

B4B38PSIA

Počítačové sítě

Optická vlákna

Laboratorní protokol

Jakub Adamec, Daniel Petránek

7. března 2024

Obsah

1	Zadání	3
1.1	Úvod	3
1.2	Postup měření	3
1.3	Závislost útlumu na podélném vychýlení optických kabelů	3
1.4	Závislost útlumu na úhlovém vychýlení optických konektorů	5
1.5	Stanovení numerické aparatury	6
1.6	Závislost útlumu na příčném vychýlení optických konektorů	6
1.7	Využití střídavého optického signálu	7
1.8	Závislost útlumu na ohnutí optického vlákna	7
1.9	Spektrální závislost útlumu optických vláken	8
1.10	Barevný posun světla	8
1.11	WDM přenos	9
2	Naměřené hodnoty	11
2.1	Data závislosti útlumu na podélném vychýlení optických kabelů	11
2.2	Data měření závislosti útlumu na úhlovém vychýlení optických konektorů	12
2.3	Stanovení numerické aparatury	13
2.4	Data měření závislosti útlumu na příčném vychýlení optických konektorů	14
2.5	Využití střídavého optického signálu	15
2.6	Závislost útlumu na ohnutí optického kanálu	15
2.7	Spektrální závislost útlumu optických vláken	15
2.8	Barevný posun světla	15
3	Zhodnocení	16

1 Zadání

1.1 Úvod

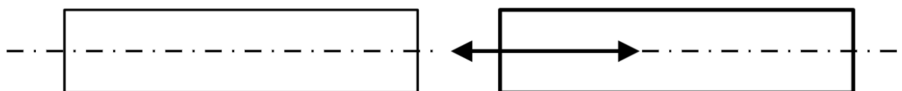
Úloha se věnuje měření optických vláken, jejich vlastností a rušivých jevů souvisejících s vzájemným nedokonalým navázáním v konektorech. Je demonstrován i vliv mechanického namáhání optického vlákna ohyby na malém poloměru křivosti, který se projevuje růstem útlumu. Pro měření se využívá dvou laboratorních elektronických bloků. Blok Tx je vysílací a obsahuje generátory signálu a zdroje záření s LED, IRED (infračerveně emitující dioda), případně laserovou diodou. Blok Rx je přijímací a obsahuje fotodiody, zesilovače a další vyhodnocovací a měřicí obvody.

1.2 Postup měření

V rámci měření postupně prověříte vliv různých nedokonalostí v zapojení optických vláken na jejich vlastnosti. Nakonec ověříte vlastnosti WDM přenosu.

1.3 Závislost útlumu na podélném vychýlení optických kabelů

Při měření se vyhodnocuje pokles optického výkonu přenášeného mezi vlákny při jejich vzdálení ve směru osy dle obr. 1.



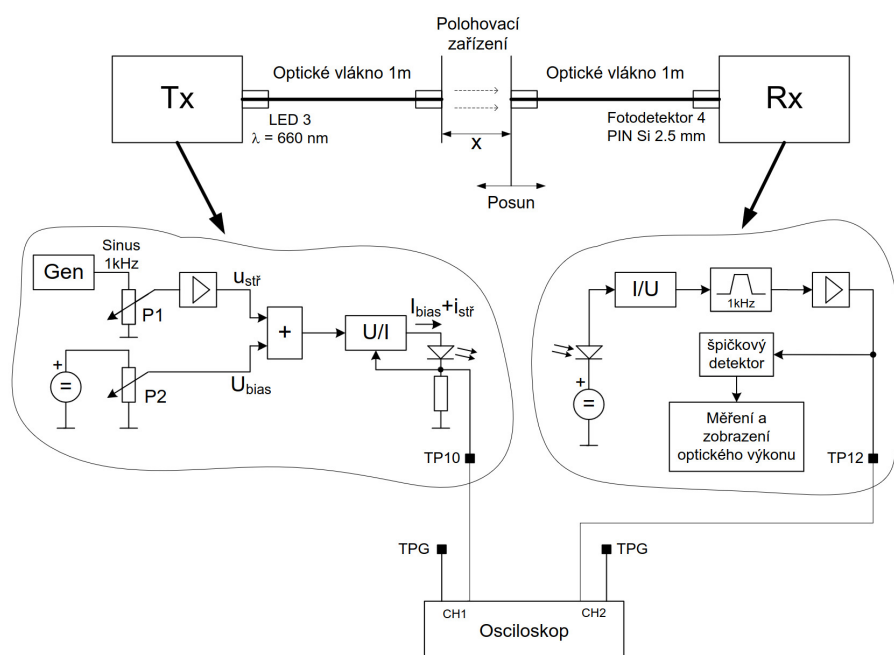
Obrázek 1: Měření útlumu s podélným posunem vláken

K měření je využito následujícího zapojení.

Jako optický vysílač použijte LED diodu č. 3 (počítáno shora) na modulu Tx, vlnová délka $\lambda_{max} = 660 \text{ nm}$ (červená barva). Jako optický přijímač použijte PIN fotodiodu č. 4 (počítáno shora) na modulu Rx. Na propojení s polohovacím zařízením použijte optické kabely délky 1 m.

Nastavte vysílač následovně.

- Tlačítkem **INPUTS CH.1** na modulu Tx vyberte jako vstupní zdroj pro kanál 1 vnitřní generátor GEN (indikuje příslušná rozsvícená červená LED dioda v sekci **INPUTS**).
- Tlačítkem **OUTPUTS CH.1** na modulu Tx vyberte připojení výstupu kanálu 1 na optický vysílač č. 3 (počítáno shora) - indikuje příslušná rozsvícená červená LED Dioda v sekci **OUTPUT SWITCHES** modulu Tx.
- V sekci **LF GENERATOR** modulu Tx vyberte pomocí tlačítka **SHAPE** sinusový tvar průběhu (indikuje příslušná rozsvícená zelená LED dioda) a stisknutím tlačítka **1 kHz** dojde k nastavení frekvence generovaného harmonického signálu na hodnotu 1 kHz.



Obrázek 2: Blokové schéma zapojení pro měření útlumu při podélném vychýlení

- Pomocí potenciometru **P1** (viz Obr. 2), nacházejícího se v sekci **Channel 1** modulu Tx pod jménem **GAIN**, nastavte maximální zesílení.
- Pomocí potenciometru **P2** (viz Obr. 2), nacházejícího se v sekci **Channel 1** modulu Tx pod jménem **I-bias**, nastavte takovou stejnosměrnou složku, aby nedocházelo ke zkreslení harmonického signálu (proudu protékajícího LED diodou) – kontrolujte pomocí osciloskopu (viz Obr. 2).

Nastavte přijímač následovně.

- Tlačítkem **ANALOG IN** na modulu Rx vyberte jako optický přijímač fotodiodu č. 4 (**INPUT 4**) – indikuje příslušná rozsvícená červená LED dioda v sekci **ANALOG**.
- Tlačítkem **FUNCTION OF OPTICAL POWER METER** zvolte režim měřiče optického výkonu 1 kHz, což indikuje příslušná rozsvícená červená LED dioda v sekci **OPTICAL POWER METER**.
- V sekci **OPTICAL POWER METER** vyberte tlačítkem **Wavelength** vlnovou délku na které bude měřen výkon záření. Zvolte hodnotu 660 nm.

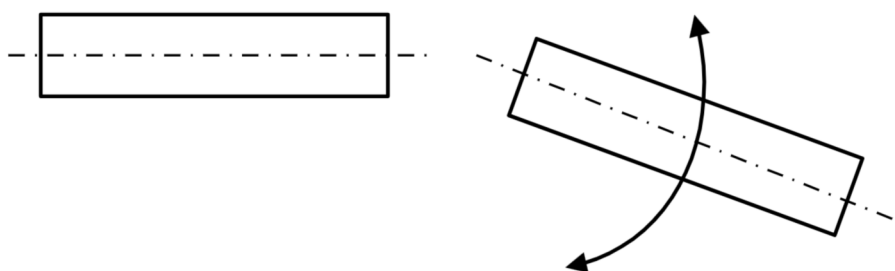
Tímto výše uvedeným nastavením přijímače a vysílače docílíte konfigurace naznačené na Obr. 2.

Měření podélného vychýlení proveďte pro rozsah oddálení konektorů $x = 0\text{--}35$ mm (do 10 mm s krokem 1 mm, dále po krocích 5 mm). Pro danou vzdálenost x (viz Obr. 2) odečítejte z displeje

přijímače optický výkon jak jednotkách dBm (decibel nad miliwattem), tak v jednotkách W. Přepínání mezi zobrazením optického výkonu v dBm a v μW se provádí tlačítkem **LOG/LIN(dBm/W)** na modulu Rx. Ověřte platnost převodního vztahu mezi výkonem v jednotkách dBm a výkonem v jednotkách μW . Vyneste závislost útlumu v jednotkách dB na oddálení konektorů (jako vztažnou hodnotu zvolte výkon změřený při $x = 0$).

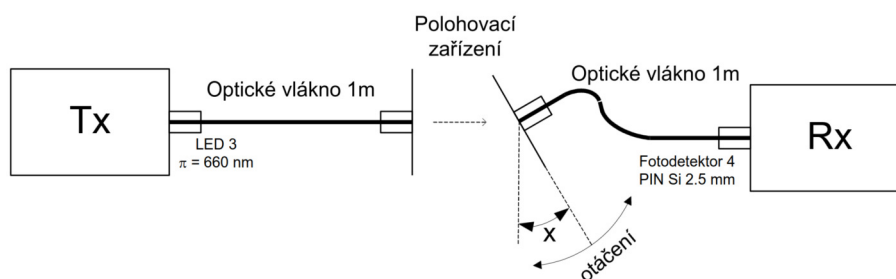
1.4 Závislost útlumu na úhlovém vychýlení optických konektorů

Při měření útlumu podle uhlového natočení konců vláken je jedno vlákno pevné a druhé se natáčí v přípravku dle Obr. 3. Při natočení se do přijímacího vlákna postupně dostává menší optický výkon. Při dosažení jistého mezního úhlu do něj již prakticky nevstupuje žádný zářivý tok, i když na vstup vlákna záření stále dopadá.



Obrázek 3: Měření útlumu s úhlovým natočením konců vláken

K měření je využito následující zapojení.

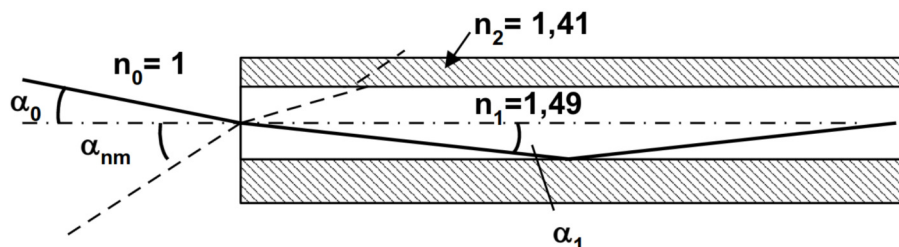


Obrázek 4: Blokové schéma zapojení pro měření útlumu při úhlovém vychýlení

Nastavení přijímače a vysílače ponechte shodné s nastavením v předchozím bodě. Měření proveďte pro čelní vzdálenost vláken 5 mm. Úhel natočení měňte v rozsahu $x = -25^\circ$ až $+25^\circ$ s krokem 5° . Výkon odečítejte v jednotkách μW z displeje přijímače. Vyneste procentuální závislost výkonu na úhlu natočení.

1.5 Stanovení numerické aparatury

Z výsledků předchozího měření lze také určit numerickou aperturu optického vlákna.



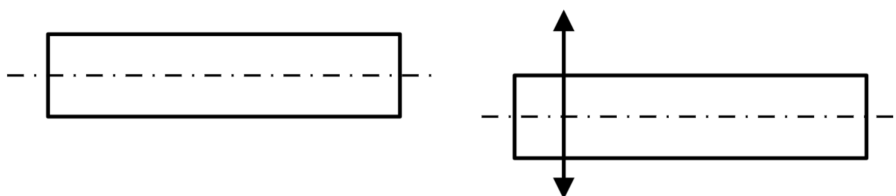
Obrázek 5: Numerická apertura vlákna

Numerická apertura je vyjádřena sinem úhlu α_{mez} , což je maximální velikost úhlu, který může svírat paprsek s osou optického vlákna, aby při dopadu na jeho čelní plochu byl navázán do vlákna a pokračoval jím. Při praktickém měření se NA určí z úhlu natočení vláken, kdy je pokles přeneseného výkonu na 5 % původní hodnoty. Pro numerickou aperturu NA optického vlákna platí vztah $NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$, kde n_2 je index lomu jádra a n_1 je index lomu pláště.

Z výsledků předchozího měření stanovte numerickou aperturu vlákna. Jako hraniční hodnotu volte 5 % výkonu v ose vlákna. Porovnejte změřenou NA s hodnotou vypočtenou dle teoretického vztahu, víte-li, že index lomu jádra je 1,49 a pláště 1,41.

1.6 Závislost útlumu na příčném vychýlení optických konektorů

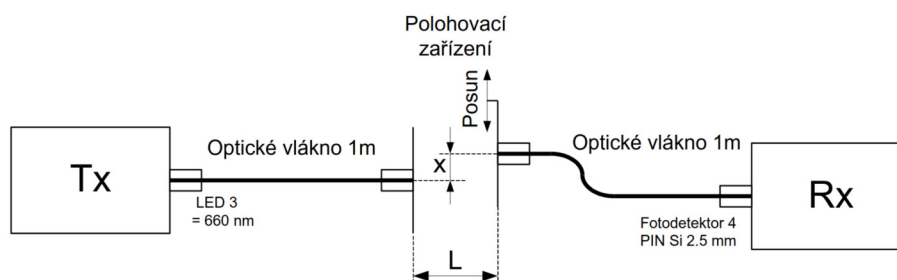
Měření při příčném posuvu vláken odpovídá Obr. 6, kdy při rostoucí vzdálenosti roste vložný útlum.



Obrázek 6: Měření útlumu s příčným posunem vlákna

K měření je využito následující zapojení.

Nastavení přijímače a vysílače ponechte shodné s nastavením v předchozím bodě. Měření proveďte pro rozsah příčného vychýlení konektorů $x = -5$ až $+5$ mm s krokem 0,5 mm. Pro danou vzdálenost x odečítejte z displeje přijímače optický výkon v jednotkách dBm. Výkony přepočítejte na útlumy v dB (jako vztahnou hodnotu volte výkon při $x = 0$). Závislost změřte pro dvě čelní vzdálenosti vláken $L = 5$ mm a 10 mm. Obě závislosti vynesete do společného grafu.



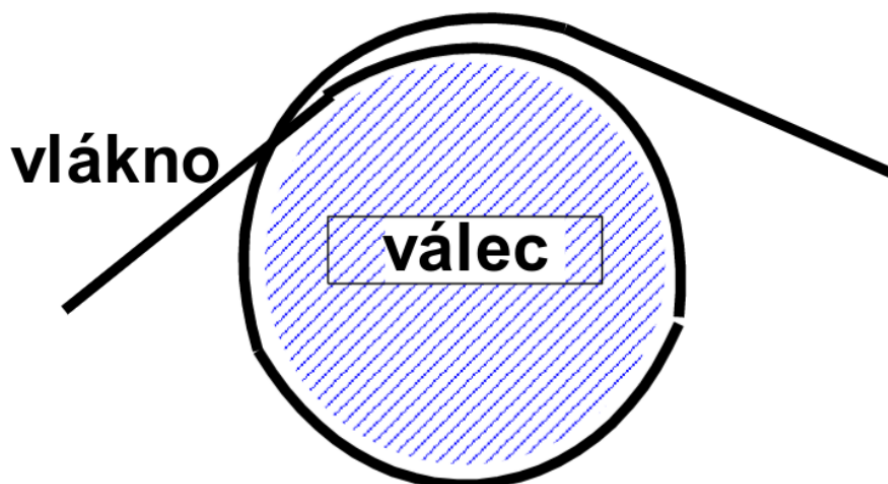
Obrázek 7: Blokové schéma zapojení pro měření útlumu při příčném vychýlení

1.7 Využití střídavého optického signálu

Zdůvodněte, proč se v předchozích měřeních používal střídavý optický signál a nikoliv stejnosměrný.

1.8 Závislost útlumu na ohnutí optického vlákna

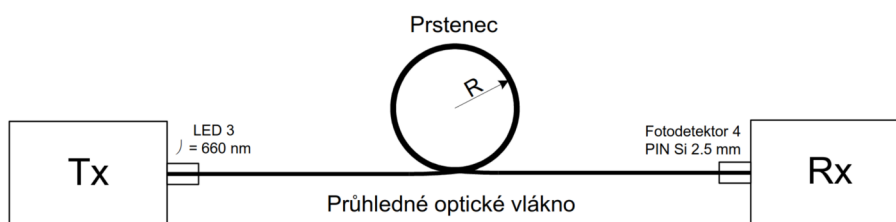
Dalším rušivým působením je namáhání optického vlákna ohybem, při kterém již nemusí být splněny podmínky vedení záření optickým vláknem (z důvodu dopadu paprsku na rozhraní pod úhlem menším - měřeno od kolmice, než je mezní) a záření pak vystupuje z jádra ven.



Obrázek 8: Deformace vlákna při navíjení na válec

Při měření se tento jev demonstruje optickým vláknem, které se navíjí na válec o různých poloměrech. Při použití stále menšího poloměru válce bude docházet k většímu útlumu. Při použití válce s malým průměrem a červeného světla ve vlákně bude zřetelný jeho únik z pláště.

K měření je využito následující zapojení.

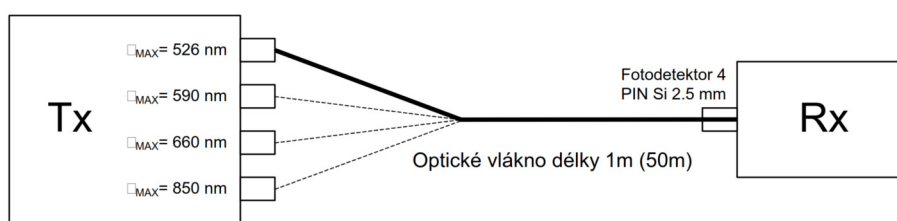


Obrázek 9: Blokové schéma zapojení pro měření útlumu při ohnutí vlákna

Nastavení přijímače a vysílače můžete ponechat shodné s nastavením v předchozím bodě. Vysílač s přijímačem spojte pomocí průhledného vlákna. Vlákno opatrně oviňte jednou dokola kolem prstence a ze změny výkonu určete přídavný útlum pro tento ohyb. Měření proveďte pro všechny přiložené prstence o poloměrech $R = 1,5 \text{ cm}$, $2,0 \text{ cm}$ a $2,5 \text{ cm}$.

1.9 Spektrální závislost útlumu optických vláken

K měření je využito následující zapojení.



Obrázek 10: Blokové schéma zapojení pro měření spektrální závislosti útlumu vlákna

Nastavení přijímače a vysílače můžete nechat shodné s nastavením v bodě 1. Propojte přijímač s vysílačem optickým kabelem délky 1 m. Postupně odečtěte na přijímači výkony v dBm pro první čtyři LED diody vysílače (526 nm, 590 nm, 660 nm a 850 nm). Výstup kanálu vysílače přivedete na příslušnou LED diodu přepínáním pomocí tlačítka **OUTPUTS CH1** na modulu Tx. Stejný postup proveďte též pro optický kabel délky 50 m. Dopačítejte útlumy pro jednotlivé vlnové délky v jednotkách dB/km.

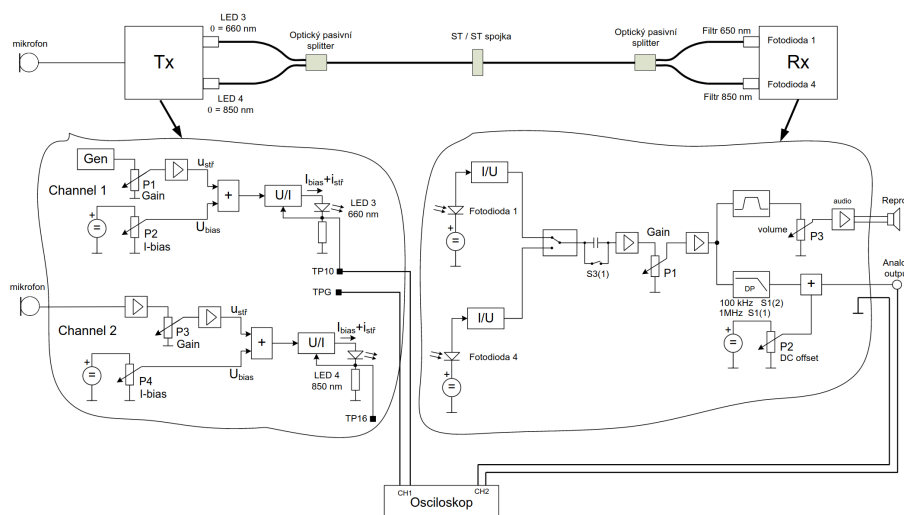
Pokud u vlnové délky 850 nm již nebudete schopni na výstupu 50 m optického vlákna výkon změřit (vzhledem k vysokému útlumu), je třeba místo vlákna délky 50 m použít vlákno délky 2 m, které získáte spojením dvou 1 m vláken pomocí ST/ST spojky.

1.10 Barevný posun světla

Nastavte jeden konec vlákna dlouhého 50 m proti zdroji bílého světla (např. slunce) a pozorujte barvu na druhém konci vlákna. Na základě výsledků předchozího měření vysvětlíte, k čemu došlo.

1.11 WDM přenos

Realizujte přenos harmonického signálu z generátoru a řečového signálu z mikrofону paralelně po jednom optickém vlákne pomocí vlnového multiplexu WDM (Wavelength Division Multiplexing) dle Obr. 11.



Obrázek 11: Blokové schéma zapojení pro demonstraci WDM a měření přeslechů mezi kanály

K přenosu použijte dvě LED diody o vlnových délkách 660 nm (LED č. 3) a 850 nm (LED č. 4). Na přijímači vyměňte ST adaptéry bez filtrů na fotodetektorech za ST adaptéry s optickými filtry. Filt 650 nm našroubujte na fotodetektor 1 a filtr 850 nm na fotodetektor 4 (tím docílíte oddělení signálu na těchto vlnových délkách na vstupu přijímače).

Nastavte vysílač následovně.

- Tlačítkem **INPUTS CH.1** na modulu Tx vyberte jako vstupní zdroj pro kanál 1 vnitřní generátor GEN (indikuje příslušná rozsvícená červená LED dioda v sekci **INPUTS**).
- Tlačítkem **INPUTS CH.2** na modulu Tx vyberte jako vstupní zdroj pro kanál 2 mikrofon (indikuje příslušná rozsvícená žlutá LED dioda v sekci **INPUTS**).
- Tlačítkem **OUTPUTS CH.1** na modulu Tx vyberte připojení výstupu kanálu 1 na optický vysílač č. 3 (počítáno shora) - indikuje příslušná rozsvícená červená LED dioda v sekci **OUTPUT SWITCHES** modulu Tx.
- Tlačítkem **OUTPUTS CH.2** na modulu Tx vyberte připojení výstupu kanálu 2 na optický vysílač č. 4 (počítáno shora) - indikuje příslušná rozsvícená žlutá LED dioda v sekci **OUTPUT SWITCHES** modulu Tx.
- V sekci **LF GENERATOR** modulu Tx vyberte pomocí tlačítka **SHAPE** harmonický průběh

(indikuje příslušná rozsvícená zelená LED dioda) a stisknutím tlačítka **1 kHz** dojde k nastavení frekvence generovaného harmonického signálu na hodnotu 1 kHz.

- Pomocí potenciometru **P1** (viz Obr. 11), nacházejícím se v sekci **Channel 1** modulu Tx pod jménem **GAIN**, nastavte maximální zesílení kanálu 1.
- Pomocí potenciometru **P2** (viz Obr. 11), nacházejícím se v sekci **Channel 1** modulu Tx pod jménem **I-bias**, nastavte takovou stejnosměrnou složku, aby nedocházelo ke zkreslení sinusového signálu (sinusového proudu protékajícího LED diodou) – kontrolujte pomocí osciloskopu (viz Obr. 11).
- Pomocí potenciometru P3 a P4 (viz Obr. 11), nacházející se v sekci **Channel 2** modulu Tx pod jménem **GAIN** a **I-bias**, nastavte takové zesílení a takovou stejnosměrnou složku, aby nedocházelo k přebuzení kanálu a zkreslení přenášeného signálu z mikrofonu (proudu protékajícího LED diodou) - kontrolujte pomocí osciloskopu.

Přijímač nastavte následovně.

- Potenciometrem **P1 (GAIN)** je možno řídit zisk kanálu a potenciometrem **P3 (Volume)** hlasitost reproduktoru.
- Potenciometr **P2** (stejnosměrný posun signálu na výstupu) stáhněte na minimum (nulový stejnosměrný posun).
- Tlačítkem **ANALOG IN** na modulu Rx je možno se přepínat mezi optickým přijímačem fotodioda č.1 (**INPUT 1**) a fotodioda č.4 – indikuje příslušná rozsvícená červená LED dioda v sekci **ANALOG**.

Nejprve ověřte přítomnost přeslechu mezi kanály. Sledujte na osciloskopu přeslech harmonického signálu z kanálu 1 do řečového signálu v kanálu 2 a opačně. Sledujte tyto přeslechy též poslechem reproduktoru.

Poté proveďte měření přeslechu mezi kanály. Pomocí potenciometru **P3** nastavte zesílení kanálu 2 (řečový signál) na minimum. Změřte amplitudu harmonického signálu na výstupu přijímače v kanále vlnové délky 660 nm (fotodioda 1) a amplitudu harmonického signálu přenášeného přeslechem do kanálu vlnové délky 850 nm (fotodioda 4). Vypočítejte úroveň přeslechu z kanálu 660 nm do kanálu 850 nm v dB. Pomocí tlačítek **OUTPUTS CH.1** a **OUTPUTS CH.2** na modulu Tx vzájemně přehodte výstupy na LED diody (tzn. po 660 nm se bude přenášet řečový signál a po 850 nm harmonický signál z generátoru) a změřte přeslech kanálu 850 nm do kanálu 660 nm.

Po ukončení měření vyměňte ST adaptéry s optickými filtry na fotodetektorech za ST adaptéry bez filtrů.

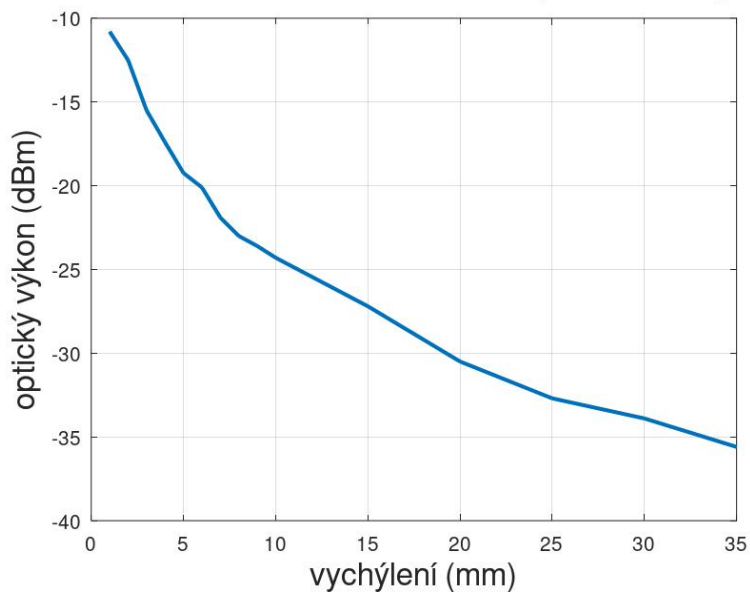
2 Naměřené hodnoty

2.1 Data závislosti útlumu na podélném vychýlení optických kabelů

Tabulka 1: Pro čelní vzdálenost vláken 5 mm

vzdálenost / mm	výkon / μW	optický výkon / dBm
1	21,1	-10,8
2	12,6	-12,5
3	7,0	-15,5
4	4,9	-17,4
5	3,1	-19,24
6	2,6	-20,1
7	1,7	-21,9
8	1,64	-23,0
9	1,32	-23,6
10	0,94	-24,3
15	0,43	-27,2
20	0,25	-30,5
25	0,17	-32,7
30	0,10	-33,9
35	0,09	-35,6

Charakteristika závislosti útlumu na podélném vychýlení



Obrázek 12

2.2 Data měření závislosti útlumu na úhlovém vychýlení optických konektorů

Tabulka 2: Pro čelní vzdálenost vláken 5 mm

úhel vychýlení / °	výkon / μW
-25	0,144
-20	0,310
-15	0,780
-10	1,470
-5	1,920
0	2,130
5	1,840
10	1,290
15	0,650
20	0,440
25	0,103

Tabulka 3: Závislost výkonu na úhlu natočení

úhel vychýlení / °	množství přeneseného výkonu / %
-25	6,76
-20	14,55
-15	36,62
-10	69,01
-5	90,14
0	100
5	86,39
10	60,56
15	30,52
20	20,66
25	4,84



Obrázek 13

2.3 Stanovení numerické aparatury

Když $n_1 = 1,49$ a $n_2 = 1,41$, pak $NA = \sqrt{1,49^2 - 1,41^2} \doteq 0,482$.

Při měření jsme zjistili, že když je úhel vychýlení -25° , tak je množství přeneseného signálu 6,76 %. Odhadem se dá tedy říct, že zhruba při -28° bude výkon roven teoretické numerické aparatuře.

2.4 Data měření závislosti útlumu na příčném vychýlení optických konektorů

Tabulka 4: Čelní vzdálenost vláken 5 mm

úhel vychýlení / °	optický výkon / dBm
-5	$-\infty$
-4,5	$-\infty$
-4	$-\infty$
-3,5	$-\infty$
-3	$-\infty$
-2,5	-41,32
-2	-36,65
-1,5	-34,55
-1	-32,85
-0,5	-31,23
0	-30,74
0,5	-30,40
1	-31,11
1,5	-32,28
2	-33,44
2,5	-36,32
3	-38,84
3,5	$-\infty$
4	$-\infty$
4,5	$-\infty$
5	$-\infty$

Tabulka 5: Čelní vzdálenost vláken 10 mm

úhel vychýlení / °	optický výkon / dBm
-5	-41,85
-4,5	-41,18
-4	-40,19
-3,5	-39,14
-3	-38,25
-2,5	-37,43
-2	-36,74
-1,5	-36,21
-1	-35,78
-0,5	-35,49
0	-35,30
0,5	-35,43
1	-35,58
1,5	-35,77
2	-36,24
2,5	-36,80
3	-37,20
3,5	-38,20
4	-38,21
4,5	-39,12
5	-40,49

2.5 Využití střídavého optického signálu

Především kvůli vnějšímu rušení. Například sluneční svit by mohl ovlivnit přesun dat svou frekvencí, proto je potřeba se odlišit výrazně jinou frekvencí signálu.

Střídavý signál má zároveň větší použitelný dosah oproti stejnosměrnému, protože se dá snadněji zesilovat.

2.6 Závislost útlumu na ohnutí optického kanálu

Tabulka 6: Pro čelní vzdálenost vláken 5 mm

poloměr / cm	výkon / μW	optický výkon / dBm
4	15,3	-12,30
5	14,6	-12,41
6	15,1	-12,65

2.7 Spektrální závislost útlumu optických vláken

Tabulka 7: Optický kabel délky 1 m

vlnová délka / nm	optický výkon / dBm
526	-19,28
560	-22,50
660	-12,10
850	-31,11

Tabulka 8: Optický kabel délky 50 m

vlnová délka / nm	optický výkon / dBm
526	-29,38
560	-34,09
660	-25,83
850	$-\infty$

2.8 Barevný posun světla

Konec vlákna jsme nastavili směrem k svítelně v mobilním telefonu. Na druhém konci jsme viděli tyrkysové světlo.

Průchod tyrkysového světla optickým vláknem je pravděpodobně způsoben fyzikálními vlastnostmi materiálu, ze kterého je vlákno vyrobeno. Tyrkysová vlnová délka je možná ta, která nejefektivněji prochází tímto konkrétním materiálem s nejmenšími ztrátami. Optická vlákna jsou navržena tak, aby minimalizovala ztráty světla při přenosu a aby co nejlépe využila vlastnosti materiálu pro propagaci světla. Tyrkysová barva na konci optického vlákna by tak mohla naznačovat optimální propustnost tohoto materiálu právě pro tuto konkrétní vlnovou délku světla.

3 Zhodnocení

Během měření jsme ověřili útlumové vlastnosti přenosu optickým vláknem. Všechny hodnoty vycházely dle předpokladů, s ohledem na chyby zavedené manuálním měřením vzdáleností. Při měření spektrální závislosti útlumu na optických vláknech při vlnové délce 850 nm a 50 metrovém kabelu jsme již nebyli schopni změřit optický výkon, kvůli silnému útlumu vlákna. Bohužel už nezbyl čas na doměření závislosti alespoň s 2 metrovým kabelem.

Přenos WDM signálu nebyl měřen pro nedostatek času.

Během měření jsme si ověřili některé vlastnosti optických vláken, například, že s rostoucím oddálením konektorů dvou vláken od sebe se exponenciálně snižuje optický výkon vláknem.