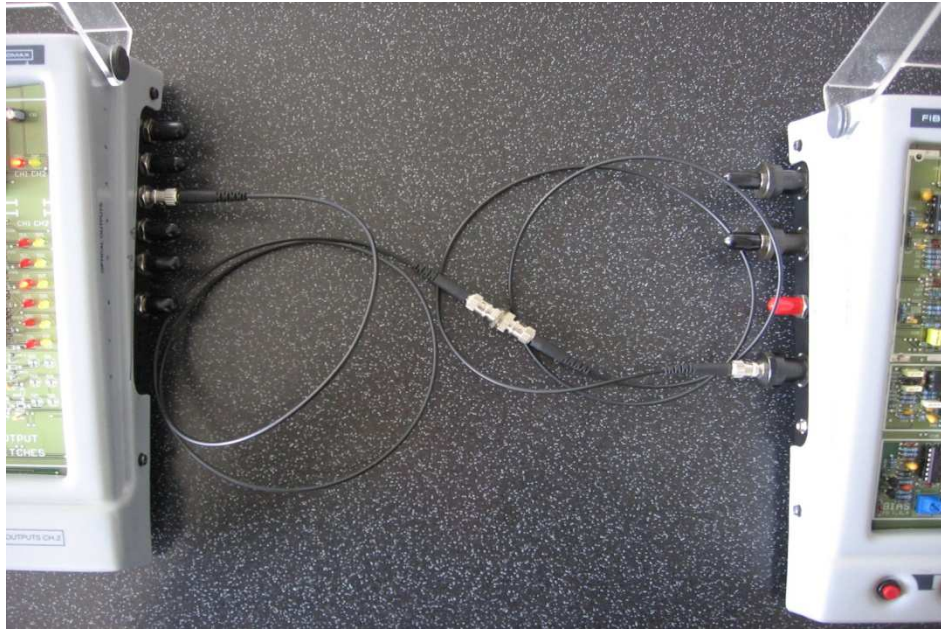
*Obr. 21. Schéma zapojení propojovacím kabelem + ST spojka + 50m propojovací kabel*

- Zapojte 50 m optické vlákno v opačném směru. Opět odečtěte změřený útlum.

**2. Metoda**

- Pomocí dvou propojovacích kabelů a ST konektorové spojky jsme propojili výstup vysílače s příslušným vstupem přijímače.

#### Schéma zapojení:



*Obr. 22. Schéma zapojení propojovacími kabely a ST spojka*

- Nastavili jsme referenční hodnotu napětí.
- Vložili jsme mezi propojovací kabely 50 m dlouhé optické vlákno s pomocí další ST konektorové spojky.

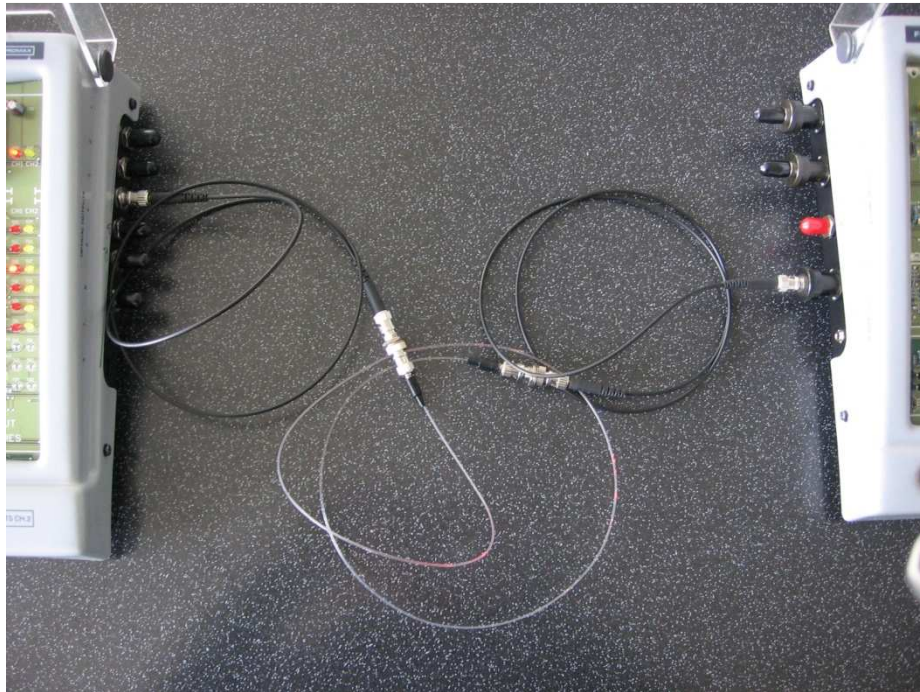
#### Schéma zapojení:

- Viz obr. 21.
- Na wattmetru jsme odečetli změřený útlum.

### 3. Metoda

- Pomocí 3 propojených kabelů a 2 ST konektorových spojek jsme propojili výstup vysílače s odpovídajícím vstupem přijímače.

#### Schéma zapojení:



Obr. 23. Schéma zapojení propojovacími kabely + ST spojka + propojovacím vláknem

- Nastavte referenční hodnotu měřeného výkonu.
- Nahrad'te referenční propojovací kabel o délce 50 m optickým vláknem.

#### Schéma zapojení:

- Viz obr. 21.
- Na wattmetru jsme odečetli změřený útlum.
- Zapojili jsme optické vlákno o délce 50 m v opačném směru. Opět jsme odečetli změřený útlum.

#### Naměřené hodnoty:

$I_{BIAS}$  11mA, výkon při 660 nm = 176  $\mu$ W

Tab. 5. Hodnoty naměřené při proudu  $I_{BIAS}$  11 mA

metoda	A[dB]		Průměrná hodnota
	A-B	B-A	
1. 176 $\mu$ W	3,4	3,6	3,5 $\mu$ W
2. 125 $\mu$ W	3,5	3,5	3,5 $\mu$ W
3. 65 $\mu$ W	3,4	3,4	3,4 $\mu$ W

**Závěr:**

Každá ze tří metod má své výhody i nevýhody. Záleží na jakou vzdálenost měření provádíme, zda využijeme 50 metrů kabelu v celé jeho délce. Podle požadavků na měření použijeme příslušnou metodu. Jestli kabel během měření otočíme opačně, měření se tím ovlivní zcela nepatrně. U každé metody je stejná hodnota měřeného výkonu.

## 10.4 ÚLOHA 4: SPEKTRÁLNÍ ZÁVISLOST ÚTLUMU OPTICKÉHO VLÁKNA

**Zadání:**

Určete vliv frekvence (nebo vlnové délky) na útlum optického vlákna

**Přístroje, pomůcky a materiály:**

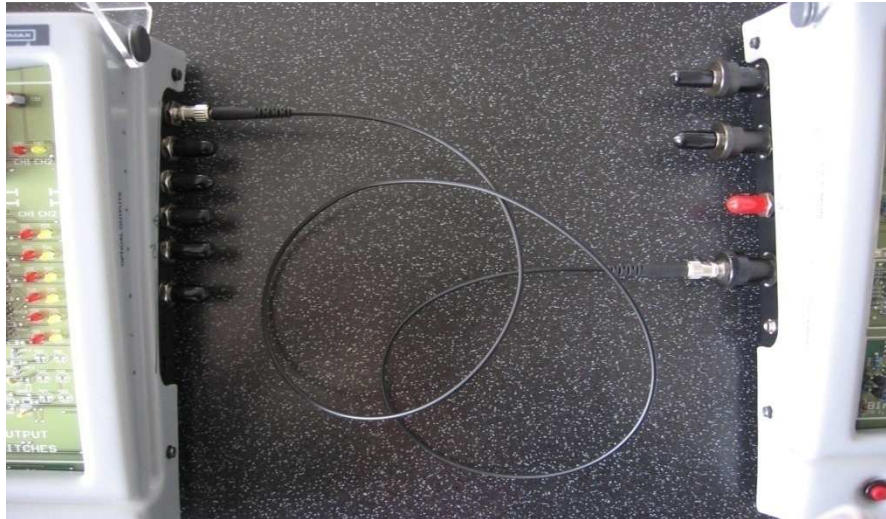
- Propojovací kabely
- Optické vlákno dlouhé 50m
- ST konektorová spojka
- čistící prvky

**Praktický postup:**

Nasměřujte konec 50m optického vlákna k bílému a silnému okolnímu světlu, např.: slunečnímu světlu z okna nebo světlu ze žárovky. Všimněte si, že světlo na druhém konci vlákna není již bílé. To je způsobeno závislostí útlumu optického vlákna na frekvenci, resp. Vlnové délce optického záření.

- Nastavení
  - Vysílač:
    - Vstup: DC (bez zapojení) na kanálu CH1
    - mA měření: CH1
    - Optický výstup: Optický zdroj č. 1 (LED 526nm) pro CH1
  - Přijímač:
    - Funkce: DC měření
    - Optický vstup: Fotodetektor č. 4 (Si 2,5 mm)

- Vlnová délka: 526 nm
- Spojíme propojovacím kabelem výstup vysílače s jemu odpovídajícím vstupem přijímače

**Schéma zapojení:**

*Obr. 24. Schéma zapojení propojovacím kabelem*

- Nastavte proud vysílače ( $I_{\text{BIAS}}$ ) přibližně na 15 mA. Počkejte asi 1 minutu, aby se stabilizoval.
- Stanovte na optickém wattmetru referenční hodnotu měřeného výkonu.
- Zaměňte propojovací kabel za 50m optické vlákno

**Schéma zapojení:**



Obr. 25. Schéma zapojení propojovacím kabelem (50m)

- Přečtete na wattmetru změřený útlum pro vlnovou délku 526nm.
- Opakujte postup měření i pro ostatní zdroje záření uvedené v tabulce. Proud nastavte dle tabulky.

Tab. 6. Hodnoty pro nastavení měření

Zdroj záření č.	Vlnová délka (nm)	Proud (mA)
2	590	15
3	660	11
4	850	17
6	1300	100

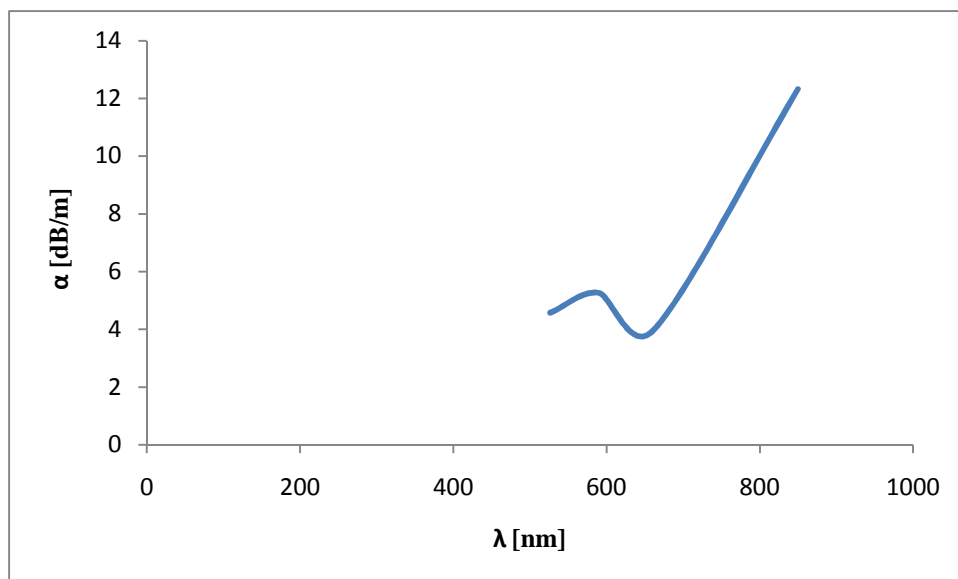
- Při měření útlumu vlnové délky 1300nm (i 850nm), kde měrný útlum vlákna dosahuje vysokých hodnot (více než 1dB/m), by měřený výkon po průchodu 50m optickým vláknem byl pod měřitelnou mezí a proto je potřeba pro tuto vlnovou délku použít namísto 50m optického vlákna optický propojovací kabel délky pouze 1m.
- Z naměřených hodnot spočítejte měrný útlum  $\propto \text{dB/m}$  pro jednotlivé vlnové délky.

Tab. 7. Spočítaný měrný útlum pro jednotlivé vlnové délky

$\Lambda$ [nm]	A [dB]	$\alpha$ [dB/m]
526	22,84	4,57
590	26,33	5,26
66	19,69	3,94
850	61,59	12,32
1300	Nelze	Nelze

$$\alpha \text{ dB/km} = \frac{10}{L} A(\text{dB})$$

L... 50metrů



Graf 1. Závislost měrného útlumu na vlnové délce

### Závěr:

Při měření zdroje č. 1 jsme použili 50 m kabel a zvolili referenční hodnotu výkonu  $P=18,2 \mu\text{W}$  a odečetli útlum. Poté jsme dopočítali měrný útlum  $\alpha$  a opakovali měření pro další zdroje. U zdroje č. 6 s vlnovou délkou 1300 dB nebylo možné nastavit proud ani nebylo možné navolit na přijímači požadovanou vlnovou délku 1300dB.

## 10.5 ÚLOHA 5. VLIV OKOLNÍHO OPTICKÉHO ZÁŘENÍ

### Zadání:

Analyzujte vliv, který má okolní světlo na optická vlákna.

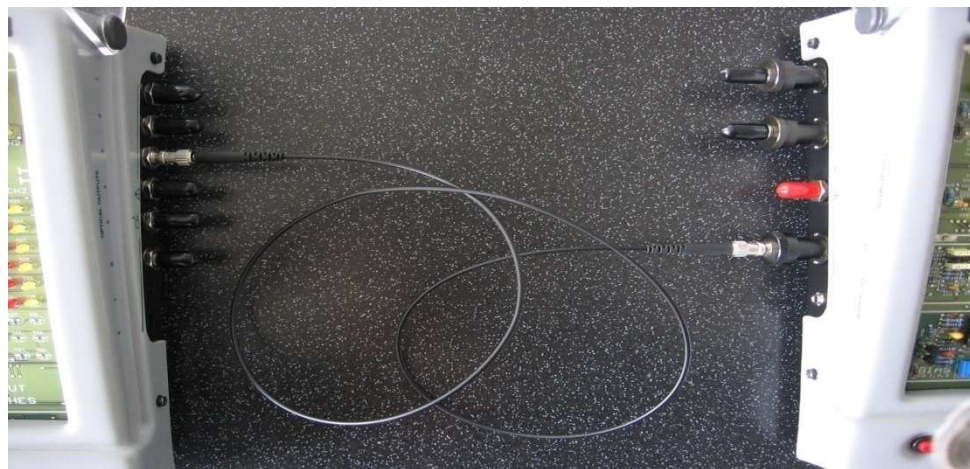
### Přístroje, pomůcky a materiály:

- Propojovací kabely
- Propojovací vlákno
- Čistící prvky

### Praktický postup:

- Nastavení
  - Vysílač:
    - Všechny výstupy odpojené
  - Přijímač:
    - Funkce: DC měření
    - Optický vstup: Fotodetektor č. 4 (Si 2,5 mm)
    - Vlnová délka: 660 nm
- Najděte takové místo pro měření, kde je okolní světlo dostatečně intenzivní např. pod lampou, u okna.
- Spojte propojovacím kabelem optický zdroj č. 3 (LED 660nm) a jemu odpovídající fotodetektor. Neaktivujte žádný výstup zdroje.

### Schéma zapojení:

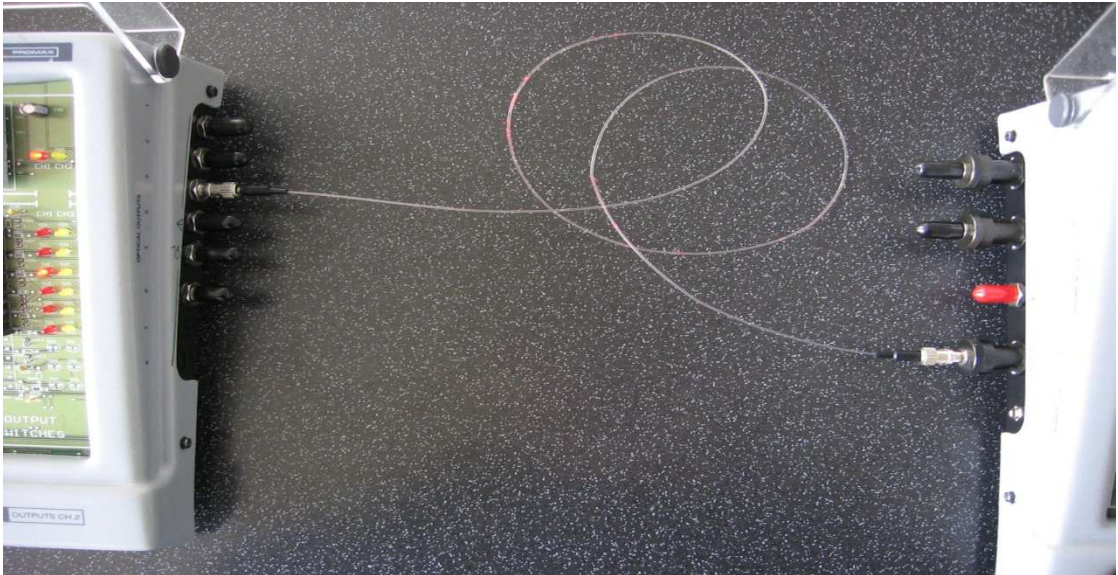


Obr. 26. Schéma zapojení propojovacím kabelem

- Změřte detekovaný výkon:

- Nahradte propojovací kabel propojovacím vláknem. Neaktivujte žádný výstup vysílače.

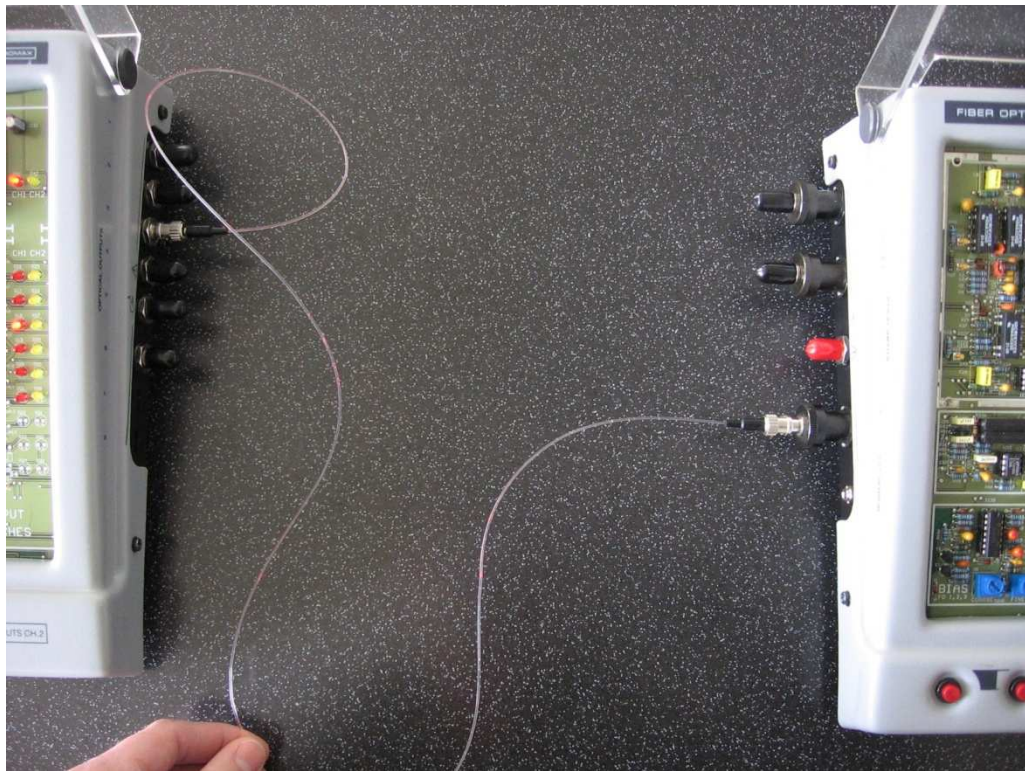
### Schéma zapojení:



Obr. 27. Schéma zapojení propojovacím vláknem

- Změřte detekovaný výkon. Pokud se na displeji objeví INPUT TOO LOW, najděte jiné místo pro měření s větší intenzitou okolního světla.
- Demonstrujte, jak vzrůstá okolní optický výkon zachycený optickým vláknem, pokud je vlákno ohnuté. Jako okolní intenzivní světlo použijeme zdroj č. 5 (Laser 650nm). Proud  $I_{BIAS}$  nastavte na hodnotu 22mA.
- Propojovací vlákno ponechte zapojené k neaktivnímu zdroji č. 3(LED 660nm).
- Ohněte propojovací vlákno před LASERové optické záření tak, jak ukazuje následující obrázek



**Schéma zapojení:**

*Obr. 28. Deformované optické vlákno*

- Změřte výkon, který se naváže v místě ohybu do vlákna.
- Vlákno je trochu deformované, paradox je, že při ohnutém propojovacím kabelu je vyšší výkon.
- Nyní změňte na přijímači měřící režim na 1kHz
- Zvolte na zdroji vstup generátoru. Vyberte pravouhlou křivku.
- Nastavte proud laseru  $I_{\text{BIAS}}$  přibližně na 10 mA a nastavte na zdroji potenciometr GAIN přibližně do střední polohy.
- Udržujte zakřivené propojovací vlákno před laserovým optickým zářením a změřte navázaný optický výkon.

**Naměřené hodnoty:**

Detekovaný výkon na zdroji č.3 (660nm):

Optický kabel:

0,56  $\mu\text{W}$

Optické vlákno:

0,46  $\mu\text{W}$

Detekovaný výkon na zdroji č.5 ( Laser 650nm):

Propojovací vlákno - 202  $\mu\text{W}$

Propojovací vlákno - ohnuté - 205  $\mu\text{W}$

Propojovací vlákno - deformované - 210  $\mu\text{W}$

Navázaný optický výkon, při 1kHz:

Vstup generátoru – pravouhlý, optický výkon - 188  $\mu\text{W}$

### **Závěr:**

V měřícím režimu 1kHz jsme nenaměřili žádnou hodnotu, frekvence je extrémně nízká. Při změně frekvence se sníží proud, proto jsme naměřili navázaný výkon.

## **10.6 ÚLOHA 6: SPOJENÍ OPTICKÝCH VLÁKEN POUŽITÍM ST KONEKTOROVÝCH SPOJEK: MĚŘENÍ OPAKOVATELNOSTI SPOJENÍ**

### **Zadání:**

Určete průměrnou hodnotu útlumu spojení optických vláken pomocí ST konektorových spojek.

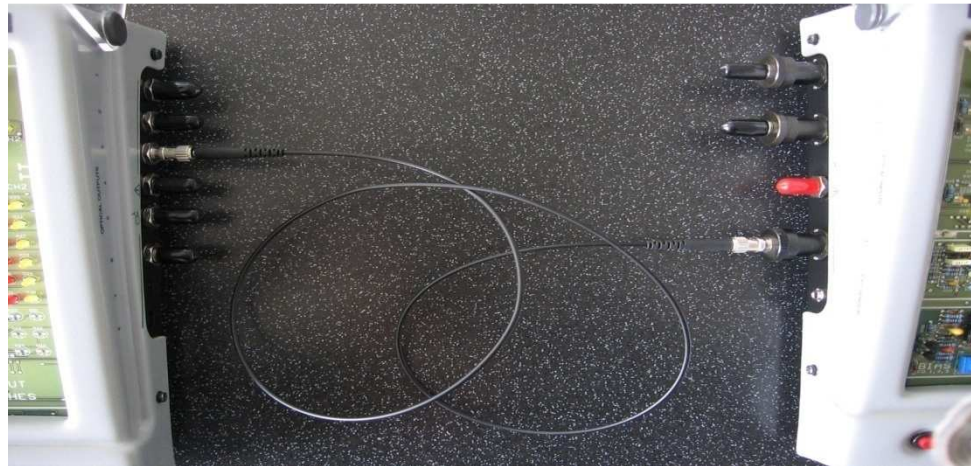
### **Přístroje, pomůcky a materiály:**

- Propojovací kabely
- ST konektorové spojky
- Čistící prvky

### **Praktický postup**

- Nastavení
  - o Vysílač:
    - Vstup: DC (bez zapojení) na kanálu CH1
    - mA měření: CH1
    - Optický výstup: Optický zdroj č. 3 (LED 660nm) pro CH1
  - o Přijímač:
    - Funkce: DC měření

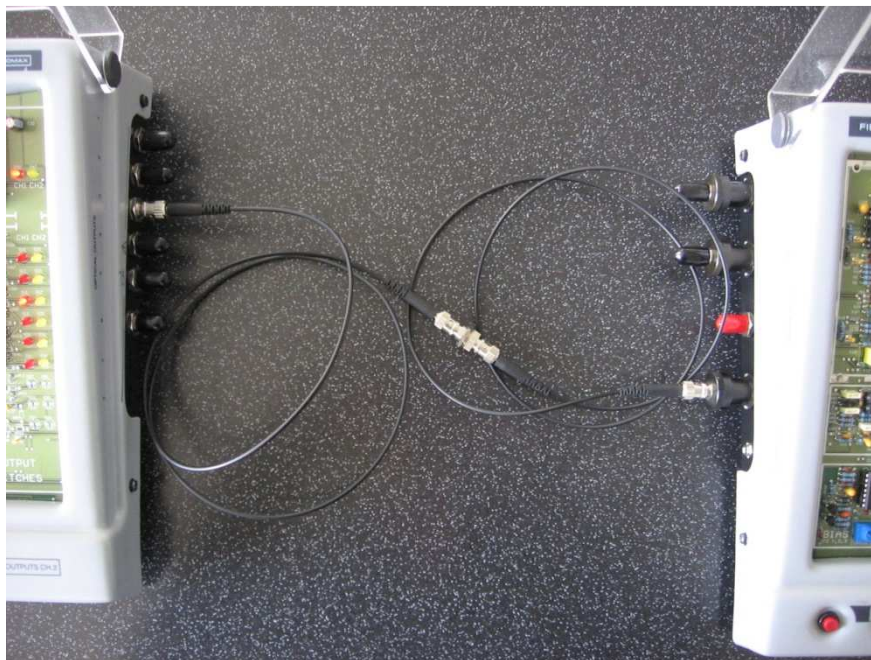
- Optický vstup: Fotodetektor č. 4 (Si 2,5 mm)
  - Vlnová délka: 660 nm
- Spojte propojovacím kabelem výstup vysílače s jemu odpovídajícím vstupem přijímače.

**Schéma zapojení:**

*Obr. 29. Schéma zapojení propojovacím kabelem*

- Nastavte proud vysílače  $I_{BIAS}$  přibližně na 11mA. Počkejte 1 minutu na jeho stabilizaci.
- Nastavte referenční hodnotu měřeného výkonu.
- 660 nm - 281  $\mu$ W referenční výkon
- Vložte další propojovací kabel pomocí ST konektorové spojky.

**Schéma zapojení:**



Obr. 30. Schéma zapojení propojovací kabely a ST spojka

- Útlum - 8,68 dBm propojovací spojka ST.
- Odpojte ST konektorovou spojku a vložte j v opačném směru. Opět odečtěte změřený útlum. Spočítejte průměrnou hodnotu útlumu ST konektorové spojky.
- Vyměněná spojka - 8,64dBm
- Opakujte tento postup celkem 5x. Naměřené výsledky zapište do tabulky.

#### Naměřené hodnoty:

Tab. 8. Naměřené hodnoty při použití ST konektorových spojek

Měření	A [dB]					
	ST konektorová spojka 1			ST konektorová spojka 2		
	A - B	B - A	Prům.hodnota	A - B	B - A	Prům.hodnota
1	8,56	8,58	8,57	8,55	8,55	8,55
2	8,59	8,57	8,58	8,56	8,57	8,565
3	8,56	8,57	8,565	8,52	8,53	8,525
4	8,55	8,54	8,545	8,56	8,57	8,565
5	8,56	8,57	8,56	8,55	8,54	8,545
MAX	8,59	8,58	8,58	8,56	8,57	8,565

MIN	8,55	8,54	8,545	8,52	8,53	8,525
$\Delta_{\max}$	0,01			0,005		

$\Delta_{\max} = \text{MAX} - \text{průměrná hodnota}$

### Závěr:

Z údajů uvedených v tabulce vyplývá, že při pokud se neliší útlumy ST spojek, tak poté se neliší ani útlum signálu na celé trase. Rozdíly hodnot jsou téměř zanedbatelné.

## 10.7 ÚLOHA 7: MĚŘENÍ PŘEVODNÍCH (W/A) CHARAKTERISTIK ZDROJŮ ZÁŘENÍ

### Zadání:

Změřte typické W/A charakteristiky LED a LASERových zdrojů záření

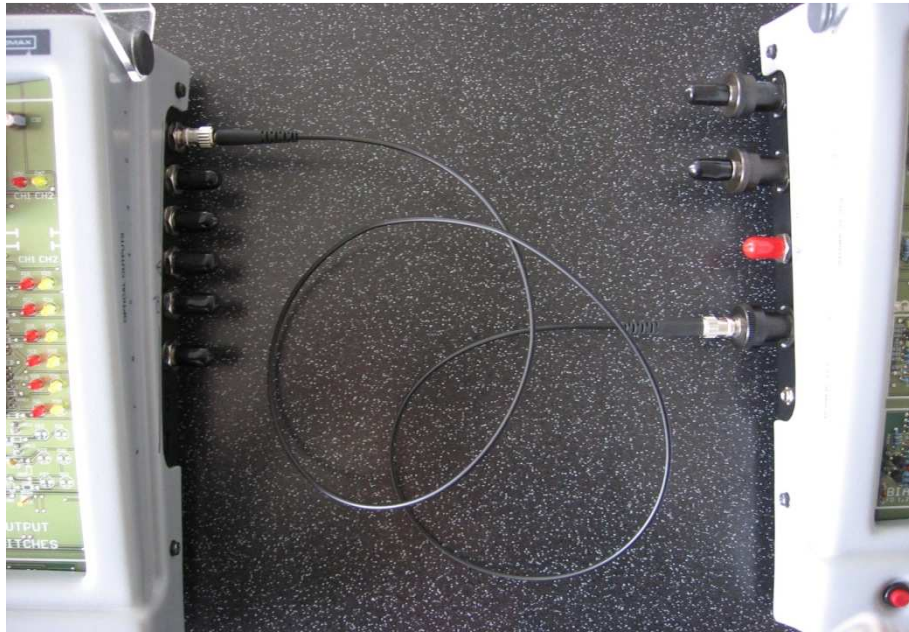
### Přístroje, pomůcky a materiály:

Propojovací kabely, čistící prvky

### Praktický postup:

- Nastavení
  - o Vysílač:
    - Vstup: DC (bez zapojení) na kanálu CH1
    - mA měření: CH1
    - Optický výstup: Optický zdroj č. 1 (LED 526nm) pro CH1
  - o Přijímač:
    - Funkce: DC měření
    - Optický vstup: Fotodetektor č. 4 (Si 2,5 mm)
    - Vlnová délka: 526 nm
- Spojíme propojovacím kabelem výstup vysílače s jemu odpovídajícím vstupem přijímače

### Schéma zapojení:



Obr. 31. Schéma zapojení propojovacím kabelem

- Zvyšujte proud zdroje ( $I_{\text{BIAS}}$ ) z minima do maxima po 2 mA. Zaznamenejte odpovídající změřený výkon (W) pro W/A charakteristiku zdroje.
- Zopakujte předchozí postup pro zdroj záření č.2 (LED 590nm), č.3 (LED 660nm), č.4 (LED 850nm), č.5 (LED 650nm). U laserového zdroje podrobněji proměřte oblast prahového napětí.

### Poznámka

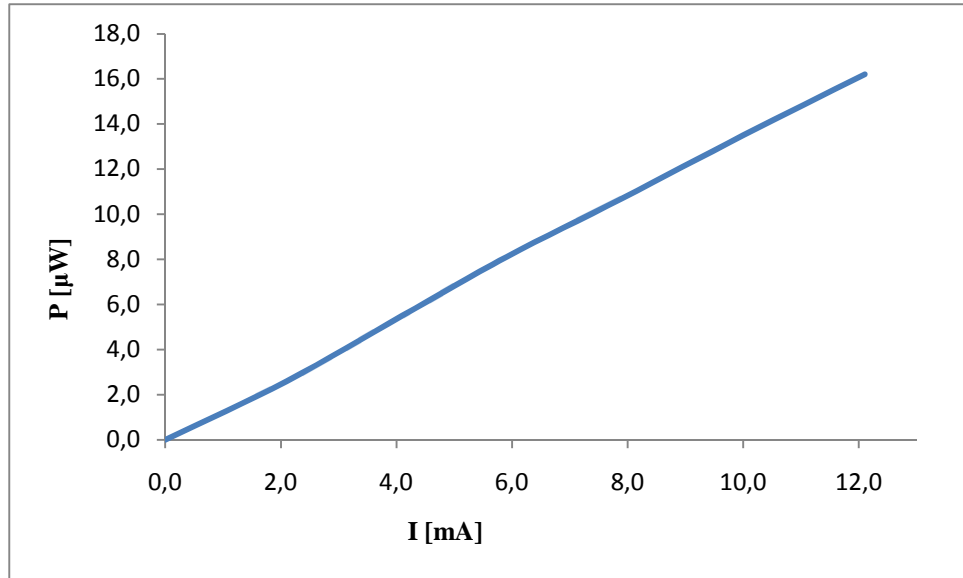
- Laser je použit bez zpětné vazby.

### Naměřené hodnoty:

Zdroj č.1 - 526 nm

Tab. 9. Naměřené hodnoty pro zdroj č. 1 – 526 nm

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
<b>I[mA]</b>	0,0	2,1	4,1	5,9	7,9	10,0	12,1
<b>P<math>\mu</math>[W]</b>	0,0	2,6	5,5	8,1	10,7	13,5	16,2

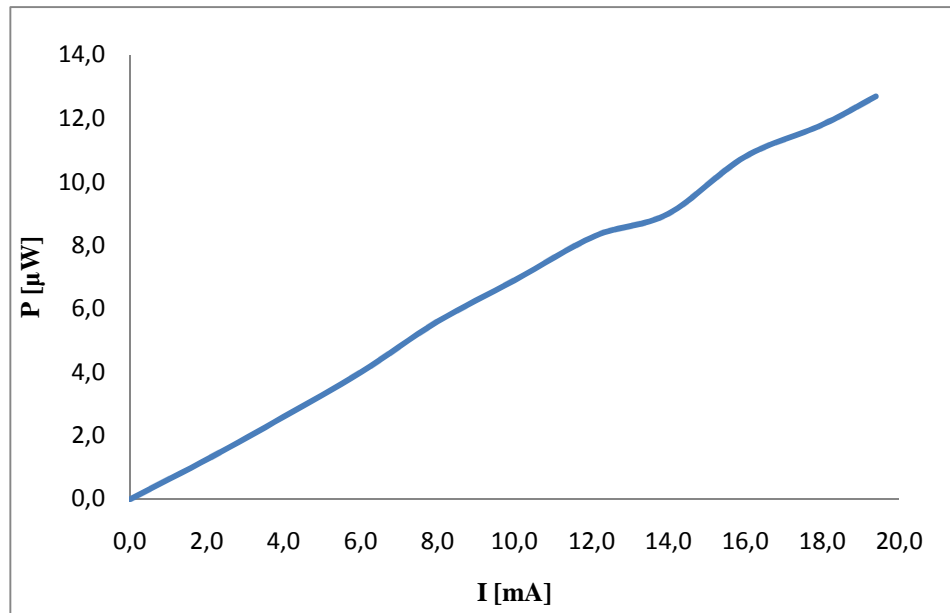


Graf 2. Závislost výkonu diody č. 1 na nastaveném proudu

Zdroj č.2 - 590nm

Tab. 10. Naměřené hodnoty pro zdroj č. 2 – 590 nm

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.
<b>I[mA]</b>	0,0	2,1	4,0	6,0	8,0	10,0	12,1	14,0	16,0	18,0	19,4
<b>Pμ[W]</b>	0,0	1,3	2,6	4,0	5,6	6,9	8,3	9,0	10,8	11,8	12,7

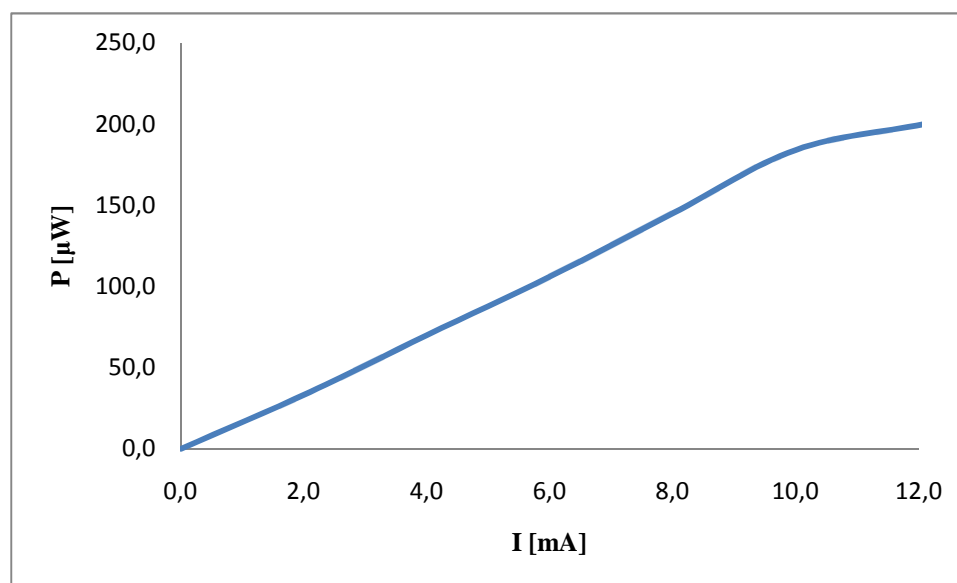


Graf 3. Závislost výkonu diody č. 2 na nastaveném proudu

Zdroj č.3 - 660nm

Tab. 11. Naměřené hodnoty pro zdroj č. 3 – 660 nm

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
<b>I[mA]</b>	0,0	2,1	4,0	6,0	8,0	10,0	12,1
<b>P<math>\mu</math>[W]</b>	0,0	35,0	70,0	106,0	145,0	184,0	200,0

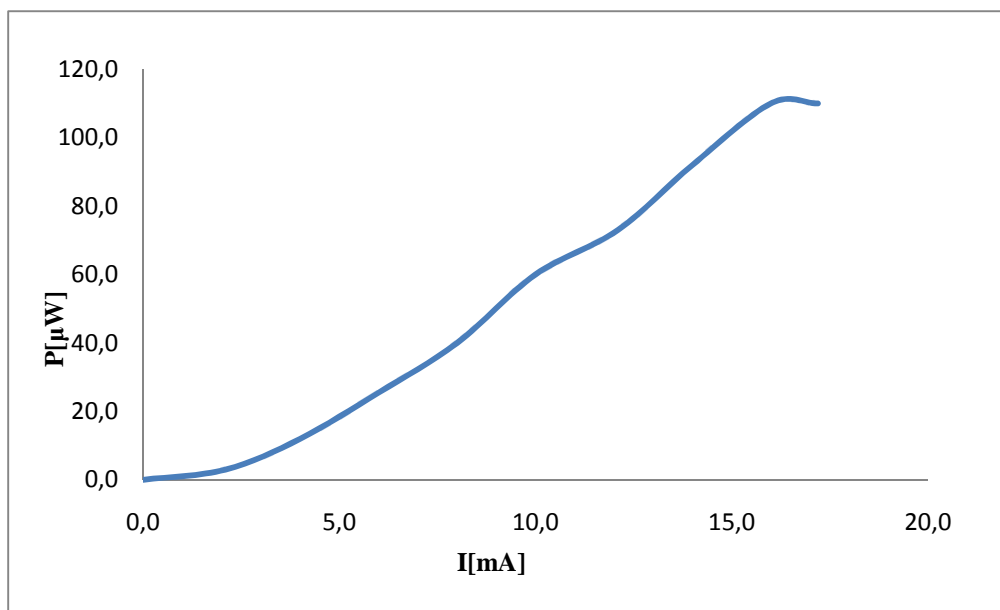


Graf 4. Závislost výkonu diody č. 3 na nastaveném proudu

Zdroj č.4 - 850nm

Tab. 12. Naměřené hodnoty pro zdroj č. 4 – 850 nm

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
<b>I[mA]</b>	0,0	2,1	4,0	6,0	8,0	10,0	12,1	14,0	16,0	17,2
<b>P<math>\mu</math>[W]</b>	0,0	3,0	12,0	25,5	40,0	60,0	73,0	92,0	110,0	110,0

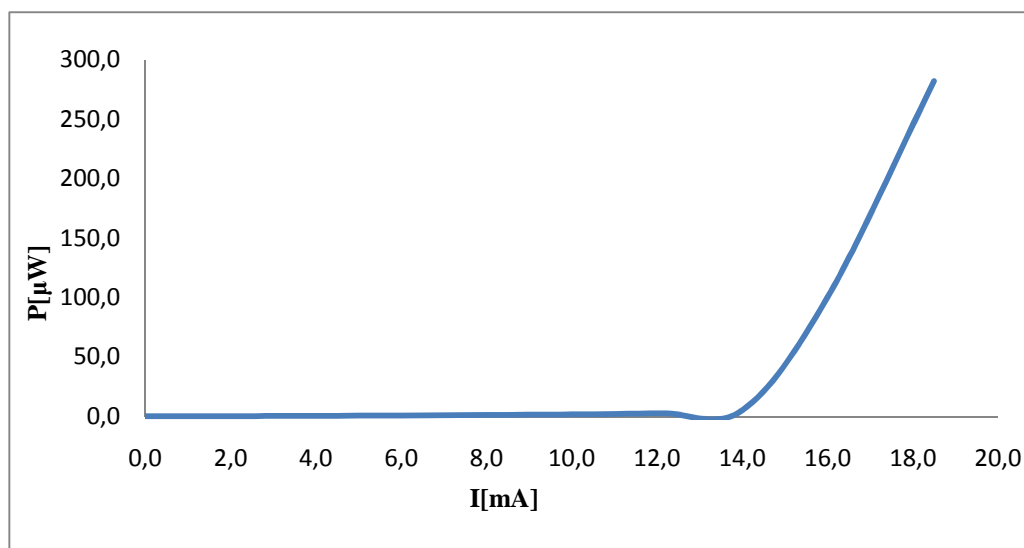


Graf 5. Závislost výkonu diody č. 4 na nastaveném proudu

Zdroj č.5 - 650nm

Tab. 13. Naměřené hodnoty pro zdroj č. 5 – 650 nm

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
I[mA]	0,0	2,1	4,0	6,0	8,0	10,0	12,1	14,0	16,0	18,5
P[μW]	0,0	0,1	0,4	0,7	1,1	1,6	2,6	5,0	100,0	282,0



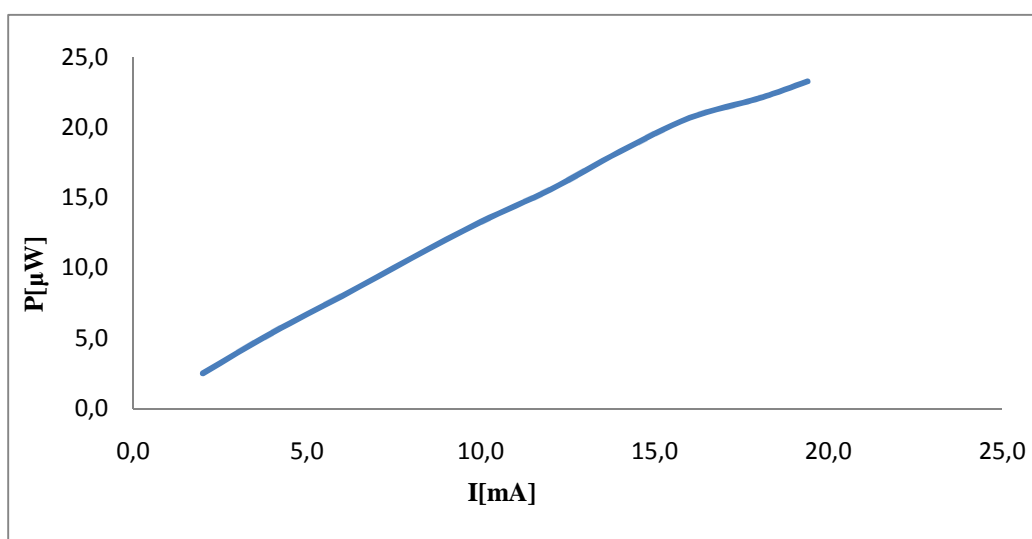
Graf 6. Závislost výkonu diody č. 5 na nastaveném proudu

- Měření zopakujte s tím rozdílem, že budete proud snižovat od maxima do minima. Po nastavení maximální hodnoty proudu zdroje počkejte před jeho snižováním cca 1 min.

Zdroj č. 1 526nm

Tab. 14. Naměřené hodnoty pro zdroj č. 1 – 526 nm

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
<b>I[mA]</b>	19,4	18,0	16,0	14,0	12,0	10,0	8,0	6,0	4,0	2,0
<b>P[μW]</b>	23,3	22,1	20,7	18,3	15,6	13,3	10,7	8,0	5,4	2,5

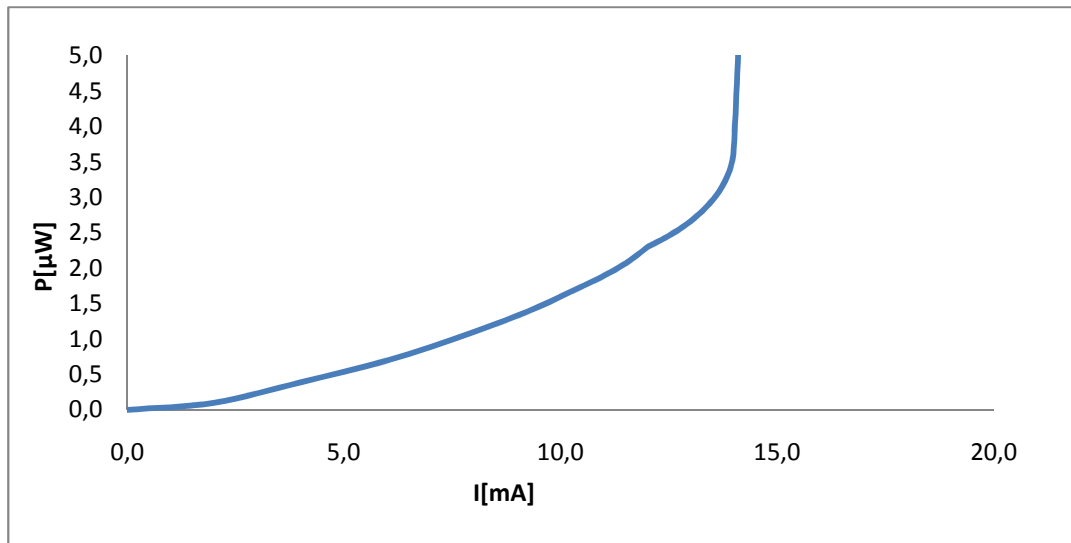


Graf 7. Závislost výkonu diody č. 1 na nastaveném proudu

Zdroj č. 5 - 650nm

Tab. 15. Naměřené hodnoty pro zdroj č. 5 – 650 nm

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
<b>I[mA]</b>	18,4	16,0	14,0	12,0	10,0	8,0	6,0	4,0	2,0	0,0
<b>P[μW]</b>	257,0	52,0	3,7	2,3	1,6	1,1	0,7	0,4	0,1	0,0



Graf 8. Závislost výkonu diody č. 5 na nastaveném proudu (větší měřítko)

#### Závěr:

Při měření snižováním proudu od maxima do minima, jsme vyzkoušeli pouze pro dva zdroje (1 a 5). Výsledky měření byly téměř shodné s měření od minima do maxima, proto jsme zbylé tři zdroje neměřili a čas tím získaný jsme využili k dalším cvičením.

## 10.8 ÚLOHA 8: MĚŘENÍ STABILITY VÝKONU ZDROJŮ OPTICKÉHO ZÁŘENÍ

#### Zadání:

Změřte stabilitu výstupního výkonu zdrojů optického záření

#### Přístroje, pomůcky a materiály:

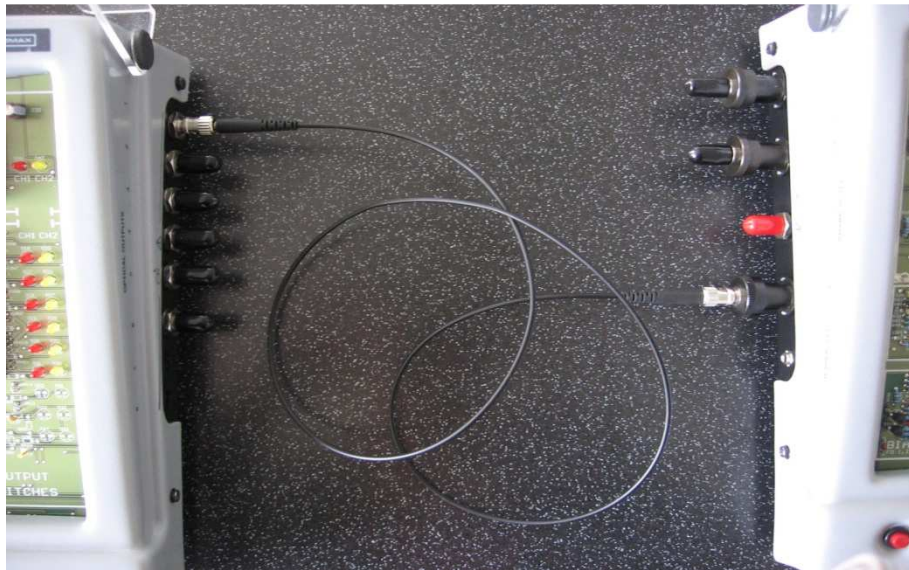
- Propojovací kabely
- Čistící prvky

#### Praktický postup:

- Nastavení
  - Vysílač:
    - Vstup: DC (bez zapojení) na kanálu CH1
    - mA měření: CH1
    - Optický výstup: Optický zdroj č. 1 (LED 526nm) pro CH1

- Přijímač:
  - Funkce: DC měření
  - Optický vstup: Fotodetektor č. 4 (Si 2,5 mm)
  - Vlnová délka: 526 nm
- Spojíme propojovacím kabelem výstup vysílače s jemu odpovídajícím vstupem přijímače

### Schéma zapojení:



Obr. 32. Schéma zapojení propojovacím kabelem

- Nastavte proud vysílače  $I_{\text{BIAS}}$  podle tabulky.

Tab. 16. Hodnoty pro měření

Zdroj záření č.	Vlnová délka (nm)	Proud (mA)
1	526	10
2	590	15
3	660	11
4	850	17
5	650	25

- Bezprostředně po nastavení proudu zaznamenávejte po dobu 5 min hodnoty výkonu [dBm] v intervalech po 10 s během 1. Minuty a pak po minutě až do dosažené 5 minut.

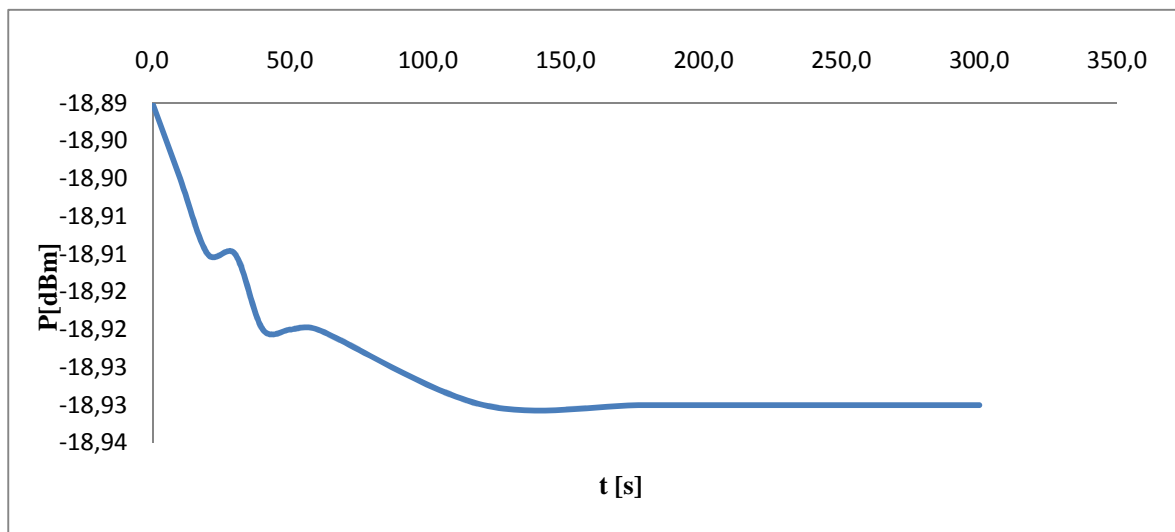
- Celý postup opakujte pro zdroje záření č.2 (LED 590nm), č.3 (LED 660nm), č.4 (LED 850nm), č.5 (LED 650nm). V případě laseru se zpětnou vazbou i bez zpětné vazby.

### Naměřené hodnoty:

Zdroj č. 1 526 nm

Tab. 17. Hodnoty výkonu zdroje č.1 - 526nm

t[s]	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	120,0	180,0	240,0	300,0
P[dBm]	-18,89	-18,90	-18,91	-18,91	-18,92	-18,92	-18,92	-18,93	-18,93	-18,93	-18,93

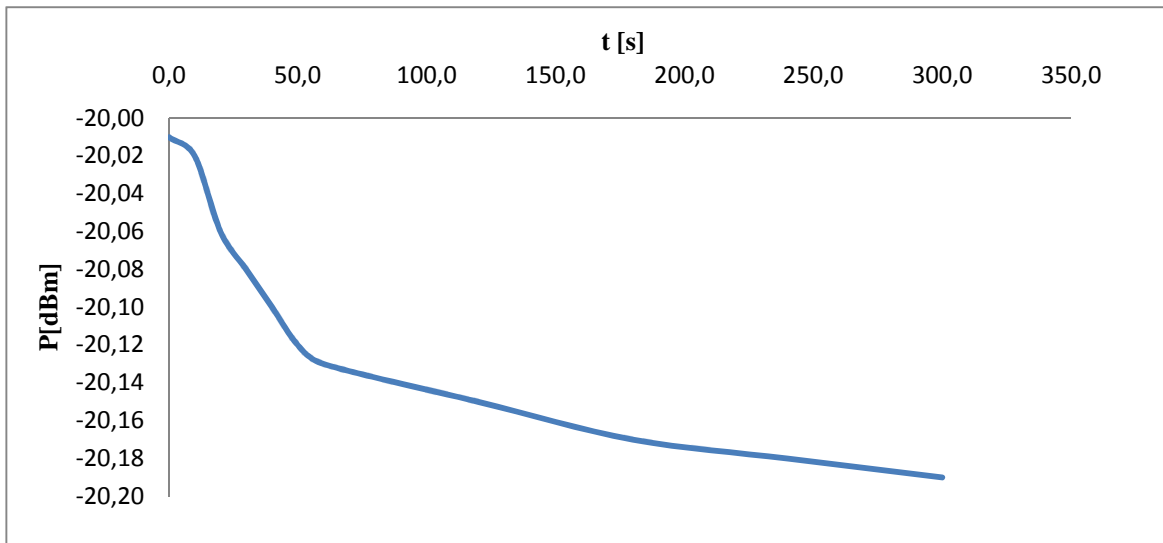


Graf 9. Útlum diody č. 1 v závislosti na čase

Zdroj č.2 590nm

Tab. 18. Hodnoty výkonu zdroje č.2 - 590nm

t[s]	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	120,0	180,0	240,0	300,0
P[dBm]	-20,01	-20,02	-20,06	-20,08	-20,10	-20,12	-20,13	-20,15	-20,17	-20,18	-20,19

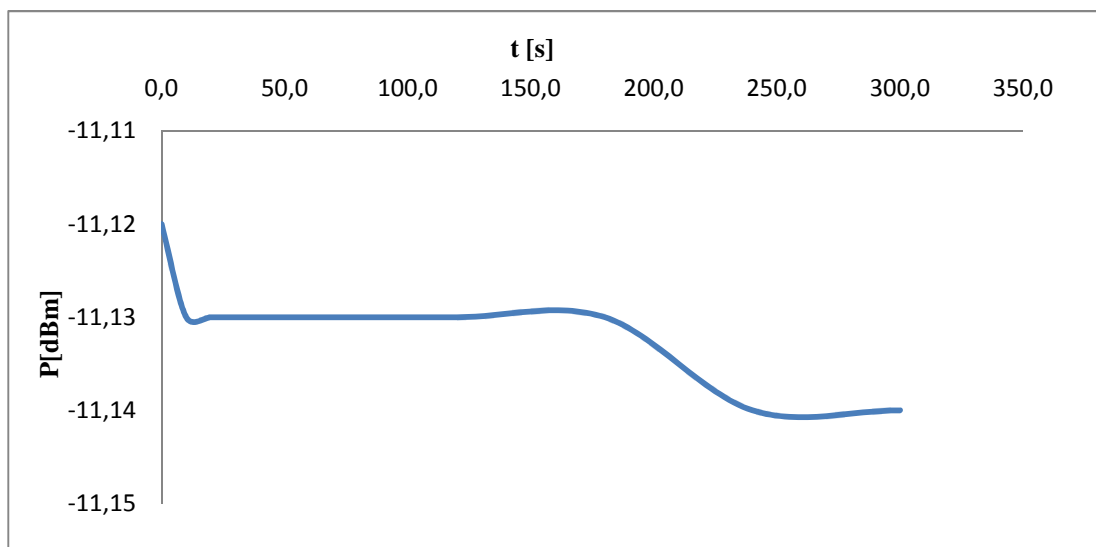


Graf 10. Útlum diody č. 2 v závislosti na čase

Zdroj č.3 660nm

Tab. 19. Hodnoty výkonu zdroje č.3 - 660nm

t[s]	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	120,0	180,0	240,0	300,0
P[dBm]	-11,12	-11,13	-11,13	-11,13	-11,13	-11,13	-11,13	-11,13	-11,13	-11,14	-11,14

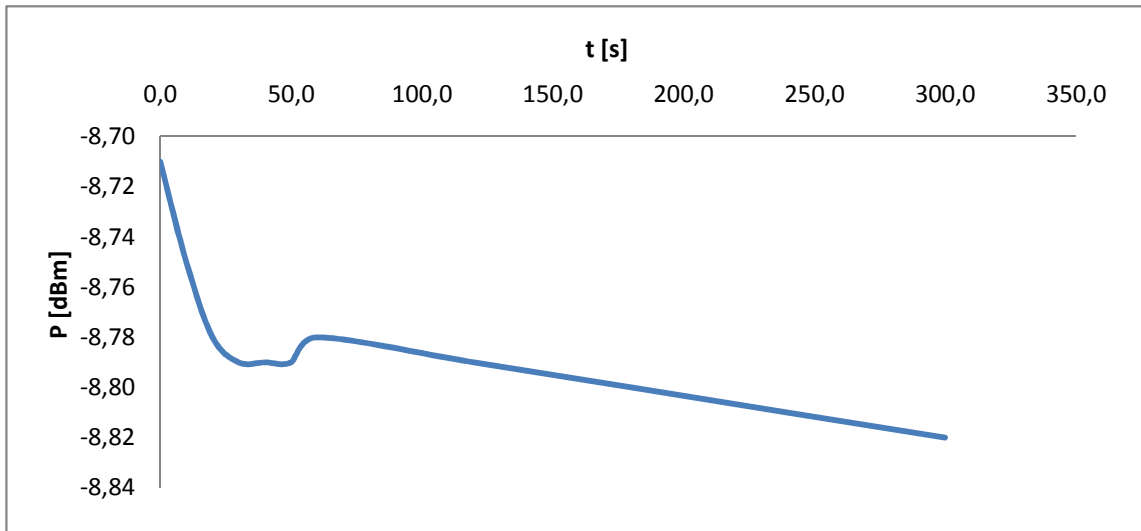


Graf 11. Útlum diody č. 3 v závislosti na čase

Zdroj č.4 850nm

Tab. 20. Hodnoty výkonu zdroje č.4 - 850nm

t[s]	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	120,0	180,0	240,0	300,0
P[dBm]	-8,71	-8,75	-8,78	-8,79	-8,79	-8,79	-8,78	-8,79	-8,80	-8,81	-8,82

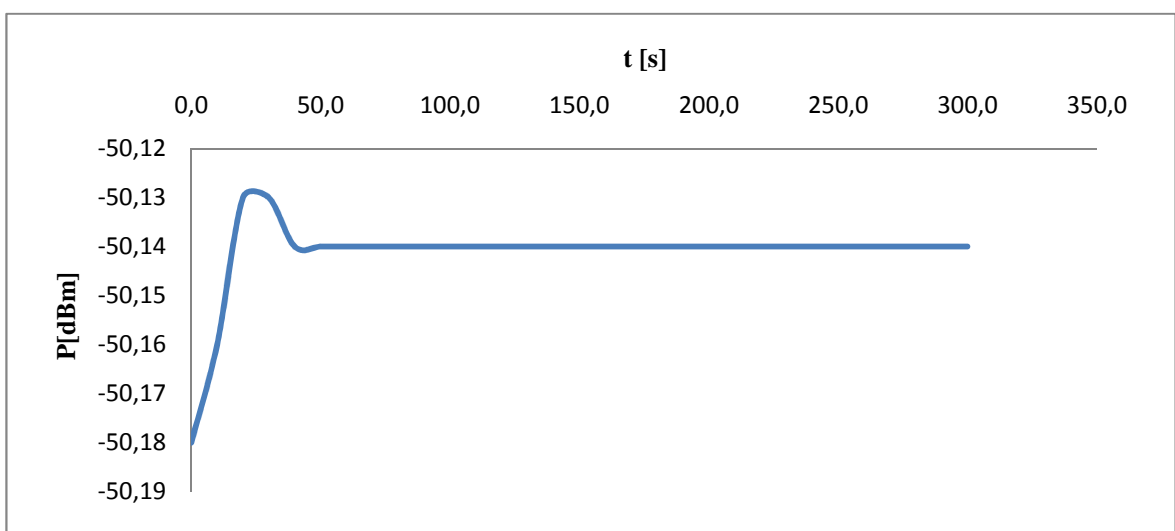


Graf 12. Útlum diody č. 4 v závislosti na čase

Zdroj č. 5 650nm

Tab. 21. Hodnoty výkonu zdroje č.5 - 650nm

t[s]	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	120,0	180,0	240,0	300,0
P[dBm]	-50,18	-50,16	-50,13	-50,13	-50,14	-50,14	-50,14	-50,14	-50,14	-50,14	-50,14



Graf 13. Útlum diody č. 1 v závislosti na čase

**Závěr:**

V této úloze jsme měřili stabilitu výkonu jednotlivých zdrojů záření. Důležité bylo, aby každé měření začínalo ze stejných podmínek. Tzn. každý kanál byl zapnut, až v době připojení kabelu, tím jsme docílili toho, že na grafech je vidět průběh ustálení útlumu jednotlivých kanálů.

## 10.9 ÚLOHA 9: MĚŘENÍ V/A CHARAKTERISTIK ZDROJŮ OPTICKÉHO ZÁŘENÍ

### Zadání:

Změřte V/A charakteristiky různých zdrojů optického záření.

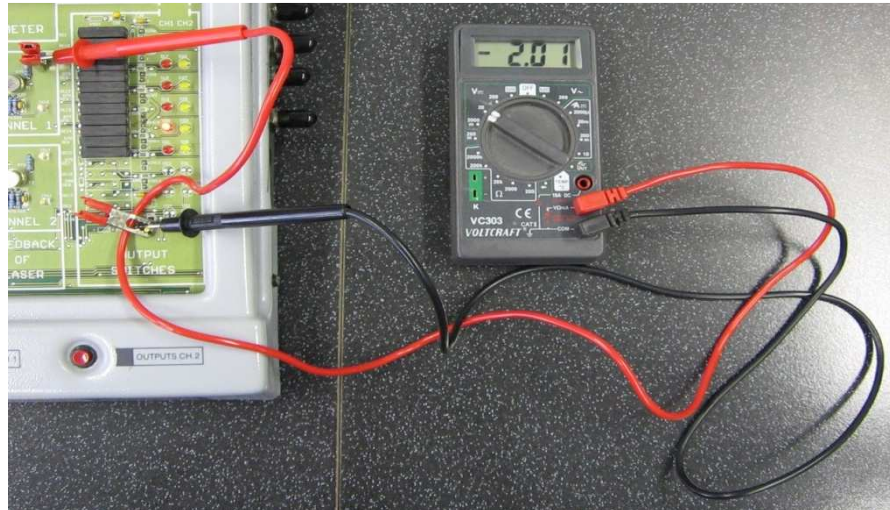
### Přístroje, pomůcky a materiály:

- Voltmetr

### Praktický postup:

- Nastavení
  - Vysílač:
    - Vstup: DC (bez zapojení) na kanálu CH1
    - mA měření: CH1
    - Optický výstup: Optický zdroj č. 1 (LED 526nm) pro CH1
- Zapojte voltmetr mezi měřicí body TP11 a TP24 na vysílači, mezi kterými budete odečítat napětí na zdroji záření
- Zvyšujte proud zdroje ( $I_{BIAS}$ ) z minima do maxima po 1 mA. Zaznamenejte odpovídající napětí na zdroji záření.
- Celý postup opakujte pro zdroje záření č.2 (LED 590nm), č.3 (LED 660nm), č.4 (LED 850nm), č.5 (LED 650nm) bez zpětné vazby.

### Schéma zapojení:



Obr. 33. Zapojení voltmetru při měření závěrného napětí

**Naměřené hodnoty:**

Tab. 22. Proud zdroje č. 1 (526 nm) a k němu odpovídající napětí

<b>I[mA]</b>	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
<b>U[V]</b>	0	2,7	2,9	3,1	3,2	3,3	3,5	3,7	3,8	3,9	4	4	4,2	4,3	4,4	4,5	4,6	4,7	4,7	4,7

Tab. 23. Proud zdroje č. 2 (590 nm) a k němu odpovídající napětí

<b>I[mA]</b>	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
<b>U[V]</b>	0	1,9	2,1	2,2	2,4	2,5	2,6	2,8	2,9	3	3,2	3,4	3,5	3,6	3,7	3,9	4	4,2	4,3	4,4

Tab. 24. Proud zdroje č. 3 (660 nm) a k němu odpovídající napětí

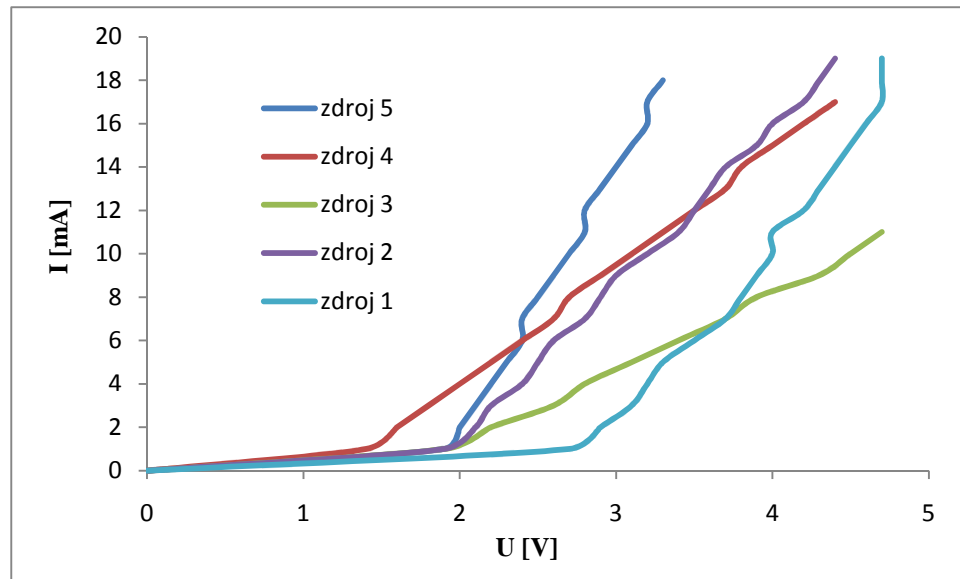
<b>I[mA]</b>	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<b>U[V]</b>	0	1,9	2,2	2,6	2,8	3,1	3,4	3,7	3,9	4,3	4,5	4,7

Tab. 25. Proud zdroje č. 4 (850 nm) a k němu odpovídající napětí

<b>I[mA]</b>	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
<b>U[V]</b>	0	1,4	1,6	1,8	2	2,2	2,4	2,6	2,7	2,9	3,1	3,3	3,5	3,7	3,8	4	4,2	4,4

Tab. 26. Proud zdroje č. 4 (LASER 650 nm) a k němu odpovídající napětí

<b>I[mA]</b>	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
<b>U[V]</b>	0	1,9	2	2,1	2,2	2,3	2,4	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,8	2,9	3	3,1	3,2	3,2	3,3



Graf 14. Závislosti proudu na závěrném napětí u všech detektorů

#### Závěr:

Naměřené hodnoty proudu a napětí jsme dali do jednoho grafu, aby byly vidět rozdíly v závislostech. Všechny charakteristiky jsou si podobné svým exponenciálním tvarem, jen se vyskytují malé odchylky, které způsobují různé zakřivení. Největší skokový rozdíl je vždy při 1 mA, od něj už se závislost zvedá pouze po desetínách.

## 10.10 ÚLOHA 10: MODULAČNÍ VLASTNOSTI ZDROJŮ OPTICKÉHO ZÁŘENÍ

#### Zadání:

Změřte frekvenční odezvu modulací zdrojů záření

#### Přístroje, pomůcky a materiály:

- Osciloskop
- Generátor (sinusový tvar, maximální frekvence 10MHz)
- Propojovací kabely
- Čistící prostředky

#### Praktický postup:

- Nastavení
  - Vysílač:
    - Vstup: DC (bez zapojení) na kanálu CH1

- mA měření: CH1
- Optický výstup: Optický zdroj č. 4 (LED 850nm) pro CH1
- Přijímač:
  - Funkce: ANALOG měření
  - Optický vstup: Fotodetektor č. 1 (Si 1 mm)
  - Výstupní impedance  $75\Omega$
- Spojte externí generátor s DC vstupem vysílače.
- Spojte první kanál osciloskopu s analogovým výstupem přijímače ( $75\Omega$ ) a druhý kanál připojte k měřicímu bodu TP 10 na vysílači a připojte nejbližší TPGx (zem). K měření na osciloskopu použijte režim DC.
- Pomocí optického propojovacího kabelu propojte výstup vysílače s odpovídajícím vstupem přijímače.
- Zvolte na externím generátoru sinusový signál s frekvencí 1kHz.
- Na vysílači nastavte pomocí potenciometrů P2 ( $I_{BIAS}$ ), P1 (GAIN) a osciloskopu maximální amplitudu signálu, kdy ještě nedochází ke zkreslení.
- Na přijímači nastavte pomocí potenciometrů P5 a P7 maximální napětí fotodetektoru ( $U_{BIAS}$ )
- Potenciometrem P1 (GAIN) na přijímači nastavte zesílení analog. signálu tak, aby amplitudy vstupního a výstupního signálu byly shodné.

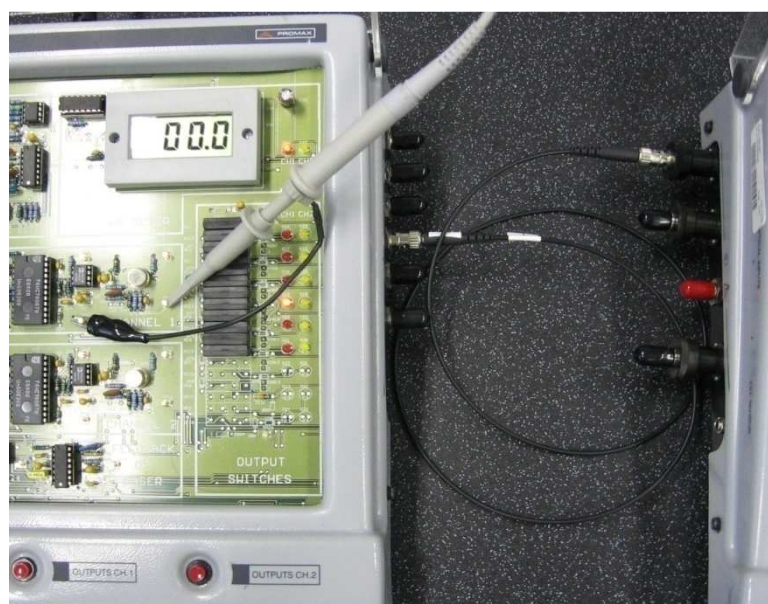
Poznámka: Oba filtry analog. kanálu na přijímači (100 kHz a 1 MHz) jsou v průběhu celého měření nezapojené.

- Zvyšujte frekvenci signálu na generátoru a na osciloskopu odečítejte poměr amplitud výstupního a vstupního signálu v dB.
- Nalezněte mezní frekvenci pro pokles o 3dB.
- Měření opakujte pro zdroje záření č.1 (LED 526nm), č.2 (LED 590nm), č.3 (LED 660nm), č.5 (LASER 650nm) bez zpětné vazby.

**Schéma zapojení:**



Obr. 34. Zapojení externího generátoru k DC vstupu vysílače

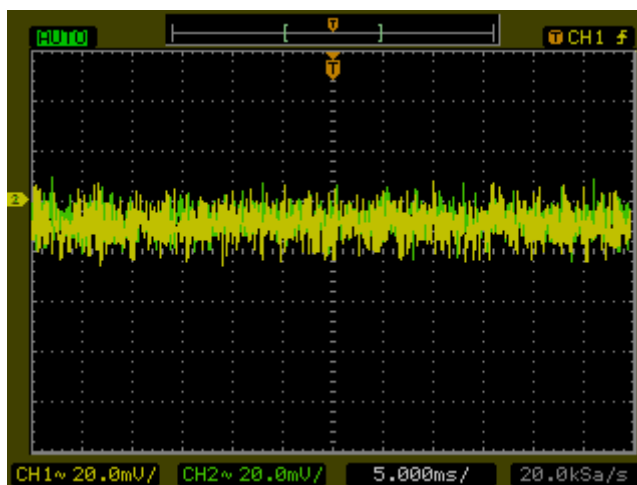


Obr. 35. Zapojení druhého kanálu osciloskopu na TP 10 a GND a propojení vysílače s přijímačem

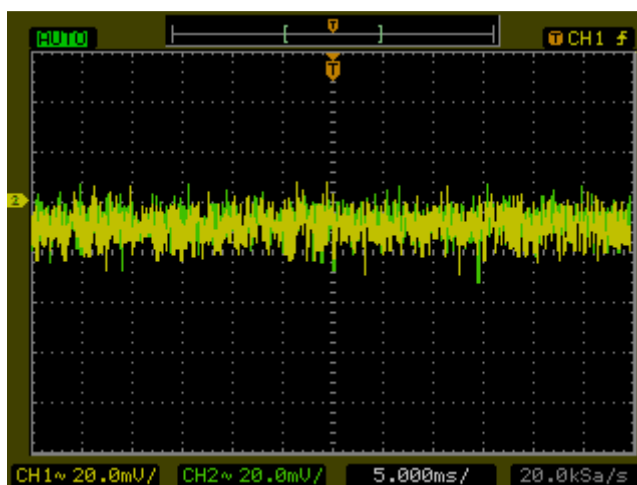


Obr. 36. Připojení prvního kanálu osciloskopu na ANALOG výstup přijímače

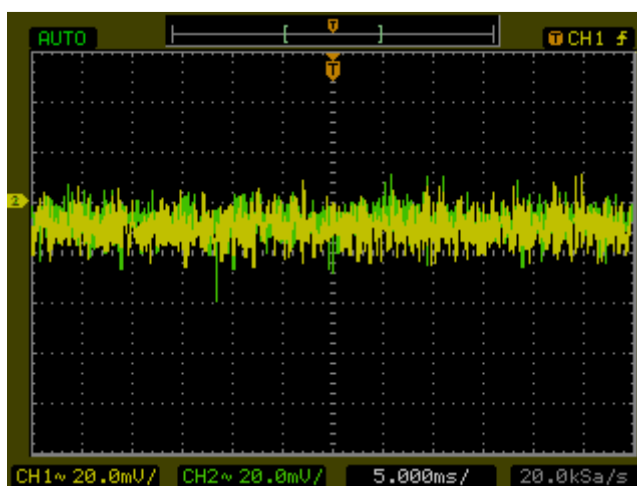
Naměřené hodnoty:



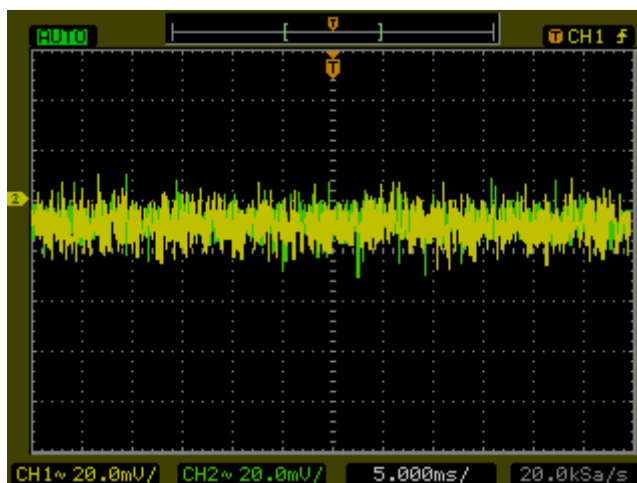
Obr. 37. Průběh signálu zdroje č. 4,  $f = 1 \text{ kHz}$



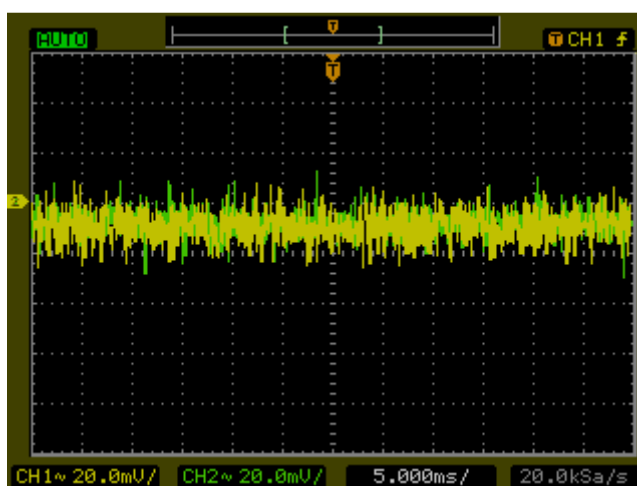
Obr. 38. Průběh signálu zdroje č. 4,  $f = 10 \text{ MHz}$



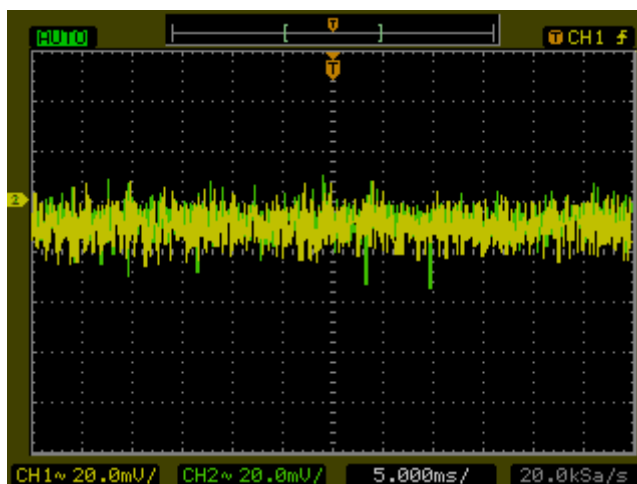
Obr. 39. Průběh signálu zdroje č. 1,  $f = 10 \text{ MHz}$



Obr. 40. Průběh signálu zdroje č. 2,  $f = 10$  MHz



Obr. 41. Průběh signálu zdroje č. 3,  $f = 10$  MHz



Obr. 42. Průběh signálu zdroje č. 5,  $f = 10$  MHz

**Závěr:**

Před měřením jsme na vysílači nastavili pomocí potenciometrů P2, P1 a osciloskopu maximální amplitudu signálu, kdy ještě nedošlo ke zkreslení. Potenciometrem P1 na přijímači jsme nastavili shodné amplitudy signálů. Z průběhů signálů je vidět, že změna zdroje záření na vysílači se projevila velice málo na výsledném průběhu.

**10.11 ÚLOHA 11: SPEKTRÁLNÍ ZÁVISLOST FOTODETEKTORŮ****Zadání:**

Změřte spektrální závislost fotodetektorů

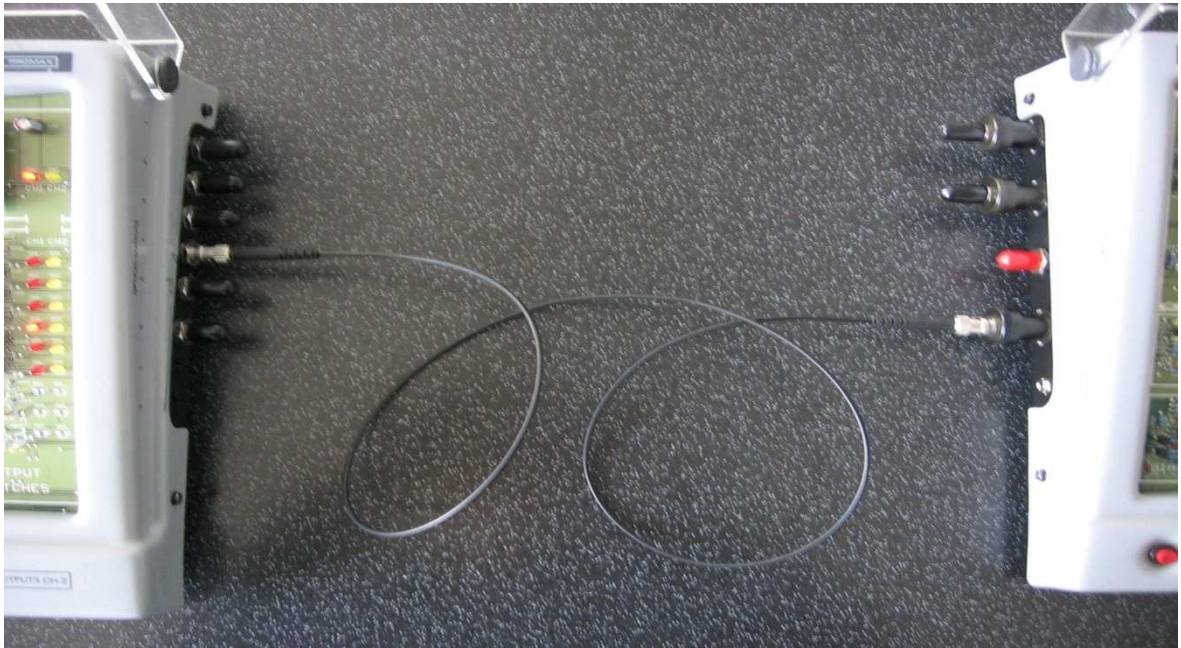
**Přístroje, pomůcky a materiály:**

- Propojovací kabely
- Čistící prostředky

**Praktický postup:**

- Nastavení
  - o Vysílač:
    - Vstup: DC (bez zapojení) na kanálu CH1
    - mA měření: CH1
    - Optický výstup: Optický zdroj č. 4 (LED 850nm) pro CH1
  - o Přijímač:
    - Funkce: DC měření
    - Optický vstup: Fotodetektor č. 4 (Si 2,5 mm)
    - Vlnová délka 850 nm
- Připojte pomocí propojovacího kabelu výstup vysílače s odpovídajícím vstupem přijímače.

**Schéma zapojení:**

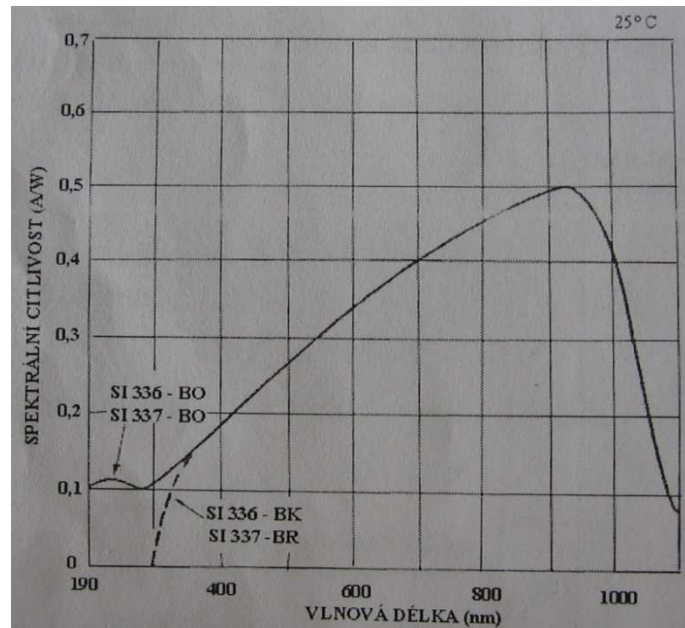


*Obr. 43. Schéma zapojení propojovacím kabelem*

- Nastavte proud zdroje ( $I_{BIAS}$ ) přibližně na 17 mA a počkejte asi 1 minutu na jeho stabilizaci.
- Změřte výkon P1 ve Wattech.
- Postupně nastavte na přijímači vlnové délky 660 nm, 650 nm, 590 nm, 526 nm a změřte k nim odpovídající výkony P2, P3, P4 a P5 ve Wattech.
- Spočítejte spektrální citlivost pro různé vlnové délky vztahované k citlivosti na 850 nm.

$$\text{Spektrální citlivost Si (660 nm, 650 nm, 590 nm, 526 nm)/Si (850 nm) = (P2, P3, P4, P5) / P1}$$

- Měření opakujte pro fotodetektor č.2 (InGaAs). Referenční vlnová délka je 850nm (zdroj č.4). Měření proveďte na vlnových délkách 1300, 1310, 1550 nm.



Obr. 44 Spektrální citlivost fotodetektorů HAMAMATSU SI336-BO, BK a SI337-BR

- Předpoklad, že pro optické záření o vlnové délce 700 nm změříme libovolným detektorem ze série SI336-BO na této vlnové délce úroveň výkonu -10 dBm. Jaký výkon bychom naměřili tímto detektorem, pokud bychom měřili na různých vlnových délkách.

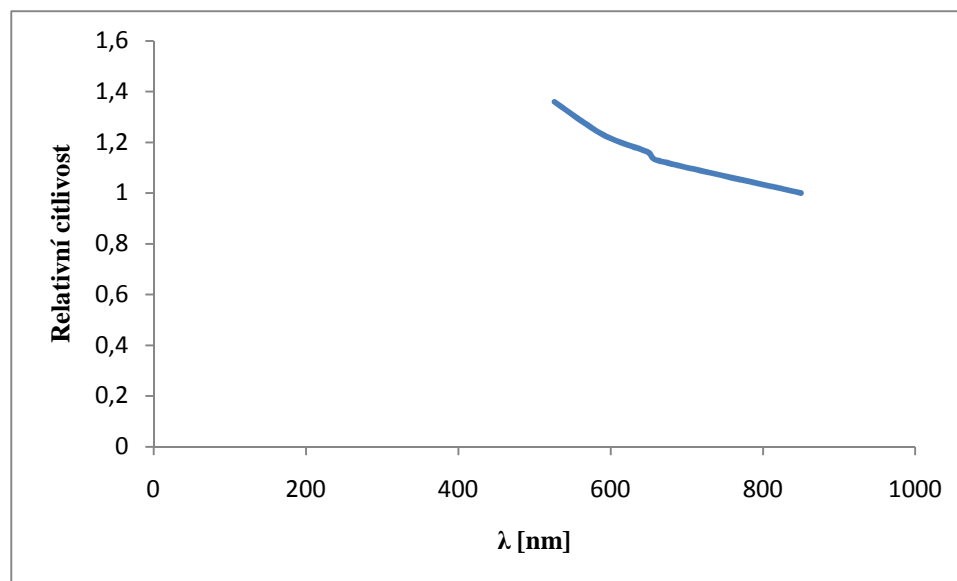
**Naměřené hodnoty:**

Výpočet spektrální citlivosti Si (660 nm, 650 nm, 590 nm, 526 nm)/Si (850 nm) = (P2, P3, P4, P5) / P1

Výkon P1 = 134µW

Tab. 27. Spektrální citlivosti fotodetektoru č. 4

λ [nm]	526	590	650	660	850
Relativní spektrální citlivost	1,36	1,23	1,16	1,13	1

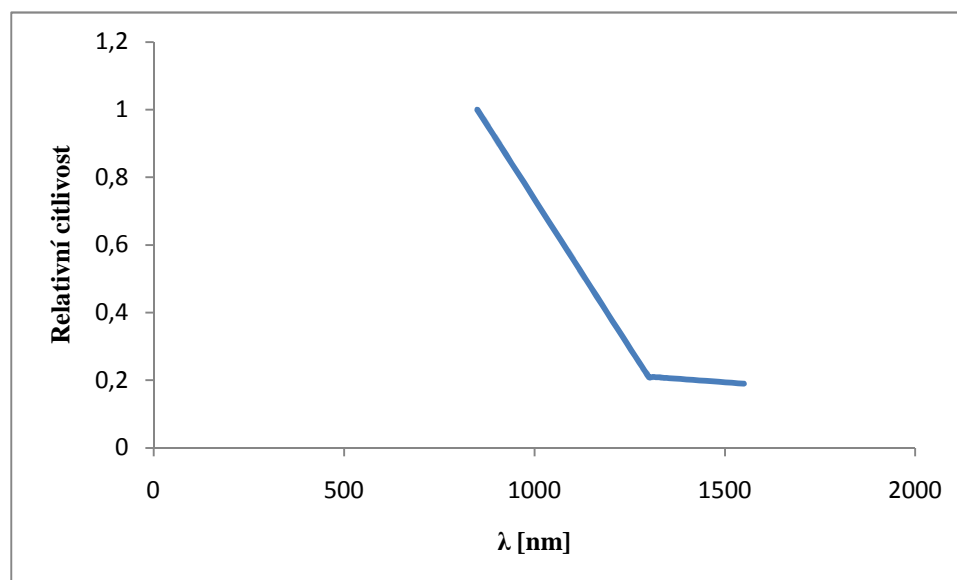


Graf 15. Spektrální citlivost fotodetektoru č. 4

Výkon P1 = 57 $\mu$ W

Tab. 28. Spektrální citlivosti fotodetektoru č. 2

$\lambda$ [nm]	850	1300	1310	1550
Relativní spektrální citlivost	1	0,21	0,21	0,19



Graf 16. Spektrální citlivost fotodetektoru č. 2

Tab. 29. Výkon v dBm odečtený z obrázku č. 17

Vlnová délka [nm]	440	500	700	800	900	1000	1100
Změřený výkon [dBm]	-29	-23	-10	-5	-1	-10	-42

Závěr:

U fotodetektoru č. 4 je charakteristika rovnoměrně rozložená s klesající tendencí. 4ím větší vlnová délka, tím nižší relativní citlivost, která je vztažená k výkonu P1. To samé lze říci o fotodetektoru č. 2, že s větší vlnovou délkou se zmenšuje relativní citlivost. U vlnových délek 1300 nm a více je relativní citlivost téměř stejná, proto to v grafu nelze jasně rozeznat.

## 10.12 ÚLOHA 12: CITLIVOST FOTODETEKTORŮ: ZÁVĚRNÉ NAPĚTÍ NA FOTODEKTORECH

### Zadání:

Změřte vliv závěrného napětí na citlivost fotodetektorů. Porovnejte fotodetektory PIN a APD.

### Přístroje, pomůcky a materiály

- Voltmetr
- Osciloskop
- Propojovací kabely
- Čistící prostředky

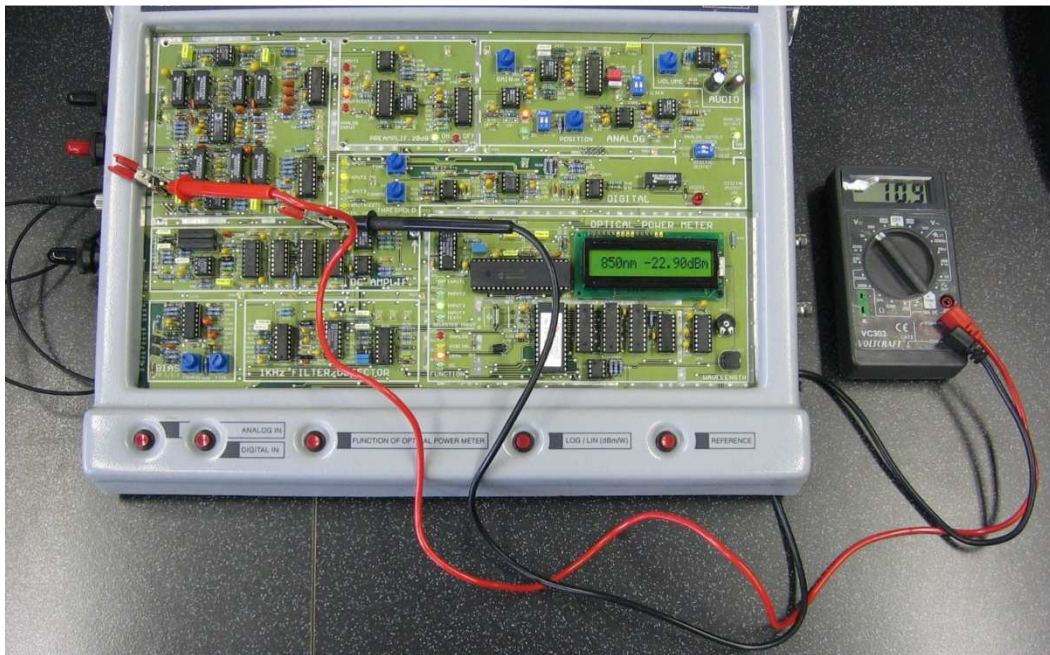
### Praktický postup:

- Nastavení
  - o Vysílač:
    - Vstup: Generátor na kanálu CH1
    - Sinusový signál
    - Frekvence 1kHz
    - DC zapojení(přepínač S1 (1) na DC pozici a S1 (2) na AC pozici)
    - Optický výstup: Optický zdroj č. 4 (LED 850nm) pro CH1
  - o Přijímač:
    - Funkce: 1 kHz měření
    - Optický vstup: Fotodetektor č. 2 (InGaAs 1 mm)
    - Vlnová délka 850 nm
- Připojte pomocí propojovacího kabelu výstup vysílače s odpovídajícím vstupem přijímače.

- Nastavte proud zdroje ( $I_{BIAS}$ ) přibližně na 10 mA a zesílení pomocí potenciometru P1 (GAIN) na maximum (aniž by však došlo k deformaci signálu).
- Testujme, zda výkon detekovaný fotodetektořem č. 2 závisí na velikosti závěrného napětí ( $U_{BIAS}$ ) fotodetektořu. Připojme voltmetř k bodům TP18 a GND přijímače.
  
- Potenciometry P5 a P7 nastavte závěrné napětí fotodetektořu ( $U_{BIAS}$ ) na minimální hodnotu.
- Nastavíme referenční hodnotu výkonu.
- Potenciometry P5 a P7 zvyšujte závěrné napětí ( $U_{BIAS}$ ) fotodetektořu až do maximální hodnoty a měřte odpovídající detekovaný výkon. Ten bude téměř konstantní, tzn. Zesílení detekovaného výkonu se nemění.
- Opakujte toto měření pro detektor APD.  
Propojte propojovacím kabelem fotodetektor č. 3 (APD Ge 0,1 mm) s odpovídajícím výstupem vysílače (č. 4/850 nm). Nastavení ( $I_{BIAS}$ ) a zesílení (GAIN) ponechejte stejné jako předtím.
- Detekovaný výkon je asi o 20 dB nižší než výkon zachycený fotodetektořem č. 3. Výkon je nízký, protože fotosenzitivní plocha APD je velmi malá (průměr 0,1 mm) oproti fotodetektořu č. 2 (1 mm).
- Nyní připojme voltmetř mezi měřící body TP 19 a GND. Potenciometry P5 a P7 nastavte závěrné napětí ( $U_{BIAS}$ ) na minimální hodnotu.
  
- Nastavte referenční hodnotu měřeného výkonu.
- Zvyšujte závěrné napětí ( $U_{BIAS}$ ) APD s krokem 5 V až do hodnoty 30 V a od hodnoty 30 V s krokem 0,2 V (vyšší lavinový efekt), dokud relativní zesílení nedosáhne hodnoty 15 dB. Pro každou nastavenou hodnotu závěrného napětí změřte odpovídající výkon.
- Pomocí osciloskopu sledujte přijímaný signál lavinovou fotodiodou APD.
  - o Přijímač:
    - Funkce: AC měření
    - Filtr 100 kHz: ON (přepínač S1 (1))
    - Zapojení: AC (přepínač S3(1))
- Osciloskop zapojte k analogovému výstupu přijímače ( $75\Omega$ ).

- Nastavte na vysílači proud ( $I_{BIAS}$ ) přibližně na 10 mA a zesílení pomocí potenciometru P1 (GAIN) na maximum (aniž by však došlo k deformaci signálu).
- Na osciloskopu režim měření DC.
- Schéma zapojení:
- Potenciometry P5 a P7 nastavte závěrné napětí ( $U_{BIAS}$ ) na minimum.
- Protože je signál díky nulovému nastavenému závěrnému napětí malý, je na osciloskopu patrný šum.
- Poté zvyšujte závěrné napětí ( $U_{BIAS}$ ) APD. Signál bude zesilován lavinovým jevem a tím redukován vliv šumu. Od určité hodnoty závěrného napětí se bude opět kvalita signálu zhoršovat, díky rostoucímu vlastnímu šumu APD (způsobený lavinovým násobením nosičů).

### Schéma zapojení:



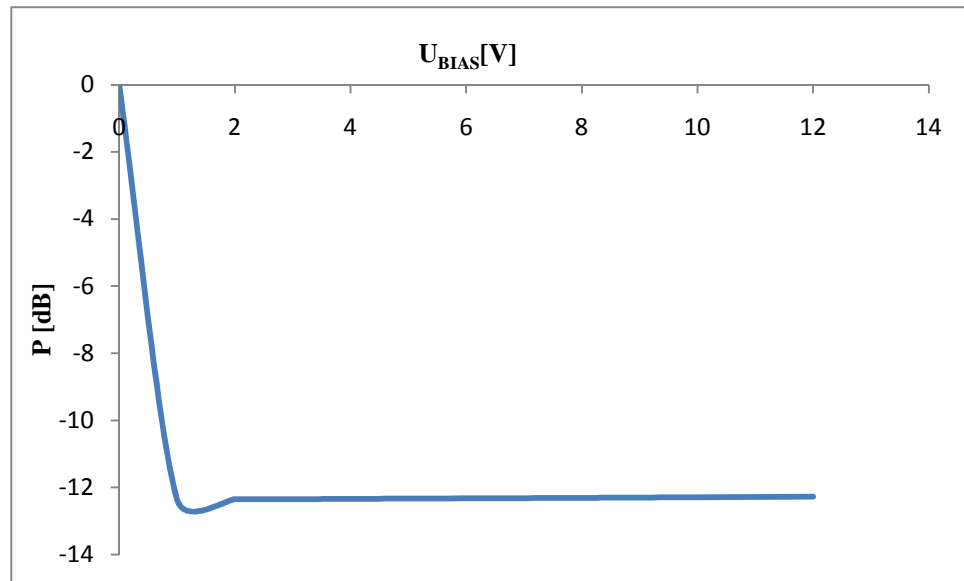
Obr. 45. Zapojení voltmetru při měření výkonu fotodetektoru

### Naměřené hodnoty:

Referenční hodnota útlumu pro fotodetektor č. 2 (InGaAs) 850 nm je  $A_{REF} = -12,35$  dB.

Tab. 30. Hodnoty závěrného napětí a jemu odpovídající výkon

$U_{BIAS}[V]$	0	1	2	3	4	8	10	12
$P[dB]$	0	-12,3	-12,3	-12,4	-12,3	-12,3	-12,3	-12,3

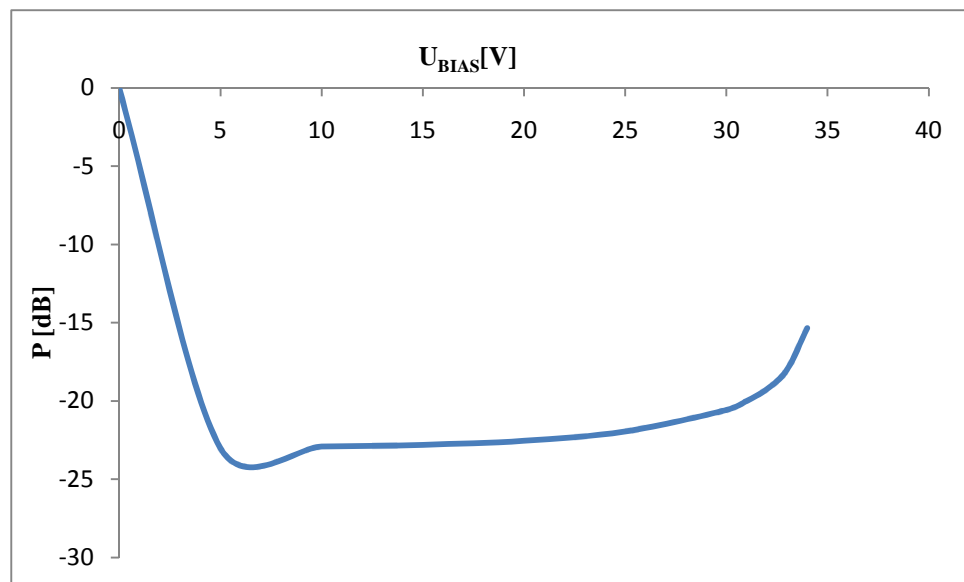


Graf 17. Výkon fotodetektoru č. 2 závislý na závěrném napětí

Referenční hodnota útlumu pro fotodetektor č. 2 (APD Ge) 850 nm je  $A_{REF} = -23,9$  dB

Tab. 31. Hodnoty závěrného napětí a jemu odpovídající výkon

$U_{BIAS}$ [V]	0	5	10	15	20	25	30	31	32	33	34
P [dB]	0	-23	-22,9	-22,8	-22,5	-22	-20,6	-20	-19,3	-18	-15,3



Graf 18. Výkon fotodetektoru č. 3 závislý na závěrném napětí

### Závěr:

Po připojení voltmetru jsme měřili závěrné napětí a odečítali hodnoty výkonu jednotlivých fotodetektorů. U fotodetektoru č. 2 je výkon téměř konstantní, změna nastala jen u závěrného napětí 3V. U fotodetektoru č. 3 jsme zvyšovali závěrné napětí od 30V po kroku 1V z důvodu, že se hodnoty téměř neměly, proto jsme volili tyto hodnoty. Výkon se začíná

zmenšovat od 32V a začíná se projevovat lavinový efekt, tj. od určité hodnoty se rapidně začne zmenšovat výkon.

### 10.13 ÚLOHA 13: ŠÍŘKA PÁSMO FOTODETEKTORŮ

#### Zadání:

Změřte šířku pásma fotodetektorů. Změřte vliv závěrného napětí na šířku pásma detektoru.

#### Přístroje, pomůcky a materiály

- Osciloskop
- Voltmetr
- Generátor (pravoúhlý a sinusový signál, maximální frekvence 10 MHz)
- Propojovací kabely
- Čistící prostředky

#### Praktický postup:

- Nastavení
  - Vysílač:
    - Vstup: Generátor na kanálu CH1
    - Sinusový signál
    - Frekvence 1kHz
    - Optický výstup: zdroj č. 4 (LED 850 nm) pro CH1
  - Přijímač:
    - Funkce: Analog měření
    - Optický vstup: Fotodetektor č. 1 (Si 1 mm)
    - Vlnová délka: 850 nm
    - Výstupní impedance: 75  $\Omega$
- Spojte generátor s DC vstupem vysílače.
- Spojte první kanál osciloskopu s testovacím výstupem (75  $\Omega$ ) přijímače a druhý kanál k testovacímu bodu TP 10 a GND.
- Spojte pomocí propojovacího kabelu výstup vysílače s odpovídajícím vstupem přijímače.
- Zapojte voltmetr mezi testovací body TP17 a GND, mezi kterými debete měřit závěrné napětí fotodetektoru ( $U_{BIAS}$ ).

- Na generátoru nastavte signál o frekvenci 1 kHz.
- Na vysílači nastavte pomocí osciloskopu potenciometry P2 ( $I_{BIAS}$ ) a P1 (GAIN) na maximální amplitudu signálu (aniž by však došlo k deformaci signálu).
- Potenciometry P5 a P7 na přijímači nastavte závěrné napětí na  $U_{BIAS} = 0V$ .

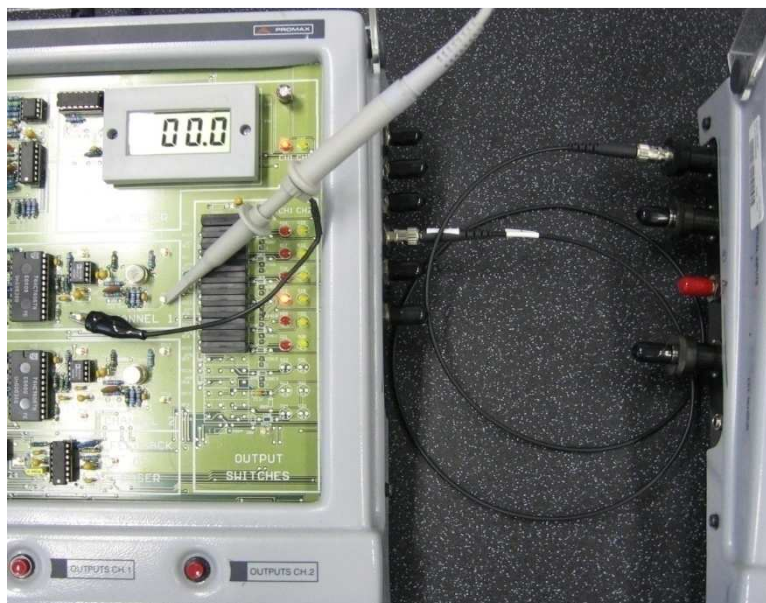
Poznámka: Oba filtry (100 kHz, 1 kHz) analogového kanálu přijímače jsou po celou dobu měření nezapojeny.

- Nastavte na přijímači zesílená analogového signálu (s pomocí osciloskopu) tak, aby amplitudy výstupního a vstupního signálu byly shodné.
- Zvyšujte frekvenci externího generátoru a měřte na osciloskopu poměr mezi hodnotou amplitudy výstupního a vstupního signálu v dB. Změřené hodnoty zapište.
- Najděte frekvenci pro pokles o 3 dB.
- Zvyšujte závěrné napětí na fotodetektoru s krokem 3 V až do maxima a opakujte totéž měření pro jednotlivá napětí. Hodnoty zapište.
- Šířka pásma vzrůstá s rostoucím závěrným napětím. To je způsobeno snížením kapacity detektoru důsledkem rostoucího závěrného napětí.
- Měření opakujte také pro fotodetektor č. 2 (InGaAs 1 mm), použijte stejný zdroj záření.

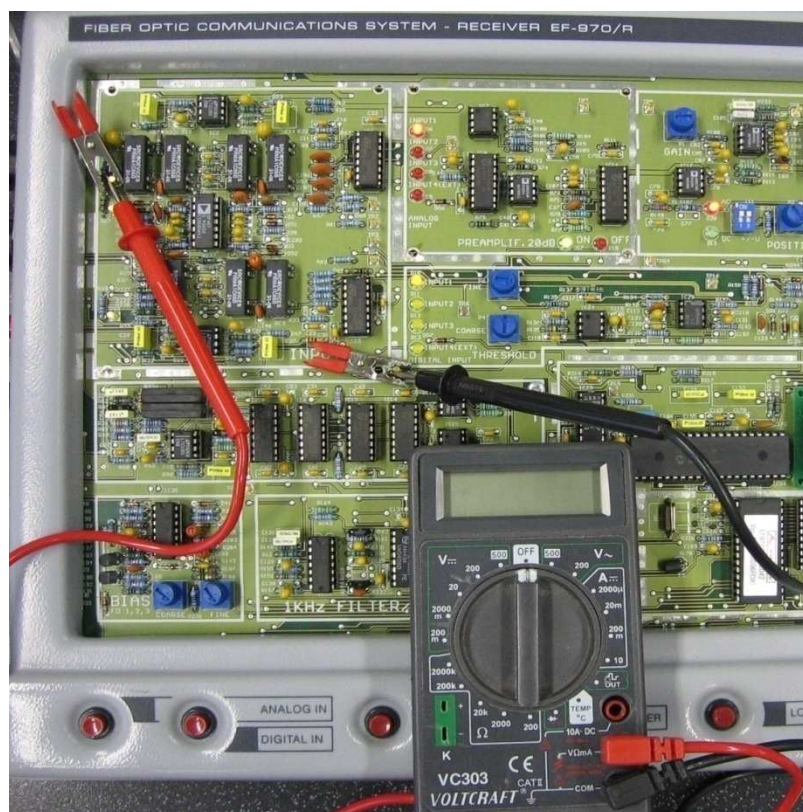
#### Schéma zapojení:



Obr. 46. Zapojení externího generátoru k DC vstupu vysílače



Obr. 47. Zapojení druhého kanálu osciloskopu na TP 10 a GND a propojení vysílače s přijímačem

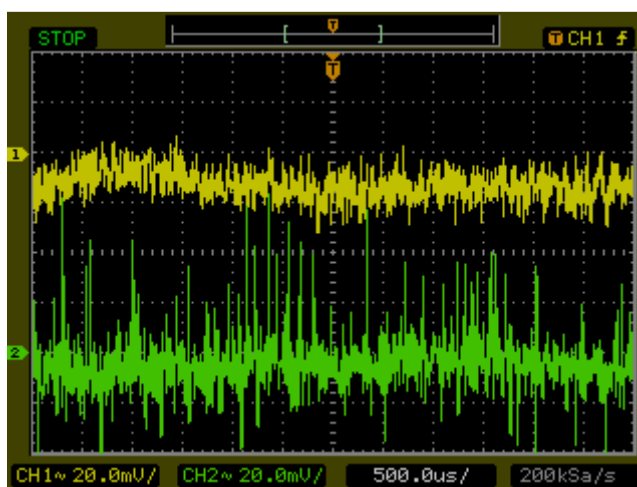


Obr. 48. Zapojení voltmetru na testovací body TP 17 a GND

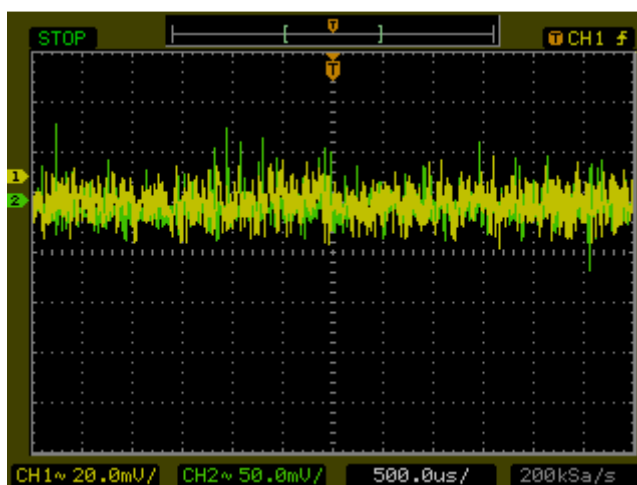


Obr. 49. Připojení prvního kanálu osciloskopu na ANALOG výstup přijímače

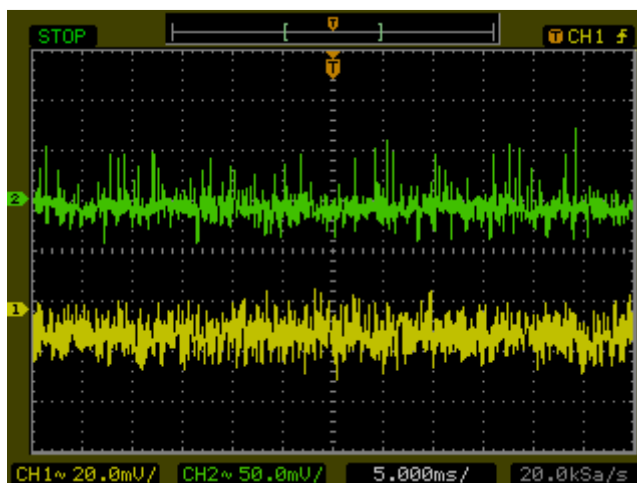
Naměřené hodnoty:



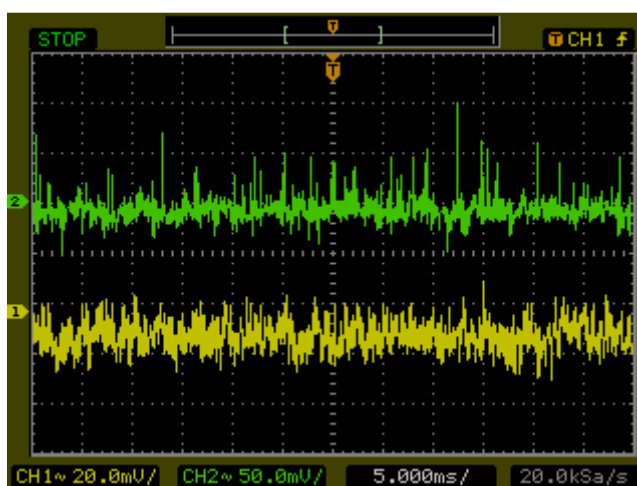
Obr. 50. Potenciometry P2 a P5 na maximum



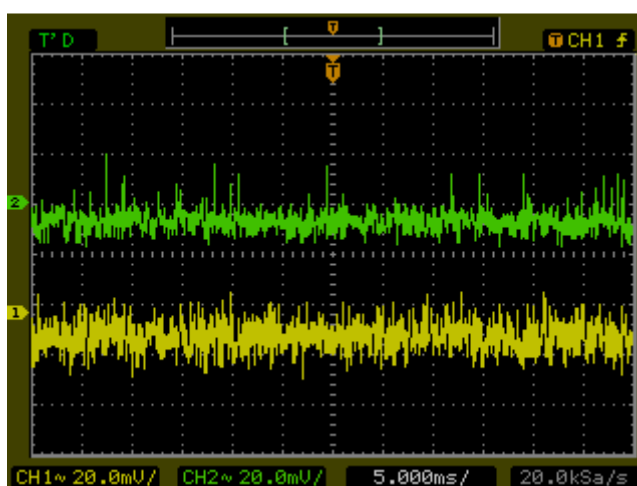
Obr. 51. Nastavení shodných amplitud



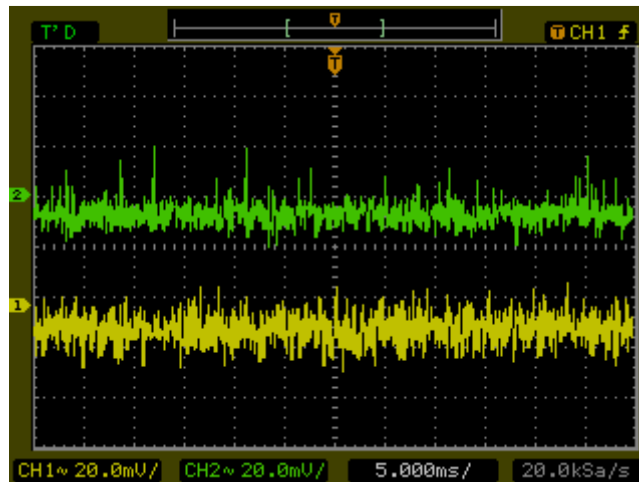
Obr. 52. Závěrné napětí 0V, frekvence 1MHz



Obr. 53. Závěrné napětí 0V, frekvence 10MHz



Obr. 54. Závěrné napětí 9V, frekvence 10MHz



Obr. 55. Závěrné napětí 15V, frekvence 1MHz

### Závěr:

Pomocí osciloskopu a potenciometrů P2 a P1 jsme nastavili maximální amplitudu, kdy ještě nedocházelo k deformaci signálu. Poté jsme nastavili shodné amplitudy signálů. Z obrázků jde vidět, že změna závěrného napětí na fotodetektoru velice neovlivnila průběhy signálů.

## 10.14 ÚLOHA 14: PŘENOS ANALOGOVÉHO SIGNÁLU

### Zadání:

Pozorujte proud a napětí zdroje záření při analogovém přenosu. Pozorujte optické záření modulované analogovým signálem ve vlákně. Realizujte přenos analogového signálu pomocí optického vlákna.

### Přístroje, pomůcky a materiály

- Osciloskop
- Propojovací kabely
- Čistící prostředky

### Praktický postup:

- Nastavení
  - Vysílač:
    - Vstup: Generátor na kanálu CH1
    - Sinusový signál
    - Frekvence 1kHz

- DC zapojení (přepínač S1 (1) na DC pozici a S1 (2) na AC pozici)
- Optický výstup: Optický zdroj č. 3 (LED 660 nm) pro CH1
- Přijímač:
  - Funkce: Analog měření
  - Optický vstup: Fotodetektor č. 1 (Si 1 mm)
  - Výstupní impedance: 75  $\Omega$
- Spojte kanál osciloskopu s testovacím bodem TP 10 a GND vysílače a zobrazte proud protékající zdrojem záření, jemuž odpovídá intenzita optického záření.
- Nastavte amplitudu proudu zdroje pomocí potenciometru P2 ( $I_{BIAS}$ ), P1 (GAIN) a osciloskopu na maximální hodnotu, aniž by došlo ke zkreslení signálu.
- Snižte frekvenci generátoru na minimum. Na generátoru měňte frekvenci a tvar (sinus, obdélník, trojúhelník) signálu a pozorujte, jak se mění optické záření zdroje.
- Druhý kanál osciloskopu propojte s testovacím bodem TP 11 a GND vysílače k zobrazení napětí na zdroji záření.
- Změňte výstup vysílače na zdroj č. 1 (LED 660 nm), na generátoru trojúhelníkový signál (zřetelnější ukázka).
- Nastavte amplitudu proudu zdroje pomocí P2 ( $I_{BIAS}$ ), P1 (GAIN) na maximální hodnotu, aniž by došlo ke zkreslení signálu.
- Zmenšujte proud zdrojem ( $I_{BIAS}$ ) a pozorujte, jak se začíná napětí na zdroji zkreslovat (důsledek tvaru V/A charakteristiky).
- Změňte výstup vysílače na zdroj č. 3 (LED 660 nm), na generátoru sinusový signál a frekvence 1kHz.
- Nastavte amplitudu proudu zdroje na maximum, aniž by došlo ke zkreslení signálu.
- Druhý kanál osciloskopu spojte s analogovým výstupem přijímače.
- Aktivujte na přijímači 100 kHz filtr.
- Propojte propojovacím kabelem výstup vysílače s detektorem č. 1.

**Schéma zapojení:**



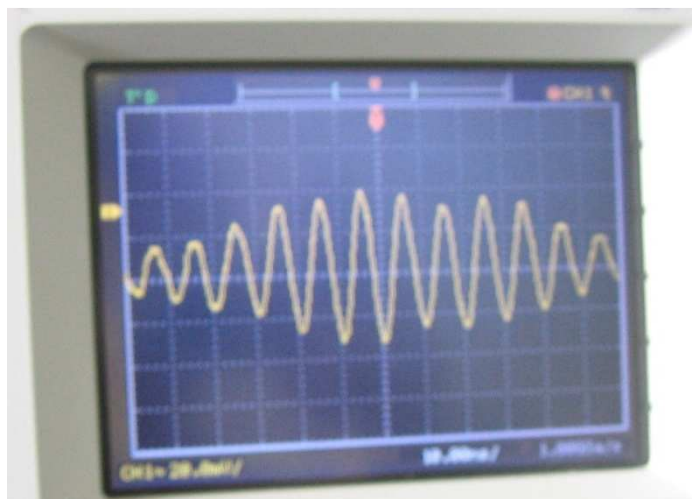
*Obr. 56. Zapojení druhého kanálu osciloskopu na TP 10 a GND a propojení vysílače s přijímačem*



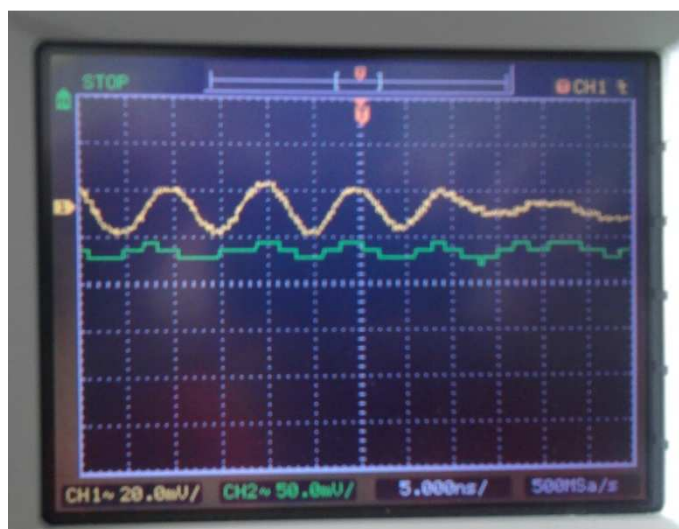
*Obr. 57. Připojení prvního kanálu osciloskopu na ANALOG výstup přijímače*

- Na přijímači nastavte režim měření ANALOG.
- Pozorujte oba signály na osciloskopu, sledujte vliv zesílení. Měňte frekvenci a tvar signálu na generátoru.
- Poslechněte přenášený signál, důsledky změn frekvence a tvar signálu, pomocí reproduktoru.

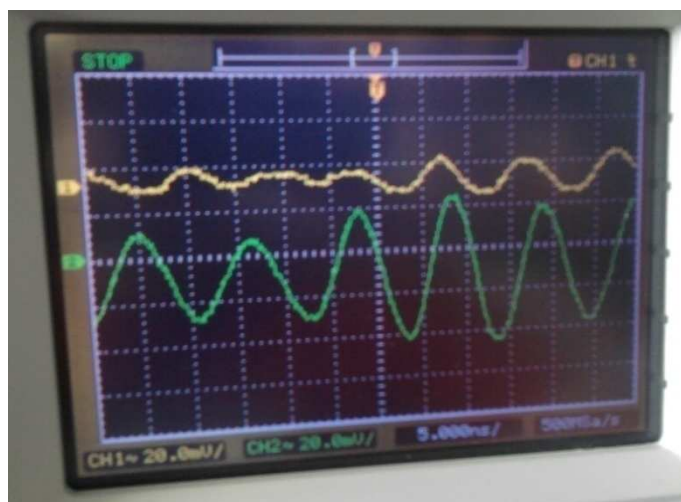
**Naměřené hodnoty:**



Obr. 58. Maximální hodnota amplitudy bez zkreslení



Obr. 59. Obdélníkový signál generátoru



Obr. 60. Zesílení napětí (zelená barva) při sinusovém signálu

**Závěr:**

Na osciloskopu jsme mohli vidět jak se zvyšování P1 zkresluje signál. Při poslechu bylo slyšet hlasité pískání u obdélníkového tvaru signálu, když P1 a P2 byly nastaveny na maximum. Při nastavení trojúhelníkového signálu nebylo slyšet téměř nic, pouze slabý šum. Když jsme signál změnili na sinusový a P1 a P2 nastavili přibližně do  $\frac{3}{4}$  polohy, tak bylo slyšet pískání, ale nebylo tak silné jako u prvního signálu.

**10.15 ÚLOHA 15: PŘENOS AUDIO SIGNÁLU****Zadání:**

Realizujte přenos audio signálu optickým vláknem. Úprava polarizačního proudu zdroje záření.

**Přístroje, pomůcky a materiály**

- Osciloskop
- Mikrofon
- Propojovací kabely
- Čistící prostředky

**Praktický postup:**

- Nastavení
  - Vysílač:
    - Vstup: Mikrofon na kanálu CH1
    - mA měření: CH1
    - Optický výstup: Optický zdroj č. 4 (LED 850 nm) pro CH1
  - Přijímač:
    - Funkce: Analog měření
    - Optický vstup: Fotodetektor č. 1 (Si 1 mm)
    - Zapojení: AC (S1 (1))
    - Výstupní impedance: 75  $\Omega$
- Připojte mikrofon k odpovídajícímu vstupu vysílače.
- Připojte jeden kanál osciloskopu k měřicímu bodu TP 10 a GND vysílače pro zobrazení proudu protékajícího zdrojem záření.

- Nastavte na vysílači proud ( $I_{BIAS}$ ) potenciometru P2 přibližně do poloviny, P1 (GAIN) nastavte tak, aby při maximálním vybuzení vstupu mikrofonem nedošlo ke zkreslení signálu.
- Aktivujte na přijímači 100 kHz filtr.
- Připojte pomocí propojovacího kabelu výstup vysílače s odpovídajícím vstupem přijímače.
- Druhý kanál osciloskopu připojte k analogovému výstupu přijímače.
- Pomocí osciloskopu nastavte na přijímači zesílení tak, aby signál nebyl zkreslen ani při největším vybuzení mikrofonem.

### Schéma zapojení:



Obr. 61. Zapojení mikrofonu



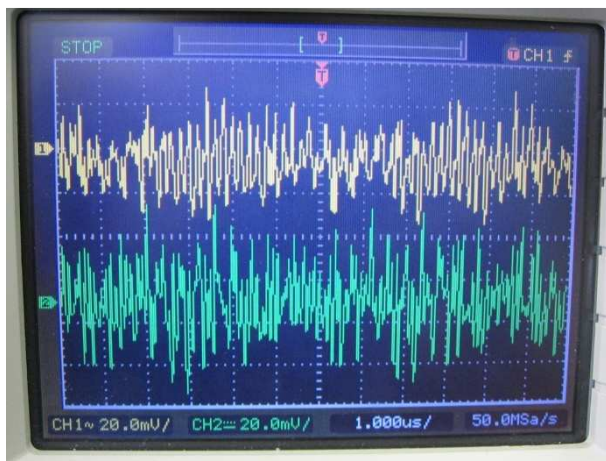
*Obr. 62. Zapojení druhého kanálu osciloskopu na TP 10 a GND a propojení vysílače s přijímačem*



*Obr. 63. Připojení prvního kanálu osciloskopu na ANALOG výstup přijímače*

- Pozorujte přenášený audio signál.
- Poslouchejte audio signál z reproduktoru na přijímači nebo pomocí sluchátek, připojených k výstupu přijímače.

**Naměřené hodnoty:**



Obr. 64. Přenášený audio signál

### Závěr:

Po připojení mikrofону, osciloskopu a nastavení potenciometrů na hodnotu tak, aby nedošlo ke zkreslení ani při maximálním vybuzení mikrofону. Maximální vybuzení mikrofону jsem odzkoušel hlasitým křikem a pozoroval změny signálu na osciloskopu. Po připojení druhého kanálu (zelená barva obr. 40) jsem připojil sluchátka. Přenášený zvuk nebyl čistý. Hlasitost se zvyšovala potenciometrem VOLUME.

## 10.16 ÚLOHA 16: PŘENOS DIGITÁLNÍHO SIGNÁLU

### Zadání:

Realizujte přenos digitálního signálu.

### Přístroje, pomůcky a materiály

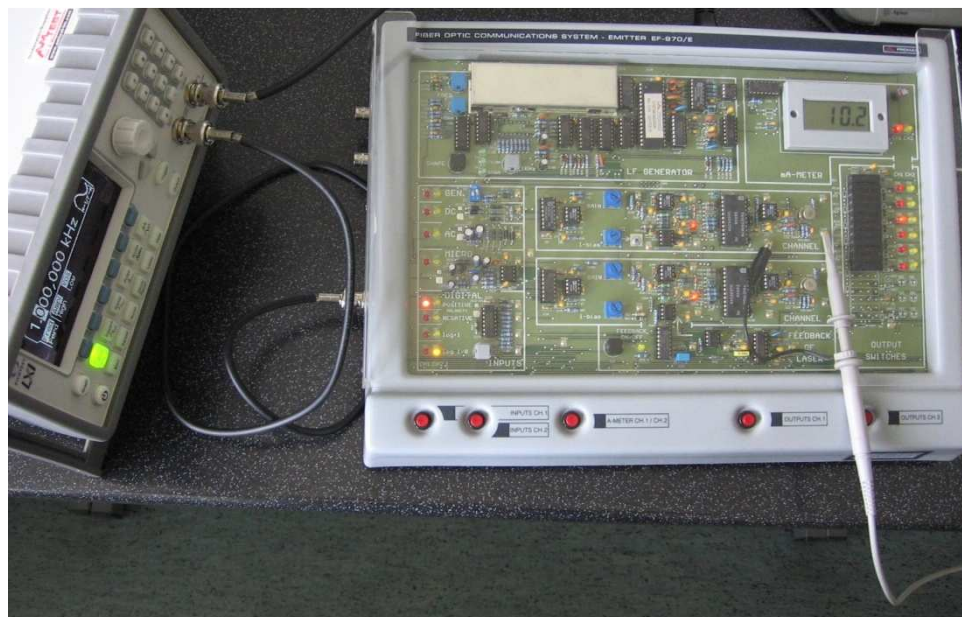
- Osciloskop
- Generátor TTL signálu
- Propojovací kabely
- Čistící prostředky

### Praktický postup:

- Nastavení
  - Vysílač:
    - Vstup: DIGITAL (pozitivní logika) na kanálu CH1
    - mA měření: CH1
    - Optický výstup: Optický zdroj č. 3 (LED 660 nm) pro CH1

- Přijímač:
  - Kanál: digitální
  - Optický vstup: Fotodetektor č. 1 (Si 1 mm)
- Připojte generátor TTL signálu k digitálnímu vstupu vysílače a k prvnímu kanálu osciloskopu.
- Připojte druhý kanál osciloskopu k měřicímu bodu TP 10 a GND vysílače pro zobrazení proudu protékajícího zdrojem záření.
- Nastavte na vysílači proud ( $I_{BIAS}$ ) potenciometru P2 a P1 (GAIN) nastavte maximální amplitudu, aniž by došlo ke zkreslení signálu.
- Změňte na vstupu vysílače pozitivní logiku na negativní a dále na log 1, log 0/1 a pozorujte signály na osciloskopu.
- Změňte vstup opět na pozitivní logiku.
- Propojovacím kabelem spojte výstup vysílače s odpovídajícím vstupem přijímače.
- Připojte první kanál osciloskopu k digitálnímu výstupu přijímače a druhý kanál k měřicímu bodu TP 16 a GND přijímače. Pozorujte oba signály.
- Pozměňte na přijímači rozhodovací úroveň komparátoru – potenciometry P4 (COARSE TRESHOLD) a P6 (FINE TRESHOLD) a pozorujte, jak se mění výstup komparátoru.
- Nastavte na přijímači rozhodovací úroveň komparátoru – potenciometry P4 (COARSE TRESHOLD) a P6 (FINE TRESHOLD) na optimální hodnotu (přibližně do poloviny).
- Snižujte na vysílači zesílení pomocí potenciometru P1 (GAIN) a pozorujte na osciloskopu, jak se zmenšuje dynamický rozsah pro nastavení rozhodovací úrovně komparátoru, zatímco digitální výstup zůstává konstantní.
- Přepněte digitální signál do režimu RS-232 a pozorujte signál osciloskopu.
- Opakujte předchozí postup pro zdroj č. 1 (LED 526 nm) a č. 2 (LED 590 nm).

**Schéma zapojení:**

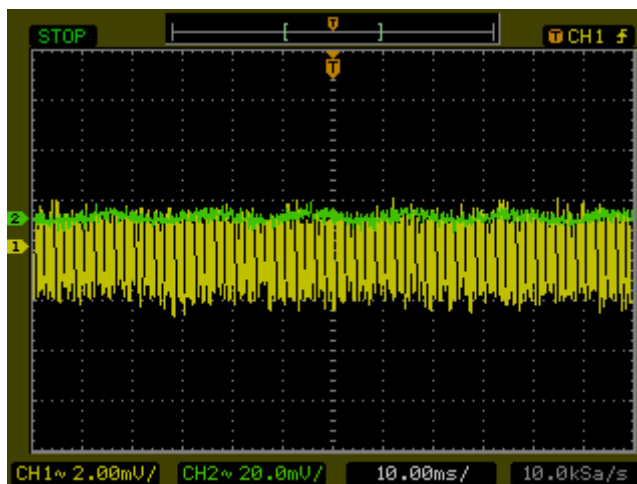


Obr. 65. Připojení generátoru k vysílači a osciloskopu

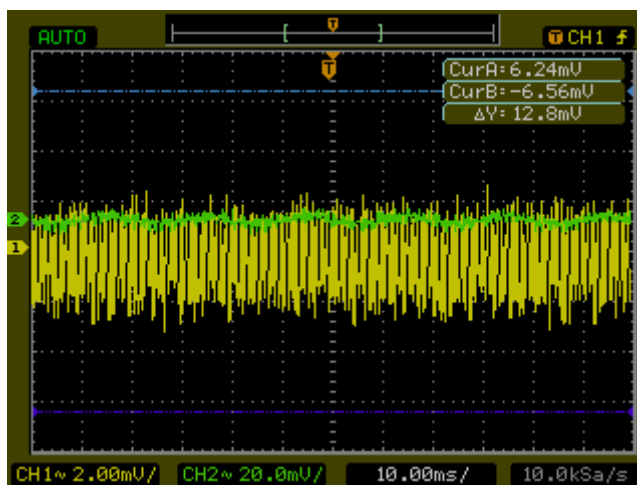


Obr. 66. Zapojení osciloskopu k digitálnímu výstupu a měřícím bodům přijímače

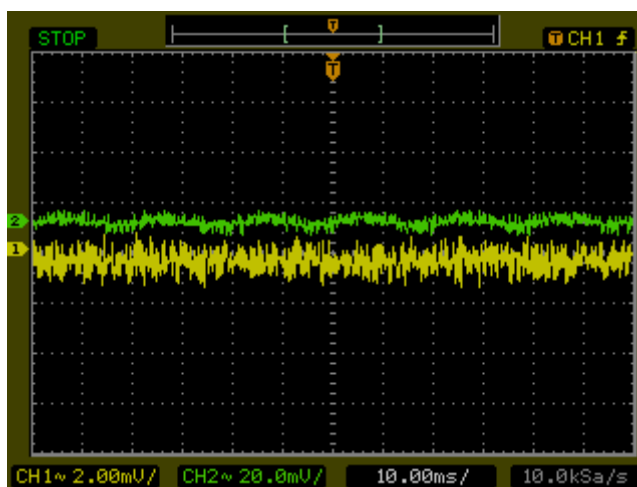
Naměřené hodnoty:



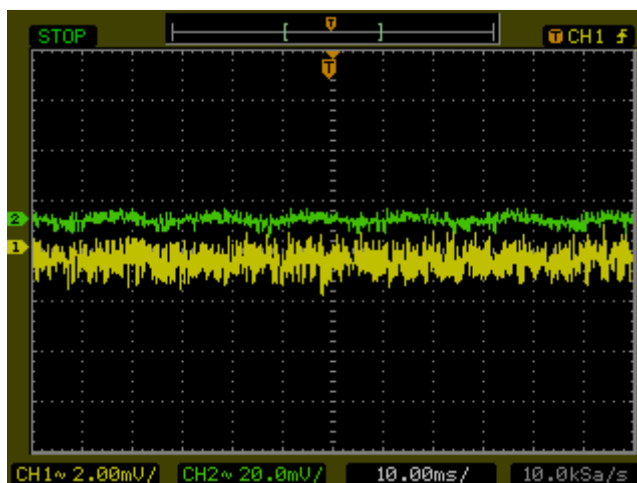
Obr. 67. Pozitivní logika



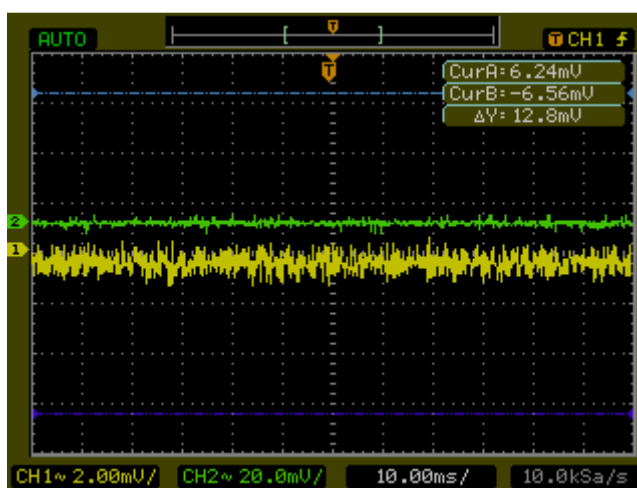
Obr. 68. Negativní logika



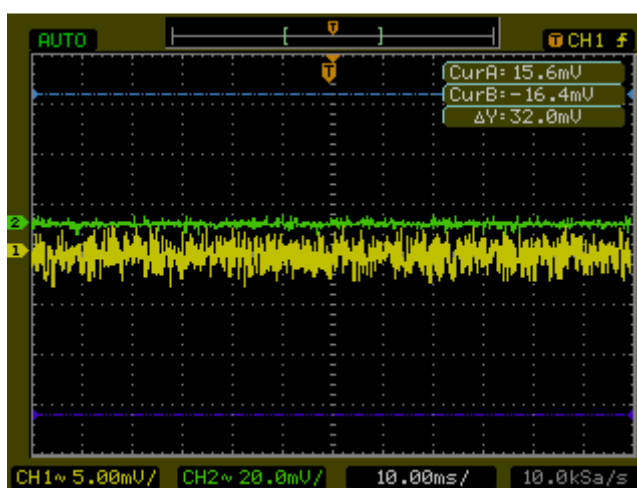
Obr. 69. Log 1



Obr. 70. Log 0/1



Obr. 71. P4 a P6 v maximální poloze



Obr. 72. P4 a P6 v polovině rozsahu

**Závěr:**

V první části jsme připojili generátor signálu TTL na vysílač a na osciloskopu jsme mohli pozorovat signál, který vzniká při přepínání vstupního signálu (pozitivní logika, negativní atd..). Při změnách P1 GAIN se rozhodovací úroveň signálu zmenšovala. Při nastavování P4 a P6 se rozhodovací úroveň signálu měnila (hodně snižovala). Z obrázků můžeme vidět, že pokud jsou potenciometry P4 a P6 nastaveny v polovině rozsahu, tak je signál silnější než, když jsou nastaveny na maximum.

## 10.17 ÚLOHA 17: VLIV OHYBU NA ÚTLUM OPTICKÉHO VLÁKNA (MAKROOHYBY)

**Zadání:**

Změřte vliv ohybu (makroohybu) na útlum optického vlákna.

**Přístroje, pomůcky a materiály**

- Propojovací kabely (2 m)
- Propojovací vlákno (2 m)
- Sada vidových filtrů (makroohybové válečky)
- Čistící prvky

**Praktický postup:**

- Nastavení
  - Vysílač:
    - Vstup: DC (bez zapojení) na kanálu CH1
    - mA měření: CH1
    - Optický výstup: Optický zdroj č. 3 (LED 660 nm) pro CH1
  - Přijímač:
    - Funkce: DC měření
    - Optický vstup: Fotodetektor č. 4 (Si 2,5 mm) analogový kanál
    - Vlnová délka: 660 nm
- Spojte propojovacím vláknem výstup vysílače s jemu odpovídajícím vstupem přijímače.

- Nastavte proud vysílače  $I_{BIAS}$  přibližně na 11mA. Počkejte 1 minutu na jeho stabilizaci.
- Nastavte referenční hodnotu měřeného výkonu.
- Oviňte 3x propojovací vlákno okolo makroohybového válečku o průměru 50 mm. K přidržení vlákna použijte spony.
- Odečtěte změřenu hodnotu útlumu.
- V místě ohybu vychází optické záření ven z vlákna.
- Opakujte pro válečky o průměru 40, 30, 20 mm.
- Zapište do tabulky a znázorněte graficky.
- Zopakujte měření pro některý váleček (např. průměr 30 mm) s propojovacím kabelem (nejprve určete referenci) a výsledek porovnejte s optickým vláknem.
- Nyní změřte závislost útlumu optického vlákna na počtu závitů na makroohybovém válečku.
- Spojte propojovacím vláknem výstup vysílače s jemu odpovídajícím vstupem přijímače.
- Nastavte referenční hodnotu měřeného výkonu.
- Oviňte okolo makroohybového válečku průměru 30 mm postupně 1 až 7 závitů a změřte odpovídající útlumy.
- Zapište do tabulky a znázorněte graficky.

**Schéma zapojení:**



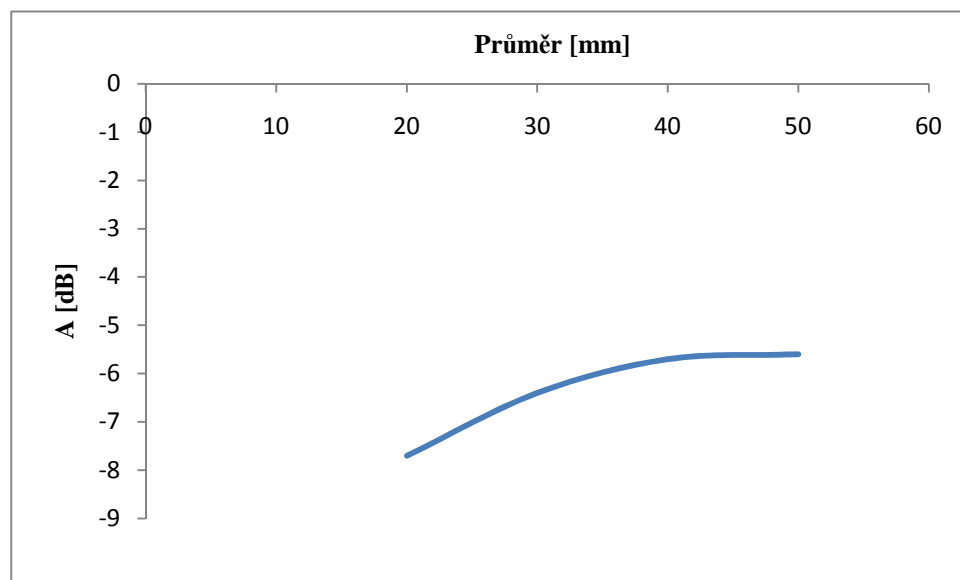
Obr. 73. Ovinuté vlákno okolo válečku s přidržené sponou

**Naměřené hodnoty:**

$A_{\text{referenční}} = -5,4$  dB pro optické vlákno bez použití válečků.

Tab. 32. Průměr válečků a k nim změřený útlum

Průměr [mm]	20	30	40	50
A [dB]	-7,7	-6,4	-5,7	-5,6

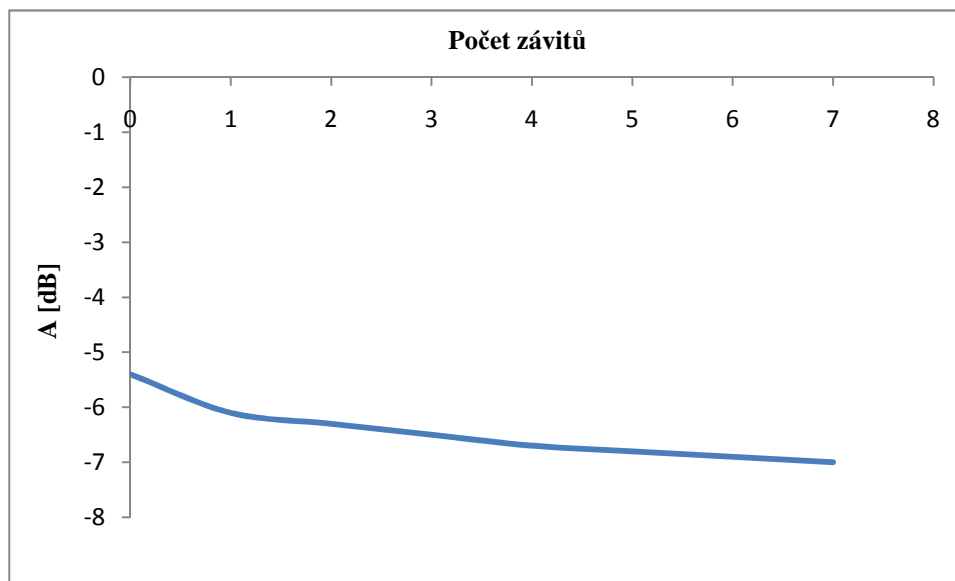


Graf 19. Závislost útlumu na průměru válečku

$A_{\text{referenční}} = -5,7$  dB pro optický kabel bez použití válečků.

Tab. 33. Počet závitů a odpovídající útlum vlákna

Počet závitů	0	1	2	3	4	5	6	7
Útlum [dB]	-5,4	-6,1	-6,3	-6,5	-6,7	-6,8	-6,9	-7



Graf 20. Závislost útlumu na počtu závitů

#### Závěr:

Můžeme říci, že čím menší je průměr válečku, tím je útlum vlákna větší. Útlum propojovacího kabelu je méně citlivý na ohyby, referenční hodnota byla téměř stejná, ale útlum byl větší než u optického vlákna. Vliv ohybu na útlum optického vlákna lze využít např. při výrobě jednoduchého útlumového článku. Pokud zvyšujeme počet závitů, tak útlum vlákna se také zvětšuje.

### 10.18 ÚLOHA 18: VLIV OHYBU NA ÚTLUM OPTICKÉHO VLÁKNA (MIKROOHYB)

#### Zadání:

Změřte vliv ohybu (mikroohybu) na útlum optického vlákna.

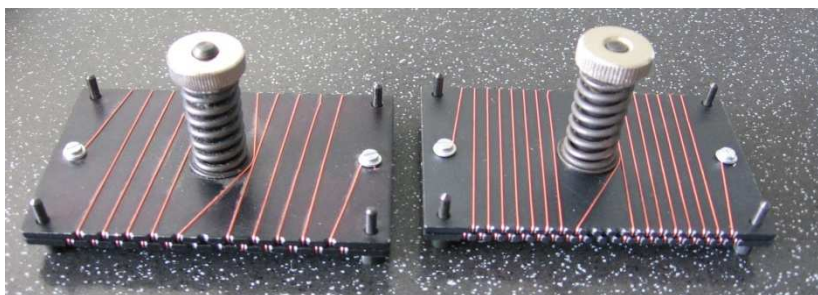
#### Přístroje, pomůcky a materiály

- Propojovací kabely (2 m)
- Propojovací vlákno (2 m)
- Mikroohybové destičky
- Čistící prostředky

#### Praktický postup:

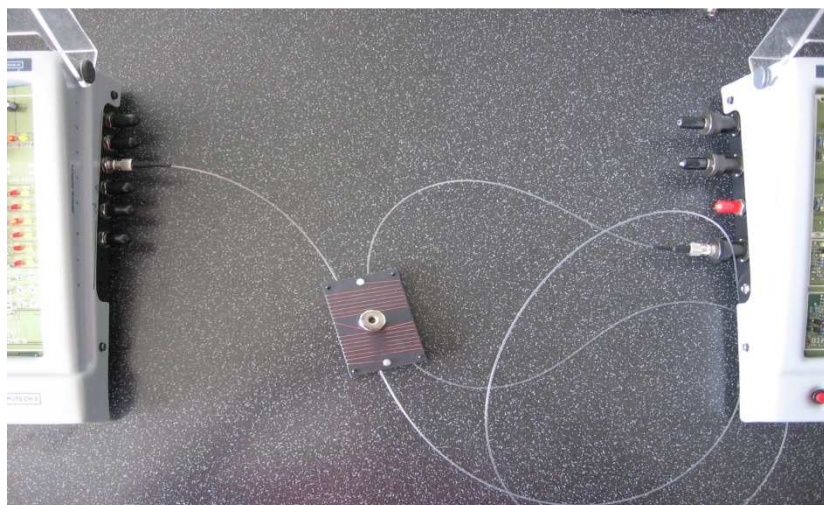
- Nastavení

- Vysílač:
    - Vstup: DC (bez zapojení) na kanálu CH1
    - mA měření: CH1
    - Optický výstup: Optický zdroj č. 3 (LED 660nm) pro CH1
  - Přijímač:
    - Funkce: DC měření
    - Optický vstup: Fotodetektor č. 4 (Si 2,5 mm) na analog. kanálu
    - Vlnová délka: 660 nm
- Připojte pomocí propojovacího kabelu výstup vysílače s odpovídajícím vstupem přijímače.
  - Nastavte proud vysílače  $I_{BIAS}$  přibližně na 11mA. Počkejte 1 minutu na jeho stabilizaci.
  - Umístěte optické vlákno mezi mikroohybové destičky s vyšší hustotou ohybů.



Obr. 74. Mikroohybové destičky s nižší a vyšší hustotou ohybů

### Schéma zapojení:



Obr. 75. Schéma zapojení přes mikroohybové destičky

- Stanovte referenční hodnotu měřeného výkonu (bez přítlačné síly).

- Utahováním šroubu zvětšujete přítlačnou sílu destiček, roste útlum vlákna.
- Utáhněte šroub na maximum (přítlačná síla přibližně 60 N) a odečtěte útlum. V místech ohybu vychází optické záření ven z vlákna.
- Postup zopakujte i pro mikroohybové destičky s menší hustotou ohybů.
- Porovnejte výsledky

Poznámka: Nevystavujte optické vlákno po dlouho dobu velkému tlaku mezi destičkami – po změření šroub uvolněte.

#### Naměřené výsledky:

$$P_{\text{REF}} = 277 \mu\text{W}, b = -5,5 \text{ dBm}, \lambda = 660 \text{ nm}$$

*Tab. 34. Hodnoty optického vlákna při maximálním utažení šroubu*

Závity	Výkon [ $\mu\text{W}$ ]	Útlum[dBm]
Větší hustota	271	-5,7
Menší hustota	256	-6

#### Závěr:

Při měření jsme se mohli přesvědčit, že vyvíjením tlaku na optické vlákno, se zvětšuje jeho útlum a zároveň snižuje jeho výkon. Více je to patrné při použití mikroohybových destiček s menší hustotou závitů, kde se útlum snížil o 0,5 dBm. Při použití mikroohybových destiček s větší hustotou závitů, se hodnoty výkon i útlum změnilly nevýrazně.

## 10.19 ÚLOHA 19: VLIV NEIDEÁLNÍHO KONEKTOROVÉHO SPOJENÍ OPTICKÝCH VLÁKEN A JEHO ÚTLUM

#### Zadání:

Změřte vliv neideálního konektorového spojení optických vláken (podélné, příčné, úhlové odchylky)

#### Přístroje, pomůcky a materiály

- Manipulátor
- Propojovací kabel
- Čistící prostředky

#### Praktický postup:

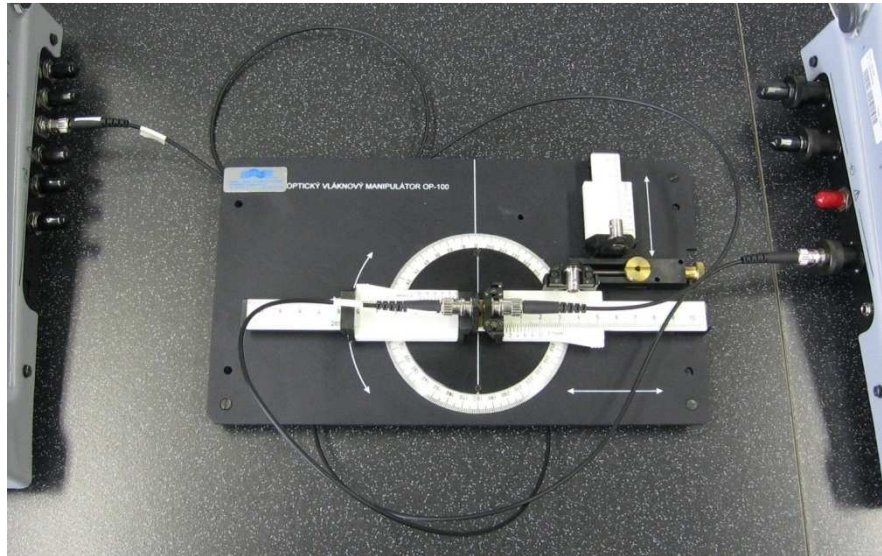
- Nastavení

- Vysílač:
    - Vstup: Generátor na kanálu CH1
    - Sinusový signál
    - Frekvence 1kHz
    - DC zapojení (přepínač S1 (1) na DC pozici a S1 (2) na AC pozici)
    - mA měření: CH1
    - Optický výstup: Optický zdroj č. 3 (LED 660 nm) pro CH1
  - Přijímač:
    - Funkce: 1kHz měření
    - Optický vstup: Fotodetektor č. 4 (PIN Si 2,5 mm) analogový kanál
    - Vlnová délka: 660 nm
- Nastavte proud zdroje ( $I_{BIAS}$ ) na 2 mA a zesílení pomocí P1 (GAIN) na maximum.

#### Měření podélné odchylky:

- Zapojte propojovací kabel mezi výstup vysílače a konektor pravého (nepohyblivého) ramene manipulátoru.
- Zapojte druhý propojovací kabel mezi vstup přijímače a konektor levého (nepohyblivého) ramene manipulátoru.
- Nastavte ramena manipulátoru tak, aby byla v ose a čela konektorů proti sobě. Polohu ramen zaletujte šroubem zespoda manipulátoru.
- Levé rameno posuňte do polohy „0 mm“.
- Pravé rameno posuňte k levému tak, aby se čela konektorů dotýkala (vzdálenost 0 mm).
- Změřte hodnotu výkonu a nastavte jako referenční.
- Posouvejte levé rameno z polohy 0 mm a ž do vzdálenosti 50 mm a pro jednotlivé vzdálenosti čel odečtěte odpovídající hodnotu.

#### **Schéma zapojení:**



Obr. 76. Zapojení manipulátoru pro měření podélné odchylky

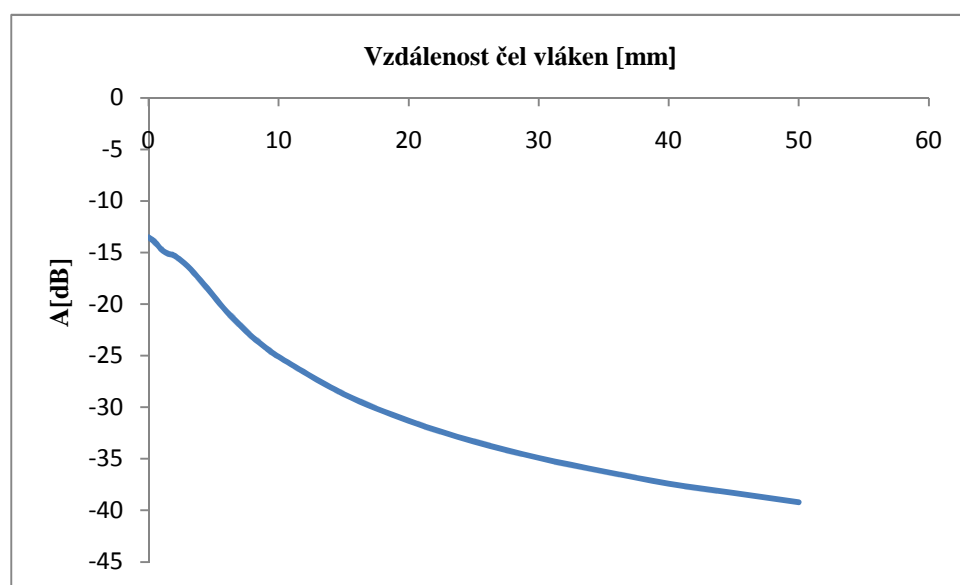
### Naměřené hodnoty:

Při nulové odchylce  $A_{REF} = -13,5$  dB.

Tab. 35. Naměřený útlum podélné odchylky (tabulka rozdělena na 2 části)

vzdálenost čel vláken [mm]	0	0,5	1	2	3	4	5	6	7	8
A[dB]	-13,5	-14	-14,7	-15,3	-16,3	-17,7	-19,2	-20,7	-22	-23,2

vzdálenost čel vláken [mm]	9	10	15	20	25	30	35	40	45	50
A[dB]	-24,2	-25,1	-28,7	-31,3	-33,3	-34,9	-36,2	-37,4	-38,3	-39,2



Graf 21. Závislost útlumu na vzdálenosti čel vláken

Měření úhlové odchylky:

- Posuňte levé rameno k pravému do polohy 0 mm tak, aby se čela vláken dotýkala.
- Posuňte levé rameno do polohy 5 mm (vzdálenost mezi čely vláken) a zaaretujte.
- Nastavte referenční hodnotu.
- Otáčením levého ramene nastavujte postupně úhlovou odchylku až do 40° s krokem 5° a pro jednotlivé úhly odečtěte odpovídající útlum.
- Výsledky zapište do tabulky a znázorněte graficky.

**Schéma zapojení:**

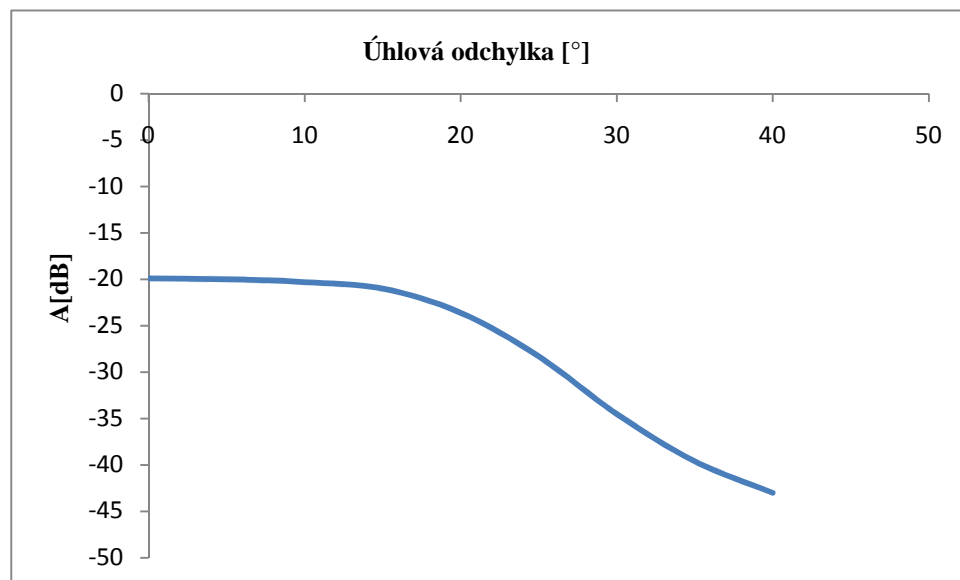
Použijeme stejné zapojení jako u měření podélné odchylky.

**Naměřené hodnoty:**

Při nulové odchylce  $A_{REF} = -19,9$  dB.

Tab. 36. Naměřený útlum úhlové odchylky

Úhlová odchylka [°]	0	5	10	15	20	25	30	35	40
A[dB]	-19,9	-20	-20,3	-21	-23,6	-28,3	-34,5	-39,6	-43



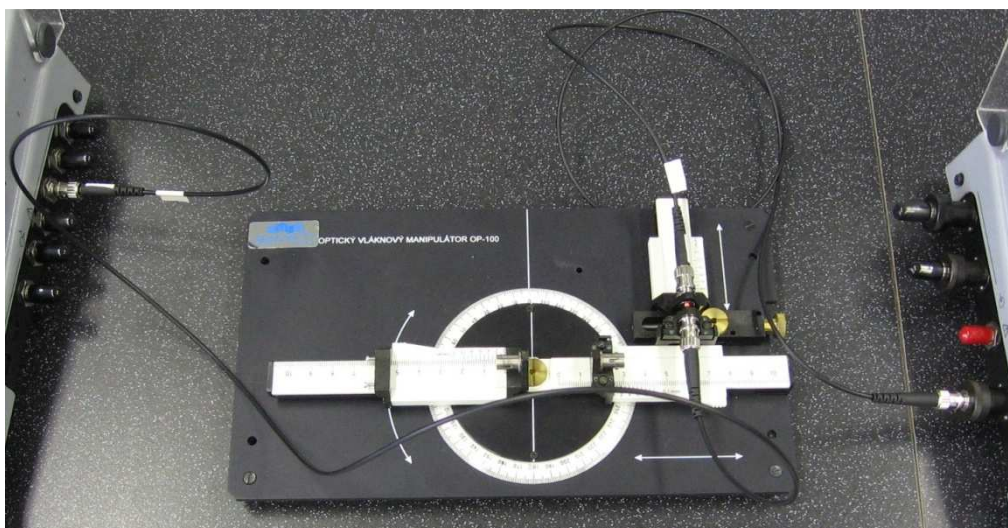
Graf 22. Závislost útlumu na úhlové odchylce

Měření příčné odchylky:

- Připojte propojovací kabely k manipulátoru podle obrázku.
- Příčná odchylka bude realizována posuvem na pravém rameni manipulátoru.
- Nastavte minimální vzdálenost mezi čely konektorů (poloha 0 – vzdálenost mezi čely asi 2 mm).

- Posuňte konektor na pravém rameni manipulátoru tak, aby hodnota měřeného výkonu byla maximální – tomu odpovídá nulová příčná odchylka – čela konektorů jsou v ose.
- Odečtěte maximální hodnotu výkonu a nastavte ji jako referenční.
- Nastavte postupně příčnou odchylku s krokem 0,5 mm až do hodnoty 3,5 mm a měřte odpovídající útlum.
- Opakujte měření (i nastavení reference) pro vzdálenost čel konektorů cca 8 mm (podélně pohyblivý konektor v poloze 6 mm)
- Hodnoty zapište do tabulky a znázorněte graficky.

### Schéma zapojení:



Obr. 77. Zapojení manipulátoru pro měření příčné odchylky

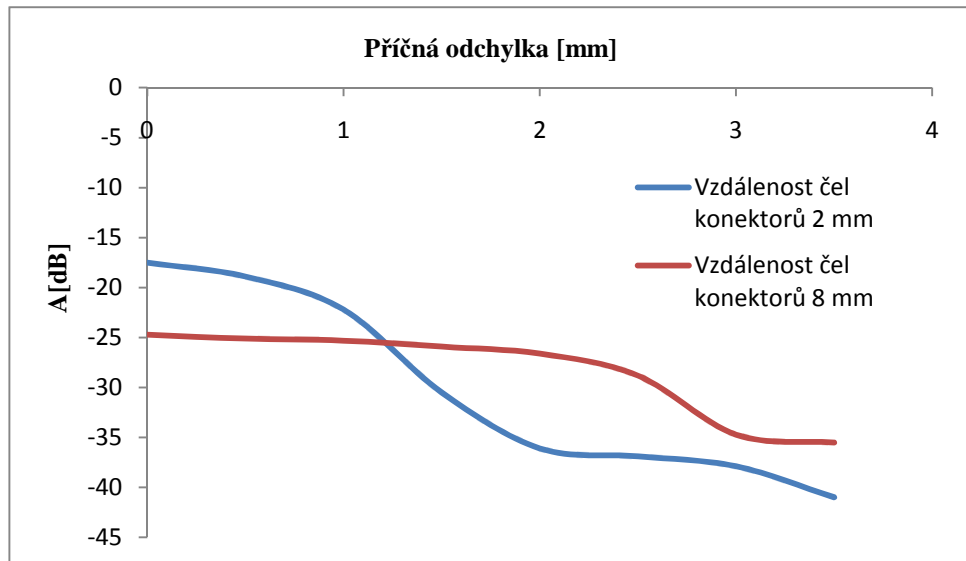
### Naměřené hodnoty:

Při nulové odchylce a vzdálenosti čel 2 mm je  $A_{REF} = -17,5$  dB.

Při nulové odchylce a vzdálenosti čel 8 mm je  $A_{REF} = -24,7$  dB.

Tab. 37. Naměřený útlum příčné odchylky

Vzdálenost čel konektorů [mm]	2	8
Příčná odchylka[mm]	A[dB]	
0	-17,5	-24,7
0,5	-18,9	-25,1
1	-22,2	-25,3
1,5	-30,5	-25,9
2	-36,1	-26,6
2,5	-36,9	-28,8
3	-37,9	-34,7
3,5	-41,0	-35,5



Graf 23. Závislost útlumu na příčné odchylce

### Závěr:

V úloze jsme měřili tři různé odchylky optického vlákna. Při měření úhlové odchylky jsme použili stejné zapojení jako u podélné odchylky, s tím rozdílem, že jsme levým ramenem otáčeli po kruhové dráze, tak jak je zobrazeno na manipulátoru. U podélné odchylky je závislost útlumu na odchylce exponenciální. U úhlové odchylky nastává největší zlom při 20°, pak útlum rychle roste, jelikož návaznost optického paprsku je stále menší. Při příčné odchylce můžeme vidět rozdíl závislostí podle toho jak byly vzdáleny čela konektorů.

## 10.20 ÚLOHA 20: MĚŘENÍ OPTICKÉ ROZBOČNICE

### Zadání:

Změřte útlum optické rozbočnice mezi jejími jednotlivými porty.

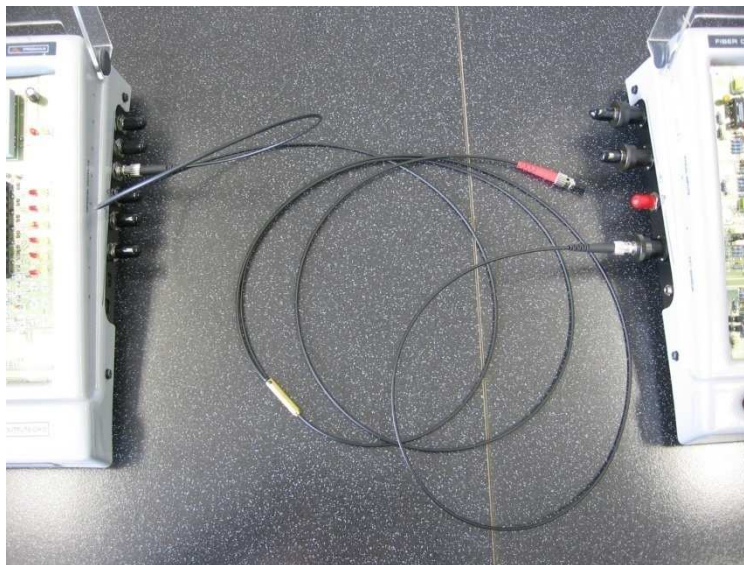
### Přístroje, pomůcky a materiály:

- Propojovací kabely
- Optická rozbočnice
- Reflexní sonda
- Zdroj bílého světla
- Čistící prvky

### Praktický postup:

- Nastavení

- Vysílač:
    - Vstup: DC (bez zapojení) na kanálu CH1
    - mA měření: CH1
    - Optický výstup: Optický zdroj č. 3 (LED 660 nm) pro CH1
  - Přijímač:
    - Funkce: DC měření
    - Optický vstup: Fotodetektor č. 4 (Si 2,5 mm)
    - Vlnová délka: 660 nm
- Vyzkoušejte jednoduché rozdělení a sloučení optického zdroje záření pomocí reflexní sondy. K tomu použijte zdroj bílého světla, který připojíte postupně k portům 1 a 2 (nezapojený port je zakryt čepičkou) a pozorujte světlo v portu 3.
  - Spojte propojovacím kabelem výstup vysílače s jemu odpovídajícím vstupem přijímače.
  - Nastavte proud vysílače  $I_{BIAS}$  přibližně na 11mA. Počkejte 1 minutu na jeho stabilizaci.
  - Nastavte referenční hodnotu měřeného výkonu.
  - Zapojte k odpovídajícímu výstupu vysílače port 1 rozbočnice a port 2 k odpovídajícímu vstupu přijímače. Zbýlý je port je vhodné zakrýt čepičkou.

**Schéma zapojení:**

*Obr. 78. Zapojení optické rozbočnice*

- Změřte útlum rozbočnice mezi porty 1 – 2.
- Připojte port 3 k odpovídajícímu vstupu přijímače.

- Změřte útlum rozbočnice mezi porty 1 – 3.
- Přepojte port 2 k výstupu vysílače a port 1 ke vstupu přijímače.
- Změřte útlum rozbočnice mezi porty 2 – 1.
- Připojte port 3 k odpovídajícímu vstupu přijímače.
- Změřte útlum rozbočnice mezi porty 2 – 3.
- Přepojte port 3 k výstupu vysílače a port 1 ke vstupu přijímače.
- Změřte útlum rozbočnice mezi porty 3 – 1.
- Přepojte port 2 k výstupu vysílače a port 1 ke vstupu přijímače.
- Změřte útlum rozbočnice mezi porty 3 – 2.
- Opakujte měření pro fotodetektor č. 4 (850 nm).
- Opakujte měření na obou vlnových délkách pro druhou rozbočnici.
- Výsledky zapište

### Naměřené hodnoty:

Hodnota útlumu propojovacím kabelem  $A_{REF} = -7,4$  dB.

Tab. 38. Hodnoty útlumu obou rozbočnic

Rozbočnice	A [dB]											
	660 nm						850 nm					
	1-2	1-3	2-1	2-3	3-1	3-2	1-2	1-3	2-1	2-3	3-1	3-2
č. 1	-10,6	-11,5	-10,7	-31,1	-11,3	-31	-11,1	-12	-11,2	-31,6	-11,8	-31,5
č. 2	-10,8	-10,3	-11	-28,4	-10,4	-27,4	-11,3	-10,8	-11,5	-28,9	-10,9	-27,9

### Závěr:

Rozbočnice rozděljuje světlo a také ho slučuje, bylo to dobře patrné při přiložení zdroje světla. Z měření lze vyvodit, že s větší vlnovou délkou se zvětšuje také útlum vlákna. Vliv na útlum vlákna má také to, jestli je nezapojený port zakončen čepičkou nebo jestli je bez ní. Pokud je bez ní, útlum vlákna je ještě větší.

## 10.21 ÚLOHA 21: MĚŘENÍ PROMĚNNÉ OPTICKÉ ROZBOČNICE

### Zadání:

Změřte útlum proměnné optické rozbočnice mezi jejími jednotlivými porty.

### Přístroje, pomůcky a materiály:

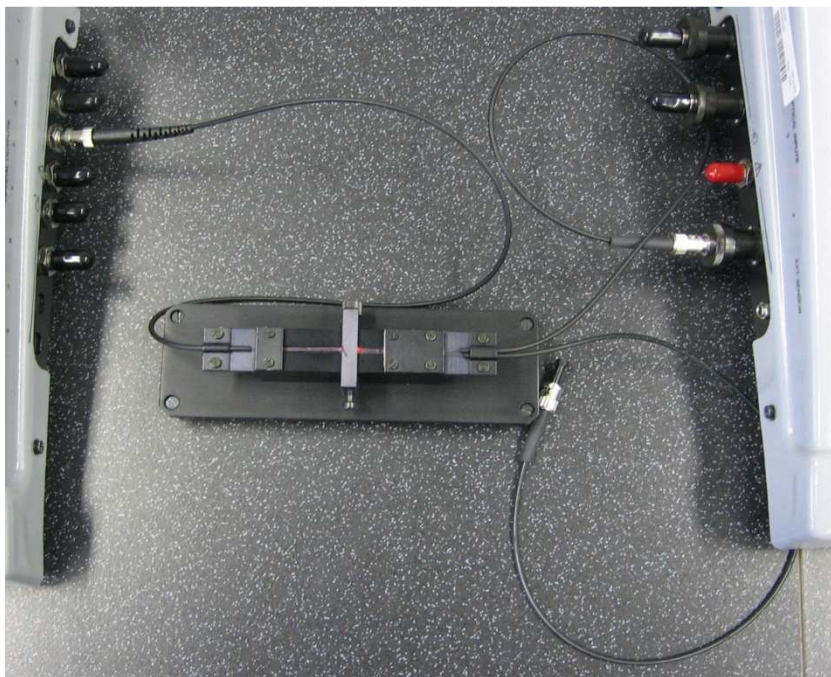
- Propojovací kabely
- Proměnná optická rozbočnice

- Čistící prvky

**Praktický postup:**

- Nastavení
  - Vysílač:
    - Vstup: DC (bez zapojení) na kanálu CH1
    - mA měření: CH1
    - Optický výstup: Optický zdroj č. 3 (LED 660 nm) pro CH1
  - Přijímač:
    - Funkce: DC měření
    - Optický vstup: Fotodetektor č. 4 (Si 2,5 mm)
    - Vlnová délka: 660 nm
- Spojte propojovacím kabelem výstup vysílače s jemu odpovídajícím vstupem přijímače.
- Nastavte proud vysílače  $I_{BIAS}$  přibližně na 11mA. Počkejte 1 minutu na jeho stabilizaci.
- Nastavte referenční hodnotu měřeného výkonu.
- Zapojte k odpovídajícímu výstupu vysílače port 1 proměnné rozbočnice a port 2 k odpovídajícímu vstupu přijímače. Zbylý port je vhodné zakrýt čepičkou.
- Změřte útlum mezi porty 1 – 2, je – li nastaven dělicí poměr tak, aby 100% optického záření procházelo do portu 2 (minimální útlum).
- Měňte dělicí poměr mezi porty 2 a 3, měřte útlum mezi porty 1 a 2 a pozorujte optické záření v portu 3.
- Změřte útlum mezi porty 1 – 2, je – li nastaven dělicí poměr tak, aby 100% optického záření procházelo do portu 3 (minimální útlum).
- Totéž proveďte, je – li místo portu 2 zapojen port 3.
- Nastavte dělicí poměr přibližně na 50% - 50% a změřte útlum mezi porty 1 – 2 a 1 – 3.
- Opakujte předchozí měření pro zdroj č. 4 (LED/850 nm)
- Využijte proměnné rozbočnice k řízení optického výkonu – použijte např. signál z interního generátoru.
- Nastavení

- Vysílač:
    - Vstup: Generátor na kanálu CH1
    - Sinusový signál
    - Frekvence 1 kHz
    - DC zapojení (přepínač S1 (1) na DC pozici a S1 (2) na AC pozici)
    - mA měření: CH1
    - Optický výstup: Optický zdroj č. 3 (LED 660 nm) pro CH1
  - Přijímač:
    - Funkce: ANALOG měření
    - Optický vstup: Fotodetektor č. 1 (PIN Si 1 mm) analogový kanál
    - Filtr 100 kHz: zapnut (S1 (2))
- Spojte propojovacím kabelem výstup vysílače s jemu odpovídajícím vstupem přijímače.
  - Nastavte proud vysílače  $I_{BIAS}$  na 2 mA a zesílení GAIN na maximum.
  - Zapojte port 1 k odpovídajícímu výstupu vysílače a port 2 k odpovídajícímu vstupu přijímače.
  - Změňte dělicí poměr výkonu mezi porty 2 a 3 a poslouchejte, jak se mění hlasitost zvuku.

**Schéma zapojení:**

Obr. 79. Zapojení proměnné optické rozbočnice

**Naměřené hodnoty:**

Referenční hodnota útlumu pro 660 nm je  $A_{REF} = -7,35$  dB.

Referenční hodnota útlumu pro 850 nm je  $A_{REF} = -12,18$  dB.

*Tab. 39. Hodnoty pro vlnovou délku 660 nm*

Dělicí poměr	Zapojen port 2 A [dB]	Zapojen port 3 A [dB]
<b>100% výkonu do portu 2</b>	-11,6	-52,3
<b>50% výkonu do portu 2</b>	-15,8	-18,1
<b>100% výkonu do portu 3</b>	-52,3	-13,4

*Tab. 40. Hodnoty pro vlnovou délku 850 nm*

Dělicí poměr	Zapojen port 2 A [dB]	Zapojen port 3 A [dB]
<b>100% výkonu do portu 2</b>	-15,8	-53,9
<b>50% výkonu do portu 2</b>	-17,8	-20,8
<b>100% výkonu do portu 3</b>	-54,1	-17,7

**Závěr:**

Při zapojení optické rozbojnice, bylo krásně vidět, když se měnil dělicí poměr, jak se zesilovalo optické záření v nezapojeném portu. Měření jsme provedli na dvou vlnových délkách 660 nm a 850 nm. Větší útlumy byly při 850 nm. Poté jsme připojili sluchátka a poslouchali jak se mění hlasitost zvuku. Zvuk byl trochu slyšet, při změnách dělicí poměru se zvuk postupně ztrácel. Nejsilnější byl, když 100% výkonu šlo do zapojeného portu a nejslabší byl, když 100% výkonu šlo do nezapojeného portu.

## 10.22 ÚLOHA 22: MĚŘENÍ NEUTRÁLNÍCH OPTICKÝCH FILTRŮ

**Zadání:**

Změřte útlum neutrálních optických filtrů.

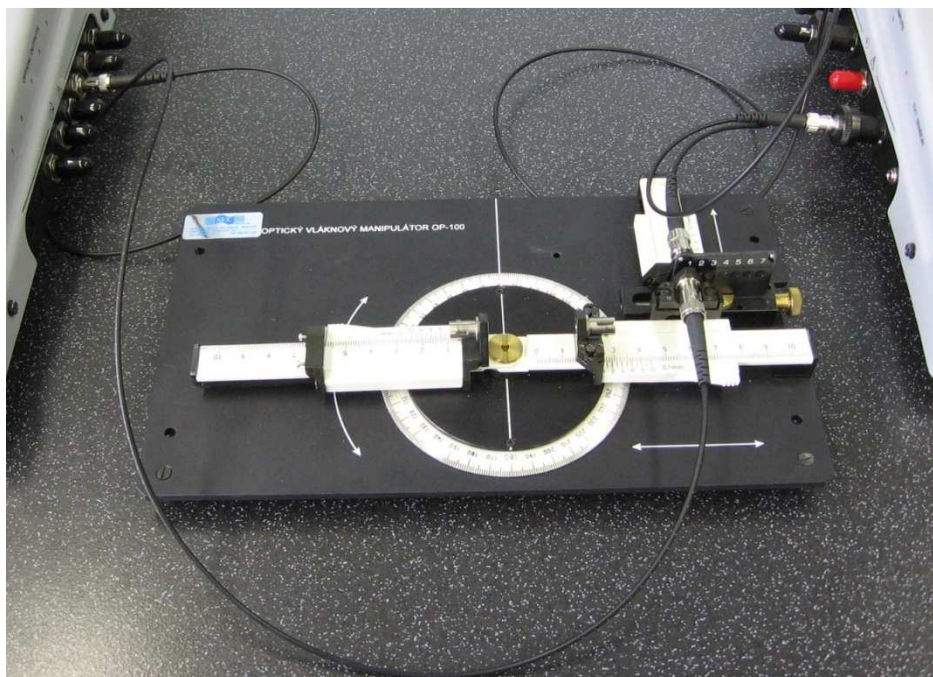
**Přístroje, pomůcky a materiály:**

- Propojovací kabely
- Manipulátor
- Sada neutrálních optických filtrů
- Univerzální držáky
- Čistící prvky

**Praktický postup:**

- Nastavení
  - o Vysílač:
    - Vstup: DC (bez zapojení) na kanálu CH1
    - mA měření: CH1
    - Optický výstup: Optický zdroj č. 3 (LED 660 nm) pro CH1
  - o Přijímač:
    - Funkce: DC měření
    - Optický vstup: Fotodetektor č. 4 (Si 2,5 mm)
    - Vlnová délka: 660 nm
- Spojte propojovacím kabelem výstup vysílače, vstupu přijímače a manipulátor.
- Nastavte proud vysílače  $I_{BIAS}$  přibližně na 11mA. Počkejte 1 minutu na jeho stabilizaci.
- Nastavte konektory tak, aby vzdálenost mezi čely vláken byla minimální (minimální vzdálenost 2 mm). Nastavení proveďte nalezením maxima detekovaného výkonu.
- Do posuvného jezdce mezi konektory vložte sadu neutrálních optických filtrů.
- Nastavte mezi čela vláken první otvor (bez filtru).
- Změřenou hodnotu výkonu nastavte jako referenční.
- Postupně nastavte mezi čela vláken další filtry a odečítejte hodnoty útlumu.
- Opakujte předchozí postup pro vlnovou délku 850 nm (zdroj č.4).
- Hodnoty zapište.
- Je možné měřit útlumy dalších filtrů, folií, sklíček. K tomu jsou určeny dva univerzální držáky – držák č. 2 je pro umístění do stejného místa jako sada neutrálních filtrů. Držák č. 1 se vkládá mezi levé a pravé rameno manipulátoru.

**Schéma zapojení:**



Obr. 80. Zapojení manipulátoru se sadou optických neutrálních filtrů

**Naměřené hodnoty:**

Tab. 41. Hodnoty útlumu neutrálních optických filtrů

otvor č.		1	2	3	4	5	6	7
A[dB]	660 nm	-15,80	-17,00	-18,81	-21,28	-25,61	-28,61	-33,0
A[dB]	850 nm	-16,36	-17,57	-19,33	-21,80	-26,10	-29,10	-33,5

**Závěr:**

Při měření jsme měřili útlumy na různých filtrech a dvou vlnových délkách. Útlumy při různých vlnových délkách jsou hodně podobné, záleží tedy na typu filtru, který je vložen v držáku. Je důležité optický paprsek směřovat přímo do středu filtru, aby měření bylo přesné.

## 10.23 ÚLOHA 23: MĚŘENÍ ÚTLUMU PROMĚNNÉHO OPTICKÉHO ATENUÁTORU

**Zadání:**

Změřte útlum optického atenuátoru pro jeho jednotlivé nastavené hodnoty.

**Přístroje, pomůcky a materiály:**

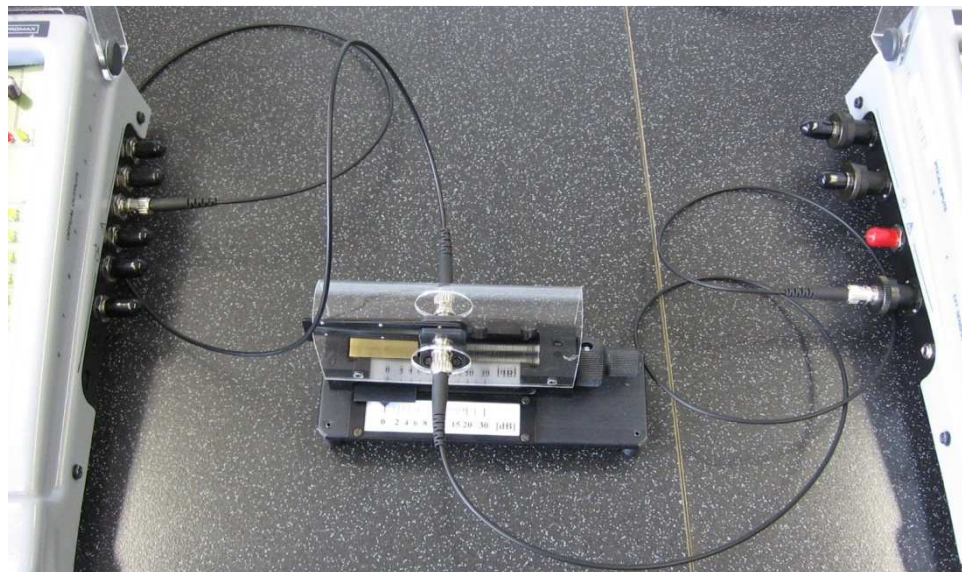
- Propojovací kabely

- Proměnná atenuátor PLATTAN
- ST konektorová spojka
- Zdroj bílého světla
- Čistící prvky

**Praktický postup:**

- Nastavení
  - Vysílač:
    - Vstup: DC (bez zapojení) na kanálu CH1
    - mA měření: CH1
    - Optický výstup: Optický zdroj č. 3 (LED 660 nm) pro CH1
  - Přijímač:
    - Funkce: DC měření
    - Optický vstup: Fotodetektor č. 4 (Si 2,5 mm) na analogovém kanálu
    - Vlnová délka: 660 nm
- Propojte propojovacími kabely a ST konektorovou spojkou výstup vysílače a jemu odpovídající vstupu přijímače.
- Nastavte proud vysílače  $I_{BIAS}$  přibližně na 11mA. Počkejte 1 minutu na jeho stabilizaci.
- Změřený výkon nastavte jako referenční hodnotu.
- ST spojku nahraďte proměnným atenuátorem.

**Schéma zapojení:**



Obr. 81. Zapojení proměnného atenuátoru

- Na atenuátoru nastavte hodnotu 0 dB a změřte útlum.
- Nastavte hodnotu výkonu při nastavení nominálního útlumu 0 dB na atenuátoru jako novou referenční hodnotu. Postupně nastavujte na atenuátoru všechny vyznačené nominální hodnoty útlumu a změřte odpovídající hodnoty skutečných útlumů.
- Změřené hodnoty zapište do tabulky.
- Spočítejte odchylku skutečné a nominální hodnoty útlumu podle vztahu  $\Delta = A_{\text{skutečný}} - A_{\text{nominální}}$  a její závislost na nominální hodnotě znázorněte graficky.

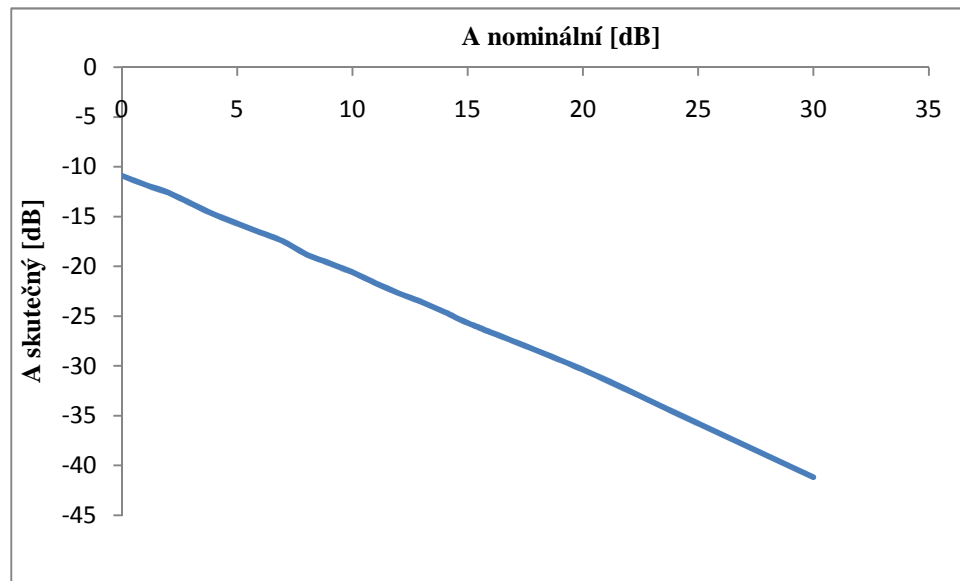
**Naměřené hodnoty:**

Útlum naměřený při spojení ST spojkou  $A = -8,7$  dB

Tab. 42. Nominální a reálné hodnoty útlumu na atenuátoru

A [dB] nominální	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A [dB] skutečný	-10,9	-11,8	-12,6	-13,7	-14,8	-15,7	-16,6	-17,5	-18,8	-19,7
$\Delta$ [dB]	-10,9	-10,8	-10,6	-10,7	-10,8	-10,7	-10,6	-10,5	-10,8	-10,7

A [dB] nominální	10	11	12	13	14	15	20	25	30
A [dB] skutečný	-20,6	-21,7	-22,7	-23,6	-24,6	-25,7	-30,4	-35,8	-41,2
$\Delta$ [dB]	-10,6	-10,7	-10,7	-10,6	-10,6	-10,7	-10,6	-10,8	-11,2



Graf 24. Závislost skutečného útlumu na nominální hodnotě

#### **Závěr:**

Z grafu je patrné, že při 0 nominálním útlumu je naměřen -10,9 dBm, což je způsobeno vlastním spojením. V případě ST spojky byl naměřen útlum - 8,7 dBm. Při všech dalších nominálních útlumech byl naměřený po odečtení nominálního útlumu v průměru - 10,7 dBm. Z toho plyne, že naměřený útlum při nulovém nominálním je opravdu způsoben spojením.

### **10.24 ÚLOHA 24: SPEKTRÁLNÍ ZÁVISLOT ÚTLUMU PROMĚNNÉHO OPTICKÉHO ATENUÁTORU**

#### **Zadání:**

Změřte spektrální závislost útlumu optického attenuátoru pro jeho jednotlivé nastavené nominální hodnoty.

#### **Přístroje, pomůcky a materiály:**

- Propojovací kabely
- Proměnná attenuátor PLATTAN
- Čistící prvky

#### **Praktický postup:**

- Nastavení
  - o Vysílač:
    - Vstup: DC (bez zapojení) na kanálu CH1
    - mA měření: CH1
    - Optický výstup: Optický zdroj č. 3 (LED 660 nm) pro CH1
  - o Přijímač:
    - Funkce: DC měření
    - Optický vstup: Fotodetektor č. 4 (Si 2,5 mm) na analogovém kanálu
    - Vlnová délka: 660 nm
- Propojte propojovacími kabely proměnný atenuátor výstup vysílače a jemu odpovídající vstup přijímače.
- Nastavte proud vysílače  $I_{BIAS}$  přibližně na 11mA. Počkejte 1 minutu na jeho stabilizaci.
- Na atenuátoru nastavte hodnotu útlumu 0 dB.
- Změřený výkon při této nominální hodnotě útlumu (0 dB) nastavte jako referenční hodnotu.
- Nastavte postupně na atenuátoru nominální hodnoty útlumu 1, 3, 5, 7, 10, 15, 20 a 30 dB a změřte skutečné hodnoty útlumu.
- Zopakujte předchozí postup pro vlnové délky 526 nm, 590 nm, 850 nm a 1300 nm.
- Pro jednotlivé zdroje záření nastavte následující proud  $I_{BIAS}$ .

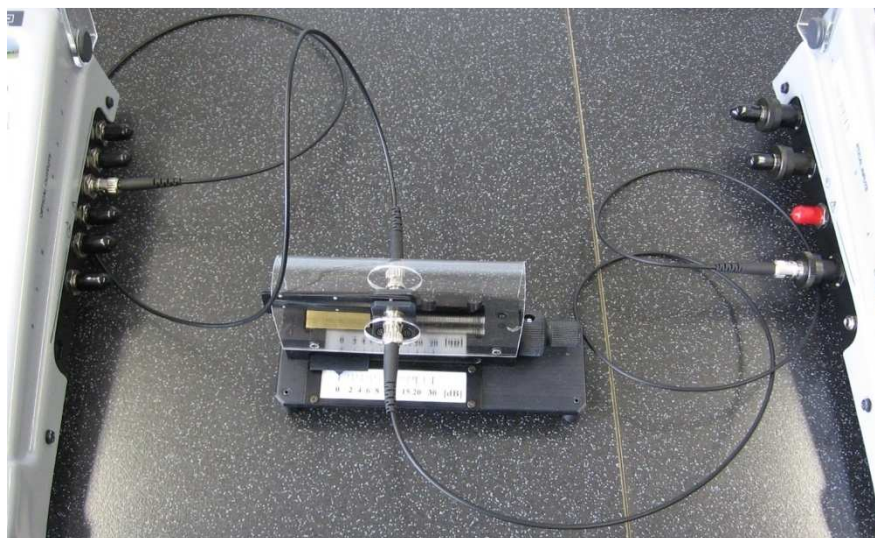
Zdroj	vlnová délka	proud $I_{BIAS}$ (mA)
Č.1	526 nm	19
Č.2	590 nm	19
Č.4	850 nm	17
Č.6	1300 nm	10

Poznámka: Při měření na vlnové délce 1300 nm použijte fotodetektor č. 2 (PIN InGaAs)

Díky vysokému útlumu optického vlákna na vlnové délce 1300 nm nemusí být možné změřit útlum atenuátoru v celém rozsahu nominálních hodnot.

- Naměřené hodnoty zapište do tabulky, spočítejte odchylku skutečné a nominální hodnoty útlumu podle vztahu  $\Delta = A_{skutečný} - A_{nominální}$  a její závislost na nominální hodnotě nastavené na atenuátoru znázorněte graficky.

**Schéma zapojení:**



Obr. 82: Zapojení proměnného atenuátoru

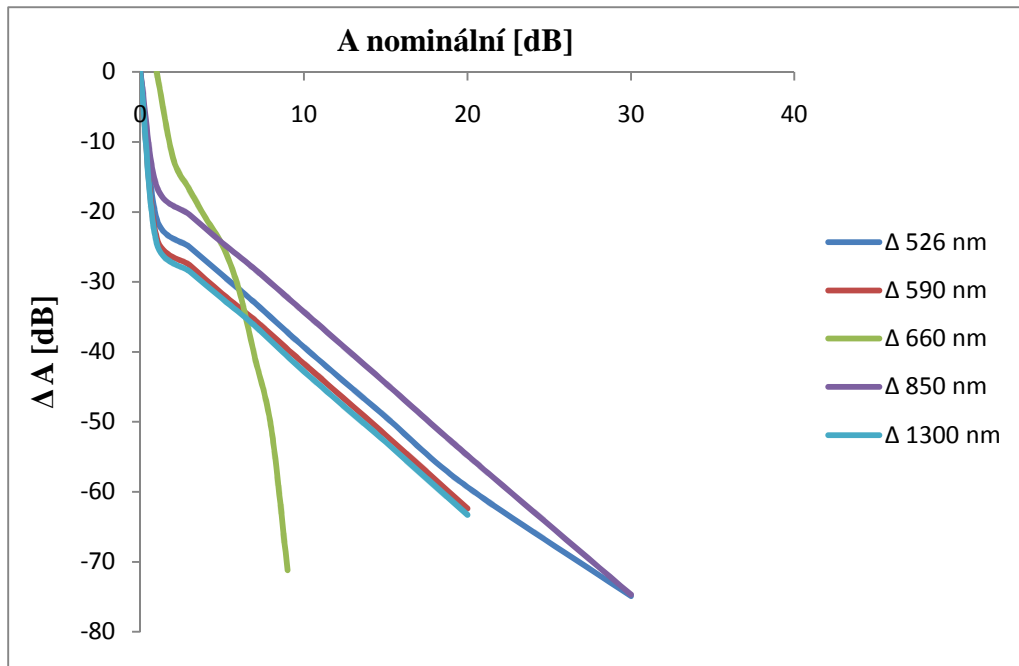
Naměřené hodnoty:

Tab. 43. Referenční hodnoty útlumu

$\lambda$ [nm]	526	590	660	850	1300
A [dB]	-19,3	-21,7	-11	-14,5	-22,5

Tab. 44. Naměřený skutečný útlum a vypočítaný rozdíl útlumu

$\lambda$ [nm]	A [dB] nominální	0	1	3	5	7	10	15	20	30
526	A [dB] skutečný	0	-20	-22	-24	-26	-29,3	-34,3	-39,3	44,9
	$\Delta$ [dB]	0	-21	-25	-29	-33	-39,3	-49,3	-59,3	14,9
590	A [dB] skutečný	0	-22,7	-24,6	-26,7	-28,5	-31,7	-36,9	-42,4	nízký signál
	$\Delta$ [dB]	0	-23,7	-27,6	-31,7	-35,5	-41,7	-51,9	-62,4	nízký signál
660	A [dB] skutečný	0	-11,3	-13,8	-15,9	-17,7	-20,9	-25,8	-30,9	-41,2
	$\Delta$ [dB]	0	-12,3	-16,8	-20,9	-24,7	-30,9	-40,8	-50,9	-71,2
850	A [dB] skutečný	0	-15,4	-17,4	-19,4	-21,2	-24,3	-29,5	-34,8	-44,7
	$\Delta$ [dB]	0	-16,4	-20,4	-24,4	-28,2	-34,3	-44,5	-54,8	-74,7
1300	A [dB] skutečný	0	-23,5	-25,5	-27,4	-29,3	-32,8	-37,9	-43,3	nízký signál
	$\Delta$ [dB]	0	-24,5	-28,5	-32,4	-36,3	-42,8	-52,9	-63,3	nízký signál



Graf 25. Závislost odchylky útlumu na nominální hodnotě útlumu

#### Závěr:

Ke každé vlnové délce jsme naměřili jednotlivé referenční hodnoty. Při některých vlnových délkách u nominální hodnoty 30 dB, jsme neměřili žádnou hodnotu. Na displeji se zobrazilo, že signál je příliš nízký, resp. útlum byl hodně velký. V grafu jde vidět, že závislosti jednotlivých vlnových délek je podobná. Pouze vlnová délka 660 nm se liší, její hodnoty útlumu byly nejmenší.

### 10.25 ÚLOHA 25: POROVNÁNÍ ŠUMOVÝCH VLASTNOSTÍ RŮZNÝCH DETEKTORŮ OPTICKÉHO ZÁŘENÍ

#### Zadání:

Změřte a porovnejte šumové vlastnosti PIN a APD fotodiod.

#### Přístroje, pomůcky a materiály:

- Osciloskop
- Voltmetr (minimální šířka pásma 100 kHz)
- Propojovací kabely
- Proměnná atenuátor PLATTAN
- Čistící prvky

**Praktický postup:**

- Nastavení
  - o Vysílač:
    - Vstup: Generátor na kanálu CH1
    - Sinusový signál
    - Frekvence 1 kHz
    - DC zapojení (přepínač S1 (1) na DC pozici a S1 (2) na AC pozici)
    - mA měření: CH1
    - Optický výstup: Optický zdroj č. 4 (LED 850 nm) pro CH1
  - o Přijímač:
    - Funkce: ANALOG měření
    - Optický vstup: Fotodetektor č. 3 (APD Ge 0,1 mm) analogový kanál
    - Filtr 100 kHz: zapnut (S1 (2))
    - Vlnová délka: 850 nm
    - Výstupní impedance:  $75\Omega$  přepínač S2(1)

Poznámka: Z důvodů frekvenčního omezení použitého voltmetru bude šum měřen pouze v pásmu do 100 kHz.

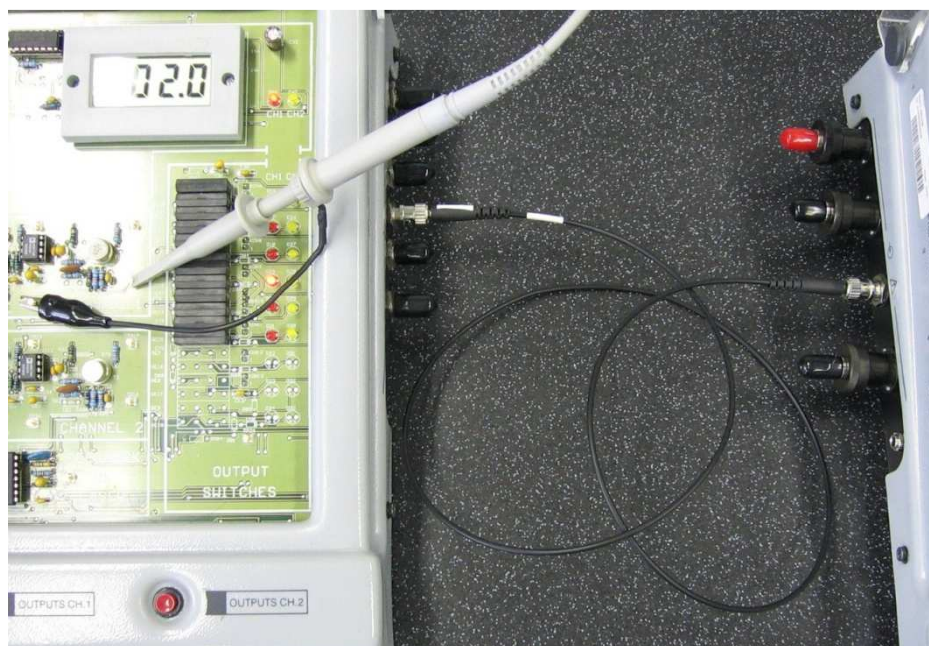
- Spojte propojovacím kabelem výstup vysílače s jemu odpovídajícím vstupem přijímače.
- Nastavte proud vysílače  $I_{BIAS}$  na 2 mA a zesílení GAIN na maximum.
- Připojte osciloskop a voltmetr k analogovému výstupu vysílače (použijte BNC T-člen nebo osciloskop a voltmetr v průběhu měření přepojujte)
- Nastavte na přijímači zesílení GAIN na maximum.
- Nastavte potenciometrem P5 závěrné napětí ( $U_{BIAS}$ ) dokud se bude kvalita signálu zlepšovat (pozorujte na osciloskopu).
- Změřte detekovaný výkon ( $P_x$ ).
- Zvyšujte na přijímači závěrné napětí ( $U_{BIAS}$ ) dokud se bude kvalita signálu zlepšovat (pozorujte na osciloskopu).
- Změřte napětí  $U_{APD-signal}$  (signál na APD fotodiodě).
- Odpojte propojovací kabel od fotodetektoru č. 3 a zakryjte ho krytkou.
- Změřte napětí  $U_{APD-noise}$  (šum fotodiody).
- Zvolte na přijímači fotodetektor č. 2 (PIN InGaAs 1 mm)

- Spojte propojovacím kabelem výstup vysílače, proměnný atenuátor a jemu odpovídající vstup přijímače.
- Nastavte potenciometrem P5 závěrné napětí ( $U_{BIAS}$ ) na minimum.
- Nastavte útlum atenuátoru tak, aby detekovaný výkon byl stejný jako v případě fotodetektoru APD ( $P_x$ ).
- Nastavte potenciometrem P5 závěrné napětí ( $U_{BIAS}$ ) na maximum. Pozorujte na osciloskopu, že změna závěrného napětí nemá prakticky vliv na velikost detekovaného výkonu.
- Změřte napětí  $U_{PIN-signal}$  (signál na PIN fotodiodě).
- Odpojte propojovací kabel od fotodetektoru č. 2 a zakryjte detektor krytkou.
- Změřte napětí  $U_{PIN-noise}$  (šum PIN fotodiody).
- Určete odstup signálu-šum pro fotodetektory PIN a APD dle vztahů:
 
$$SNR_{PIN} = 10 * \log (U_{PIN-signal} / U_{PIN-noise}) \quad [dB]$$

$$SNR_{APD} = 10 * \log (U_{APD-signal} / U_{APD-noise}) \quad [dB]$$
- Porovnejte výsledky PIN a APD fotodetektoru.

Poznámka: Srovnání bude platné, jestliže detekované výkony obou detektorů budou stejné. V případě, že je signál příliš slabý a v režimu ANALOG není možné jeho velikost změřit, změňte režim měření na DC. Po změření hodnoty výkonu opět přepněte na ANALOG.

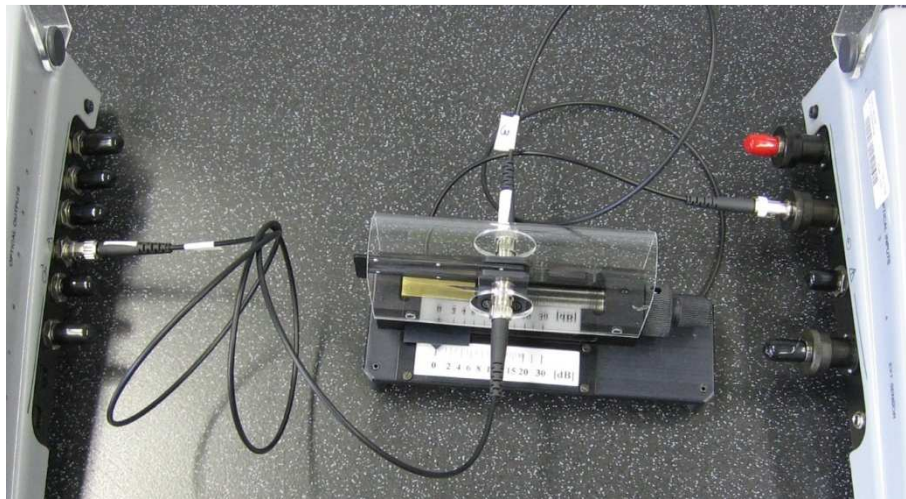
#### Schéma zapojení:



Obr. 83. Propojení vysílače a přijímače a zapojení sondy osciloskopu



Obr. 84. Zapojení osciloskopu a voltmetru na ANALOG výstup přijímače



Obr. 85. Zapojení proměnného atenuátoru PLATTAN

### Naměřené hodnoty:

Hodnoty fotodetektoru č. 3.

Detekovaný výkon  $P_x = 0,21 \mu\text{W}$

Napětí  $U_{\text{APD-signal}} = 2,48\text{V}$

Napětí  $U_{\text{APD-noise}} = 2,49\text{V}$  (zakrytý krytkou)

$\text{SNR}_{\text{APD}} = 10 * \log (U_{\text{APD-signal}} / U_{\text{APD-noise}}) = -0,02 \text{ dB}$

Hodnoty fotodetektoru č. 2.

Detekovaný výkon  $P_x = 0,21\mu\text{W}$

Napětí  $U_{\text{PIN-signal}} = 2,49\text{V}$

Napětí  $U_{\text{PIN-noise}} = 2,48\text{V}$  (zakrytý krytkou)

$\text{SNR}_{\text{PIN}} = 10 * \log (U_{\text{PIN-signal}} / U_{\text{PIN-noise}}) = 0,02\text{dB}$

### **Závěr:**

Jelikož jsme k měření neměli k dispozici BNC T-člen, tak jsme osciloskop a voltmetr střídavě přepojovali na ANALOG výstupu přijímače. Výsledky obou detektorů a hodnoty napětí signálu a šumu jsou téměř stejné. Pouze při zapojení fotodetektoru č. 2 a nastavení potenciometru P5 na maximum se detekovaný výkon zvýšil.

## **10.26 ÚLOHA 26: WDM: MULTIPLEXOVÁNÍ A DEMULTIPLEXOVÁNÍ**

### **Zadání:**

Demonstrujte vlnový multiplex a demultiplex. Změřte útlum demultiplexních filtrů.

### **Přístroje, pomůcky a materiály:**

- Reflexní sonda
- Propojovací kabel
- ST konektorová spojka
- Pevná optická rozbočnice
- Proměnná optická rozbočnice
- ST adaptér pro fotodetektory s 650nm a 850nm filtrem
- Čistící prvky

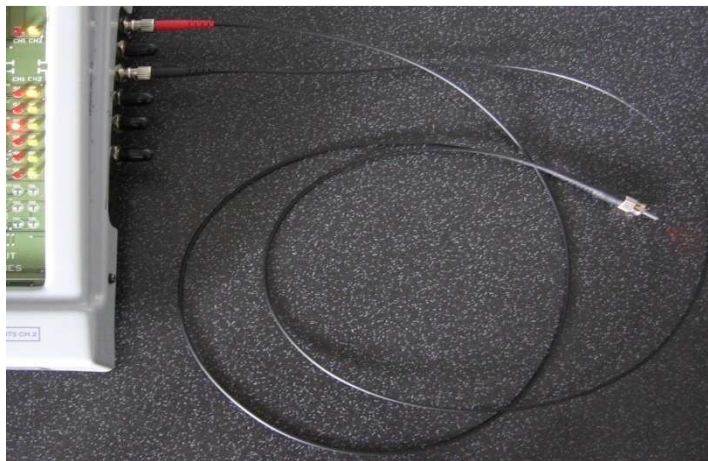
### **Praktický postup:**

- Nastavení
  - o Vysílač:
    - Vstup: DC (bez zapojení) na kanálu CH1
    - Vstup: DC (bez zapojení) na kanálu CH2

- mA měření: CH1 nebo CH2 dle nutnosti
- Optický výstup: Optický zdroj č. 3 (LED 660 nm) pro CH1
- Optický výstup: Optický zdroj č. 1 (LED 526 nm) pro CH2

#### Demonstrace multiplexování signálů různých vlnových délek

- Zapojte reflexní sondu k výstupům vysílače (viz obrázek).



*Obr. 86. Zapojení reflexní sondy k multiplexování*

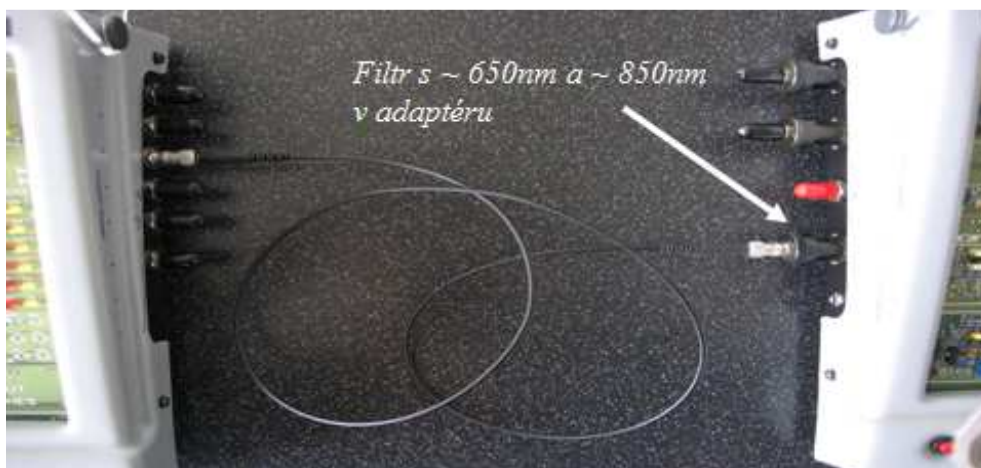
- Nastavte proud zdroje č. 3 ( $I_{\text{BIAS}}$ ) na 6 mA (kanál CH1) a proud zdroje č. 1 ( $I_{\text{BIAS}}$ ) na 3 mA (kanál CH2)
- V konektoru 3 reflexní sondy pozorujte světlo dvou vlnových délek různé barvy.
- Zvyšujte proud zdroje č. 1 ( $I_{\text{BIAS}}$ ) na 11 mA (kanál CH1) a proud zdroje č. 3 ( $I_{\text{BIAS}}$ ) tak, aby intenzita světla v konektoru 3 obou vlnových délek byla přibližně stejná (zastoupení obou barev v konektoru stejné).
- Pomocí ST konektorové spojky připojte k reflexní sondě propojovací kabel.
- Podívejte se, jak se na konci propojovacího kabelu obě vlnové délky sloučily.
- Odpojte reflexní sondu od obou zdrojů vysílače a připojte pevnou optickou rozbočnici a opět pozorujte sloučení záření obou vlnových délek.
- Poté odpojte pevnou optickou rozbočnici a nahraďte proměnnou rozbočnicí.
- Měřte poměr mezi porty 2 a 3 a pozorujte na výstupu (port 1), jak se mění zastoupení jednotlivých signálů vlnových délek (odlišné barvy).

#### Měření demultiplexování signálů různých vlnových délek

Zrušte všechna předchozí nastavení a nastavte:

- Vysílač:
  - Vstup: DC (bez zapojení) na kanálu CH1

- mA měření: CH1
  - Optický výstup: Optický zdroj č. 3 (LED 660 nm) pro CH1
  - Přijímač:
    - Funkce: DC měření
    - Optický vstup: Fotodetektor č. 4 (Si 2,5 mm) na analogovém kanálu
    - Vlnová délka: 660 nm
- 
- Propojte propojovacími kabely výstup vysílače a jemu odpovídající vstup přijímače.
  - Nastavte proud vysílače  $I_{BIAS}$  přibližně na 11mA. Počkejte 1 minutu na jeho stabilizaci.
  - Nastavte změřený výkon jako referenční hodnotu.
  - Nahrad'te ST adaptér na detektoru ST adaptérem s 650 nm filtrem.
  - Odeč'tete změřený útlum filtru 650 nm (pro vlnovou délku záření 660 nm).
  - Nahrad'te ST adaptér s 650 nm filtrem ST adaptérem s 850 nm filtrem.
  - Odeč'tete změřený útlum filtru 850 nm (pro vlnovou délku záření 660 nm).

**Schéma zapojení:**

Obr. 87. Zapojení propojovacího kabelu s adaptéry s filtry 650nm a 850nm

- Zvolte na vysílači zdroj č. 4 (LED 850 nm) na kanál CH1.
- Zvolte na přijímači vlnovou délku 850 nm.

- Propojte propojovacími kabely výstup vysílače a jemu odpovídající vstup přijímače.
- Nahraďte ST adaptér s 850 nm filtrem původním ST adaptérem bez filtru.
- Nastavte proud vysílače  $I_{BIAS}$  přibližně na 17mA. Počkejte 1 minutu na jeho stabilizaci.
- Nastavte změřený výkon jako referenční hodnotu.
- Nahraďte ST adaptér na detektoru ST adaptérem s 650 nm filtrem.
- Odečtěte změřený útlum filtru 650 nm (pro vlnovou délku záření 850 nm).
- Nahraďte ST adaptér s 650 nm filtrem ST adaptérem s 850 nm filtrem.
- Odečtěte změřený útlum filtru 850 nm (pro vlnovou délku záření 850 nm).
- Změřené hodnoty zapište.

#### Naměřené hodnoty:

Referenční hodnota útlumu zdroje č. 3 (vlnová délka 660 nm)  $A_{REF} = -5,66$  dB.

Referenční hodnota útlumu zdroje č. 4 (vlnová délka 850 nm)  $A_{REF} = -8,51$  dB.

Tab. 45. Naměřené útlumy při použití filtrů

Filtr	A[dB]	
	Měřeno na 660 nm	Měřeno na 850 nm
650 nm	-12,23	-23,58
850 nm	-24,85	-9,14

#### Závěr:

Z měření vyplývá, že pokud použijeme filtr, který má shodnou vlnovou délku jako vysílač, tak je útlum podstatně menší než, když použijeme filtr s větší nebo menší hodnotou než je vlnová délka zdroje. Pokud bychom neměli k dispozici filtr s vlnovou délkou 660 nm, byl by změřený útlum ještě menší.

## 10.27 ÚLOHA 27: WDM SYSTÉM

#### Zadání:

Změřte výkon užitečného a infiltrovaného signálu WDM systému.

#### Přístroje, pomůcky a materiály:

- Propojovací kabel
- ST konektorová spojka
- Pevná optická rozbočnice
- ST adaptér pro fotodetektory s 650nm a 850nm filtrem
- Čistící prvky

**Praktický postup:**

- Nastavení
  - Vysílač:
    - Vstup: DC (bez zapojení) na kanálu CH1
    - Vstup: DC (bez zapojení) na kanálu CH2
    - mA měření: CH1 nebo CH2 dle nutnosti
    - Optický výstup: Optický zdroj č. 3 (LED 660 nm) pro CH1
    - Optický výstup: Optický zdroj č. 4 (LED 850 nm) pro CH2
  - Přijímač:
    - Funkce: DC měření
    - Optický vstup: Fotodetektor č. 4 (Si 2,5 mm) na analogovém kanálu
    - Vlnová délka: 660 nm
- Propojte propojovacím kabelem zdroj č. 3 (LED 660 nm) s odpovídající vstupem přijímače.
- Nastavte proud zdroje č. 3 ( $I_{BIAS}$ ) přibližně na 11mA. Počkejte 1 minutu na jeho stabilizaci.
- Odečtěte referenční hodnotu výkonu pro 660 nm.
- Vyměňte na fotodetektoru č. 4 ST adaptér za ST adaptér s 650 nm filtrem.
- Propojte zdroj č. 3 (660 nm) s fotodetektorem č. 4 pomocí dvou pevných optických rozbočnic a ST konektorové spojky (viz. obr.). Volné porty 2 a 4 zakryjte čepičkou.



Obr. 88. Zapojení dvou pevných optických rozbočnic s 650nm filtrem

- Odečtete hodnotu výkonu užitečného signálu pro 660 nm.
- Nahradíte ST adaptér s 650 nm filtrem ST adaptérem s 850 nm filtrem a připojíte k detektoru port 4.



Obr. 89. Zapojení portu 4 optické rozbojnice a filtru 850 nm

- Odečtete hodnotu výkonu infiltrovaného signálu pro 660 nm.
- Nastavte proud zdroje č. 4 ( $I_{BIAS}$ ) na kanálu CH2 přibližně na 17mA. Počkejte 1 minutu na jeho stabilizaci.
- Nahradíte ST adaptér s 850 nm filtrem ST adaptérem bez filtru.

- Propojte propojovacím kabelem zdroj č. 4 (LED 850 nm) s odpovídající vstupem přijímače.
- Zvolte na přijímače vlnovou délku 850 nm.
- Odečtěte referenční hodnotu výkonu pro 850 nm.
- Propojte zdroj č. 4 (850 nm) k portu 2 a fotodetektor č. 4 (PIN Si 2,5 mm) k portu 4. Volné porty zakryjte čepičkou (viz. obr.).



Obr. 90. Zapojení portů 2 a 4 optické rozbočnice a filtru 850 nm v adaptéru

- Odečtěte hodnotu výkonu užitečného signálu pro 850 nm.
- Nahrad'te ST adaptér s 850 nm filtrem ST adaptérem s 650 nm filtrem a připojte k detektoru port 3.



Obr. 91. Zapojení portů 2 a 3 optických rozbočnic a filtru 650 nm

- Odečtete hodnotu výkonu infiltrovaného signálu pro 850 nm.
- Změřené hodnoty zapište do tabulky.

#### Naměřené hodnoty:

Tab. 46. Naměřené hodnoty různých druhů signálů

Vlnová délka	660 nm	850 nm
<b>P</b> referenční signál [dBm]	-6,3	-9
<b>P</b> užitečný signál [dBm]	-23,4	-26,1
<b>A</b> užitečný signál [dB]	-29,7	-35,1
<b>P</b> infiltrovaný signál [dBm]	-37,2	-40,3
<b>A</b> infiltrovaný signál [dB]	-43,5	-49,3

$$A \text{ užitečný signál [dB]} = P \text{ referenční signál [dBm]} - P \text{ užitečný signál [dBm]}$$

$$A \text{ infiltrovaný signál [dB]} = P \text{ referenční signál [dBm]} - P \text{ infiltrovaný signál [dBm]}$$

Poznámka: protože dělicí poměr optických rozbočnic není ideálně 50% - 50%, mohou se naměřené výsledky pro jinou kombinace zapojení portů lišit.

#### Závěr:

Pro výpočty užitečného a infiltrovaného signálu jsme použili vztahy, uvedené pod tabulkou naměřených hodnot. Infiltrovaný signál má na obou vlnových délkách větší útlum než

užitečný signál. Je to dáno použitím adaptérů s filtrem s vyšší (nižší) vlnovou délkou než je vlnová délka vysílače.

## 10.28 ÚLOHA 28: WDM PŘENOS

### Zadání:

Demonstrujte přenos dvou různých signálů pomocí WDM systému.

### Přístroje, pomůcky a materiály:

- Osciloskop
- Mikrofon
- Sluchátka
- ST konektorová spojka
- Pevná optická rozbočnice
- ST adaptér pro fotodetektory s 650nm a 850nm filtrem
- Čistící prvky

### Praktický postup:

- Nastavení
  - Vysílač:
    - Vstup: Generátor na kanálu CH1
    - Pravoúhlý tvar signálu (SQR)
    - Frekvence 1kHz
    - DC zapojení (přepínač S1 (1) na DC pozici a S1 (2) na AC pozici)
    - Vstup: Mikrofon na kanálu CH2
    - mA měření: CH1 nebo CH2 dle nutnosti
    - Optický výstup: Optický zdroj č. 4 (LED 850 nm) pro CH1
    - Optický výstup: Optický zdroj č. 3 (LED 660 nm) pro CH2
  - Přijímač:
    - Funkce: ANALOG měření
    - Optický vstup: Fotodetektor č. 4 (Si 2,5 mm) na digitálním kanálu
    - Optický vstup: Fotodetektor č. 3 (Si 1 mm) na analogovém kanálu
    - Zapojení analogového signálu: AC (přepínač S3 (1))

- 100 kHz filtr: zapnout (přepínač S1(2))
- Nastavte proud zdroje č. 4 ( $I_{BIAS}$ ) na CH1 přibližně na 2mA a zesílení GAIN na maximum.
- Připojte mikrofon k odpovídajícímu vstupu vysílače.



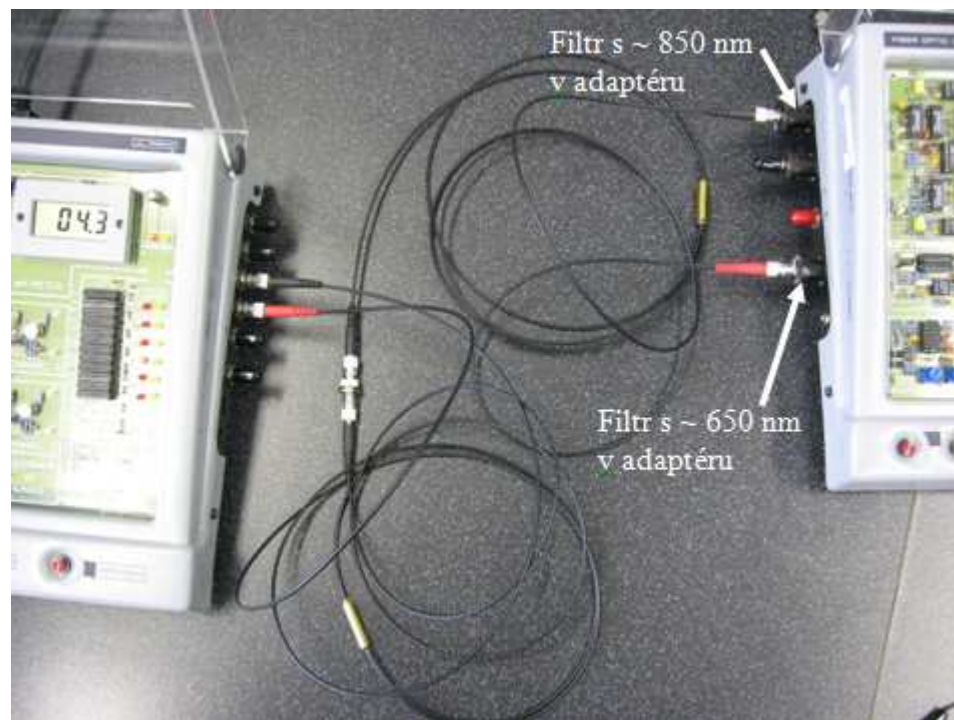
Obr. 92. Zapojení mikrofonu

- Připojte jeden kanál osciloskopu k testovacímu bodu TP16 a GND vysílače (proud zdroje záření).
- Pomocí potenciometru P4 nastavte proud ( $I_{BIAS}$ ) zdroje č. 3 na kanálu CH2 přibližně do poloviny maxima. Pomocí osciloskopu nastavte zesílení (GAIN) tak, aby nejhlasitější zvuk (akustické buzení mikrofonu) generoval maximální signál bez deformace.
- Pomocí dvou optických rozbočnic, ST konektorové spojky a filtrů v adaptérech zapojte WDM systém. Přepojte osciloskop na digitální část přijímače a připojte sluchátka.
- Na přijímači nastavte prahové napětí komparátoru (THRESHOLD) tak, abyste obdrželi správný digitální signál na výstupu a pozorujte jej na osciloskopu – signál z interního generátoru na 850 nm.
- Nastavte na přijímači zesílení analogového signálu (GAIN) a hlasitost (VOLUME) na maximum – audio signál na 660 nm.

- Odpojte mikrofon a poslouchejte ve sluchátkách infiltrovaný signál (tzn. Přeslech) z interního generátoru. Aby byl tento slabý signál (infiltrovaný nežádoucí) signál lépe rozpoznatelný, měňte během poslechu jeho frekvenci na generátoru.
- Zapojte osciloskop k analogovému výstupu přijímače a pozorujte na obrazovce přeslech signálu z generátoru (doporučení: připojte druhý kanál osciloskopu mezi měřící body TP10 a GND vysílače a použijte synchronizaci tímto signálem).

Poznámka: K demonstraci WDM přenosu je možné použít také signál z interního generátoru (audio signál) a signál z externího generátoru pro digitální část přijímače.

### Schéma zapojení:



Obr. 93. Zapojení optických rozbočnic a adaptérů s filtry

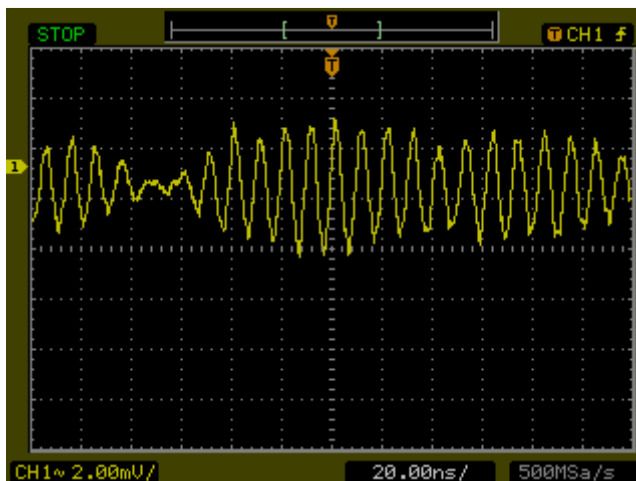


Obr. 94. Zapojení osciloskopu a sluchátek na digitální část přijímače

Naměřené hodnoty:



Obr. 95. Maximální zesílení mikrofonu



Obr. 96. Přeslech analogového kanálu

### Závěr:

Po připojení mikrofonu a osciloskopu jsme vyzkoušeli a nastavili maximální zesílení mikrofonu (signál se začal zkreslovat). Při poslechu infiltrovaného signálu jsme slyšeli slabý zvuk, až po zvýšení VOLUME byl zvuk více slyšitelný. Jeho průběh jsme zachytili na osciloskopu.

## 10.29 ÚLOHA 29: TRANSMISNÍ SENZOR

### Zadání:

Změřte závislost útlumu na velikosti zastínění optického svazku (senzor polohy v příčném směru).

### Přístroje, pomůcky a materiály:

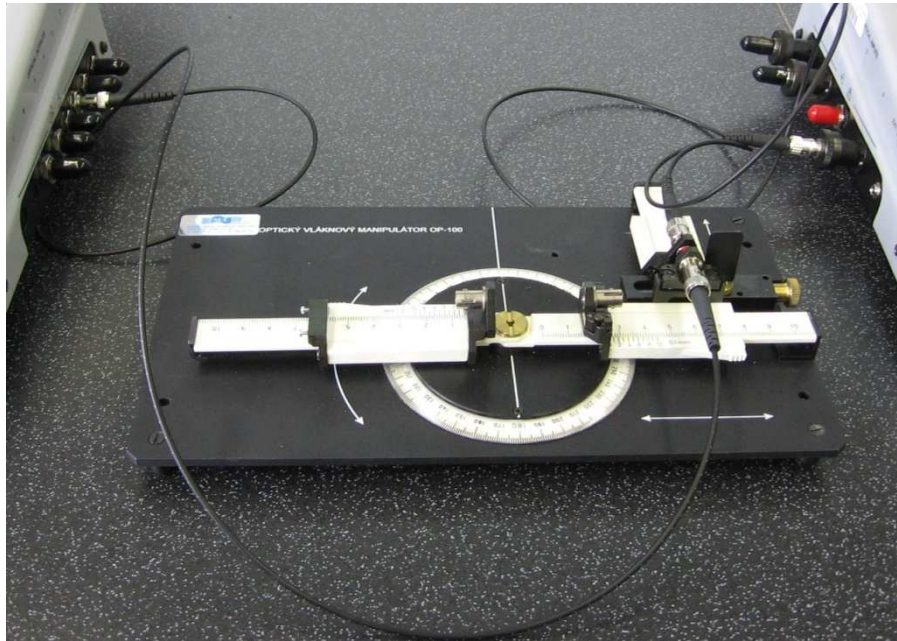
- Propojovací kabely
- Manipulátor
- Clona
- Čistící prvky

### Praktický postup:

- Nastavení
  - o Vysílač:
    - Vstup: DC (bez zapojení) na kanálu CH1
    - mA měření: CH1

- Optický výstup: Optický zdroj č. 3 (LED 660 nm) pro CH1
- Přijímač:
  - Funkce: DC měření
  - Optický vstup: Fotodetektor č. 4 (Si 2,5 mm) na analogovém kanálu
  - Vlnová délka: 660 nm
- Propojte propojovacími kabely výstup vysílače, manipulátor a jemu odpovídající vstup přijímače.
- Nastavte proud vysílače  $I_{BIAS}$  přibližně na 11mA. Počkejte 1 minutu na jeho stabilizaci.
- Nastavte čela konektorů proti sobě (jejich přesnou polohu nastavte pomocí nalezení maximální hodnoty výkonů).
- Tuto maximální hodnotu výkonu nastavte jako referenční hodnotu.
- Nastavte posuvného jezdce (mezi čely konektorů) do jeho pravé krajné polohy a vložte clonu do držáku.
- Posunujte clonu vlevo (směrem k optickému svazku) do té doby, než zaznamenáte pokles výkonu (útlumu).
- Jakmile zaznamenáte pokles výkonu, vraťte clonu mírně zpět (asi o jedno otáčku šroubu tak, aby byl šroub v některé z cejchovaných poloh – ryska) do místa, kde ještě nedochází k poklesu výkonu.
- Postupně posunujte clonu do optického svazku (otáčení šroubu z jedné cejchované polohy (ryska) do následující odpovídá posunu clony o 0,1 mm, otočení šroubu o jednu otáčku (5 rysek) odpovídá posunu clony o 0,5 mm) a měřte odpovídající útlum.
- Pokračujte v měření, dokud clona nezastíní celý optický svazek.
- Hodnoty запиšte do tabulky a znázorněte graficky.

**Schéma zapojení:**



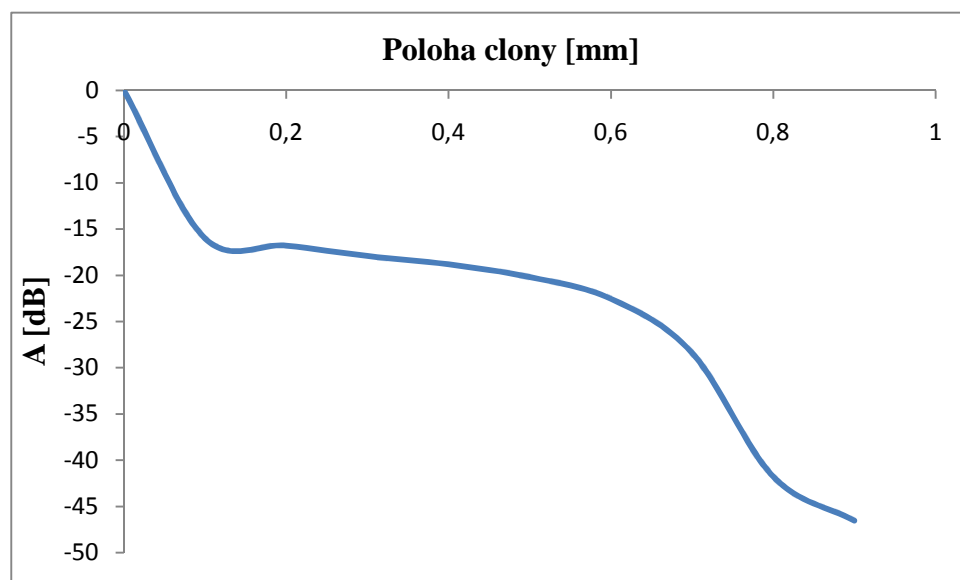
Obr. 97. Zapojení manipulátoru se clonou

**Naměřené hodnoty:**

Maximální výkon, to je bez použití clony.  $A_{\text{referenční}} = -15,5 \text{ dB}$

Tab. 47. Hodnoty útlumu k odpovídající poloze clony

poloha clony [mm]	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
A[dB]	0	-16	-16,7	-17,9	-18,8	-20,1	-22,5	-28,3	-41,7	-46,5



Graf 26. Závislost útlumu na poloze clony

**Závěr:**

Útlum vlákna se zvětšuje, čím víc zakrýváme záření ve vlákně. Clonu jsme posunovali šroubem z jedné cejchované polohy do další, až do doby, kdy bylo záření úplně přerušeno. Závislost není lineární, jelikož nezakrýváme vždy stejnou část optického svazku.

### 10.30 ÚLOHA 30: REFLEXNÍ SONDA

#### Zadání:

Demonstrujte použití optického vlákna (reflexní sonda) jako senzor polohy v podélném směru.

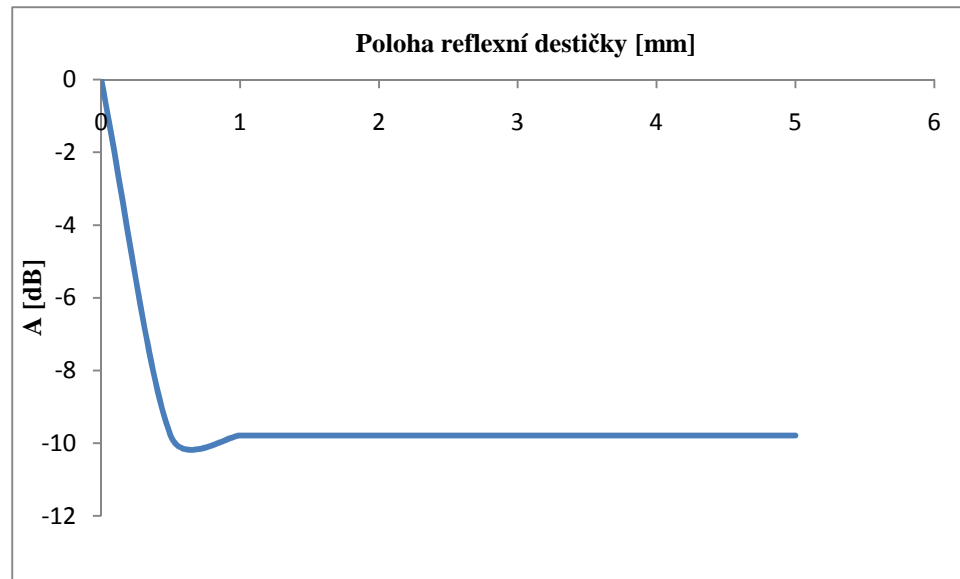
#### Přístroje, pomůcky a materiály:

- Reflexní sonda
- Reflexní destička
- Manipulátor
- Čistící prvky

#### Praktický postup:

- Nastavení
  - Vysílač:
    - Vstup: DC (bez zapojení) na kanálu CH1
    - mA měření: CH1
    - Optický výstup: Optický zdroj č. 3 (LED 660 nm) pro CH1
  - Přijímač:
    - Funkce: DC měření
    - Optický vstup: Fotodetektor č. 4 (Si 2,5 mm) na analogovém kanálu
    - Vlnová délka: 660 nm
- Zapojte reflexní sondu k výstupu vysílače, manipulátoru a jemu odpovídajícímu vstupu přijímače.
- Nastavte proud vysílače  $I_{BIAS}$  přibližně na 11mA. Počkejte 1 minutu na jeho stabilizaci.
- Do držáku posuvného jezdce vložte reflexní destičku a posuňte tak, aby čelo konektoru směřovalo přibližně do jejího středu.
- Horní pohyblivé držadlo s konektorem reflexní sondy posuňte do polohy 0 mm (vzdálenost mezi konektorem a reflexní deskou je cca 0,5 mm)





Graf 27. Závislost útlumu na poloze reflexní destičky

#### Závěr:

Nejprve jsme vyzkoušeli reflexní sondu, jak rozděljuje jeden paprsek do dvou vláken. Reflexní destička má každou stranu jinou. Jedna strana má povrch lesklý stříbrné barvy a druhá strana je bílá. Je zajímavé, že hodnoty útlumu se vůbec neměnili, nezáleželo ani na tom, jakou stranu destičky jsme měli nastavenou na optický paprsek.

### 10.31 ÚLOHA 31: SENZOR HLADINY KAPALINY

#### Zadání:

Změřte vliv indexu lomu okolního prostředí v místě optického vlákna na jeho útlum.

#### Přístroje, pomůcky a materiály:

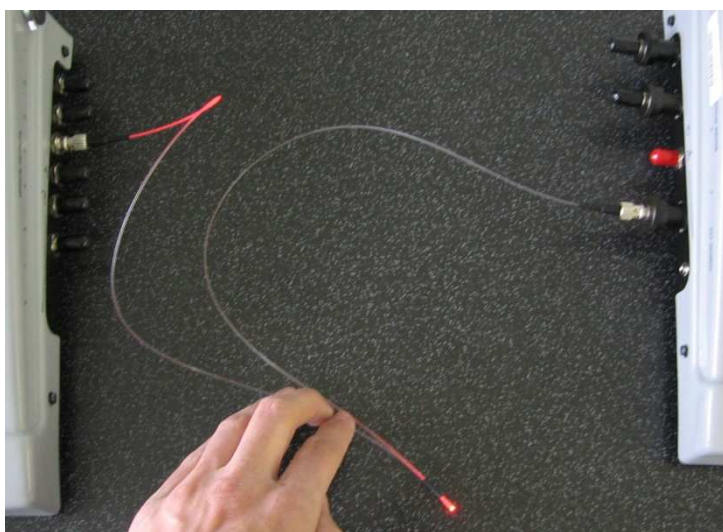
- U - sonda
- Nádobka na kapaliny
- Různé kapaliny
- Čistící prvky

#### Praktický postup:

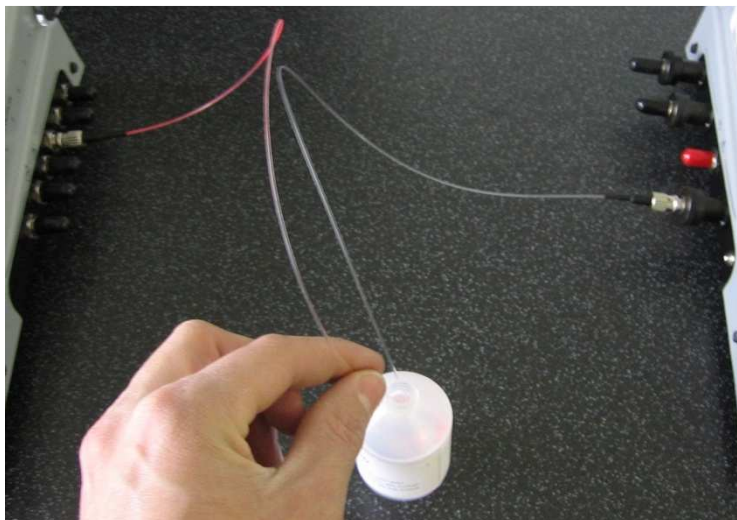
- Nastavení
  - Vysílač:
    - Vstup: DC (bez zapojení) na kanálu CH1
    - mA měření: CH1

- Optický výstup: Optický zdroj č. 3 (LED 660 nm) pro CH1
- Přijímač:
  - Funkce: DC měření
  - Optický vstup: Fotodetektor č. 4 (Si 2,5 mm) na analogovém kanálu
  - Vlnová délka: 660 nm
- Zapojte U - sondu k výstupu vysílače a jemu odpovídajícímu vstupu přijímače.
- Nastavte proud vysílače  $I_{BIAS}$  přibližně na 11mA. Počkejte 1 minutu na jeho stabilizaci.
- Všimněte si světla červené barvy, které vychází v místě ohybu ven z vlákna.
- Změřte optický výkon a nastavte jako referenční hodnotu.
- Naplňte nádobu vodou a U – sondu ponořte (v průběhu noření sondy sledujte nárůst útlumu).
- Změřte hodnotu útlumu (útlum je nyní vyšší – větší část optického záření vychází v místě ohybu ven z vlákna. To je způsobeno vyšším indexem lomu vody, než má vzduch, tudíž se optické záření snáze vyvazuje z vlákna ven).
- Zopakujte pokus i pro jiné kapaliny (isopropylalkohol a další)
- Všimněte si vztahu mezi indexem lomu kapaliny ( $n$ ) a hodnotou útlumu. Sensor je možné použít také k jednoduché identifikaci kapaliny na základě jejího indexu lomu, který je možné jednoznačně určit ze změřeného útlumu, pokud známe index lomu optického vlákna.
- Výsledky zapište.

#### Schéma zapojení:



Obr. 99. Zapojení U-sondy



Obr. 100. Ponoření U-sondy při měření útlumu v kapalině

**Naměřené hodnoty:**

$A_{REF} = -8,31$  dB

Tab. 49. Útlumy různého prostředí měřené U-sondou

Prostředí	n	A[dB]
Vzduch	1	0
Voda	1,33	-10,57
Ethylalkohol	1,36	-11,19
Isopropylalkohol	1,38	-11,81

**Závěr:**

Při zapojení U-sondy a zvýšení proudu zdroje na požadovanou hodnotu, jsme jasně viděli, jak v místě ohybu vychází červené světlo ven z vlákna. Než jsme ponořili U-sondu do nádoby, tak jsme změřili referenční hodnotu. Při ponoření U-sondy do kapaliny se začal paprsek šířit i kapalinou a ta se „zabarvila“ do červena. Rozdíl útlumu při různých kapalinách je cca 1 dB. Je to dáno malým rozdílem indexů lomu těchto kapalin.

## 10.32 ÚLOHA 32: TRANSMISNÍ SENZOR PŘÍTOMNOSTI KAPALINY

**Zadání:**

Změřte útlum způsobený průchodem optického záření různými kapalinami (různé indexy lomu).

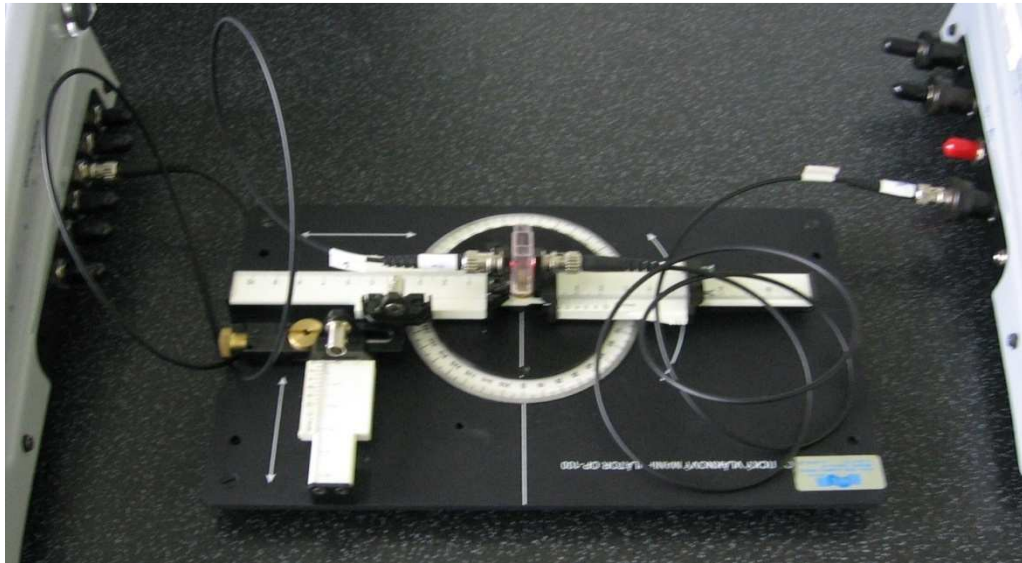
**Přístroje, pomůcky a materiály:**

- Propojovací kabel
- Kyveta
- Manipulátor
- Čistící prvky

**Praktický postup:**

- Nastavení
  - Vysílač:
    - Vstup: DC (bez zapojení) na kanálu CH1
    - mA měření: CH1
    - Optický výstup: Optický zdroj č. 3 (LED 660 nm) pro CH1
  - Přijímač:
    - Funkce: DC měření
    - Optický vstup: Fotodetektor č. 4 (Si 2,5 mm) na analogovém kanálu
    - Vlnová délka: 660 nm
- Zapojte propojovací kabely k výstupu vysílače a jemu odpovídajícímu vstupu přijímače.
- Nastavte proud vysílače  $I_{BIAS}$  přibližně na 11mA. Počkejte 1 minutu na jeho stabilizaci.
- Nastavte ramena manipulátoru tak, aby čela konektorů byla v ose, vložte mezi konektory prázdnou kyvetu a konektor přisuňte co nejbližše kyvetě. Polohu zaaretujte šroubem.
- Změřte optický výkon a nastavte jej jako referenční hodnotu.
- Naplňte kyvetu vodou a změřte odpovídající útlum.
- Opakujte pokus i pro jiné kapaliny (isopropylalkohol a další).
- Změřené hodnoty zapište.

**Schéma zapojení:**



Obr. 101. Zapojení manipulátoru s kyvetou

**Naměřené hodnoty:**

$$A_{\text{REF}} = -23,89 \text{ dB}$$

Tab. 50. Útlumy prostředí měřené manipulátorem

Prostředí	n	A[dB]
Vzduch	1	0
Voda	1,33	-21,42
Ethylalkohol	1,36	-21,29
Isopropylalkohol	1,38	-21,23

**Závěr:**

Při vložení prázdné kyvety mezi čela konektorů jsme změřili útlum a nastavili jej jako referenční. Útlum byl o 2 dB větší, než když v kyvetě byla nějaká kapalina. Může to být dáno rozptylem optického paprsku přes plastové stěny kyvety.

## ZÁVĚR

Budoucnost optických technologií je jistá. Optické kabely nabízejí obrovskou potenciální šířku pásma, zvláště pak optické kabely s jednovláknovými vlákny. Dnes je prakticky využitelná šířka pásma omezená rychlostí dostupné optiky a současným využíváním jednoho vlákna pro větší počet vlnových délek.

Výuková komunikační soustava od firmy Promax EF-970, na které jsem prováděl veškerá měření a experimenty, slouží výhradně k výukovým účelům pro vysoké školy k testování přenosu optického paprsku, vlivu prostředí na přenos informace po optickém kabelu a testování optických vláken.

Cílem diplomové práce bylo vytvořit dva manuály, které budou sloužit jako návody studenty a učiteli k práci a snadnějšímu ovládnutí a používání výukové komunikační soustavy Promax EF-970.

Výsledkem je studentský manuál, který bude sloužit studentům jako návod na praktické cvičení s výukovou komunikační soustavou Promax EF-970 a učitelský manuál, který bude sloužit k ověření a snadnější kontrole naměřených výsledků. Studentský manuál je shodný s učitelským manuálem, pouze s rozdílem, že ve studentském manuálu nejsou zaznamenány naměřené ani vypočtené výsledky a ani uvedené závěry k jednotlivým úlohám. Schémata zapojení jednotlivých úloh jsou zobrazené pomocí fotek pořízených při měření. Naměřené a vypočtené hodnoty jsem několikrát ověřoval a nejasnosti jsem konzultoval s vedoucím práce. Při uvádění závěrů pro jednotlivé úlohy, jsem využíval informací získaných z teoretické části a zkušeností nabytých při práci s komunikační soustavou.

Do manuálů jsem vybral úkoly, které jsou pro výuku časově zvládnutelné, jejichž pomůcky a přístroje jsou plně k dispozici a jsou přínosem pro studenty. V úloze č. 9 jsem musel přizpůsobit tabulky velikosti okrajů šablony diplomové práce, proto je znaménko minus u údajů naměřených hodnot v tabulkách o řádek výš.

Studentský manuál není obsažen v samotné diplomové práci, je samotně vytisknut a přiložen k diplomové práci. Studentům bude k dispozici v tištěné i v elektronické verzi. Elektronickou verzi bude možno upravovat z důvodů změny zadání, změny zapojení, případně přidání nebo odebrání jakékoliv úlohy.

## ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

Future optical technology is certain. Fiber optic cables offer huge potential bandwidth, especially with single mode optical fiber cables. Today it is practically usable bandwidth limited speed optics available and today use one thread for a larger number of wavelengths.

Educational communication system Promax EF-970, which I have performed all measurement and experiments, is used exclusively for educational purposes for the college to test optical fiber transmission, environmental influences on the transmission of informatik over optical fiber and testing fiber optics.

The aim of this thesis was to create two manuals that will serve as guides for students and teachers the work and easier control and use of educational communication system Promax EF-970.

The result is a student's manual, which will serve students as a guide to practical exercises in the education communication system Promax EF-970 and the teacher's manual, which will serve to validate and easier control the measured results. Student's manual is consistent with the teacher's manual, only difference is that in the student's manuals are not recorded or measured or calculated results and conclusions to individual tasks. Diagrams of each task are displayed with photos taken during the measurement. Measured and calculated values I verified several times and confusion, I consulted with my supervisor. When placing the conclusions for each task, I used information obtained from the theoretical part and the experience gained while working with a education communications system.

I chose the manual tasks that are manageable for teaching time, the appliances are fully available and beneficial to students. In the practice number 9 I had to adjust tables the size of the edge template of the thesis, so minus the measured data tabulated in the row above.

The student manual is included in the thesis itself is printed and attached itself to my work. Students will be available in print and in electronic version. An electronic version will be edited for reasons of changes, changing connections, or add or remove any tasks.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

### Monografie:

- [1] DOLEČEK, Jaroslav. *Moderní učebnice optoelektroniky 3: Optoelektronika a optoelektronické prvky*. 1. české. Praha : BEN - technická literatura, 2005. 160 s. ISBN 978-80-7300-184-1.
- [2] JAMES, Trulove. *Sítě LAN : hardware, instalace, zapojení*. 1. Praha : Grada Publishing a.s., 2009. 384 s. ISBN 978-80-247-2098-1.
- [3] SHARMA, K.K. *Optics : principles and applications*. 1. London, UK : Elsevier Inc., 2006. 638 s. ISBN 978-0-12-370611-9.
- [4] MARŠÁLEK, Leoš. *Optická vlákna*. 2006. aktualizované vydání VŠB v Ostravě : [s.n.], 2006.

### Internetové zdroje:

- [5] PETERKA, Jiří. *Earchiv.cz* [online]. 2003 [cit. 2011-03-03]. Dostupné z WWW: <<http://www.earchiv.cz/a96/a645k150.php3>>.
- [6] *GoGetFiber.com* [online]. 2010 [cit. 2011-03-03]. GoGetFiber.com. Dostupné z WWW: <<http://www.gogetfiber.com/index.php?page=what-is-fiber>>.
- [7] DVOŘÁK, Petr. *Jihlavská astronomická společnost* [online]. 2010 [cit. 2011-03-07]. Dostupné z WWW: <<http://www.jiast.cz/clanky/svetlo-xii-opticke-vlakno>>.

### Interní materiály

- [8] Příručka pro výukovou soustavu EF-970 pro optickou komunikace a optoelektronické přenosy od firmy Promax

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

AC	Střídavý proud
APD	Lavinová fotodioda
DC	Stejnoseměrný proud
CH1, CH2	Kanál 1, kanál 2
Ge	Chemická značka Germania
GI	Gradientní průběh indexu lomu
InGaAs	Chemická značka prvků indium, gallium, arsen
IR	Infračervené záření
LED	Dioda emitující světlo
NA	Numerická apertura
PIN	PN přechod s příměsí čistého germania nebo křemíku
Si	Chemická značka křemíku
SI	Skokový průběh indexu lomu
UV	Ultrafialové záření
VIS	Viditelné spektrum
WDM	Vlnový multiplex

## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Dělení elektromagnetického spektra .....</i>	13
<i>Obr. 2. Princip optického vlákna .....</i>	15
<i>Obr. 3. Řez optickým vláknem .....</i>	16
<i>Obr. 4. Základní princip fungování optického vlákna .....</i>	16
<i>Obr. 5. Princip přenosu paprsku jednovidovým vláknem.....</i>	18
<i>Obr. 6. Princip vlákna se skokovou změnou indexu lomu .....</i>	19
<i>Obr. 7. Princip vlákna s gradientní změnou indexu lomu .....</i>	20
<i>Obr. 8. Rozložení jednotlivých chromatických disperzí.....</i>	23
<i>Obr. 9. Možné druhy ztrát paprsků.....</i>	25
<i>Obr. 10. Znázornění parametru MFD .....</i>	26
<i>Obr. 11. Zdroje záření .....</i>	33
<i>Obr. 12. Vestavěný miliampérmetr .....</i>	33
<i>Obr. 13. Popis multifunkčního vysílače .....</i>	34
<i>Obr. 14. Vestavěné fotodetektory.....</i>	35
<i>Obr. 15. Měřič optického výkonu.....</i>	35
<i>Obr. 16. Popis multifunkčního přijímače.....</i>	36
<i>Obr. 17. Schéma zapojení propojovacím kabelem .....</i>	38
<i>Obr. 18. Schéma zapojení propojovacím kabelem .....</i>	40
<i>Obr. 19. Schéma zapojení propojovacím kabelem (50m).....</i>	41
<i>Obr. 20. Schéma zapojení propojovacím kabelem .....</i>	43
<i>Obr. 21. Schéma zapojení propojovacím kabelem + ST spojka + 50m propojovací kabel .....</i>	43
<i>Obr. 22. Schéma zapojení propojovacími kabely a ST spojka.....</i>	44
<i>Obr. 23. Schéma zapojení propojovacími kabely + ST spojka + propojovacím vláknem.....</i>	45
<i>Obr. 24. Schéma zapojení propojovacím kabelem .....</i>	47
<i>Obr. 25. Schéma zapojení propojovacím kabelem (50m).....</i>	48
<i>Obr. 26. Schéma zapojení propojovacím kabelem .....</i>	50
<i>Obr. 27. Schéma zapojení propojovacím vláknem .....</i>	51
<i>Obr. 28. Deformované optické vlákno .....</i>	52
<i>Obr. 29. Schéma zapojení propojovacím kabelem .....</i>	54
<i>Obr. 30. Schéma zapojení propojovací kabely a ST spojka.....</i>	55

<i>Obr. 31. Schéma zapojení propojovacím kabelem .....</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 32. Schéma zapojení propojovacím kabelem .....</i>	<i>63</i>
<i>Obr. 33. Zapojení voltmetru při měření závěrného napětí.....</i>	<i>68</i>
<i>Obr. 34. Zapojení externího generátoru k DC vstupu vysílače .....</i>	<i>71</i>
<i>Obr. 35. Zapojení druhého kanálu osciloskopu na TP 10 a GND a propojení vysílače s přijímačem .....</i>	<i>71</i>
<i>Obr. 36. Připojení prvního kanálu osciloskopu na ANALOG výstup přijímače.....</i>	<i>71</i>
<i>Obr. 37. Průběh signálu zdroje č. 4, <math>f = 1</math> kHz.....</i>	<i>72</i>
<i>Obr. 38. Průběh signálu zdroje č. 4, <math>f = 10</math> MHz.....</i>	<i>72</i>
<i>Obr. 39. Průběh signálu zdroje č. 1, <math>f = 10</math> MHz.....</i>	<i>72</i>
<i>Obr. 40. Průběh signálu zdroje č. 2, <math>f = 10</math> MHz.....</i>	<i>73</i>
<i>Obr. 41. Průběh signálu zdroje č. 3, <math>f = 10</math> MHz.....</i>	<i>73</i>
<i>Obr. 42. Průběh signálu zdroje č. 5, <math>f = 10</math> MHz.....</i>	<i>73</i>
<i>Obr. 43. Schéma zapojení propojovacím kabelem .....</i>	<i>75</i>
<i>Obr. 44. Spektrální citlivost fotodetektorů HAMAMATSU SI336-BO, BK a SI337-BR.....</i>	<i>76</i>
<i>Obr. 45. Zapojení voltmetru při měření výkonu fotodetektoru .....</i>	<i>80</i>
<i>Obr. 46. Zapojení externího generátoru k DC vstupu vysílače .....</i>	<i>83</i>
<i>Obr. 47. Zapojení druhého kanálu osciloskopu na TP 10 a GND a propojení vysílače s přijímačem .....</i>	<i>84</i>
<i>Obr. 48. Zapojení voltmetru na testovací body TP 17 a GND .....</i>	<i>84</i>
<i>Obr. 49. Připojení prvního kanálu osciloskopu na ANALOG výstup přijímače.....</i>	<i>85</i>
<i>Obr. 50. Potenciometry P2 a P5 na maximum .....</i>	<i>85</i>
<i>Obr. 51. Nastavení shodných amplitud.....</i>	<i>85</i>
<i>Obr. 52. Závěrné napětí 0V, frekvence 1MHz .....</i>	<i>86</i>
<i>Obr. 53. Závěrné napětí 0V, frekvence 10MHz .....</i>	<i>86</i>
<i>Obr. 54. Závěrné napětí 9V, frekvence 10MHz .....</i>	<i>86</i>
<i>Obr. 55. Závěrné napětí 15V, frekvence 1MHz .....</i>	<i>87</i>
<i>Obr. 56. Zapojení druhého kanálu osciloskopu na TP 10 a GND a propojení vysílače s přijímačem .....</i>	<i>89</i>
<i>Obr. 57. Připojení prvního kanálu osciloskopu na ANALOG výstup přijímače.....</i>	<i>89</i>
<i>Obr. 58. Maximální hodnota amplitudy bez zkreslení .....</i>	<i>90</i>
<i>Obr. 59. Obdélníkový signál generátoru .....</i>	<i>90</i>
<i>Obr. 60. Zesílení napětí (zelená barva) při sinusovém signálu .....</i>	<i>90</i>

<i>Obr. 61. Zapojení mikrofonu .....</i>	92
<i>Obr. 62. Zapojení druhého kanálu osciloskopu na TP 10 a GND a propojení vysílače s přijímačem .....</i>	93
<i>Obr. 63. Připojení prvního kanálu osciloskopu na ANALOG výstup přijímače.....</i>	93
<i>Obr. 64. Přenášený audio signál .....</i>	94
<i>Obr. 65. Připojení generátoru k vysílači a osciloskopu .....</i>	96
<i>Obr. 66. Zapojení osciloskopu k digitálnímu výstupu a měřícím bodům přijímače .....</i>	96
<i>Obr. 67. Pozitivní logika.....</i>	97
<i>Obr. 68. Negativní logika .....</i>	97
<i>Obr. 69. Log 1.....</i>	97
<i>Obr. 70. Log 0/1.....</i>	98
<i>Obr. 71. P4 a P6 v maximální poloze .....</i>	98
<i>Obr. 72. P4 a P6 v polovině rozsahu.....</i>	98
<i>Obr. 73. Ovinuté vlákno okolo válečku s přidržené sponou .....</i>	101
<i>Obr. 74. Mikroohybové destičky s nižší a vyšší hustotou ohybů.....</i>	103
<i>Obr. 75. Schéma zapojení přes mikroohybové destičky.....</i>	103
<i>Obr. 76. Zapojení manipulátoru pro měření podélné odchylky .....</i>	106
<i>Obr. 77. Zapojení manipulátoru pro měření příčné odchylky.....</i>	108
<i>Obr. 78. Zapojení optické rozbočnice.....</i>	110
<i>Obr. 79. Zapojení proměnné optické rozbočnice.....</i>	113
<i>Obr. 80. Zapojení manipulátoru se sadou optických neutrálních filtrů .....</i>	116
<i>Obr. 81. Zapojení proměnného atenuátoru .....</i>	118
<i>Obr. 82: Zapojení proměnného atenuátoru .....</i>	121
<i>Obr. 83. Propojení vysílače a přijímače a zapojení sondy osciloskopu .....</i>	124
<i>Obr. 84. Zapojení osciloskopu a voltmetru na ANALOG výstup přijímače .....</i>	125
<i>Obr. 85. Zapojení proměnného atenuátoru PLATTAN.....</i>	125
<i>Obr. 86. Zapojení reflexní sondy k multiplexování.....</i>	127
<i>Obr. 87. Zapojení propojovacího kabelu s adaptéry s filtry 650nm a 850nm.....</i>	128
<i>Obr. 88. Zapojení dvou pevných optických rozbočnic s 650nm filtrem.....</i>	131
<i>Obr. 89. Zapojení portu 4 optické rozbočnice a filtru 850 nm.....</i>	131
<i>Obr. 90. Zapojení portů 2 a 4 optické rozbočnice a filtru 850 nm v adaptéru.....</i>	132
<i>Obr. 91. Zapojení portů 2 a 3 optických rozbočnic a filtru 650 nm.....</i>	133
<i>Obr. 92. Zapojení mikrofonu .....</i>	135

---

<i>Obr. 93. Zapojení optických rozbočnic a adaptérů s filtry</i> .....	136
<i>Obr. 94. Zapojení osciloskopu a sluchátek na digitální část přijímače</i> .....	137
<i>Obr. 95. Maximální zesílení mikrofonu</i> .....	137
<i>Obr. 96. Přeslech analogového kanálu</i> .....	138
<i>Obr. 97. Zapojení manipulátoru se clonou</i> .....	140
<i>Obr. 98. Zapojení reflexní sondy k manipulátoru s reflexní destičkou</i> .....	142
<i>Obr. 99. Zapojení U-sondy</i> .....	144
<i>Obr. 100. Ponoření U-sondy při měření útlumu v kapalině</i> .....	145
<i>Obr. 101. Zapojení manipulátoru s kyvetou</i> .....	147

## SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Hodnoty při $I_{BIAS} = 19,6 \text{ mA}$ .....	38
Tab. 2. Hodnoty při $I_{BIAS} = 5 \text{ mA}$ .....	38
Tab. 3. Hodnoty při $I_{BIAS} = 17,3 \text{ mA}$ .....	39
Tab. 4. Hodnoty naměřené na normálním a 50m kabelu.....	41
Tab. 5. Hodnoty naměřené při proudu $I_{BIAS} 11 \text{ mA}$ .....	45
Tab. 6. Hodnoty pro nastavení měření .....	48
Tab. 7. Spočítaný měrný útlum pro jednotlivé vlnové délky .....	49
Tab. 8. Naměřené hodnoty při použití ST konektorových spojek.....	55
Tab. 9. Naměřené hodnoty pro zdroj č. 1 – 526 nm .....	57
Tab. 10. Naměřené hodnoty pro zdroj č. 2 – 590 nm .....	58
Tab. 11. Naměřené hodnoty pro zdroj č. 3 – 660 nm .....	59
Tab. 12. Naměřené hodnoty pro zdroj č. 4 – 850 nm .....	59
Tab. 13. Naměřené hodnoty pro zdroj č. 5 – 650 nm .....	60
Tab. 14. Naměřené hodnoty pro zdroj č. 1 – 526 nm .....	61
Tab. 15. Naměřené hodnoty pro zdroj č. 5 – 650 nm .....	61
Tab. 16. Hodnoty pro měření.....	63
Tab. 17. Hodnoty výkonu zdroje č.1 - 526nm .....	64
Tab. 18. Hodnoty výkonu zdroje č.2 - 590nm .....	64
Tab. 19. Hodnoty výkonu zdroje č.3 - 660nm .....	65
Tab. 20. Hodnoty výkonu zdroje č.4 - 850nm .....	66
Tab. 21. Hodnoty výkonu zdroje č.5 - 650nm .....	66
Tab. 22. Proud zdroje č. 1 (526 nm) a k němu odpovídají napětí .....	68
Tab. 23. Proud zdroje č. 2 (590 nm) a k němu odpovídají napětí .....	68
Tab. 24. Proud zdroje č. 3 (660 nm) a k němu odpovídají napětí .....	68
Tab. 25. Proud zdroje č. 4 (850 nm) a k němu odpovídají napětí .....	68
Tab. 26. Proud zdroje č. 4 (LASER 650 nm) a k němu odpovídají napětí.....	68
Tab. 27. Spektrální citlivosti fotodetektoru č. 4 .....	76
Tab. 28. Spektrální citlivosti fotodetektoru č. 2 .....	77
Tab. 29. Výkon v dBm odečtený z obrázku č. 17.....	77
Tab. 30. Hodnoty závěrného napětí a jemu odpovídající výkon .....	80
Tab. 31. Hodnoty závěrného napětí a jemu odpovídající výkon .....	81
Tab. 33. Průměr válečku a k nim změřený útlum.....	101

<i>Tab. 34. Počet závitů a odpovídající útlum vlákna</i> .....	101
<i>Tab. 35. Hodnoty optického vlákna při maximálním utažení šroubu</i> .....	104
<i>Tab. 36. Naměřený útlum podélné odchyly (tabulka rozdělena na 2 části)</i> .....	106
<i>Tab. 37. Naměřený útlum úhlové odchyly</i> .....	107
<i>Tab. 38. Naměřený útlum příčné odchyly</i> .....	108
<i>Tab. 39. Hodnoty útlumu obou rozbočnic</i> .....	111
<i>Tab. 40. Hodnoty pro vlnovou délku 660 nm</i> .....	114
<i>Tab. 41. Hodnoty pro vlnovou délku 850 nm</i> .....	114
<i>Tab. 42. Hodnoty útlumu neutrálních optických filtrů</i> .....	116
<i>Tab. 43. Nominální a reálné hodnoty útlumu na atenuátoru</i> .....	118
<i>Tab. 44. Referenční hodnoty útlumu</i> .....	121
<i>Tab. 45. Naměřený skutečný útlum a vypočítaný rozdíl útlumu</i> .....	121
<i>Tab. 46. Naměřené útlumy při použití filtrů</i> .....	129
<i>Tab. 47. Naměřené hodnoty různých druhů signálů</i> .....	133
<i>Tab. 48. Hodnoty útlumu k odpovídající poloze clony</i> .....	140
<i>Tab. 49. Útlum vlákna s reflexní destičkou v různých polohách</i> .....	142
<i>Tab. 50. Útlumy různého prostředí měřené U-sondou</i> .....	145
<i>Tab. 51. Útlumy prostředí měřené manipulátorem</i> .....	147

**SEZNAM GRAFŮ**

<i>Graf 1. Závislost měrného útlumu na vlnové délce .....</i>	49
<i>Graf 2. Závislost výkonu diody č. 1 na nastaveném proudu .....</i>	58
<i>Graf 3. Závislost výkonu diody č. 2 na nastaveném proudu .....</i>	58
<i>Graf 4. Závislost výkonu diody č. 3 na nastaveném proudu .....</i>	59
<i>Graf 5. Závislost výkonu diody č. 4 na nastaveném proudu .....</i>	60
<i>Graf 6. Závislost výkonu diody č. 5 na nastaveném proudu .....</i>	60
<i>Graf 7. Závislost výkonu diody č. 1 na nastaveném proudu .....</i>	61
<i>Graf 8. Závislost výkonu diody č. 5 na nastaveném proudu (větší měřítko).....</i>	62
<i>Graf 9. Útlum diody č. 1 v závislosti na čase .....</i>	64
<i>Graf 10. Útlum diody č. 2 v závislosti na čase .....</i>	65
<i>Graf 11. Útlum diody č. 3 v závislosti na čase .....</i>	65
<i>Graf 12. Útlum diody č. 4 v závislosti na čase .....</i>	66
<i>Graf 13. Útlum diody č. 1 v závislosti na čase .....</i>	66
<i>Graf 14. Závislosti proudu na závěrném napětí u všech detektorů .....</i>	69
<i>Graf 15. Spektrální citlivost fotodetektoru č. 4.....</i>	77
<i>Graf 16. Spektrální citlivost fotodetektoru č. 2.....</i>	77
<i>Graf 17. Výkon fotodetektoru č. 2 závislý na závěrném napětí.....</i>	81
<i>Graf 18. Výkon fotodetektoru č. 3 závislý na závěrném napětí.....</i>	81
<i>Graf 19. Závislost útlumu na průměru válečku .....</i>	101
<i>Graf 20. Závislost útlumu na počtu závitů .....</i>	102
<i>Graf 21. Závislost útlumu na vzdálenosti čel vláken .....</i>	106
<i>Graf 22. Závislost útlumu na úhlové odchylce .....</i>	107
<i>Graf 23. Závislost útlumu na příčné odchylce .....</i>	109
<i>Graf 24. Závislost skutečného útlumu na nominální hodnotě .....</i>	119
<i>Graf 25. Závislost odchylky útlumu na nominální hodnotě útlumu .....</i>	122
<i>Graf 26. Závislost útlumu na poloze clony .....</i>	140
<i>Graf 27. Závislost útlumu na poloze reflexní destičky .....</i>	143