

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

OPTIMALIZACE A MĚŘENÍ PARAMETRŮ PON SÍTĚ FTTX

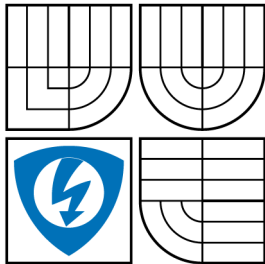
DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. MICHAL ČERNÝ



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND
COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

OPTIMALIZACE A MĚŘENÍ PARAMETRŮ PON SÍTĚ FTTX OPTIMIZATION AND MEASUREMENT PON PARAMETERS OF FTTX NETWORK

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. MICHAL ČERNÝ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

prof. Ing. MILOSLAV FILKA, CSc.

BRNO 2011



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Telekomunikační a informační technika

Student: Bc. Michal Černý

ID: 73071

Ročník: 2

Akademický rok: 2010/2011

NÁZEV TÉMATU:

Optimalizace a měření parametrů PON sítě FTTx

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Provedte návrh měření sítě ODN a pasivních optických odbočnic se zaměřením na optimalizaci přenosové cesty OLT-ON. Zaměřte se na vlastnosti a parametry pasivních optických odbočnic. Uvažujte s parametry optických distribučních sítí (ODN), v případě pasivních optických sítí (PON) a pasivních součástech této sítě (druhy PON, filtry, pasivní optické možnosti využití více vlnových délek, odbočnice a rozbočovače).

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] FILKA, M. Optoelektronika pro telekomunikace a informatiku. CENTA, Brno 2009.
- [2] FILKA, M. Přenosová média. Skripta laboratoře. VUT FEKT, Brno 2003.
- [3] KUCHARSKI, M., DUBSKÝ, P. Měření přenosových parametrů optických vláken, kabelů a tras. Mikrom, Praha 2001.

Termín zadání: 7.2.2011

Termín odevzdání: 26.5.2011

Vedoucí práce: prof. Ing. Miloslav Filka, CSc.

prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

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

ABSTRAKT

Práce rozebírá současný vývoj na poli pasivních optických sítí a jednotlivé generace přenosových standardů. Podrobněji se zabývá parametry ODN, metodami jejich měření a volbou potřebných měření v praxi. Hlavní část práce je zaměřena na měření pasivního WDM prvku, kde je provedena analýza vstupů a výstupů, měření vložného útlumu a přelechů podle ORL na provozních vlnových délkách.

KLÍČOVÁ SLOVA

PON, měřící metody, parametry, pasivní optická síť, měření PON

ABSTRACT

The thesis analyse contemporary progress in the field of passive optical networks and each generation of transmission standards. In detail it deals with parameters of ODN, methods of measurement and selecting the necessary measurements in practice. The main part of the thesis is focused on measurement of WDM passive element, where the inputs and outputs are analysed, measurement of insertion loss and crosstalk under ORL according to the operating wavelengths.

KEYWORDS

PON, measurement methods, parameters, passive optical network, measurement of PON

ČERNÝ, Michal *Optimalizace a měření parametrů PON sítě FTTx*: diplomová práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací, 2011. 77 s. Vedoucí práce byl prof. Ing. Miloslav Filka, CSc.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Optimalizace a měření parametrů PON sítě FTTx“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

Brno

.....

(podpis autora)

Tímto bych chtěl poděkovat za pomoc a rady při tvorbě této práce svému vedoucímu prof. Ing. Miloslavu Filkaovi, CSc., dále panu ing. Janu Broučkovi a Jiřímu Göllnerovi.

OBSAH

Úvod	11
1 Pasivní optické sítě	13
1.1 Druhy PON	14
1.2 Vlnový multiplex	18
1.3 Optický rozbočovač - Splitter	20
1.4 Optická odbočnice - AWG	22
1.5 Filtry	24
2 Parametry	25
2.1 Útlum	26
2.1.1 Vložený útlum IL	26
2.1.2 Útlum odrazu ORL	26
2.2 Disperze	29
2.2.1 Chromatická disperze - CD	29
2.2.2 Polarizační vidová disperze - PMD	30
2.2.3 Vidová disperze	30
3 Metody měření optických tras	31
3.1 Metody měření útlumu	31
3.1.1 Transmisní metoda	31
3.1.2 Metoda zpětného rozptylu	33
3.2 Metody měření disperze	35
3.2.1 Metody měření chromatické disperze	35
3.2.2 Metody měření polarizační vidové disperze	37
4 Měření ODN	41
4.1 Měření ODN - soubor 1	41
4.1.1 Inspekce čel konektorů	41
4.1.2 Obousměrné měření OTDR	42
4.1.3 Obousměrné měření útlumu	42
4.2 Měření ODN - soubor 2	42
4.2.1 Měření útlumu odrazu	42
4.2.2 Měření chromatické disperze	43
4.2.3 Měření polarizační vidové disperze	43

5	Měření PON	44
5.1	Měření vložného útlumu	44
5.2	Měření útlumu odrazu	44
5.3	Měření OTDR	45
6	Měřicí přístroje pro PON	46
7	Praktické měření	47
7.1	Vlastní měření	49
7.2	Referenční měření	49
7.2.1	Porovnání referenčních náměrů zdrojů záření	52
7.3	Měření součástky	54
7.3.1	Měření součástky - odbočení vlnových délek	54
7.3.2	Měření součástky - vložný útlum	63
7.3.3	Měření součástky - Přeslechy	67
7.4	Výsledky měření součástky	70
8	Závěr	71
	Literatura	72
	Seznam symbolů, veličin a zkratk	74
	Seznam příloh	76
A	Přílohy na CD	77

SEZNAM OBRÁZKŮ

1	Architektura P2P	11
2	Architektura bod-multibod	11
1.1	Blokové schéma distribuční sítě 1	13
1.2	Historický vývoj optických sítí	14
1.3	Rozdělení kanálů CWDM dle ITU-T G.694.2 [2]	19
1.4	Zapojení splitteru v ODN [2]	20
1.5	Orientační schéma splitteru 1:4	21
1.6	Zapojení AWG pasivní směrové odbočnice v ODN [2]	22
1.7	Princip vlnového vydělování pomocí metody AWG[16][17]	22
2.1	Jednoduchá topologie uvažované ODN	28
2.2	Šíření polarizačních vidů a) ideálním vláknem b) reálným vláknem	30
3.1	Kalibrace přístrojů pro získání P_1	32
3.2	Měření optické trasy, získání P_2	32
3.3	Kalibrace přístrojů pro získání P_1 se dvěma moduly	32
3.4	Kalibrace přístrojů pro získání P_1 se třemi moduly	33
3.5	Schéma měření optické trasy pomocí OTDR	34
3.6	Měření laboratorního zapojení optické trasy pomocí OTDR na vlnové délce 1550 nm	34
3.7	Princip metody fázového posuvu	36
3.8	Zapojení metody TINTY	37
3.9	Schéma interferometru	37
3.10	Schéma interferometru metody GINTY	39
7.1	Měřená WDM odbočnice	47
7.2	Zapojení pracoviště pro získání referenčního náměru	48
7.3	Zapojení pracoviště pro měření součástky	48
7.4	Zjednodušené schéma součástky	49
7.5	Zjednodušené schéma všech směrů měření	49
7.6	Ukázka praktického zapojení referenčního měření	50
7.7	Referenční náměry zdroje FLS-300-234BL	50
7.8	Referenční náměry zdroje FLS-300-235BL	51
7.9	Referenční náměr zdroje FLS-5834A	51
7.10	Porovnání referenčních náměrů zdrojů záření na 1310 nm	52
7.11	Porovnání referenčních náměrů zdrojů záření na 1550 nm	53
7.12	Měření součástky se zdrojem FLS-300-234BL ve směru 1 - > COM	55
7.13	Měření součástky se zdrojem FLS-300-235BL ve směru 1 - > COM	55
7.14	Měření součástky se zdrojem FLS-5834A ve směru 1 - > COM	56
7.15	Měření součástky se zdrojem FLS-300-234BL ve směru 2 - > COM	57

7.16	Měření součástky se zdrojem FLS-300-235BL ve směru 2 - > COM	57
7.17	Měření součástky se zdrojem FLS-5834A ve směru 2 - > COM	58
7.18	Měření součástky se zdrojem FLS-300-234BL ve směru COM - > 1	59
7.19	Měření součástky se zdrojem FLS-300-235BL ve směru COM - > 1	59
7.20	Měření součástky se zdrojem FLS-5834A ve směru COM - > 1	60
7.21	Měření součástky se zdrojem FLS-300-234BL ve směru COM - > 2	61
7.22	Měření součástky se zdrojem FLS-300-235BL ve směru COM - > 2	61
7.23	Měření součástky se zdrojem FLS-5834A ve směru COM - > 2	62
7.24	Porovnání referenčního náměru a měření součástkou pro vlnové délky 1530-1560 nm	64
7.25	Porovnání referenčního náměru a měření součástkou pro vlnové délky 1610-1650 nm	64
7.26	Porovnání referenčního náměru a měření součástkou pro 1310 nm	65
7.27	Porovnání referenčního náměru a měření součástkou pro 1490 nm	65
7.28	Porovnání referenčního náměru a měření součástkou pro 1550 nm	66
7.29	Porovnání referenčního náměru a měření součástkou pro 1625 nm	66
7.30	Měření přeslechů ve směru 1 - > 2 pro 1310, 1550, 1625 nm	67
7.31	Měření přeslechů ve směru 2 - > 1 pro 1310, 1550, 1625 nm	68
7.32	Měření přeslechů ve směru 1 - > 2 pro 1310, 1490, 1550 nm	68
7.33	Měření přeslechů ve směru 2 - > 1 pro 1310, 1490, 1550 nm	69
7.34	Měření přeslechů ve směru 1 - > 2 a 2 - > 1 pro C+L pásmo	69
7.35	Výsledné rozmístění provozních vlnových délek na portech	70

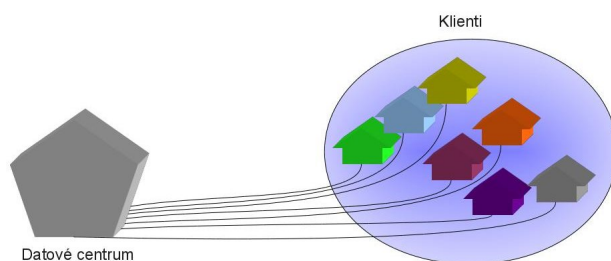
SEZNAM TABULEK

1.1	Porovnání základních variant PON [4]	14
1.2	Struktura GEM rámce	15
1.3	Porovnání nových variant PON [15]	16
1.4	Hodnoty vloženého útlumu podle vzorce 1.2 a pro splitter Vector	21
2.1	Hodnoty útlumových tříd sítí GPON a EPON	26
2.2	Kalkulace útlumu ODN	28
7.1	Tabulka zdrojů optického záření	47
7.2	Tabulka porovnávaných referenčních měření	52
7.3	Tabulka grafů pro odbočení provozních vlnových délek	54
7.4	Tabulka IL pro vlnové délky	63
7.5	Tabulka grafů přeslechů mezi porty 1 a 2	67

ÚVOD

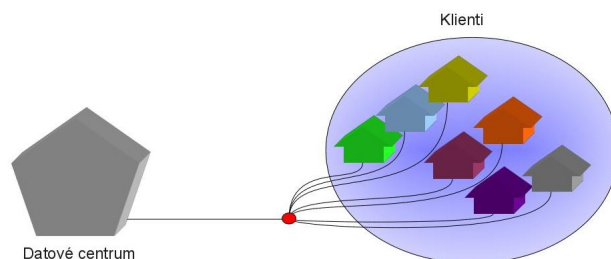
V současnosti jsou na přenos informací kladeny obrovské nároky. Metalické sítě dosahují svých přenosových limitů a tak se stávají pro přenos velkého množství informací nevhodnými. Tuto nevýhodu odstranily optické sítě, zavádějí se nové přenosové rychlosti a technologie pro zvýšení kapacity optických vláken.

Nejběžnějším způsobem propojování účastníků je použití způsobu bod-bod (P2P) obr. 1. Tento způsob propojení přináší pro účastníka výhodu svého vlastního vlákna a možnosti využívat jeho přenosovou kapacitu jen pro sebe. Nevýhodou je že při větším počtu účastníků, vzrůstá takto množství vláken, které zatěžují datové centrum a vznikají problémy i s pokládkou.



Obr. 1: Architektura P2P

Řešením problému s velkým počtem vláken je využití způsobu bod-multibod obr. 2. Jedná se o sdílení přenosové kapacity vlákna více účastníky. Toto řešení se využívá v sítích s označením PON - pasivní optické sítě. PON architektura snižuje počet vláken v datovém centru.



Obr. 2: Architektura bod-multibod

Díky technologii vlnového multiplexu je možné připojovat větší množství účastníků, technologie umožňuje plně využít přenosovou kapacitu optického vlákna.

Princip sdílení přenosové kapacity vlákna je možné využívat pouze tak dlouho dokud požadavky na připojení a služby nepřesáhnou kapacitu sdíleného vlákna.

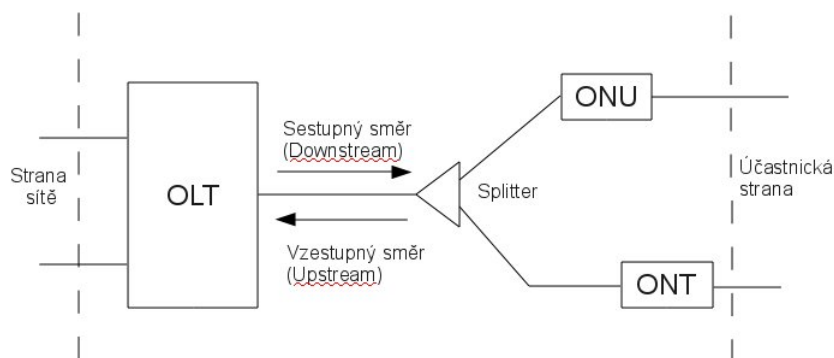
S rostoucími požadavky na poskytované služby a přenosové rychlosti vzrůstá důležitost měření optických přenosových tras a jejich pasivních součástí. Pro navyšování parametrů poskytovaných služeb je nutné dobře znát parametry optické trasy kde chceme toto navýšení provést.

Měření by se měla provádět už s samotným zárodku výstavby sítě. Může se zdát, že investice do měření jsou veliké, ale v budoucnu se vyplatí. Umožňují nám zlepšovat parametry sítě už při výstavbě a tak nás ušetřit nemilých překvapení při uvádění do provozu. Tehdy už může náprava chyb stát nemalé finanční prostředky, z důvodů špatné přístupnosti, nutných výkopů atd. To znamená, že investice do měření v počátcích výstavby znamená úsporu na konci výstavby a i za provozu. Ze znalosti vlastností optické trasy může být následně vycházeno pro nasazování nových vhodných technologií. Umožňuje zvážit možnosti optimalizace a zlepšování provozních parametrů. Počet dodatečných měření vlivem stárnutí optické trasy se nám může také snížit.

Vhodná volba měření ve správný čas = úspory do budoucna.

1 PASIVNÍ OPTICKÉ SÍTĚ

V sítích FTTx se řeší distribuce informací z centrální stanice (CO) k mnoha příjemcům. Využívají se zde mnohabodové optické přístupové sítě pro zvýšení efektivity provozu. Podle použitých prvků se tyto sítě dělí na aktivní optické sítě (AON) a pasivní optické sítě (PON).



Obr. 1.1: Blokové schéma distribuční sítě 1

AON sítě pro přepojování optických signálů z CO do jednotlivých vláken ke koncovým účastníkům využívají aktivních síťových prvků. Tyto prvky vyžadují napájení a tím vzrůstá problém spolehlivosti sítě - možné výpadky elektřiny.

PON sítě pro přenos optických signálů z CO k jednotlivým koncovým účastníkům využívá pasivní prvky pro dělení signálů do jednotlivých vláken. Tyto prvky nevyžadují napájení, tím vzrůstá spolehlivost distribuční sítě a klesají náklady na provoz. Nevýhodou těchto prvků je útlum, který způsobují optickému signálu při průchodu.

Pro komunikaci P2M (Point to Multipoint) je zapotřebí mít dostatečné množství vlnových délek nebo způsob jak po jedné vlnové délce přenášet informace k více stanicím. Na komunikaci po jedné vlnové délce se využívá TDMA (Time Division Multiple acces) tzv. časový multiplex v kombinaci se splitterem o vhodném rozbočovacím poměru. CO přiřadí ONT časový interval ve kterém se zapojí přijímač a vysílač. Nevýhoda tohoto řešení je možnost odposlouchávat informace určené pro jiné stanice.

Obrovský přínosem pro PON bylo zavedení technologie vlnového multiplexu (WDM). WDM umožňuje přes jedno optické vlákno přenášet větší množství vlnových délek v obou směrech. To umožňuje přidělit každé ONT její vlastní vlnovou délku, počet však závisí na použité technologii WDM. Další navýšení počtu koncových stanic je možné pomocí TDMA a splitterů.

1.1 Druhy PON

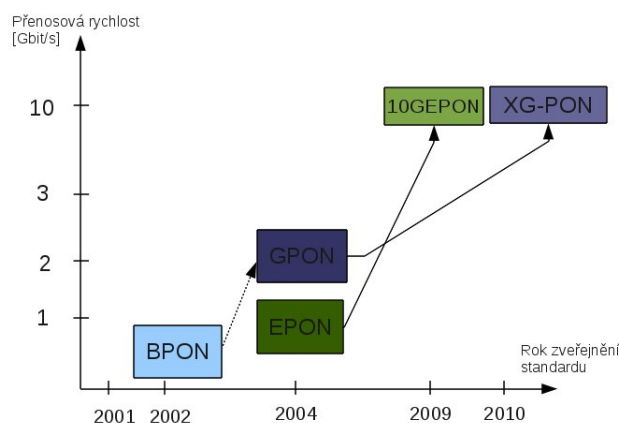
V dnešní době existuje několik druhů PON [1], [15]:

- APON (ATM-based PON) - pasivní optická síť založená na přenosu ATM buněk
- BPON (Broadband PON) - doplnění standartu APON
- GPON (Gigabit PON) - přenos ATM buněk pomocí metody GEM (GPON Encapsulation Method)
- EPON (Ethernet PON) - sítě na bázi ethernetu
- 10GEPON (10 Gigabit EPON) - EPON s vyšší rychlostí
- XG-PON (Next Generation PON) - další vývoj G-PON s vyššími rychlostmi

	APON/BPON	GPON	EPON 2
Standart	ITU-T G.983	ITU-T G.984	IEEE 802.3ah
Fyzický dosah sítě [km]	20	20	20
Max. počet uživatelů	32	64 až 128	32
Přenosová rychlost	155,52 / 622,08 Mbit/s	1,244 / 2,488 Gbit/s	1,25 Gbit/s
Protokol	ATM	ATM,GEM	Ethernet

Tab. 1.1: Porovnání základních variant PON [4]

Sítě APON, BPON z hlediska nízkých přenosových rychlostí nejsou moc využívány. V současnosti se využívají sítě EPON, GPON a jejich další vývojové varianty.



Obr. 1.2: Historický vývoj optických sítí

APON,BPON

Síť APON byla schválena organizací ITU-T v roce 1998 pod specifikací G.983.1. Tato síť využívá pro přenos informací buněk ATM (Asynchronous Transfer Mode). APON nabízí dvě varianty přenosových rychlostí:

- symetrická služba - rychlost 155,52 Mbit/s dodatečně 622,08 Mbit/s
- asymetrická služba - rychlost 622,08 Mbit/s downstream, 155,52 Mbit/s upstream

Pro síť BPON bylo roku 2001 organizací ITU-T přijat standard G.983.3, který byl rozšířením předchozího a využívá stejných přenosových rychlostí. Pro přenos využívá jednoho či dvou optických vláken, obousměrnou komunikaci po jednom vlákně zajišťuje vlnový multiplex.

GPON

Specifikace G.984.1 GPON byla schválena organizací ITU-T v roce 2003, vychází z předchozích specifikací G.983.X. Síť GPON rozšiřuje specifikaci G.983.1 zachováním širokopásmového přístupového systému ve smyslu rychlosti. Pro přenos se využívají ATM buňky, ale i nová metoda GEM. Buňky ATM a GEM rámce jsou přenášeny v rámcích o pevné délce 125 μ s. GEM umožňuje snazší manipulaci s různými typy dat, je proto vhodný i pro Ethernet rámce.

PLI	PORT ID	PTI	HEC	Uživatelská data
12 bitů	12 bitů	3 bity	13 bitů	L bajtů (max 4095)

Tab. 1.2: Struktura GEM rámce

GPON nabízí dvě varianty přenosových rychlostí:

- symetrická služba - rychlosti 1244,16 Mbit/s nebo 2488,16 Mbit/s
- asymetrická služba - rychlosti 1244,16 Mbit/s, 2488,32 Mbit/s downstream; 155,52 Mbit/s, 622,08 Mbit/s, 1244,16 Mbit/s upstream

EPON

Organizace IEEE zajistila zavedení ethernetu do přístupových sítí přijetím specifikace IEEE 802.3ah označovanou jako EPON nebo EFM (Ethernet In First Mile). Tento standard vznikl v souvislosti s rozšiřováním a vzrůstající oblibou datových sítí s přenosem pomocí protokolu Ethernet. Síť EPON byla navržena pro mnohabodovou síť sdílející přenosové médium (až 32 účastníků). Součástí specifikace jsou

varianty 1000BasePX-10 a 1000BasePX-20 označovány taky jako EPON typ 1 a typ 2.

EPON typ 1 je určeno pro použití na vzdálenost do 10 km s maximálním rozbočením 1:16, typ 2 je určen pro použití na vzdálenost do 20 km při maximálním rozbočení 1:32.

	10GEPON	XG-PON
Standart	IEEE 802.3av	ITU-T G.987
Fyzický dosah sítě [km]	$\leq 10, \leq 20$	≤ 20 (výhledově ≤ 40)
Max. počet uživatelů	16, 32 (zvažováno 64, 128)	256
Přenosová rychlost	10 Gbit/s	10 Gbit/s

Tab. 1.3: Porovnání nových variant PON [15]

10GEPON

Jedná se o další vývoj sítí na bázi ethernetu a je kompatibilní se staršími generacemi [15]. Jedná se o specifikaci IEEE 802.av přijatou roku 2009. Tento standard umožňuje přenos rychlostí 10 Gbit/s v symetrické variantě pod označením 10GBASE-PR a asymetrické (upstream 1 Gbit/s) variantě pod označením 10GBASE-PRX. V této variantě existuje možnost při dodržení maximálního vložného útlumu navyšovat parametry na úkor jiných např. při kratší délce trasy navýšit rozbočovací poměr a naopak.

Pro tuto variantu byly definovány nové útlumové třídy, dělí se podle označení použitých variant přenosu. Pro ODN s nízkým překlenutým útlumem byly definovány třídy PR10 a PRX10, pro ODN se střední hodnotou překlenutého útlumu PR20 a PRX30 a pro ODN s nejvyšším překlenutým útlumem PR30 a PRX30. Větší počet útlumových tříd umožňuje volbu nejvhodnější varianty pro následnou úsporu nákladů.

XG-PON

Varianta XG-PON je další vývojový stupeň G-PON s vyššími rychlostmi [15]. Splňuje požadavky na zpětnou kompatibilitu s variantou G-PON, pro vzájemné nasazení v jedné síti. Z tohoto pohledu byly definovány dvě varianty NG-PON 1 a NG-PON 2. NG-PON 1 řeší hlavně kompatibilitu se stávajícími a staršími generacemi PON sítí založená na principu časově sdíleného přístupu k optickému vláknu TDMA, využití vlnového multiplexu se příliš neuvažuje. NG-PON 2 narozdíl od NG-PON 1 počítá s

plnou integrací WDM a vytváření hybridních přístupových sítí WDM-TDMA PON s možností dosahování rychlostí 40 Gbit/s.

Pro tuto novou variantu byly definovány nové útlumové třídy s přihlédnutím k útlumovým třídám starší varianty G-PON a poznatkům z jejich výstavby. Běžný útlum ODN pro G-PON se pohybuje kolem 28 dB. Z tohoto poznatku byla definována třída Nominal 1 s hodnotou útlumu 29 dB, pro překlenutí většího útlumu byla definována třída Nominal 2 s útlumem 31 dB.

S možností nasazení lavinových fotodiod APD, s vyšší citlivostí a možností zvýšení hodnoty překlenutého výkonu byly otevřeny dvě další třídy pod názvy Extended 1 a 2. Návrh těchto tříd zůstal otevřený a ponechaný na zvážení výrobců.

1.2 Vlnový multiplex

Obrovský rozmach v optických přenosových sítích představoval objev technologie WDM (Wavelength Division Multiplex). Díky ní je možné několikanásobně zvýšit přenosovou kapacitu optického vlákna [1].

WDM umožňuje sloučit několik různých vlnových délek do jednoho optického vlákna. Toto bylo umožněno rozvojem v oblasti výroby vláken, laserových a LED zdrojů záření a detektorů.

Ze začátku byly WDM systémy jednoduché s malým počtem kanálů ($n \leq 3$), každým využívající jinou vlnovou délku umožňující obousměrný provoz.

Technologie WDM [6]:

- WWDM (Wide Wavelength Division Multiplex) - tzv. "široký" vlnový multiplex
- CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplex) - tzv. "hrubý" vlnový multiplex
- DWDM (Dense Wavelength Division Multiplex) - tzv. "hustý" vlnový multiplex

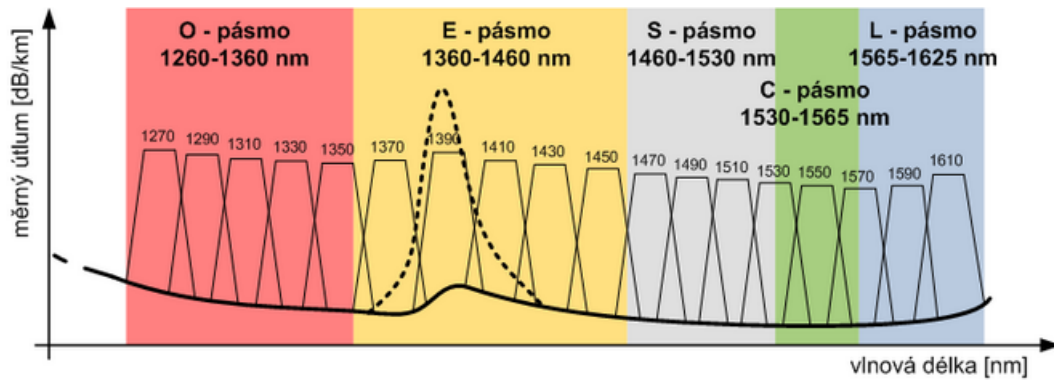
WWDM

Tento vlnový multiplex využívá velmi širokého dělení vlnových délek s rozestupy většími než 20 nm. Typicky se používá rozestup 25 nm. Pro tuto technologii se většinou používají vlnové délky z oblasti 850 nm pro vícevidová vlákna a z oblasti 1300 nm pro vícevidová nebo jednovidová vlákna.

CWDM

Tato forma WDM využívá menšího odstupů vlnových délek než u WWDM a většího než DWDM. Technologie byla standardizována v roce 2002 doporučením ITU-T G.694.2 (obr. 1.3). Tento standard definuje velikost odstupů jednotlivých vlnových délek tak, aby mohlo být pro technologii CWDM použity laserové diody bez nároku na chlazení.

Pro hrubé dělení byly definovány vlnové délky s první nosnou 1270 nm a poslední 1610 nm, odstup mezi jednotlivými nosnými 20 nm. Tímto vzniklo k dispozici 18 přenosových kanálů - při použití standardního jednovidového optického vlákna bez potlačení útlumu v pásmu E jen 12.



Obr. 1.3: Rozdělení kanálů CWDM dle ITU-T G.694.2 [2]

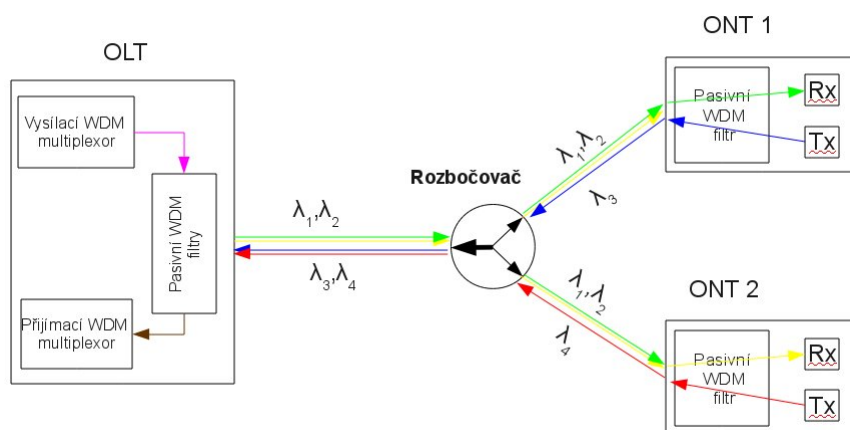
DWDM

Tento vlnový multiplex využívá minimální odstupy mezi jednotlivými přenosovými kanály. Dokáže do jednoho optického vlákna vměstnat desítky vlnových délek. Využití tohoto multiplexu nese zvýšené nároky na technologii - jednovidové lasery, interferenční filtry, zajištění kmitočtové stability.

Specifikace DWDM jsou zahrnuty v doporučení ITU-T G.694.1 pro oblasti vlnových délek od 1490 nm do 1620 nm (pásma S,C,L). Odstupy jednotlivých kanálů jsou běžně 0,8 nm, novější využívají odstupy 0,4 nm a menší.

1.3 Optický rozbočovač - Splitter

Splitter je pasivní optický prvek umožňující rozdělení optického signálu do více vláken nebo sloučení více optických signálů z více vláken do jednoho. Provádí pouze rozdělení nebo sloučení signálu bez jakýchkoli úprav (Obr. 1.4). V PON sítích je splitter obousměrným síťovým prvkem, který nevyžaduje napájení [2].



Obr. 1.4: Zapojení splitteru v ODN [2]

Absence potřeby napájení je výhodou pro jeho nasazení a využití v optických sítích. Jeho použitím vkládáme do optické trasy útlum, ten závisí na počtu výstupních portů a jeho hodnota se udává v dB. Matematicky vyjádřeno je vložný útlum tvořen součtem útlumu dělení (A_D) a zbytkovým útlumem (A_Z). Útlum dělení je tvořen ztrátou části výkonu signálu jeho dělením na více výstupů. Zbytkový útlum tvoří hodnoty útlumu na konektorech splitteru, útlum vláken a jejich svary a výrobními nepřesnostmi [9]. Ze vzorce 1.2 můžeme spočítat přibližné hodnoty útlumu splitteru, kde N udává počet výstupů. V tabulce 1.4 jsou k porovnání hodnoty teoretické podle vzorce 1.2 a od vyráběného splitteru Vector LFOP OP3XSX.

$$A = A_D + A_Z \quad (1.1)$$

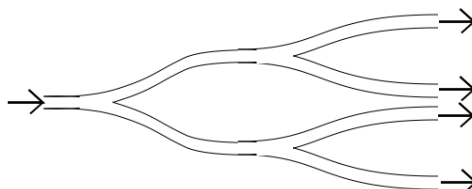
$$A_D = 10 * \log(N) \quad (1.2)$$

$$A_Z = 10 * \log \left(\frac{P_{vst}}{\sum P_{vyst}} \right) \quad (1.3)$$

Architektura splitteru je taková, že na vstupu je jeden port a několik na výstupu (2-128). Přivedený optický signál z OLT v sestupném směru (downstream) se na vstupním portu rozdělí do požadovaného počtu výstupních dílčích signálů, které jsou přes výstupní porty distribuovány k jednotlivým ONT jednotkám.

	1x2	1x4	1x8	1x16	1x32
Vlnová délka	1260-1650nm				
Vložný útlum [dB] dle 1.2	3,01	6,02	9,03	12,04	15,05
Vložný útlum [dB] Vector	3,5	6,7	10,2	13,4	-

Tab. 1.4: Hodnoty vložného útlumu podle vzorce 1.2 a pro splitter Vector



Obr. 1.5: Orientační schéma splitteru 1:4

Ve vzestupném směru (upstream) splitter slučuje jednotlivé signály od ONT jednotek do jednoho signálu po jednom vlákně.

Rozbočovače můžeme kaskádně řadit za sebou podle topologie sítě. Musíme dodržovat doporučení ITU-T, které upravuje hodnoty útlumu vložené do optické trasy jejich použitím.

Rozbočovače můžeme rozdělit do dvou skupin podle technologie výroby [1]:

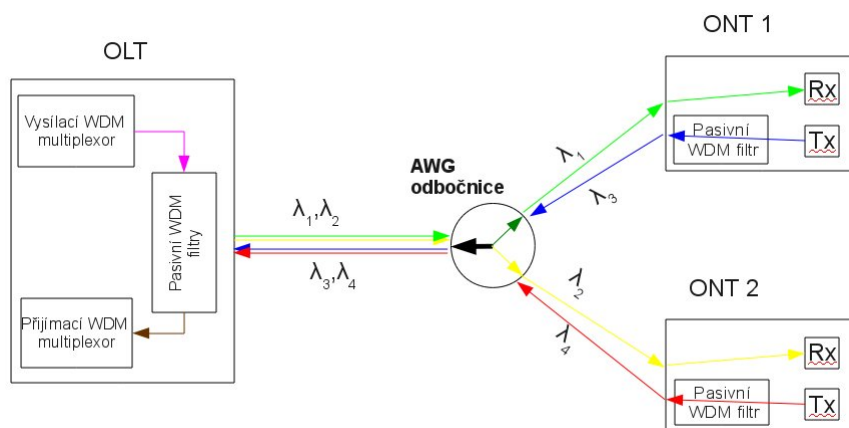
- PLC (Planar Lightwave Circuit),
- FBT (Fused Bionic Taper).

PLC splittery jsou vyráběny planární technologií. Požadovaná struktura je vytvářena na křemíkovém substrátu vhodným postupem. Touto technologií se dá dosáhnout až 128 výstupních portů.

FBT splittery jsou vyráběny spojením optických vláken při vysoké teplotě a tlaku. Pláště vláken se nataví a jádra se tak dostanou do těsné blízkosti. Pomocí této technologie se vyrábí svazky 2 až 4 vláken a pro dosažení většího počtu výstupních portů řadí kaskádovitě za sebe. Využívá je jich především tam kde není zapotřebí velkého množství výstupních portů.

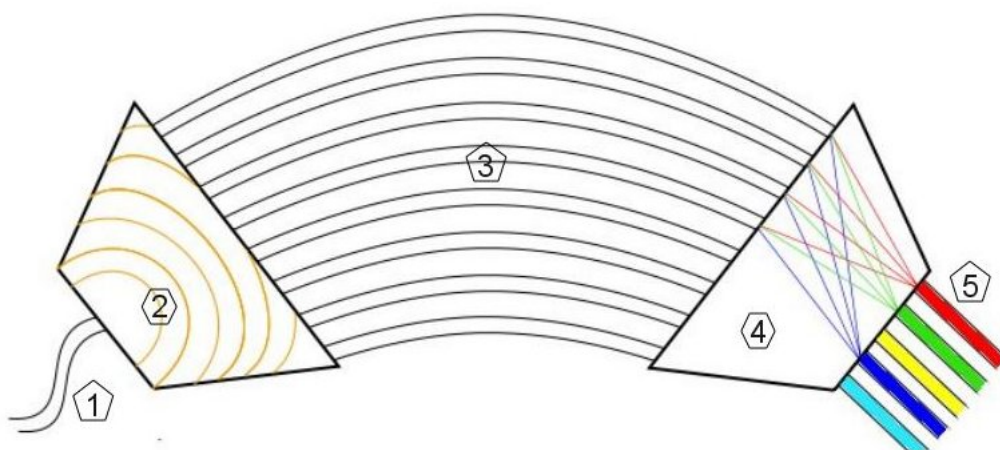
1.4 Optická odbočnice - AWG

Optické odbočnice umožňují jednoduše vydělovat jednotlivé přenášené vlnové délky a směřovat je do jednotlivých výstupů obr. 1.6. Výhodou použití optických odbočnic je nižší útlum oproti splitteru a odstranění pasivního WDM filtru na vstupu koncové jednotky [2].



Obr. 1.6: Zapojení AWG pasivní směrové odbočnice v ODN [2]

Nejpoužívanější pasivní metodou pro vydělování vlnových délek je AWG (Array Waveguide Grating) [7]. Ta umožňuje z optického signálu v sestupném směru od OLT ve formě vlnového multiplexu nosných vydělit jednotlivé vlnové délky. Ke koncovým jednotkám se pak šíří přidělené vlnové délky v oddělených vláknech. Princip funguje i opačně kdy každá ONU/ONT stanice vysílá na své vlastní přidělené vlnové délce.



Obr. 1.7: Princip vlnového vydělování pomocí metody AWG[16][17]

Uspořádání vlnové odbočnice je znázorněno na obr. 1.7. Na vstupní vlákno (1) je navařen postupně se rozšiřující vlnovod (2). Po krátké vzdálenosti pokračuje několika dalšími vlnovody (3) s podobnými rozměry jako původní vlákno. Ty jsou vedeny paralelně vedle sebe v mírném ohybu, ale mají rozdílné délky. Následně se spojí s dalším vlnovodem (4), který ústí do jednotlivých výstupních vláken (5). Počet výstupních vláken odpovídá počtu multiplexovaných kanálů.

Výkon vstupujícího signálu procházející prvním rozšířeným vlnovodem (2) se rovnoměrně rozdělí do jednotlivých užších větví (3). Toto je zajištěno propočítanými geometrickými parametry a indexy lomu AWG struktury. Úzkými vlnovody se dále šíří rozložený výkon signálu k druhému širšímu vlnovodu (4). Díky různým délkám vstupují části signálu do druhého širšího vlnovodu (4) s různým fázovým zpožděním, které je pro složky s kratší vlnovou délkou větší. Důsledkem je, že v oblasti (4) dojde k interferenci částí signálu přicházejících z jednotlivých větví. Signál WDM se rozdělí, tak že první kanál se objeví na prvním výstupním vlákně, druhý kanál se objeví na druhém výstupním vlákně atd.

1.5 Filtry

Optické filtry (vlnově selektivní členy) se využívají pro ochranu zařízení nebo pro vydělování vlnových délek z optického svazku. Při ochraně zařízení filtry zajišťují aby se provoz nedostal tam kde by mohl uškodit, například aby se k detektoru nedostal jiný signál než pro který je určen [1].

Běžně se optické filtry používají v multiplexorech a demultiplexorech a většinou jsou reciproční, neboli lze je použít pro multiplex i demultiplex pouhou záměnou výstupů a vstupů. Podle způsobu fungování je lze rozdělit do dvou skupin:

- interferenční
- disperzní

Interferenční selektivní členy využívají interferenčních filtrů, ty způsobují odraz světelné vlny od filtru nebo jím procházejí, v závislosti na vlnové délce. Filtr je tvořen tenkými vrstvami dielektrického materiálu se střídavě se měnícím indexem lomu. Pro určité vlnové délky je dosahováno velké odrazivosti vhodným upořádáním filtru. Vložný útlum těchto filtrů úměrně roste s počtem kanálů. Mohou být použity pro zdroje LED i LD.

Disperzní selektivní členy využívají rozkladu světla různými hranoly nebo optickými mřížkami. Díky závislosti indexu lomu na vlnové délce se různé vlnové délky lámou pod různým úhlem a umístění detektorů je závislé na úhlové disperzi.

Pro jednoduché varianty multiplexních spojů lze využít necitlivosti detektorů na určité vlnové délky. Detektor sloužící k detekci vlnových délek v dolním okraji okna je necitlivý na vlnové délky vyšší $1,1 \mu m$, zatímco detektory pro vyšší vlnové délky potlačí signál s kratší vlnovou délkou.

2 PARAMETRY

Návrh, provoz a optimalizace PON sítě nebo kterékoli jiné se řídí podle několika základních parametrů. Nejdůležitější jsou tzv. provozní parametry - do kterých patří rozvržení topologie, úroveň přenášeného signálu atd. Pak je potřeba brát v úvahu problematiku ekonomickou a legislativní.

PON sítě jak vyplývá z jejich označení využívají pro distribuci optického signálu pasivní neboli neelektrické prvky. Nesmíme, ale zapomenout na koncové stanice OLT a ONU/ONT. Tyto stanice tvoří jediné aktivní prvky optické přístupové sítě. Zde záleží na použité technologii laserů (LED, LD) a detektorů (PIN, APD).

U optických tras se dají měřit různé jejich vlastnosti a provozní parametry. Pro přenosovou cestu - optické spojení mezi OLT a ONT jsou nejdůležitější tyto:

- Útlum,
 - Vložný útlum(IL),
 - Útlum odrazu(ORL),
- Disperze,
 - Vidová,
 - Chromatická,
 - Polarizační.

2.1 Útlum

Každý použitý prvek v optické distribuční síti nám způsobuje zeslabení optického signálu [9]. Úroveň signálu nám klesá i samotným průchodem optickým vláknem. Průchodem pasivními prvky se úroveň signálu snižuje více. Tento pokles nazýváme útlum.

Varianta PON		Rozsah útlumu ODN [dB]
GPON	typ A	5 - 20
	typ B	10 - 25
	typ C	15 - 30
	typ C+	17 - 32
EPON typ 1		5 - 20
EPON typ 2		10 - 24

Tab. 2.1: Hodnoty útlumových tříd sítí GPON a EPON

Jedná se o jeden z důležitých parametrů ODN. Vyjadřuje nám změnu výkonu signálu v průběhu optické trasy jako poměr hodnot ve dvou bodech. Jeho hodnota se udává v [dB] a je dána vztahem 2.1

$$A(\lambda) = 10 \log \frac{P_1}{P_2} \quad [\text{dB}] \quad (2.1)$$

Pro jednotlivé standardy PON byly definovány útlumové třídy. Tři třídy pro GPON (ITU-T G.984.2) a dvě pro EPON (IEEE 802.3ah) tab 2.1. Pro GPON byla dodatečně definována v roce 2008 další třída navíc (C+). Jednotlivé třídy se liší hraničními hodnotami překlenutého optického útlumu ODN, hodnotami vysílaného a přijímaného výkonu.

2.1.1 Vložný útlum IL

Jedná se o jeden ze základních parametrů každé optické součástky nebo vlákna. Vložný útlum nám doslova říká o kolik zeslabí signál procházející přes daný prvek optické trasy a o kolik zvýší útlum celé optické trasy. U vláken se udává v hodnotách dB/km u pasivních prvků v dB.

2.1.2 Útlum odrazu ORL

Při přenášení optického signálu se negativně projevují odrazy optického signálu, které vznikají na nehomogenitách optického vlákna a dalších pasivních součástkách.

Tyto odrazy mají vliv na kvalitu přenášeného signálu a to jak na vysílací tak i na přijímací straně. Na vysílací straně může docházet vlivem odraženého signálu k ovlivňování provozu laseru, dochází ke zkreslení signálu nebo snížení odstup signál/šum. Na straně přijímače může docházet ke vzniku časově posunutých falešných signálů - "duchů", které snižují odstup signál/šum. U digitálních přenosu k vznikům mezisymbolové interference [11].

V praxi se běžně používá hodnota útlum odrazu který nabývá kladných hodnot 2.2 , ale vyskytuje se i tzv. odrazivost, která má záporné znaménko.

Útlum odrazu je definován:

$$ORL = 10 \log \frac{P_e}{P_r} \quad [\text{dB}] \quad (2.2)$$

kde P_e je celkový vyslaný optický výkon a P_r je odražený optický výkon.

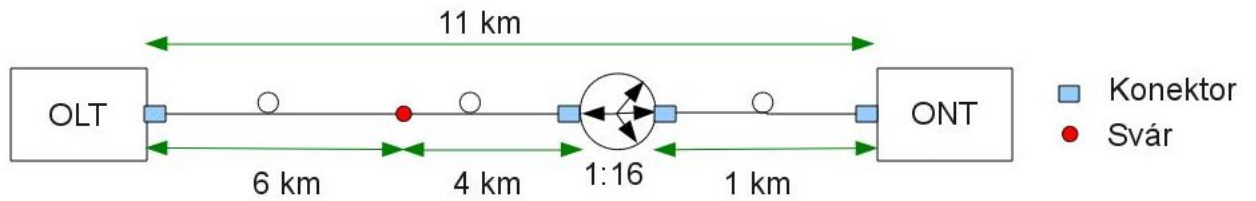
Čím je hodnota ORL vyšší tím je vliv odraženého optického signálu menší (výkon P_r je nízký). V praxi to znamená že hodnota ORL 40 dB je lepší než 30 dB.

Hodnota ORL je v optických sítích velmi důležitá a je nutné její velikost ověřovat už při samotné instalaci sítě k zamezení negativním dopadům odrazů na přenášený signál.

Pro zvyšování útlumu odrazu se v dnešní době využívá několik metod. Mezi základní patří tyto čtyři:

- Imerzní kapalina,
- Zešikmení konce vlákna,
- Použití optického kontaktu,
- Antireflexní vrstva.

Útlumová bilance jednoduché trasy ODN:



Obr. 2.1: Jednoduchá topologie uvažované ODN

Topologie se sestává z následujících prvků uvažovaných v kalkulaci:

- optické vlákno s parametry podle G.652.C, maximální útlum pro vlnovou délku 1310 nm je $A_v = 0,4$ dB/km. Je členěno:
 - hlavní přívodní optické vlákno o délce $l_1 = 10$ km
 - připojovací optické vlákno o délce $l_2 = 1$ km
 - útlum svarů $A_s = 0,05$ dB o počtu s
- optické konektory typ SC/APC s vložným útlumem $A_k = 0,35$ dB o počtu k
- optický rozbočovač Vector s poměrem 1:16 a maximálním vložným útlumem $A_R = 13,9$ dB
- uvažovaná útlumová rezerva pro vliv teplotních změn, stárnutí materiálu $A_t = 0,5$ dB

Výpočet celkového útlumu ODN se provádí jako součet útlumů jednotlivých prvků, tomu odpovídá vzorec 2.3

$$A = s * A_s + k * A_k + A_R + A_t + l * A_v \quad [\text{dB}] \quad (2.3)$$

Prvek		Útlum	Počet	Celkový útlum
		dB,dB/km	ks,km	dB
Vlákno	G.652.C	0,4	11	4,4
Konektory	SC/APC	0,35	4	1,4
Svary		0,05	1	0,05
Splitter	1:16	13,9	1	13,9
Rezerva				0,5
Celkový útlum				20,25

Tab. 2.2: Kalkulace útlumu ODN

2.2 Disperze

Průchodem optického signálu vláknem dochází k jeho oslabování vlivem útlumu. Signál je ovšem ovlivňován ještě disperzí, která má za následek jeho zkreslení na výstupu. Vlastnosti vlákna udávané disperzními parametry určují mezní frekvenci signálu, který můžeme vláknem přenést. Jedná se o důležité parametry, které by jsme měli mít při návrhu optické trasy k dispozici [13] [12].

Disperze má vliv na zkreslení signálu, může mít ovšem různé příčiny. Podle tohoto dělíme disperzi na:

- vidovou (intervidovou),
- chromatickou (intravidovou),
- polarizační.

Mezi jednotlivými disperzemi je mnoho rozdílů. Jeden z hlavních je, že vidová a chromatická disperze jsou jednoznačně dané ze struktury vlákna a jsou tím pádem jednoznačně měřitelné. Naopak polarizační vidová disperze je závislá na řadě náhodných veličin. Vidová disperze se projevuje pouze u mnohovidových vláken, které se pro dlouhé vzdálenosti nepoužívají a tudíž zde nebude probírána.

2.2.1 Chromatická disperze - CD

Chromatická disperze je označení pro výsledný účinek materiálové a vlnododové disperze. Důležité je ji znát především u jednovidových vláken, u mnohovidových vláken jsou její hodnoty velmi malé a většinou se zanedbává.

Vznik materiálové disperze je způsoben závislostí indexu lomu vlákna na vlnové délce optického signálu. Vlivem této závislosti se spektrální složky optického signálu šíří jinou skupinovou rychlostí.

Vlnododová disperze je zapříčiněna různou konstantou šíření pro každý vid, tím se mění jeho kmitočet a následkem je změna rychlosti šíření.

Vliv chromatické disperze na přenášený optický signál zapříčiňuje že jednotlivé spektrální složky dorazí na konec vlákna v různých časových okamžicích což přispívá ke zkreslení signálu.

Velikost chromatické disperze je vyjádřena pomocí koeficientu chromatické disperze definovaného vztahem

$$D(\lambda) = \frac{d\tau_g(\lambda)}{d(\lambda)} \quad (2.4)$$

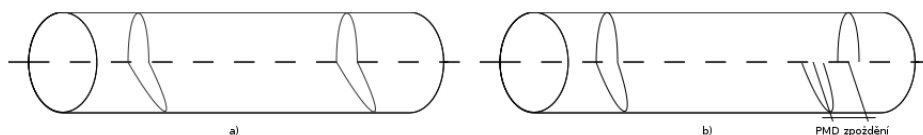
kde τ_g představuje skupinové zpoždění signálu.

2.2.2 Polarizační vidová disperze - PMD

Stejně jako ostatní disperzní parametry i polarizační vidová disperze má podobný nežádoucí efekt na šíření optického signálu vláknem. Vede k časovému roztažení a zkreslení signálu na výstupu optické trasy.

Dříve nebyla PMD příliš sledovaným parametrem ovšem s nárůstem přenosových rychlostí (nad 2,5 Gbit/s) její důležitost vzrostla a stává se tak jedním z hlavních omezujících faktorů rychlých přenosů nebo přenosů na dlouhé vzdálenosti.

V optickém vlákne se vid šíří rozložen do dvou vzájemně kolmých polarizačních vidů. Při průchodu ideálním vláknem se oba polarizační vidy šíří stejnou rychlostí. Průchod běžným vláknem ovlivňují nesymetrie způsobené teplotními a mechanickými vlivy což vede změně rychlosti šíření jednotlivých polarizačních vidů. Toto způsobuje vznik PMD a důsledkem je zkreslení signálu.



Obr. 2.2: Šíření polarizačních vidů a) ideálním vláknem b) reálným vláknem

Polarizační vidová disperze je vyjádřena koeficientem PMD a definována vztahem

$$PMD = \frac{\Delta\tau}{\sqrt{L}} \quad [\text{ps}\cdot\text{km}^{-1}] \quad (2.5)$$

PMD se nedá rozdílit od vidové a chromatické disperze kompenzovat. Proto je důležité provádět neustálá měření už od samotné výroby vlákna až po jeho pokládku a následný provoz - PMD se mění v čase. Pokud některé úseky trasy nesplňují požadavky na velikost PMD musí se daná část kabelové trasy vyměnit.

2.2.3 Vidová disperze

Vidová disperze je způsobena rozdílnou skupinovou rychlostí šíření jednotlivých vidů, to má za následek že přenášená energie jednotlivých vidů dospěje ke konci trasy v různé časové okamžiky. To vede ke zkreslování přenášeného signálu. Tento druh disperze se projevuje hlavně u mnohovidových vláken kde se signál šíří mnoha vidy, u jednovidových vláken se vidová disperze neprojevuje.

3 METODY MĚŘENÍ OPTICKÝCH TRAS

3.1 Metody měření útlumu

Útlum je jeden z důležitých přenosových parametrů optických vláken a tras. Jeho hodnota nám slouží jako měřítko kvality optického vlákna a umožňuje nám ucelit si představu o dosahu optického spoje [11].

Měření útlumu je velmi důležité a proto ho využíváme v celém procesu výroby a použití optických vláken a kabelů pro ověřování jeho správné hodnoty.

Pro měření útlumu se využívá několik metod:

- Transmisní metoda
 - 1a
 - 2a
 - 3a
- Metoda zpětného rozptylu - OTDR

3.1.1 Transmisní metoda

Pro měření útlumu optické trasy se využívá metody vložných ztrát a jedná se o dvoustupňové nedestruktivní měření. K měření slouží dva samostatné měřicí přístroje, které se umísťují na konce měřených optických tras nebo jednotlivých úseků. První zařízení slouží jako zdroj optického záření a druhé k měření optického výkonu

V první kroku se provádí kalibrace měřicí soustavy a to propojením zdroje záření s měřičem optického výkonu optickým spojovacím modulem. Touto kalibrací získáme referenční hodnotu optického výkonu P_1 . V následujícím druhém kroku připojíme měřenou optickou trasu mezi zdroj a měřič optického výkonu. Tímto získáme měřením druhou hodnotu výkonu P_2 . Útlum trasy, podle jednotek měření výkonu, je pak dán vztahy:

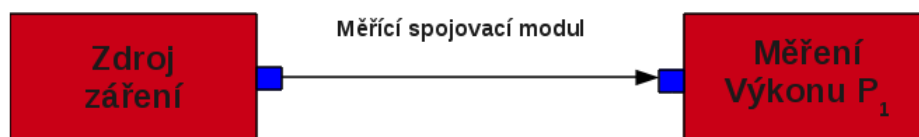
$$A = P_1 - P_2 \quad [\text{dB, dBm}] \quad (3.1)$$

$$A = 10 \log \frac{P_1}{P_2} \quad [\text{dB, W}] \quad (3.2)$$

Transmisní metoda rozlišuje podle nastavení reference tři varianty - 1a, 1b, 1c - historické značení těchto metod - A.1, A.2, A.3. Každá z těchto variant nám poskytuje na stejné optické trase rozdílné výsledky.

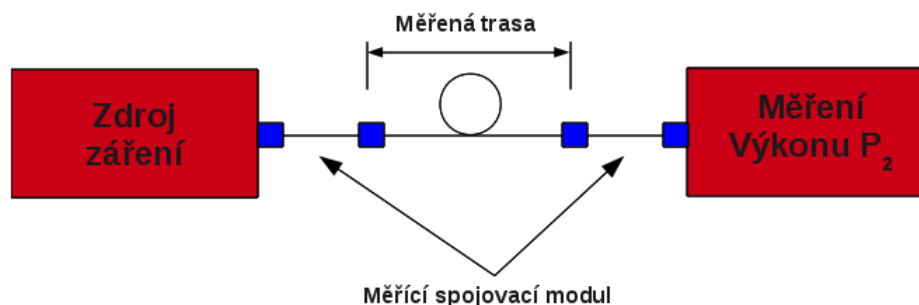
Metoda reference s jedním spojovacím modulem - 1a

Referenční hodnotu optického výkonu P_1 získáme přímým propojením zdroje s měřičem optického výkonu měřícím spojovacím modulem obr. 3.1.



Obr. 3.1: Kalibrace přístrojů pro získání P_1

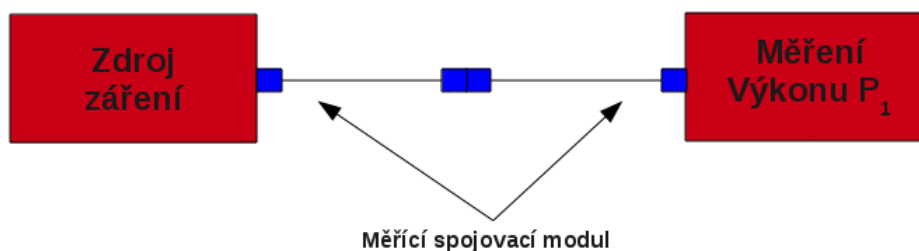
Po získání referenční hodnoty optického výkonu se odpojí spojovací modul od měřiče optického výkonu a připojí se k měřené trase. K měřiči optického výkonu se připojí další spojovací modul, který se druhým koncem připojí k měřené trase. Provedeme měření a získáme tak druhou hodnotu optického výkonu P_2 obr. 3.2.



Obr. 3.2: Měření optické trasy, získání P_2

Celkový útlum optické trasy se určí ze vztahu 3.1 nebo 3.2. Získaná hodnota útlumu zahrnuje útlum celé trasy a dvou konektorů.

Metoda reference se dvěma spojovacími moduly - 1b



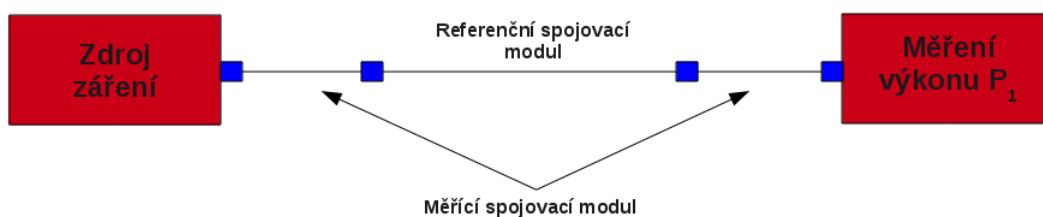
Obr. 3.3: Kalibrace přístrojů pro získání P_1 se dvěma moduly

Získání referenční hodnoty optického výkonu je obdobné jako u metody 1a. Pro propojení se ovšem použijí dva spojovací moduly obr. 3.3.

Po získání referenční hodnoty provedeme druhý krok - rozpojíme spojovací moduly a jejich volné konce připojíme k měřené trase. Zapojení je stejné jako při metodě 1a - obr. 3.2. Získáme hodnotu P_2 a celkový útlum se určí ze vztahu 3.1 nebo 3.2. Výsledná hodnota zahrnuje útlum kabelové části a jednoho konektoru - v praxi měříme přes konektory dva což nám ovlivní měření.

Metoda reference se třemi spojovacími moduly - 1c

Pro získání referenční hodnoty P_1 je použit třetí tzv. referenční spojovací modul, který je zapojen mezi mezi dva měřící spojovací moduly.

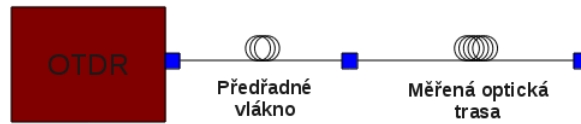


Obr. 3.4: Kalibrace přístrojů pro získání P_1 se třemi moduly

Pro referenční spojovací modul musí platit, že má stejné geometrické a optické parametry s parametry vlákna měřené trasy. Po získání referenční hodnoty se referenční spojovací modul odpojí a volné konce měřících spojovacích modulů se zapojí na volné konce měřené optické trasy (ref. modul se již nepoužije). Zapojení je opět stejné jako u metody 1a obr. 3.2 a výsledný útlum vypočteme podle vzorce 3.1 nebo 3.2. Hodnota útlumu zahrnuje pouze útlum kabelové části optické trasy bez útlumů vstupního a výstupního konektoru.

3.1.2 Metoda zpětného rozptylu

Metoda zpětného rozptylu také nazývána OTDR je jednou z doporučených měřících metod pro měření tras s jednovidovým vláknem. Využívá jiného principu než předešlá transmisní metoda u které se měřil výkon optického signálu po průchodu trasou. Tato metoda využívá vyhodnocování časové závislosti zpětného rozptýleného optického výkonu. Díky tomu získáváme informace o délce měřené trasy a její kvalitě. Pro vlastní měření se využívá optický reflektometr, který umožňuje zobrazovat výsledky na obrazovku a tím poskytnout informace o útlumu optické trasy, poruchách a jejich lokalizaci. Výhoda této metody je možnost měření jen z jednoho konce optické trasy a také to že se řadí mezi nedestruktivní metody.



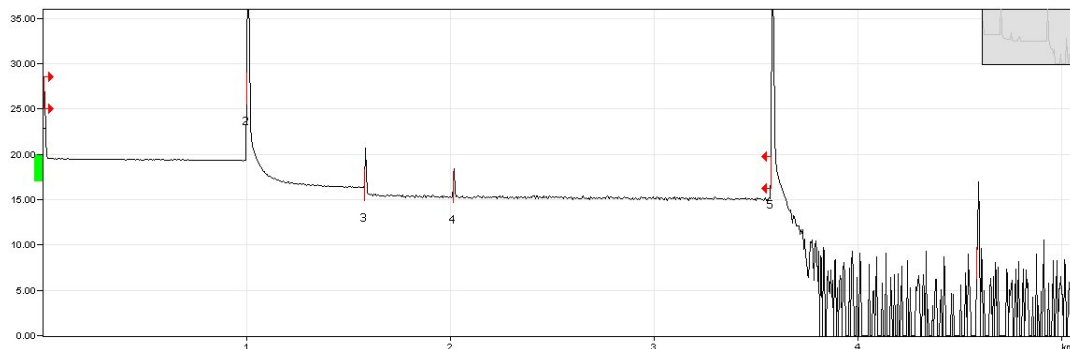
Obr. 3.5: Schéma měření optické trasy pomocí OTDR

Při měření touto metodou se využívá předřadného vlákna pokud možno stejného typu jako vlákno v měřené trase. Předřadné vlákno nám ve výsledcích oddělí měřenou trasu a útlum na konektoru reflektometru. Jeden konec se připojí na konektor reflektometru a druhý k vstupnímu konektoru měřené optické trasy. Délka předřadného vlákna se běžně volí 500 nebo 1000 metrů. Měření se opakuje a provádějí i z druhého konce trasy - výsledky se průměrují pro získání správné hodnoty útlumu (vzorec 3.3).

$$A = \frac{[(P_1 - P_2)_{A \rightarrow B} + (P_1 - P_2)_{B \rightarrow A}]}{2} \quad [\text{dB}] \quad (3.3)$$

Měření se provádí na vlnových délkách 1310 nm a 1550 nm. Na vlnové délce 1550 nm se projevují více makro a mikroohybové ztráty. Pokud výsledky získané touto metodou se rozcházejí s metodou transmisní považují se za správné výsledky obdržené z měření transmisní metodou.

Na obr. 3.6 je zobrazen náměr metodou OTDR na laboratorním zapojení VUT FEKT UTKO na vlnové délce 1550 nm. Bylo použito 1 km dlouhé předřadné vlákno, celková délka měřeného úseku i s předřadným vláknem byla 3,5 km.



Obr. 3.6: Měření laboratorního zapojení optické trasy pomocí OTDR na vlnové délce 1550 nm

3.2 Metody měření disperze

Při měření parametrů optických tras se nejčastěji setkáváme s chromatickou a polarizační disperzí[13][12]. Ty mají vliv na zkreslení výstupního optického signálu. V dnešní době existují metody kompenzace chromatické disperze a tak narůstá důležitost měření PMD z důvodů jejího nelineárního projevu ve vláknech a vývoji v čase.

Pro měření chromatické disperze využíváme metody

- Fázového posuvu a diferenciálního fázového posuvu,
- Zpoždění impulsů v časové oblasti,

Pro měření polarizační vidové disperze využíváme metody

- Interferometrická (INTY),
 - Tradiční interferometrická metoda (TINTY),
 - Obecná interferometrická metoda (GINTY),
- Skenování vlnové délky,

3.2.1 Metody měření chromatické disperze

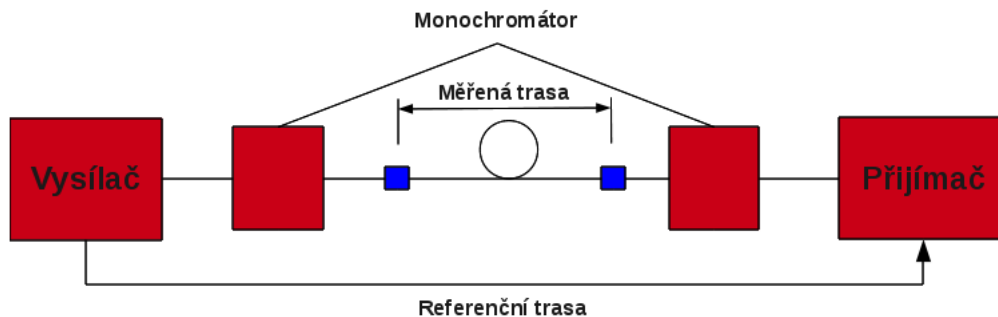
Chromatická disperze nám způsobuje různá zpoždění pro jednotlivé spektrální složky signálu. Toto zpoždění můžeme měřit buď přímým měřením časového zpoždění signálů o různých vlnových délkách nebo měřením jejich fázového zpoždění.

Základní metody měření chromatické disperze a jejich principy jsou známy dlouhou dobu a využití v praxi záleží na vývoji technologií. Mnohé metody existují v různých úpravách podle výrobce, v tomto textu si popíšeme základní metody a jejich principy.

Metoda fázového posuvu a diferenciálního fázového posuvu

Metoda fázového posuvu je dle doporučení ITU-T G.650 stanovena jako referenční metoda pro měření chromatické disperze. Měření se provádí ve frekvenční oblasti.

Princip metody, obr. 3.7, spočívá v tom, že k měření používáme modulovaný signál, který se šíří pomocí několika vlnových délek po vláknu měřené trasy. Po průchodu vláknem je na jeho výstupu změřena jeho výstupní fáze pomocí přístroje pro měření fáze (např. vektorvoltmetr). Následně jsou porovnány změřená fáze výstupního signálu a fáze vstupního signálu, tím získáme hodnotu zpoždění. Pro tuto metodu je nutné použít referenční trasu (jiné vlákno), přes kterou je přenášena informace o fázi vstupního signálu.



Obr. 3.7: Princip metody fázového posuvu

Diferenciální metoda fázového posuvu má stejný princip jako metoda fázového posuvu ale rozdílný způsob zpracování příchozích signálů. U metody diferenciálního fázového posuvu měříme pouze vzájemné rozdíly fází signálu na různých vlnových délkách. Fázové posunu jsou pak přepočítávány na relativní zpoždění a následně na koeficient chromatické disperze. U této metody není třeba referenčního vlákna, běžně se jej využívá pro komunikaci, přenos výsledků a ovládání vysílače. Tato metoda je v praxi využívána častěji.

Metoda zpoždění impulsů v časové oblasti

Tato metoda pro měření využívá vysílání optických impulsů o různých vlnových délkách za sebou v přesných časových rozestupech. Zpoždění způsobené chromatickou disperzí se zjišťuje porovnáním rozestupů mezi jednotlivými impulsy na výstupu měřené optické trasy.

Rozestup impulsů na vstupu do měřené trasy nám určuje jaké největší zpoždění budeme schopni změřit. Pokud zpoždění přesáhne délku rozestupu mezi impulsy, dojde k záměně pořadí impulsů na výstupu a tím chybným výsledkům měření.

Tato metoda nevyužívá referenčního vlákna jako metoda fázového postupu, z toho důvodu že rozestupy impulsů jsou dány předem použitým měřícím přístrojem. Rozestupy impulsů jsou na přijímací straně známy.

3.2.2 Metody měření polarizační vidové disperze

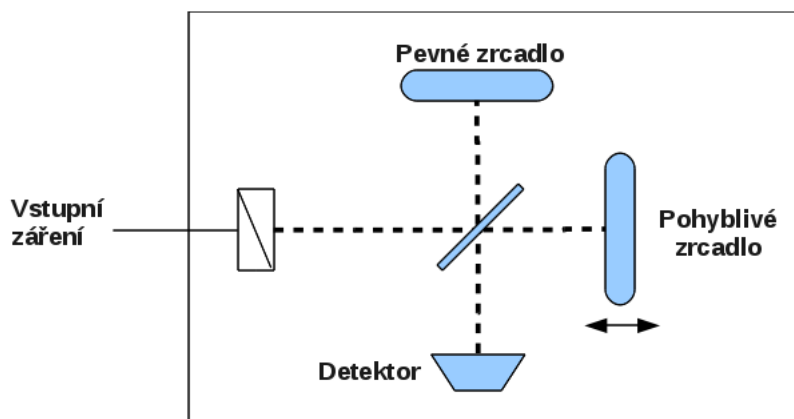
Metoda TINTY

Tradiční interferometrická metoda je založena na principu nízko koherentní interferenci optického záření. Při průchodu signálu vláknem PMD zapříčiní roztažení základní autokorelační funkce způsobené interferencí dvou polarizačních vidů. Z velikosti roztažení se počítá PMD.



Obr. 3.8: Zapojení metody TINTY

Pro měření se využívá širokospektrální zdroj záření (LED dioda), které se polarizuje a je následně navázáno do měřeného vlákna. Na konci optické trasy se umístěn PMD analyzátor, využívající interferometru (většinou Michelsonův) obr. 3.9. V interferometru se polarizované záření rozdělí do dvou optických drah, jedna je zakončena fixním a druhá pohyblivým zrcadlem. Pohyblivé zrcadlo slouží k vytváření zpoždění mezi signály z obou drah. Zapojení pracoviště je na obr. 3.8



Obr. 3.9: Schéma interferometru

Na zrcadlech se záření odráží zpět na detektor kde dochází k interferenci signálů z obou optických drah. Z této interference se získá výsledný interferogram. U metody TINTY se interferogram prokládá Gaussovou křivkou, ze které se následně určuje PMD.

Interferogram získaný touto metodou se skládá ze dvou složek. První složka je tvořena vzájemnou korelační funkcí dvou na sebe kolmých polarizačních rovin či vidů. Vlivem PMD jsou oproti sobě časově posunuty a z jejich vzájemné korelace stanovujeme PMD. Druhá složka je tvořena autokorelační funkcí vlastního měřicího signálu, ta závisí na tvaru jeho spektra.

Výsledek nám zobrazuje složku ukazující vliv zpoždění PMD trasy na signál a složku ovlivněnou samotným měřicím signálem.

Možnosti použití metody TINTY je omezeno přítomností autokorelace vlastního měřicího signálu. Přítomnost a tvar velké autokorelační špičky může ovlivnit výsledek měření. Tvar a šířka autokorelační špičky je dána tvarem spektra měřicího signálu, závisí na použitých zdrojích záření a na dalších spektrálně závislých optických prvcích (např EDFA, OADM).

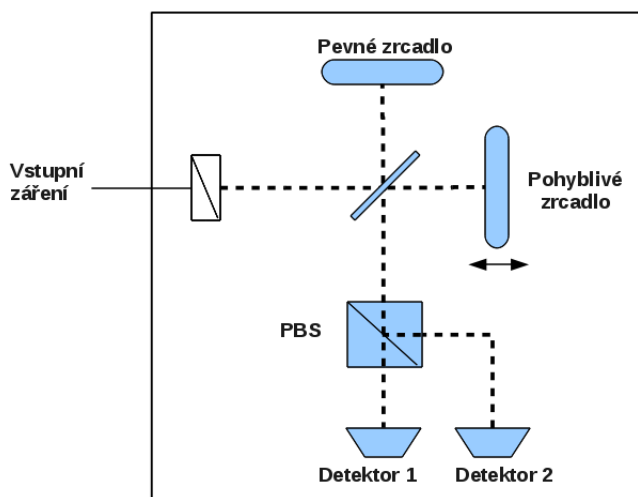
Pro to aby byla autokorelační špička co nejužší a hladká a tím pádem co nejméně ovlivňovala měření je důležitá podmínka použít zdroj záření se spektrálním průběhem co nejvíce se blížící ke Gaussově křivce. Druhá podmínka stanovuje aby měřená trasa významně neovlivnila tvar měřicího signálu.

Jedná se o rychlou a spolehlivou metodu měření PMD, je vhodná pro měření v terénu a nevyžaduje získávání referenční hodnoty. Běžná citlivost této metody se pohybuje od 0,06 ps do 100 ps. Neumožňuje měření diferenciálního skupinového zpoždění (DGD) nebo polarizačního stavu.

Nevýhodou této metody je pokud se v trase vyskytují spektrálně závislé prvky musí se měřit jednotlivé úseky mezi těmito prvky zvlášť. Nelze měřit celou trasu najednou a výsledná PMD se musí spočítat.

Metoda GINTY

Obecná interferometrická metoda měření polarizační disperze odstraňuje nevýhodu metody tradiční. Tou je přítomnost autokorelační špičky ve výsledném interferogramu, který používáme pro určení PMD.



Obr. 3.10: Schéma interferometru metody GINTY

Změna odstraňující omezení metody TINTY spočívá v tom, že optické záření z obou optických drah interferometru je dále rozděleno pomocí polarizačního děliče (PBS, obr. 3.10) na dvě vzájemně kolmo polarizované složky, které dopadají na zvláštní detektor. Na obou detektorech dochází k interferenci a následně vzniklé interferogramy obsahují každý obě korelační složky. Pomocí matematických operací mezi těmito interferogramy lze od sebe obě složky oddělit - "součtem" interferogramů obdržíme autokorelační funkci a naopak jejich "odečtením" získáme vzájemnou korelaci.

Díky tomuto nám metoda GINTY dovoluje odstranit autokorelační špičku z interferogramu a provádět vyhodnocování PMD ze samotné korelační funkce. Narozdíl od metody TINTY nemusíme prokládat interferogram Gaussovou křivkou.

Metoda skanování vlnové délky

Metoda skanování vlnové délky pro zjištění PMD využívá měření optického výkonu signálu procházející měřenou trasou v závislosti na vlnové délce. U této metody se vyskytují dvě modifikace zapojení měřícího pracoviště, obecně podle obr. ??.

Princip této metody spočívá v navázání záření ze širokopásmového zdroje nebo přeladitelného laseru přes polarizátor do měřeného vlákna. Na konci měřeného vlákna

je záření přivedeno přes další polarizátor do optického spektrálního analyzátoru nebo detekčního systému.

Tato metoda využívá dvoustupňového měření. V prvním kroku se změří výstupní optický výkon v daném spektrálním rozsahu $P(\lambda)$. Během měření musí úhlová rovina polarizátorů zůstat neměnná. Pokud se ve vlákně nenachází žádný dvojlom nedochází ke změně polarizovaného záření a měříme konstantní optický výkon pro každou vlnovou délku. Při výskytu dvojlomu ve vlákně dochází ke změně polarizačního stavu procházejícího záření v závislosti na vlnové délce. S vlnovou délkou se mění i hodnota optického výkonu.

Ve druhém kroku se odstraní polarizátor na detekční straně a měření se opakuje ve stejném spektrálním rozsahu. Tím získáme referenční hodnotu celkového výkonu $P_{TOTAL}(\lambda)$.

Výsledkem měření je získání poměru obou spektrálních průběhů výkonu

$$R(\lambda) = \frac{P(\lambda)}{P_{TOTAL}(\lambda)} \quad (3.4)$$

Pokud skenujememe spektrálním analyzátozem oblast mezi vlnovými délkami λ_1 a λ_2 můžeme hodnotu PMD spočítat jako

$$PMD = \frac{k \cdot n \cdot \lambda_1 \cdot \lambda_2}{[(\lambda_1 - \lambda_2)c]} \quad (3.5)$$

zde k jen koeficient vazby vidů, n je počet extrémů detekovaného optického výkonu v závislosti na vlnové délce, c je rychlost šíření světla ve vakuu.

Pro PMD ze vztahu 3.5 je patrné, že menší počet extrémů znamená nižší hodnotu PMD. Větší přesnosti měření se dosahuje volbou širšího spektrálního intervalu měření, aby počet extrémů byl větší než 10.

U této metody lze pro zjištění PMD využít Fourierovy analýzy změřené spektrální závislosti optického výkonu. Pomocí rychlé Fourierovy analýzy (FFT) transformujeme naměřené údaje z frekvenční oblasti do časové, tím lze získat informaci o roztažení impulsu v čase.

Tato metoda se využívá v terénu pro měření optických tras. Typické znaky jsou delší doba měření, menší tolerance na vibrace vlákna a menší měřicí rozsah (typicky 10 ps). Stejně jako metoda INTY neumožňuje měření DGD a polarizačního stavu.

4 MĚŘENÍ ODN

Při budování, přestavbě nebo zavádění nových technologií do optické distribuční sítě je potřeba znát její parametry. Doporučení ITU-T G.650.3 udává soubory potřebných měření, které je potřeba provést u optických vláken a na samotné optické trase. V této kapitole si shrneme informace potřebná pro tato měření [14].

Soubory měření:

- Soubor 1:
 - Inspekce čel konektorů,
 - Obousměrné měření OTDR,
 - Obousměrné měření vložného útlumu(IL),
- Soubor 2:
 - Měření ze souboru 1,
 - Měření útlumu odrazu(ORL),
 - Měření chromatické disperze(CD),
 - Měření polarizační vidové disperze(PMD).

4.1 Měření ODN - soubor 1

Tato série měřících testů se doporučuje provádět už během samotné instalace optické trasy. Hlavní cílem těchto měření je ověřování vlastností prvků přidávaných do sítě (konektory, dílčí úseky vlákna, splitters apod.) a správného provedení montážních prací (svary, čistota konektorů apod). Pokud se těmito měřeními zjistí hodnoty přesahující stanovené limity, problémová část se odstraní a vymění a znovu zkontroluje.

4.1.1 Inspekce čel konektorů

Tento test je doporučen provádět ještě před zahájením jakýchkoli jiných měření testované části. Slouží k zjištění znečištění či případného poškození konektoru, které má vliv na útlum a přenášený signál.

Pokud je konektor znečištěn, provede se jeho očištění - pokud je třeba i několikrát. Při zjištění poškození se musí konektor vyměnit. Ve všech případech je nutné zkontrolovat konektory znovu - zjištění účinnosti čištění, kvality nového konektoru.

Pro zjišťování těchto problémů nám slouží inspekční mikroskop, který nám zobrazí povrch konektoru.

4.1.2 Obousměrné měření OTDR

Toto měření nám slouží k ověřování útlumů svárů, jejich umístění na trase, k ověřování celistvosti vlákna a zjišťování délky jednotlivých úseků. Podle nastavení reflektometru můžeme provádět i měření celé trasy nebo jen určitých úseků.

Měření by mělo být prováděno v obou směrech a to na případných provozních vlnových délkách nebo alespoň na vlnových délkách doporučených standardy ITU pro jednotlivé směry.

Z analýzy výsledků zjistíme délku měřené trasy, její celkový nebo částečný útlum, polohu prvků na trase (sváry, konektory apod.) Díky těmto výsledkům můžeme lokalizovat poruchy a ty následně odstranit.

4.1.3 Obousměrné měření útlumu

Útlum trasy je velmi důležitý parametr pro přenos optického signálu. Měření se provádí na celé optické trase s využitím vlnových délek, které budou odpovídat provozním vlnovým délkám. Doporučené měření bývá na 4 vlnových délkách - 1310/1383/1550/1625 nm. Vlnová délka 1625 nm se měří pro případ využívání L pásma.

Pro měření lze využít mnoho metod, běžně se využívá metoda OLTS nebo OTDR. Při využití přímé metody je vhodné provádět měření v obou směrech, útlum z obou směrů by měl být přibližně stejný. Pokud se výrazně liší je nutné odhalit poruchu na trase.

4.2 Měření ODN - soubor 2

Tento soubor měření je definován jako charakterizace vláken, je rozšířen o měření útlumu odrazu a disperzí. Tato měření nebyvala v minulosti z části tak důležitá. V dnešní době ovšem jejich důležitost narůstá v důsledcích větších přenosových rychlostí a překlenutých vzdáleností.

Sada měření v tomto souboru slouží k ověřování parametrů starších tras pro možnosti nasazení rychlejších a novějších systémů (xWDM) nebo pro potvrzení parametrů nových optických tras. Tato měření se provádí z důvodů znalosti úplně vlastnosti vláken, protože je možné že některé části nebudou později přístupné.

4.2.1 Měření útlumu odrazu

Útlum odrazu je definován podílem výkonu vyzářeného k výkonu odraženému. Vzniká v závislosti na nehomogenitách ve vlákně nebo od prvků na optické trase (konektory, splittery apod.).

Pro měření útlumu odrazu se využívají různé metody. Nejběžnější a doporučenou metodou je OTDR metoda, která umožňuje měření ORL na konektorech dalších prvcích a také výpočet celkového ORL optické trasy. Parametr ORL je běžně uváděn výrobcem a je stanoven i v doporučeních ITU-T.

4.2.2 Měření chromatické disperze

Provádění měření chromatické disperze se není nutné pokud se jedná o krátké trasy (do 40 km) nebo trasy určené pro nízké rychlosti. Podle změřené CD jsme schopni určit typ měřeného optického vlákna.

Pro měření chromatické disperze je mnoho metod, tyto metody byly popsány v kapitole 3.2 Metody měření disperze. Při měření CD pro CWDM by se měly proměřit všechna pásma vlnových délek (O,E,S,C,L).

4.2.3 Měření polarizační vidové disperze

Měření polarizační vidové disperze není vyžadováno pro krátké optické trasy na kterých není využíván vysokorychlostní přenos. Pro měření PMD existuje několik metod (kap. 3.2) a je důležité vybrat tu správnou. Některé metody jsou více citlivé na vibrace vlákna, jiné jsou pomalejší nebo rychlejší.

Měření PMD se musí provádět na všech vlnových délkách. Jedná se parametr, který se časem mění - není stálý jako CD.

5 MĚŘENÍ PON

V předcházející kapitole jsme si popsaly měření parametrů pro přenosové trasy podle ITU-T G.650.3. Pro měření přenosové trasy PON jsou některá měření z předcházejících souborů nepotřebná. To z toho důvodu, že většina PON fyzicky dosahuje krátkých vzdáleností vzhledem k hlavním páteřním sítím.

Mezi nejdůležitější měření patří:

- Měření vložného útlumu(IL)
- Měření útlumu odrazu(ORL)
- Měření s OTDR

Tato měření se převážně provádějí před uvedením sítě do provozu a při poruše se využívá měření s pomocí OTDR ze strany ONT. Ověřování těchto parametrů je nutné provádět na všech provozních vlnových délkách - 1310, 1490, 1550, 1625 nm. Je důležité se rozhodnout jak tato měření provádět - z jednoho(od ONT) nebo druhého(od OLT) směru či obousměrně.

5.1 Měření vložného útlumu

Provádíme jej k ověření útlumových vlastností instalovaných částí optické sítě - úseky optických vláken, pasivní prvky, spoje. Pokud naměřené hodnoty nevyhovují normám a stanoveným mezním hodnotám je třeba provést nápravu a daný problém vyřešit. U pasivních prvků je třeba provádět měření pro oba směry a všechny vstupy a výstupy na všech provozních vlnových délkách, aby útlum na jednotlivých odbočeních byl v odpovídajících hodnotách udávaných výrobcem. Na všech provozních vlnových délkách z toho důvodu, že některé z použitých součástí mohou být spektrálně závislé a vložný útlum je pro každou vlnovou délku jiný. Pasivní optická odbočnice vkládá do optické trasy velký vložný útlum je nutné toto měření provést pečlivě.

Měření je vhodné provádět pro jednotlivé instalované úseky a prvky za účelem rychlých oprav už při vytváření optické trasy, tak i pro celou trasu v obou směrech pro zjištění a ověření celkového útlumu trasy.

5.2 Měření útlumu odrazu

Útlum odrazu nám udává hodnotu výkonu odraženou na spojích, prvcích, ve vláknech. Tuto hodnotu si musíme ohlídat aby byla dostatečně vysoká. Nízká hodnota ORL

má za následek ovlivnění vysílacích prvků odraženým optickým výkonem - zvýšení šumu vysílače, poškození atd.

5.3 Měření OTDR

Měření pomocí OTDR je považováno za nejběžnější způsob měření optických tras. Uplatňuje se při výstavbě, kontrolních měření i při lokalizaci poruch na optické trase.

Při výstavbě se pomocí OTDR dají odhalit problémy u jednotlivých úseků optické trasy s jejich lokalizací a umožnit tak nápravu.

V hotové optické síti se měření pomocí OTDR provádí zejména ze strany ONT. Ze strany OLT mohou nastat problémy při vyhodnocování odražených signálů z jednotlivých větví - špatná interpretace výsledků.

Ze strany ONT se jedná o jednu trasu přímo až k OLT, v opačném směru od OLT k ONT se jedná o množství tras daných rozbočovací poměrem odbočnic.

Pokud ovšem ze strany OLT měříme je nutné mít různé délky optických vláken v jednotlivých rozbočených úsecích pro odlišení odražených signálů ze všech větví optické trasy.

6 MĚŘÍCÍ PŘÍSTROJE PRO PON

K měření a kontrole optických tras a prvků se využívá velká škála měřících přístrojů. Slouží k měření útlumů, spektrálních charakteristik, kontrolám čel konektorů, inspekčním optických tras. Uvedeme si některé z nich :

- Optický reflektometr OTDR,
- OSA - optický spektrální analyzátor,
- Power meter,
- Inspekční mikroskop,

Pro měření PON sítí jsou zapotřebí měřící přístroje stejně jako pro jiné optické sítě, ale musí splňovat některá další kritéria. U měřících přístrojů vhodných pro měření PON sítí je zařité označení "PON ready" a většinou se s ním setkáme u reflektometrů.

Označení "PON ready" znamená že měřící přístroj má:

- Velký dynamický rozsah při krátkém pulzu
- Krátké mrtvé zóny za pasivním prvkem

Dynamický rozsah nám udává rozdíl mezi navázanou úrovní signálu a úrovní šumu.

Mrtvá zóna vzniká v důsledku oslepení fotodetektoru způsobené odraženým optickým signálem od nehomogenit na trase. Způsobuje vznik slepých míst kdy nelze detekovat problémová místa. Redukce velikosti mrtvých zón se dosahuje vhodnou šířkou měřícího pulzu.

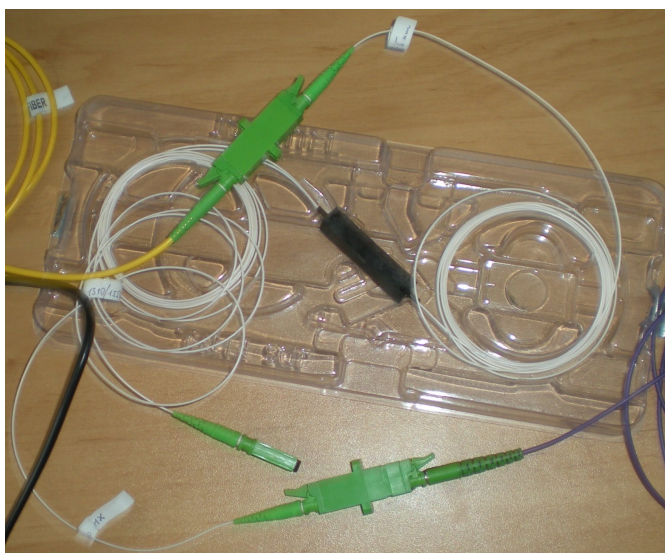
Pro měření PON tras se nejčastěji využívá optický reflektometr OTDR, který umožňuje jejich snadnou diagnostiku. Jeho využití spočívá především v útlumových měřeních, pomocí kterých se provádí audit tras a nebo revizní měření při poruchách umožňující snadnou lokalizaci problémových míst.

Pro měření pasivních součástek používaných v PON sítích se využívá celá škála měřících přístrojů podle potřeby a účelu měření. Zde se využije optický spektrální analyzátor pro zjištění vlastností vstupních a výstupních portů součástky. Pro kontrolu kvality čel konektorů se využívá inspekční mikroskop, která je pro provoz PON sítě nezbytná.

7 PRAKTICKÉ MĚŘENÍ

Praktické měření se provedlo na pasivním prvku, který představovala WDM odbočnice, pomocí optického spektrálního analyzátoru(OSA).

Měření bylo uskutečněno ve spolupráci se společností PROFiber s využitím jejich měřící techniky.



Obr. 7.1: Měřená WDM odbočnice

Účelem měření bylo získat informace o selektivitě jednotlivých portů součástky, vložném útlumu pro jednotlivé vlnové délky, izolace mezi výstupními porty.

Jako zdroje optického záření byly využity FP a DFB lasery, které poskytovaly signál na vlnových délkách 1310, 1490, 1550 a 1625 nm, LED dioda s optickým zářením v C+L pásmu(1530 - 1610 nm) viz. 7.1.

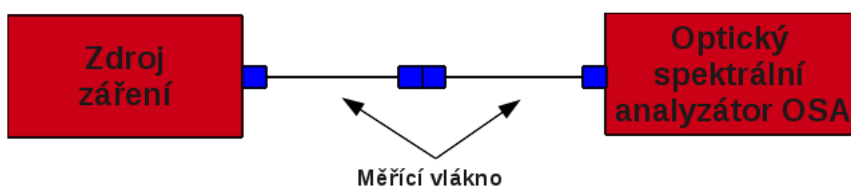
Zdroj záření	Vlnová délka [nm]	Typ
FLS-300-234BL	1310	FP
	1550	FP
	1625	DFB
FLS-300-235BL	1310	FP
	1490	DFB
	1550	FP
FLS-5834A	1530 - 1610	LED

Tab. 7.1: Tabulka zdrojů optického záření

Vlastní měření bylo prováděné na všech vlnových délkách a pro všechny zdroje záření probíhalo ve dvou krocích:

- Referenční měření,
- Měření součástky na všech portech.

Referenční měření slouží jako výchozí. Porovnáním náměrů průchodu záření jednotlivými porty součástky a referenčního měření zjistíme jak daná cesta ovlivňuje průchozí záření.



Obr. 7.2: Zapojení pracoviště pro získání referenčního náměru

Získání referenčního náměru se provádí propojením zdroje záření s OSA pomocí dvou měřících spojovacích vláken a jedné spojky viz. Obr. 7.2. Po získání referenčního náměru se rozpojí měřící spojovací vlákna a na jejich konce se připojí měřená součástka viz. Obr. 7.3.

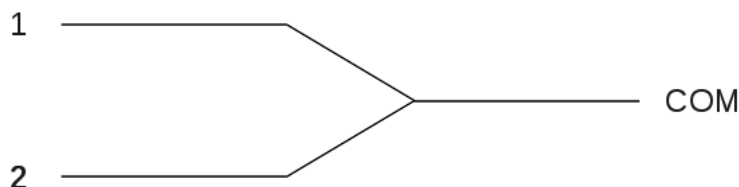


Obr. 7.3: Zapojení pracoviště pro měření součástky

Pro měření je důležité po změření referenčního náměru neodpojovat měřící spojovací vlákna od zdroje ani od OSA, jinak se může stát, že následné porovnání náměrů nebude úplně přesné a bude ovlivněno chybou. Proto po získání referenčního náměru jednoho zdroje provádíme měření součástky s tímto zdrojem. Tento postup opakujeme i pro ostatní zdroje záření.

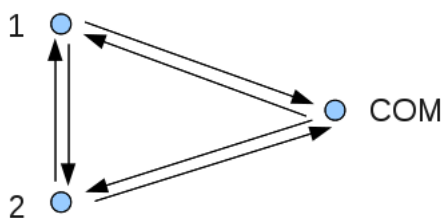
7.1 Vlastní měření

Pro měření a následné zpracování výsledků je nutné si jednoznačně označit vstupní a výstupní porty, jak ukazuje zjednodušené schéma součástky obr. 7.4.



Obr. 7.4: Zjednodušené schéma součástky

Pro každou vlnovou délku se provádí měření ve všech směrech, v kombinaci všech portů (obr. 7.5). Z toho vyplývá že pro jednu vlnovou délku obdržíme 6 náměrů součástky a 1 náměr referenční.



Obr. 7.5: Zjednodušené schéma všech směrů měření

Pro měření se na OSA nastavil plný rozsah analyzovaných vlnových délek 1250 - 1650 nm a zvolila se možnost průměrování měření pro získání spolehlivých výsledků na hodnotu 8.

7.2 Referenční měření

Referenční měření bylo pořízeno pro každý zdroj záření a všechny vlnové délky podle zapojení na obr. 7.2. Dohromady máme 3 soubory náměrů pro jednotlivé zdroje.

Pro zdroj FLS-300-234BL byly získány 3 referenční náměry pro vlnové délky 1310, 1550, 1625 nm obr. 7.7

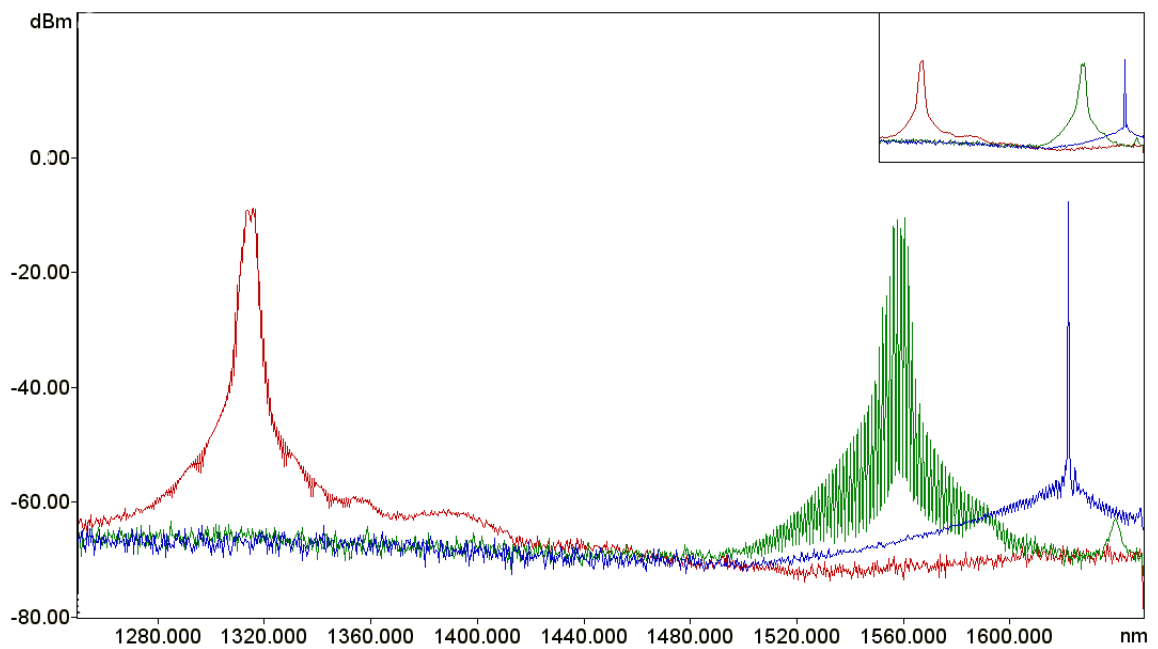
Pro zdroj FLS-300-235BL byly získány 3 referenční náměry pro vlnové délky 1310, 1490, 1550 nm obr. 7.8

Pro zdroj FLS-5834A byl získán jeden referenční náměr pro rozsah vlnových délek v C+L pásmu (1530 - 1610 nm) obr. 7.9

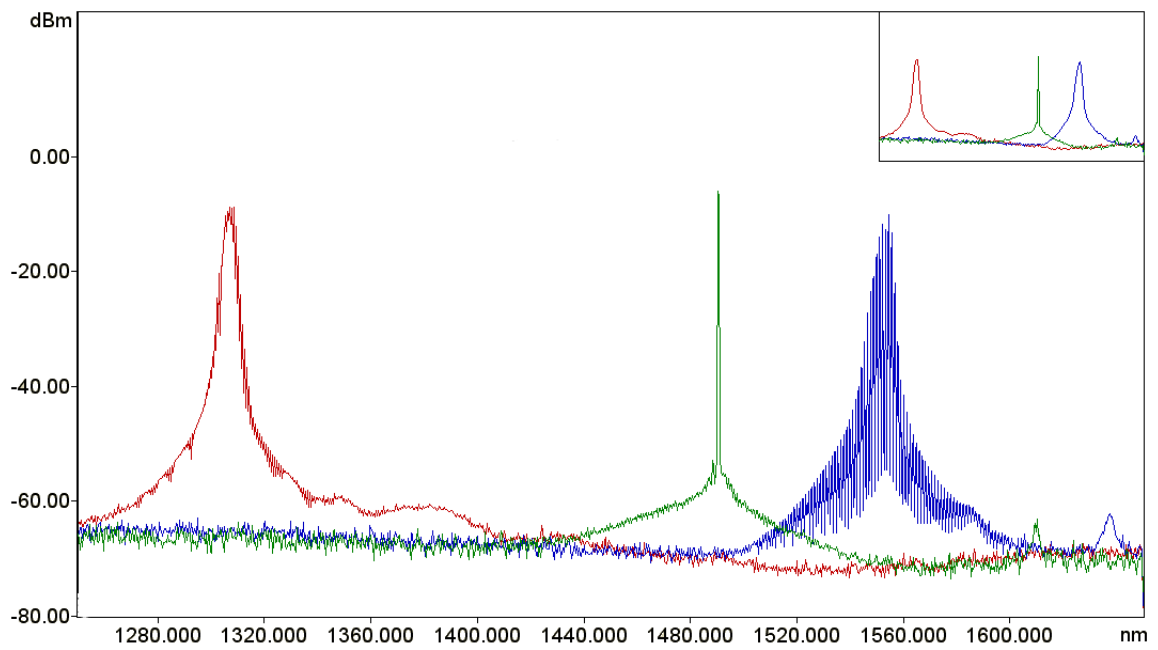


Obr. 7.6: Ukázka praktického zapojení referenčního měření

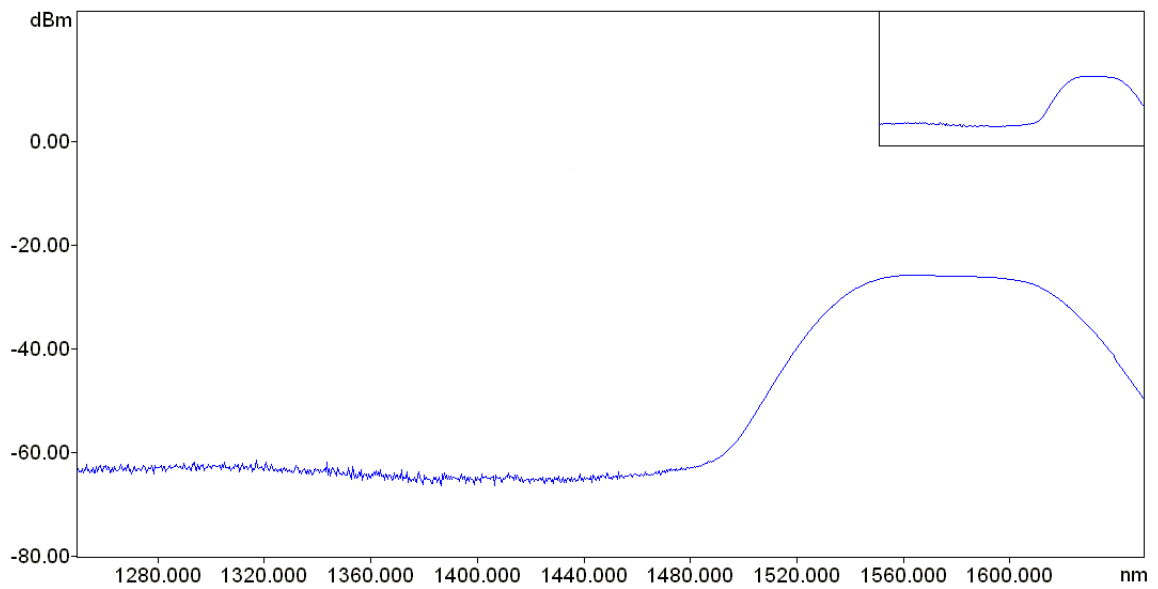
Pro přehlednost byly referenční náměry jednotlivých zdrojů proloženy.
 Z výsledných náměrů se dá zjistit jaké typy zdrojů záření byly použity podle naměřených charakteristik jednotlivých vlnových délek.



Obr. 7.7: Referenční náměry zdroje FLS-300-234BL



Obr. 7.8: Referenční náměry zdroje FLS-300-235BL



Obr. 7.9: Referenční náměr zdroje FLS-5834A

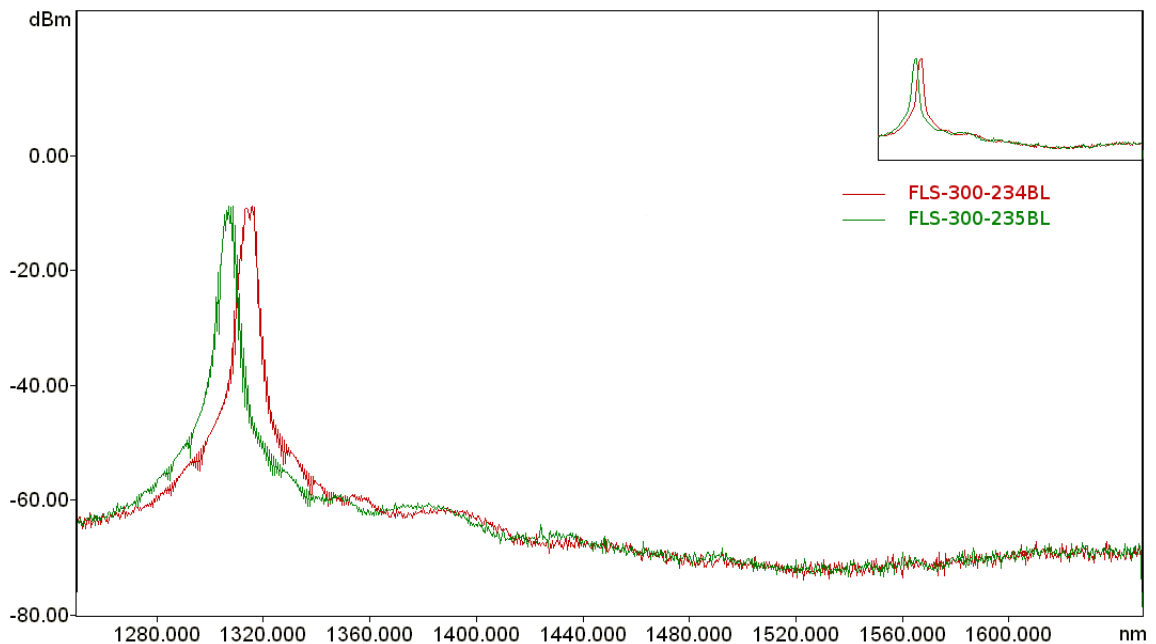
7.2.1 Porovnání referenčních náměrů zdrojů záření

V této kapitole porovnáme referenční náměry z dvou zdrojů záření, které by měly vysílat na stejné vlnové délce. Jak se z vyhodnocení ukáže, to že máme zdroje vysílající na stejné vlnové délce neznamená, že se jejich charakteristiky budou shodovat. Rozdíly jsou dány fyzikálními podmínkami, přesností výroby a únavou.

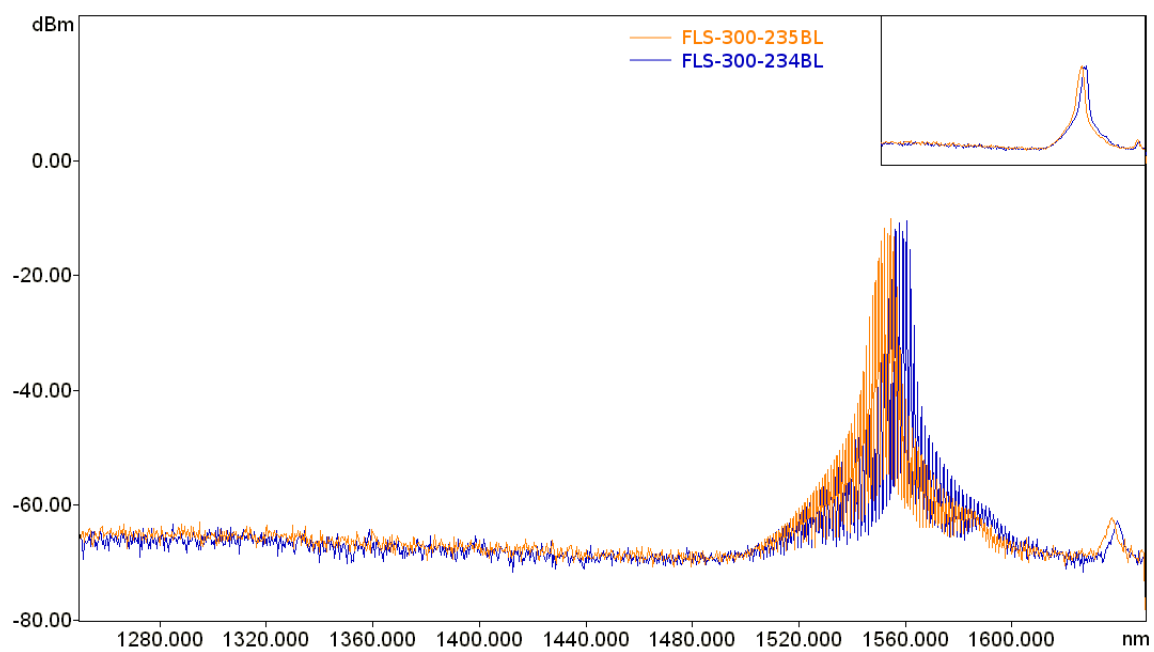
Vlnová délka [nm]	Zdroj záření	Obr.
1310	FLS-300-234BL	7.10
	FLS-300-235BL	
1550	FLS-300-234BL	7.11
	FLS-300-235BL	

Tab. 7.2: Tabulka porovnávaných referenčních měření

Z porovnání charakteristik vidíme, že nejsou shodné ale jsou od sebe posunuty přibližně o 7 nm v případě 1310 nm a o 5 nm v případě 1550. Porovnání posunutí bylo vztaženo k centrální vlnové délce charakteristik.



Obr. 7.10: Porovnání referenčních náměrů zdrojů záření na 1310 nm



Obr. 7.11: Porovnání referenčních náměrů zdrojů záření na 1550 nm

7.3 Měření součástky

Měření WDM odbočnice bylo prováděno všemi směry na jednotlivých portech, pro zjištění odbočení jednotlivých provozních vlnových délek, vložného útlumu odbočnice tak i izolaci mezi porty 1 a 2 viz. obr. 7.5.

Pro vyhodnocení odbočení budou grafy jednotlivých zdrojů proloženy.

7.3.1 Měření součástky - odbočení vlnových délek

Během tohoto měření se ověřovalo, jak součástka provádí odbočování vlnových délek.

Tabulka grafů:

Směr měření	Vlnová délka [nm]	Obr.
1 - > COM	1310, 1550, 1625	7.12
	1310, 1490, 1550	7.13
	1530 - 1610	7.14
2 - >COM	1310, 1550, 1625	7.15
	1310, 1490, 1550	7.16
	1530 - 1610	7.17
COM - > 1	1310, 1550, 1625	7.18
	1310, 1490, 1550	7.19
	1530 - 1610	7.20
COM - > 2	1310, 1550, 1625	7.21
	1310, 1490, 1550	7.22
	1530 - 1610	7.23

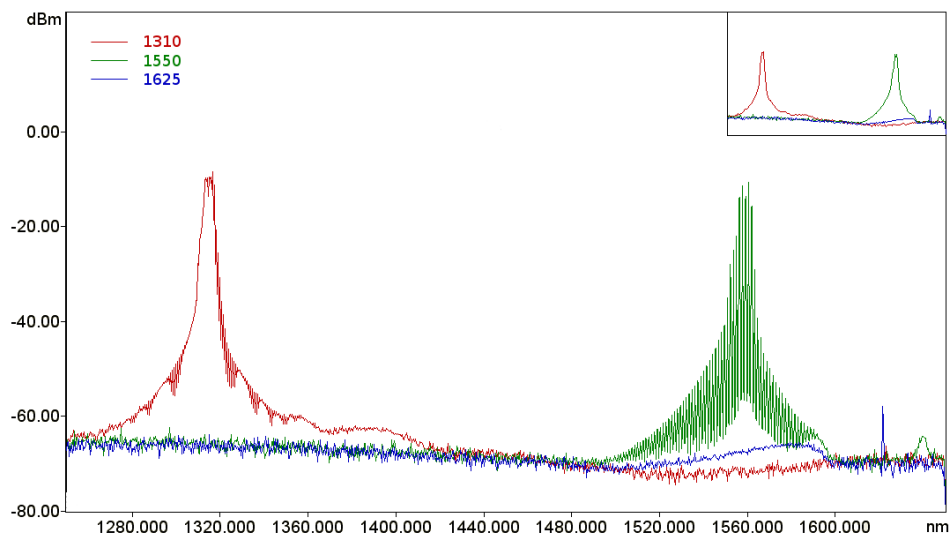
Tab. 7.3: Tabulka grafů pro odbočení provozních vlnových délek

První série grafů ukazuje, které provozní vlnové délky projdou z portu 1.

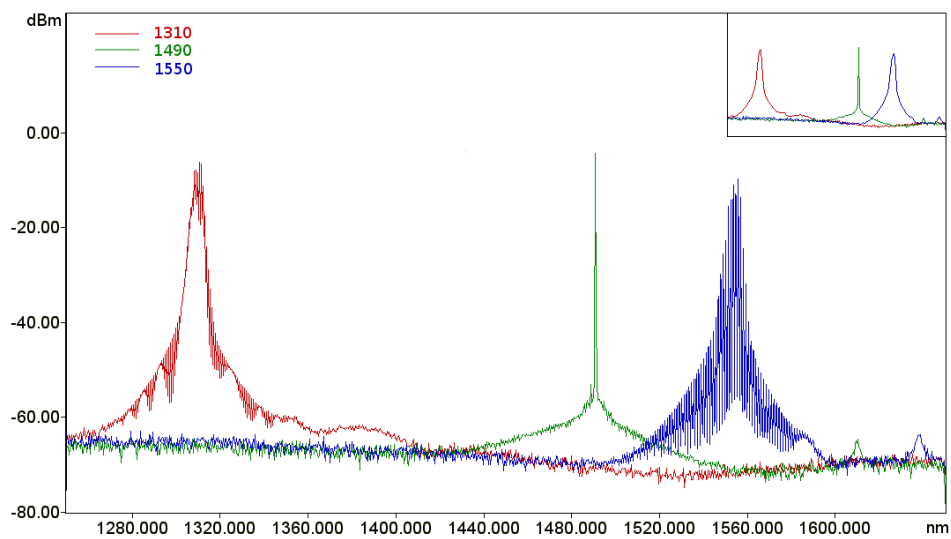
Druhá série grafů ukazuje, které provozní vlnové délky projdou z portu 2.

Třetí a čtvrtá série měření ukazují průběh v obrácených směrech.

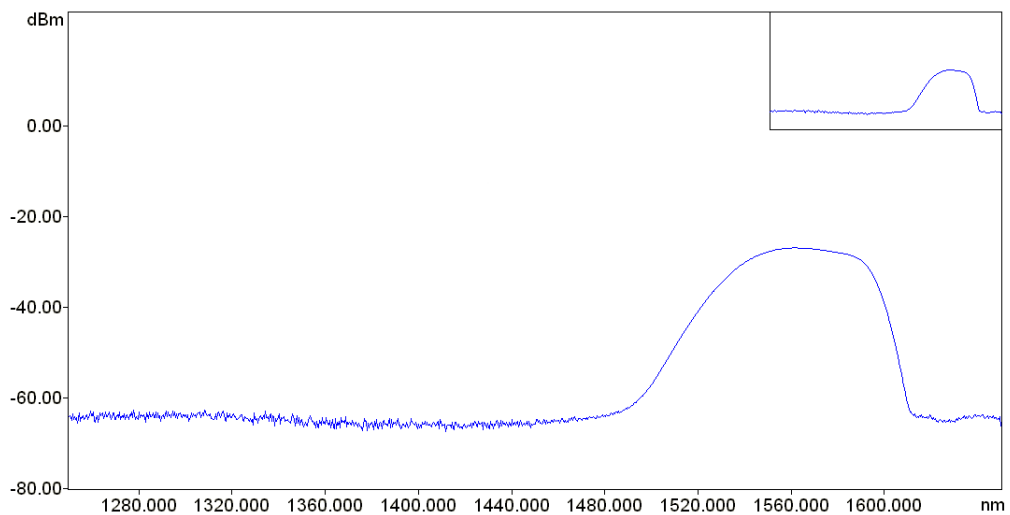
Série 1



Obr. 7.12: Měření součástky se zdrojem FLS-300-234BL ve směru 1 - > COM



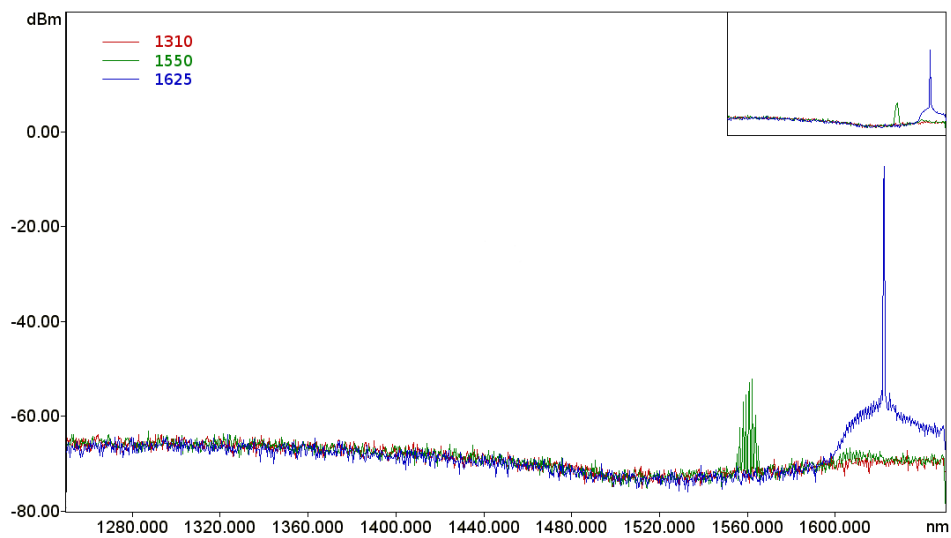
Obr. 7.13: Měření součástky se zdrojem FLS-300-235BL ve směru 1 - > COM



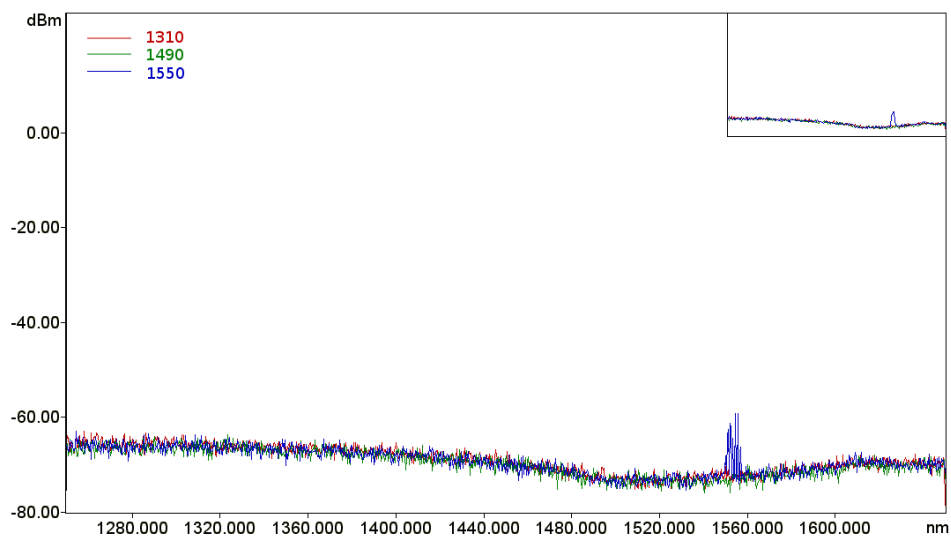
Obr. 7.14: Měření součástky se zdrojem FLS-5834A ve směru 1 – > COM

Měření ve směru 1 – > COM ukázalo, že na portu 1 se nevyskytuje vlnová délka 1625 nm. To dokazuje i graf na obr. 7.14 kde je vidět oříznutí průběhu širokospektrálního záření.

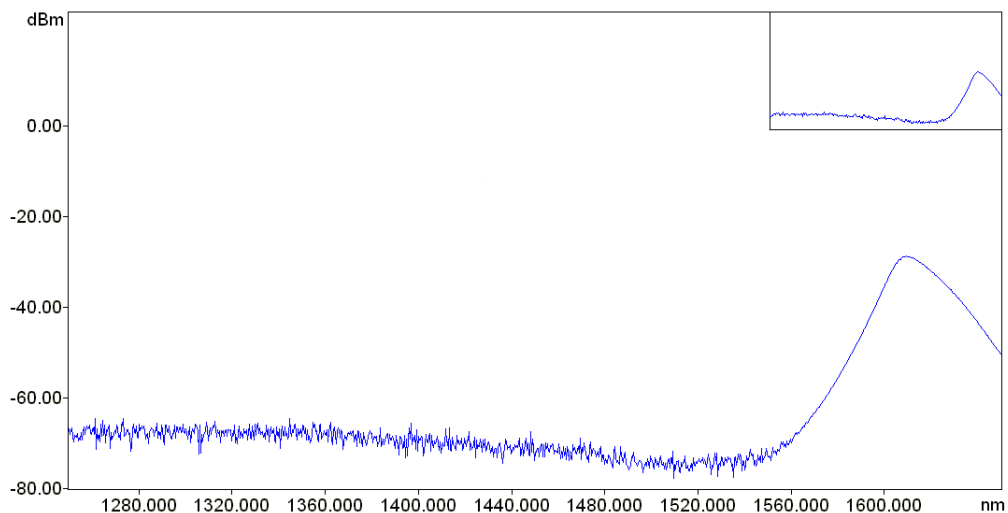
Série 2



Obr. 7.15: Měření součástky se zdrojem FLS-300-234BL ve směru 2 - > COM



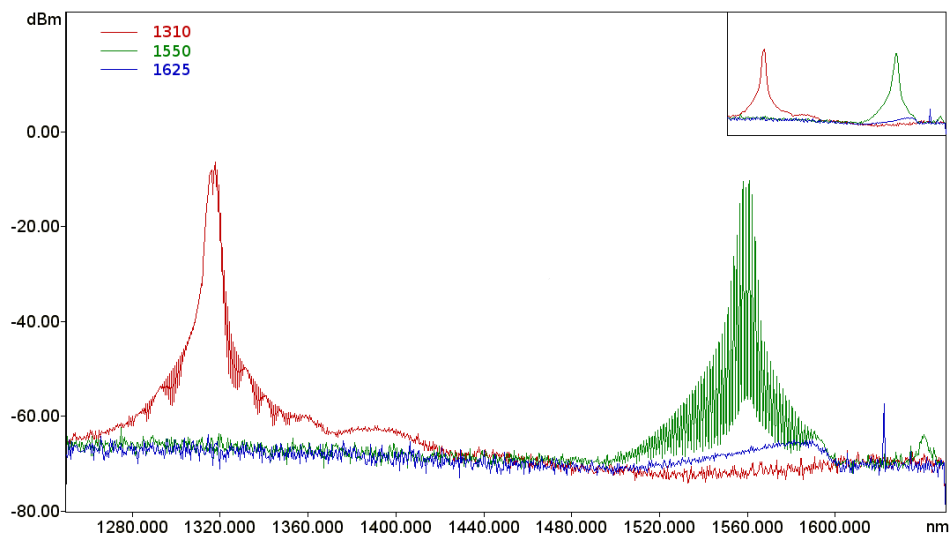
Obr. 7.16: Měření součástky se zdrojem FLS-300-235BL ve směru 2 - > COM



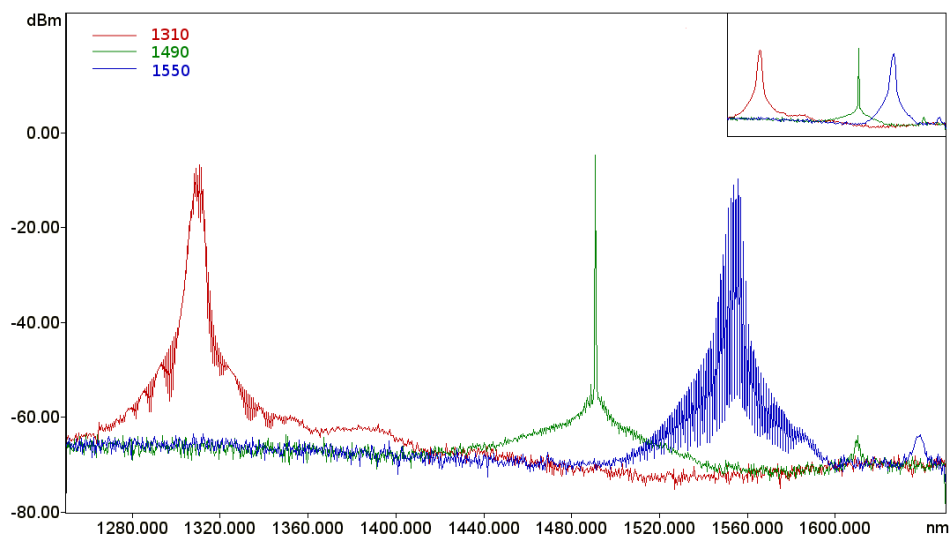
Obr. 7.17: Měření součástky se zdrojem FLS-5834A ve směru 2 – > COM

Měření ve směru 2 – > COM ukázalo, že na portu 2 se nevyskytují vlnové délky 1310 a 1490. Vlnová délka 1550 nm se zde vyskytuje, ale v potlačeném stavu. To dokazuje i graf na obr. 7.17 kde je vidět oříznutí průběhu širokospektrálního záření. Můžeme se domnívat že v této přenosové cestě se nevyskytují vlnové délky pod 1600 nm s možností slabého výskytu vlnových délek okolo 1550 nm.

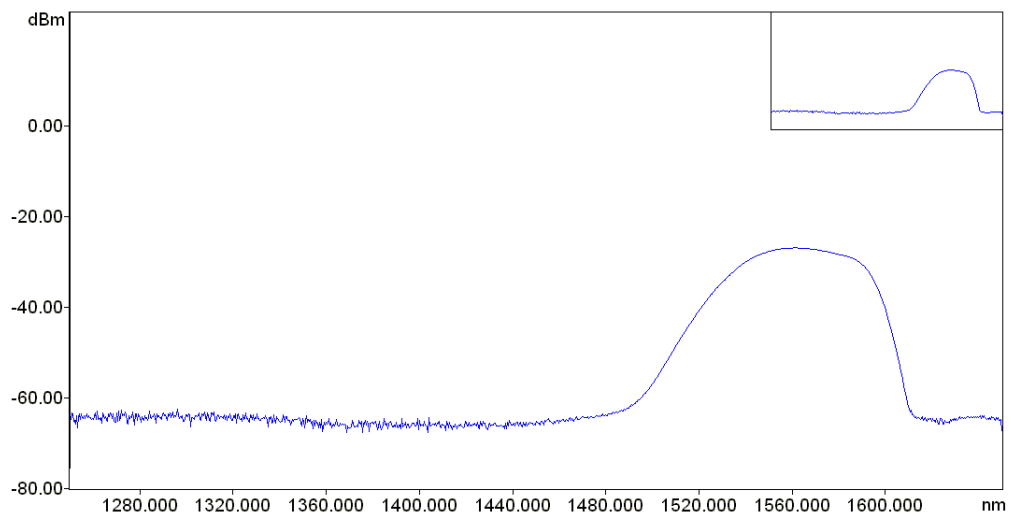
Série 3



Obr. 7.18: Měření součástky se zdrojem FLS-300-234BL ve směru COM – > 1



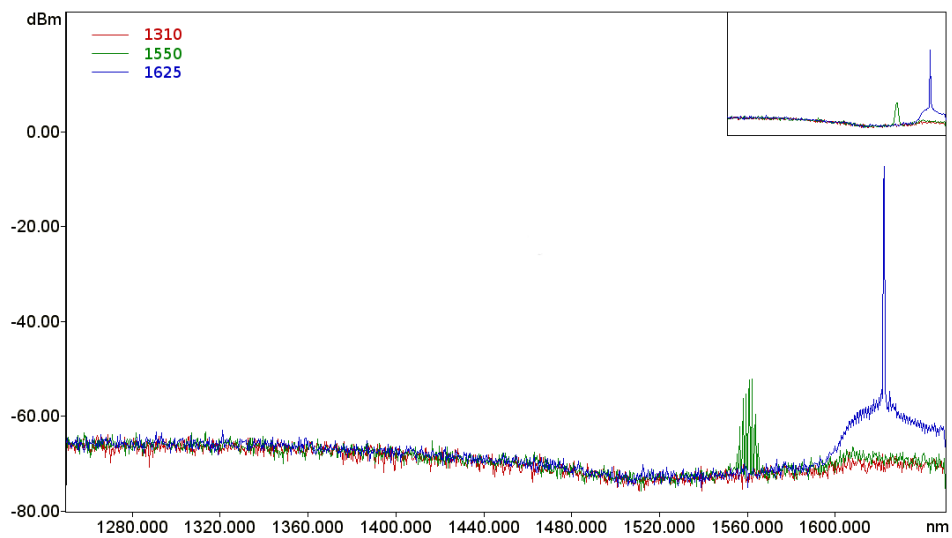
Obr. 7.19: Měření součástky se zdrojem FLS-300-235BL ve směru COM – > 1



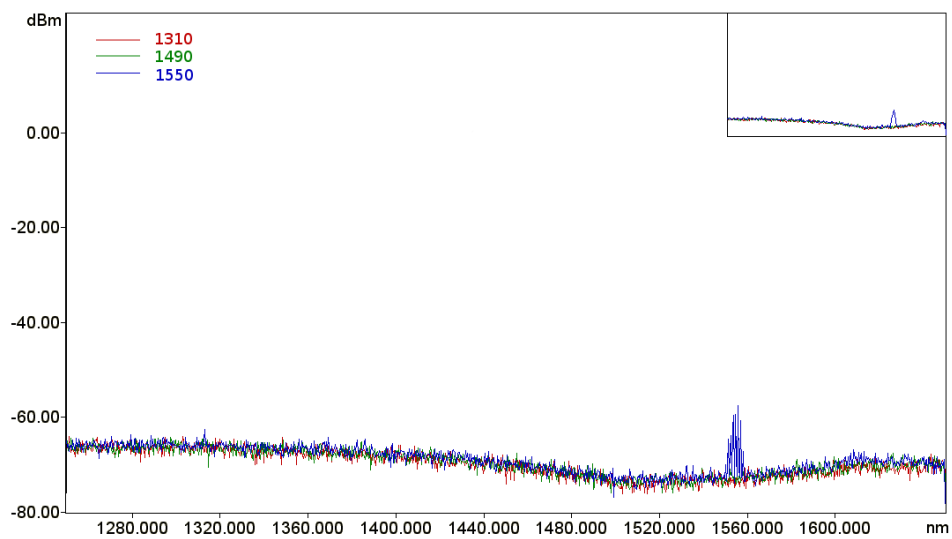
Obr. 7.20: Měření součástky se zdrojem FLS-5834A ve směru COM \rightarrow 1

V tomto měření bylo dosaženo ověření Série 1. Ve směru COM \rightarrow 1 se nevyskytuje vlnová délka 1625 nm.

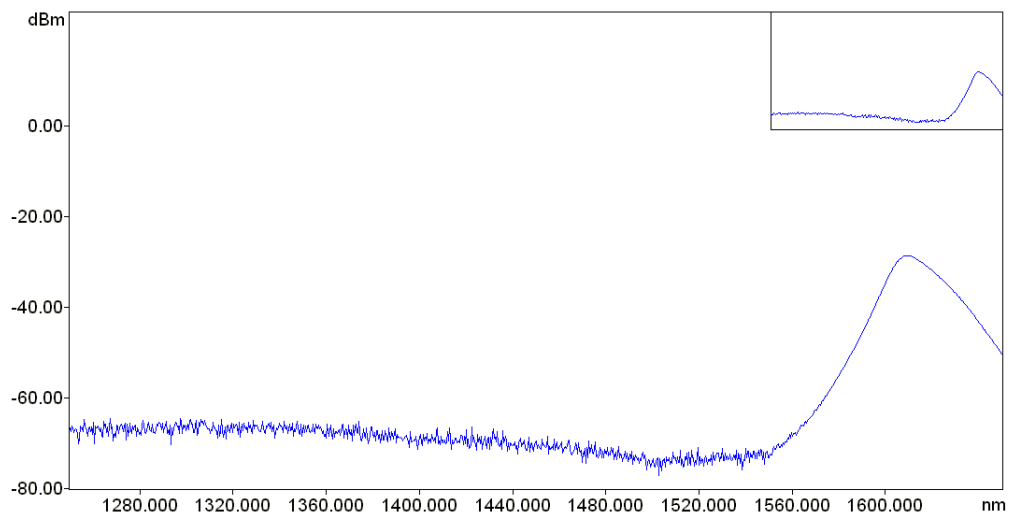
Série 4



Obr. 7.21: Měření součástky se zdrojem FLS-300-234BL ve směru COM – > 2



Obr. 7.22: Měření součástky se zdrojem FLS-300-235BL ve směru COM – > 2



Obr. 7.23: Měření součástky se zdrojem FLS-5834A ve směru COM – > 2

V tomto měření bylo dosaženo ověření Série 2. Ve směru COM – > 2 se nevyskytují vlnové délky 1310 a 1490. Opětovně se objevilo potlačené záření na vlnové délce 1550 nm.

7.3.2 Měření součástky - vložný útlum

Vložný útlum součástky zjistíme porovnáním odpovídajícího referenčního naměru s odpovídajícím měřením dané vlnové délky. Rozdíl v úrovních záření nám určí vložný útlum IL a budeme tak i schopni určit jedná-li se o prvek spektrálně závislý nebo nezávislý.

Protože byly použity převážně nechlazené zdroje záření (FLS-300-234BL a FLS-300-235BL) není možné přesně určit IL po průchodu záření součástkou. Výjimku tvoří zdroj FLS-5834A, který je teplotně stabilní a z něj se dá určit IL pro C a L pásmo vlnových délek.

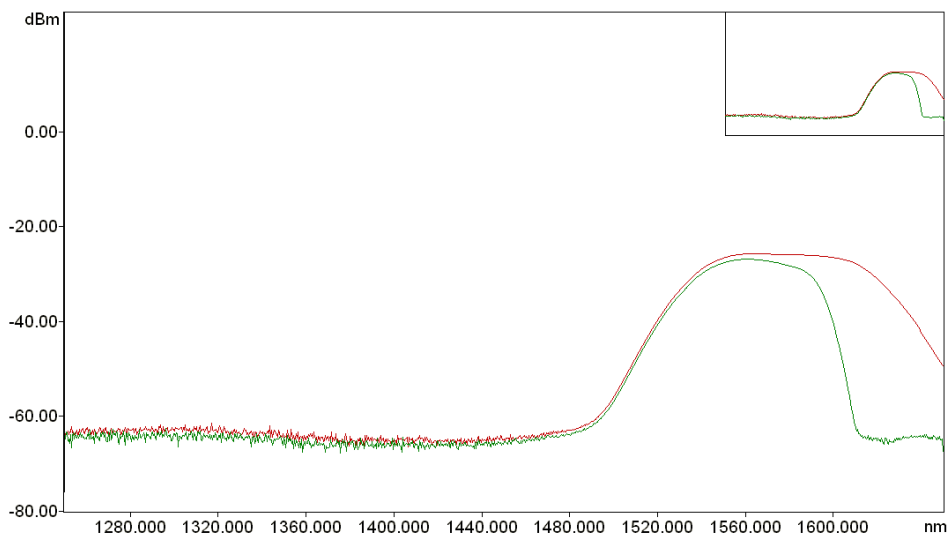
Z důvodů nepřesností způsobených teplotní závislostí nechlazených zdrojů budou uvedeny jen některá měření.

Výsledky tohoto měření i s dalšími informacemi o měření budou shrnuty v tab. 7.4.

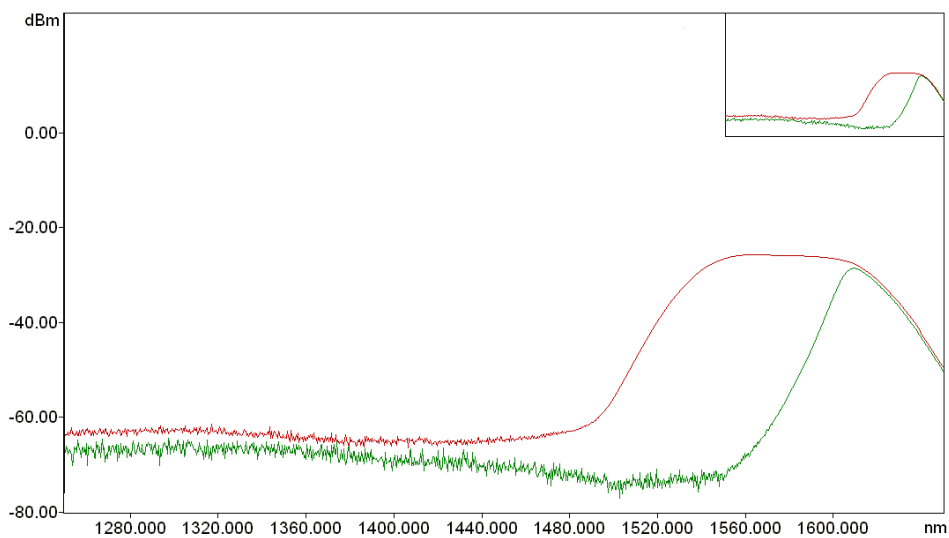
Zdroj	Vlnová délka [nm]	Směr měření	IL[dBm]	Obr.
FLS-5834A	1530 - 1560	C → 1	1,0	7.24
	1610 - 1630	C → 2	1,0	7.25
Nepřesné hodnoty				
FLS-300-234BL	1310	C → 1	2,25	7.26
	1625	C → 2	0,49	7.29
FLS-300-235BL	1490	C → 1	1,72	7.27
	1550	C → 1	0,3	7.28

Tab. 7.4: Tabulka IL pro vlnové délky

IL pro vlnové délky z C a L pásma



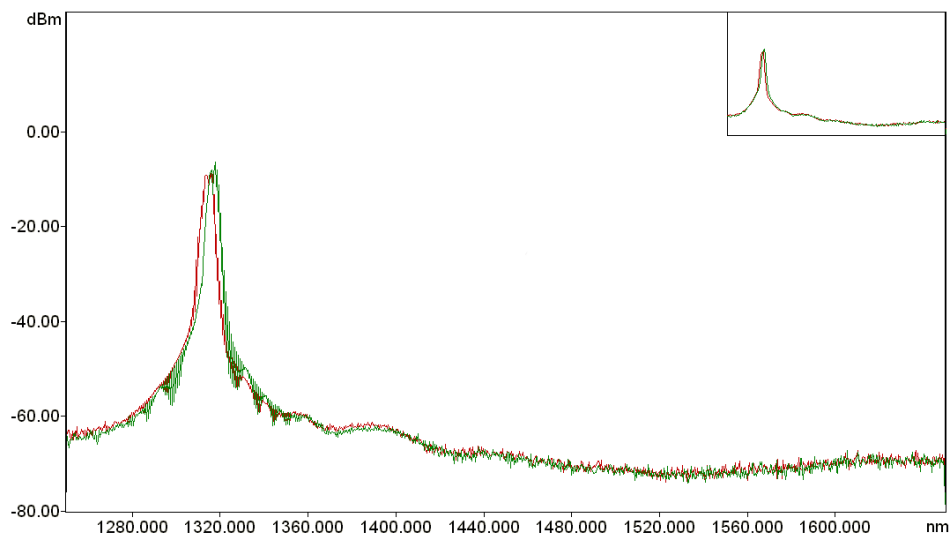
Obr. 7.24: Porovnání referenčního naměru a měření součástkou pro vlnové délky 1530-1560 nm



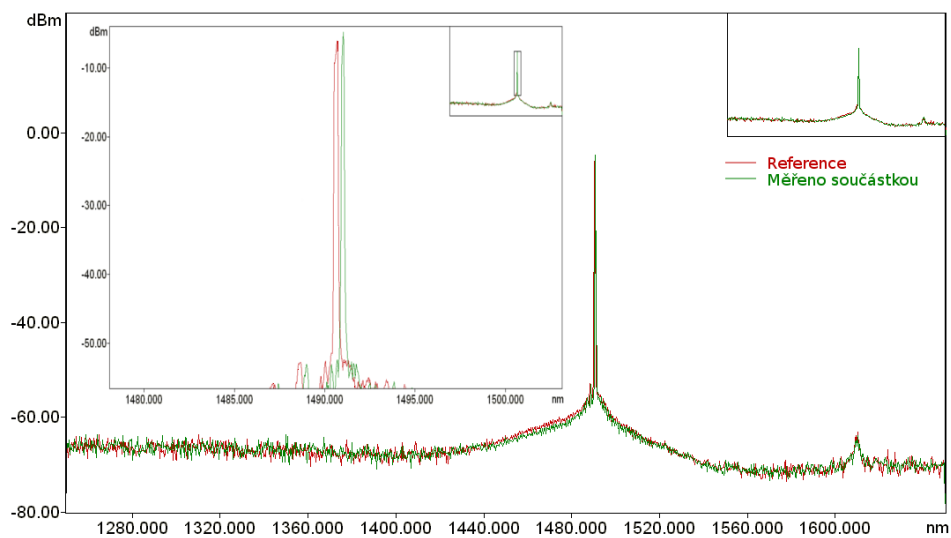
Obr. 7.25: Porovnání referenčního naměru a měření součástkou pro vlnové délky 1610-1650 nm

Pro určení útlumu na rozsahu vlnových délek bylo využito průměrování hodnot útlumu pro vlnové délky s odstupem 5 nm.

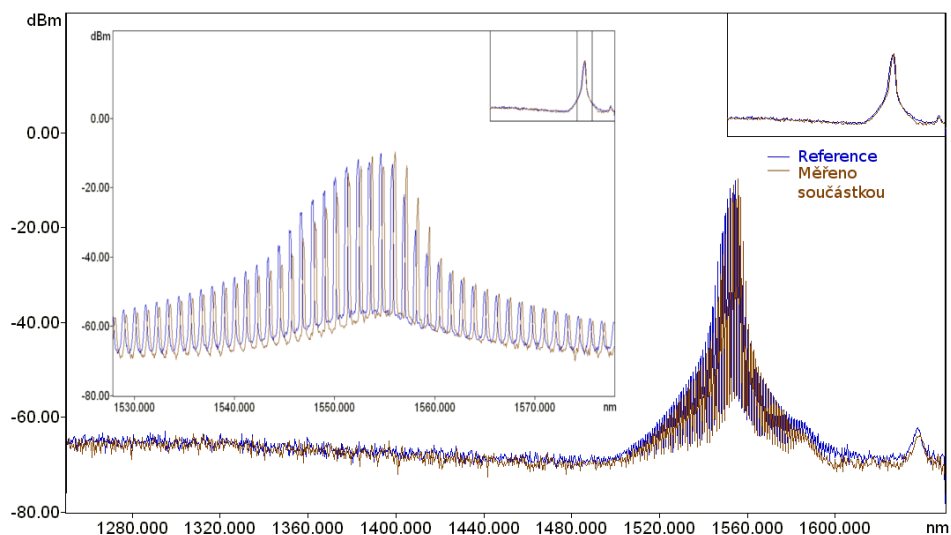
IL pro vlnové délky 1310, 1490, 1550, 1625 nm



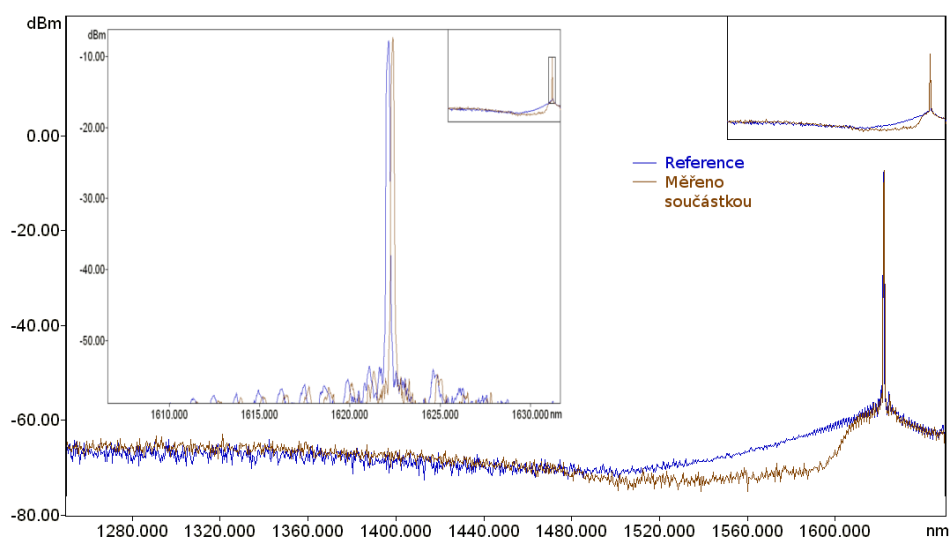
Obr. 7.26: Porovnání referenčního naměru a měření součástkou pro 1310 nm



Obr. 7.27: Porovnání referenčního naměru a měření součástkou pro 1490 nm



Obr. 7.28: Porovnání referenčního naměru a měření součástkou pro 1550 nm



Obr. 7.29: Porovnání referenčního naměru a měření součástkou pro 1625 nm

Tato měření jsou zatížena chybou způsobenou teplotní závislostí laserů. Pro vyhodnocení útlumu byl použit software na OSA umožňující zpracování měření podle typu laseru.

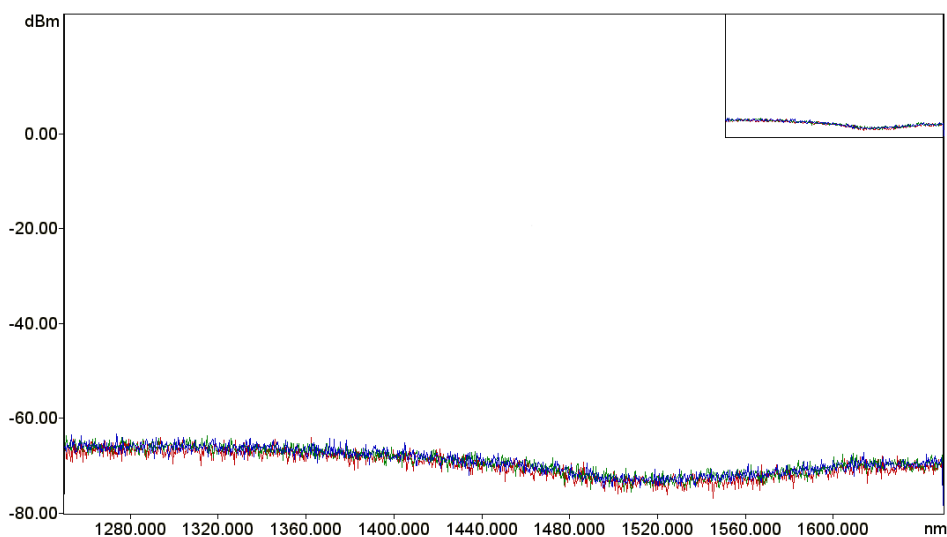
Můžeme předpokládat, že pro vlnové délky z rozsahu 1530 - 1650 nm je součástka spektrálně nezávislá na útlumu. Pro ostatní vlnové délky se nedá s úplnou přesností určit.

7.3.3 Měření součástky - Přeslechy

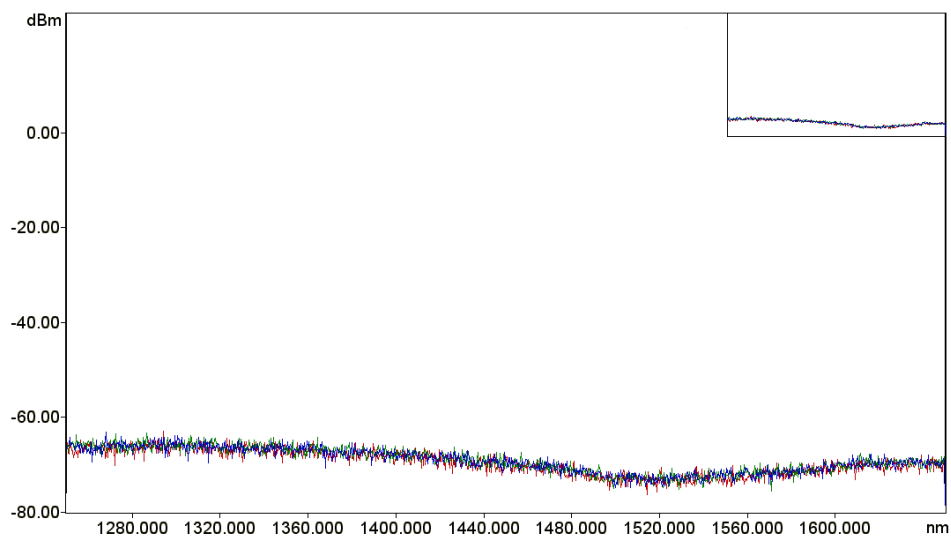
Pro WDM odbočnici je důležité aby se provoz z jedné vstupní větve nedostal do druhé a nenapáchal škody. Proto musí být zajištěno dostatečně kvalitní utlumení přeslechů mezi větvemi. V tomto měření se zkoumaly přeslechy z pohledu ORL.

Vlnová délka [nm]	Směr měření	Vyhovující	Obr.
1310, 1550, 1625	1 - > 2	ano	7.30
	2 - > 1	ano	7.31
1310, 1490, 1550	1 - > 2	ano	7.32
	2 - > 1	ano	7.33
1530 - 1610	1 - > 2	ano	7.34
	2 - > 1	ano	

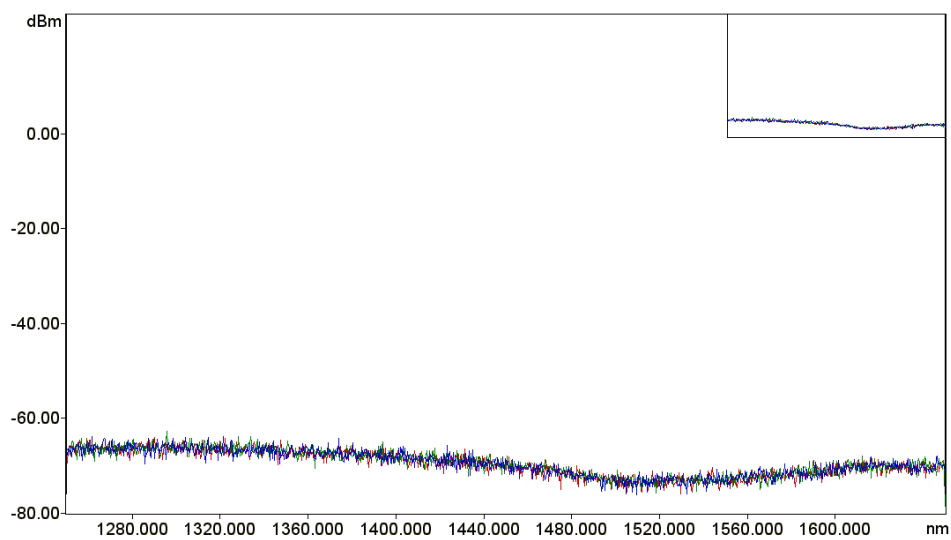
Tab. 7.5: Tabulka grafů přeslechů mezi porty 1 a 2



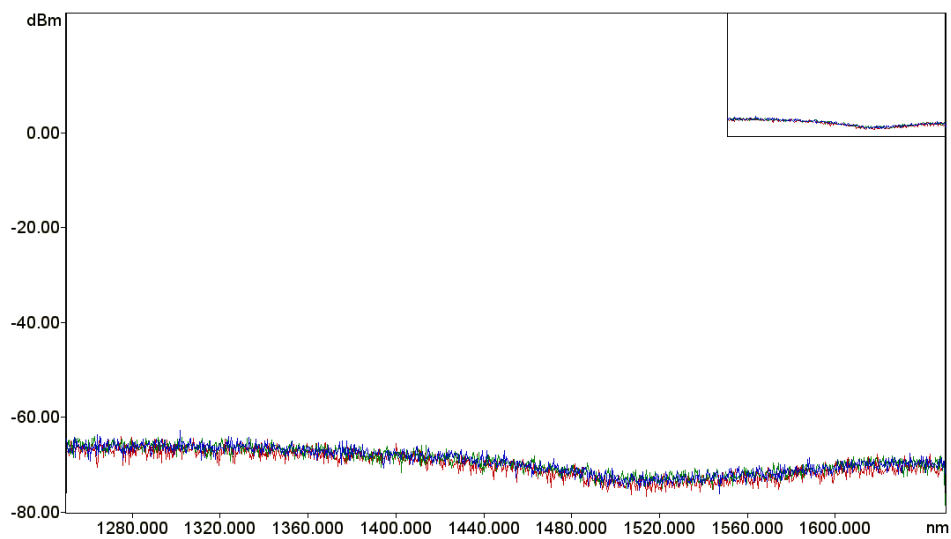
Obr. 7.30: Měření přeslechů ve směru 1 - > 2 pro 1310, 1550, 1625 nm



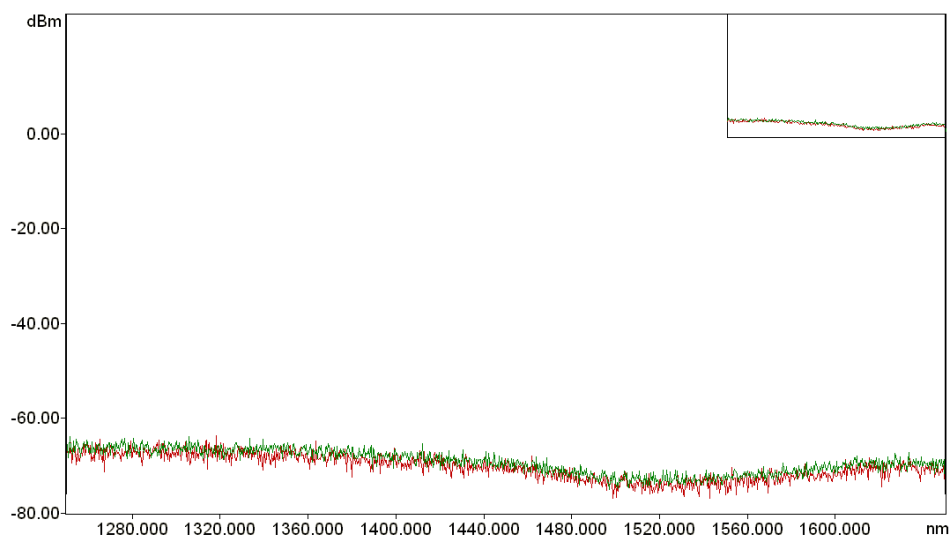
Obr. 7.31: Měření přeslechů ve směru 2 – > 1 pro 1310, 1550, 1625 nm



Obr. 7.32: Měření přeslechů ve směru 1 – > 2 pro 1310, 1490, 1550 nm



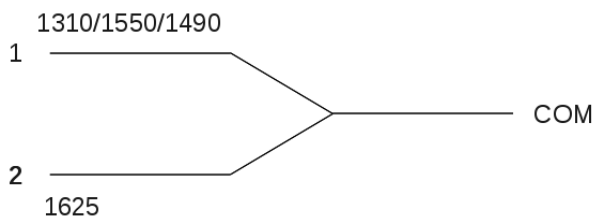
Obr. 7.33: Měření přeslechů ve směru 2 – > 1 pro 1310, 1490, 1550 nm



Obr. 7.34: Měření přeslechů ve směru 1 – > 2 a 2 – > 1 pro C+L pásmo

7.4 Výsledky měření součástky

Z provedených měření byl získán přehled o vlastnostech měřené WDM odbočnice. Z měření na provozních délkách nám vyplynulo, do kterých portů se odbočují dané vlnové délky viz. obr. 7.35 .



Obr. 7.35: Výsledné rozmístění provozních vlnových délek na portech

Tuto odbočnice lze využít podle zvoleného zapojení jako filtr, jednoduchý multiplex či demultiplex pro vyvedení vlnové délky 1625, která se většinou používá pro diagnostiku sítě, mimo koncovou jednotku ONT.

V dalším bodě měření bylo cílem zjistit vložný útlum IL této odbočnice. Přesně zjištěný IL byl proveden v rozsahu vlnových délek 1530 - 1650 nm a to 1,0 dBm. Pro ostatní vlnové délky bylo měření ovlivněno chybou, ale můžeme usoudit, že útlum je v rozsahu od 0,3 dBm do 2,25 dBm.

V posledním bodě měření bylo zjišťováno zabezpečení součástky proti přeslechům podle ORL. Na obou dvou portech byl změřen dostatečný útlum odrazu pro všechny vlnové délky v obou směrech.

8 ZÁVĚR

Rozvoj optických sítí jde neustále dopředu, jak ve vývoji technologií tak ve způsobech jak s ní nakládat. Pasivní optické sítě v tomto ohledu zaznamenaly obrovský pokrok. Díky možnostem sdílení kapacity jednoho přírodního vlákna více uživateli a postupnému navyšování jeho kapacity multiplexační technologií, která umožňuje do jednoho vlákna sloučit několik vlnových délek. Podle požadovaného množství vlnových délek máme možnost volby z několika technologických řešení. Samozřejmě platí čím větší počet vlnových délek chceme do vlákna vložit tím kvalitnější a dražší technologii musíme použít.

V dnešní době je k dispozici velké množství standardů pro PON sítě umožňující různé konfigurace přenosových rychlostí, počtu uživatelů a dosahu. V současnosti tyto standardy umožňují přenosy až 10 Gbit/s rychlostmi, počty koncových účastníků se zvedají 128 (až 256).

Jejich vývoj se neustále posouvá dopředu v blízké době jsou očekávány standardy, které umožní přenos rychlostmi až 40 Gbit/s a objevují se zmínky i o rychlostech okolo 100Gbit/s. Vývoj těchto standardů ovšem nejde ruku v ruce s jejich nasazováním v praxi. Důvodem bývá dostačující přenosová kapacita současných standardů a technologií nebo příliš vysoká cena nasazení nové technologie pro poskytovatele a pro zákazníka. Nové technologie kladou nové podmínky na kvalitu a parametry optické přenosové trasy, je ovšem snaha pro zpětnou kompatibilitu a souběžný provoz se staršími generacemi.

Všechny tyto nároky logicky vedou k dodržování standardů a hlídání parametrů optické přenosové trasy a jejich prvků.

Z tohoto důvodu jsou zaváděny do praxe nové způsoby měření, které umožňují spolehlivé a rychlé zjišťování potřebných parametrů. Stejně tak jsou využívány i metody historicky starší, které poskytují přesné výsledky, ale jsou časově náročnější.

Práce se zaměřila na parametry a metody měření optických tras s praktickým měřením vlastností WDM odbočnice. Bylo dosaženo získání informací o vlastnostech této odbočnice, zkušeností s měřením na optickém spektrálním analyzátoru, vyhodnocením naměřených výsledků a k ucelení znalostí o důležitosti i časové náročnosti měření.

LITERATURA

- [1] FILKA, M. *Optoelektronika pro telekomunikace a informatiku* CENTA, Brno 2009. [cit. 15. 12. 2010].
- [2] LAFATA, P. *Pasivní optické sítě WDM-PON* [online]. 24.5.2009 [cit. 15. 12. 2010]. Dostupné z URL: <<http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2009050004>>
- [3] VODRÁŽKA, J. *Optické přístupové sítě EPON a CWDM* [online]. 27.7.2005 [cit. 15. 12. 2010]. Dostupné z URL: <<http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2005070401>>.
- [4] LAFATA, P., VODRÁŽKA, J. *Pasivní optická přístupová síť EPON* [online]. 23.5.2009 [cit. 15. 12. 2010]. Dostupné z URL: <<http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2009050003>>.
- [5] VODRÁŽKA, J. *Pasivní optická síť GPON* [online]. 23.5.2009 [cit. 15. 12. 2010]. Dostupné z URL: <<http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2009050002>>.
- [6] WDM Systems *WDM technologie* [online]. 2010 [cit. 15. 12. 2010]. Dostupné z URL: <<http://www.wdmsummit.cz/nabidka/wdm-technologie.htm>>.
- [7] SÝKORA, J. *Princip WDM* [online]. 28.7.2004 [cit. 15. 12. 2010]. Dostupné z URL: <<http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2004072805>>.
- [8] BROUČEK, J., DVOŘÁK, P. *FTTx - technologie pro poslední míli* [online]. 12.5.2010 [cit. 15. 12. 2010]. Dostupné z URL: <<http://www.netguru.cz/odborne-clanky/fttx-technologie-pro-posledni-mili.html>>.
- [9] LAFATA, P. *Útlumová bilance pasivních optických přístupových sítí* [online]. 28.6.2009 [cit. 15. 12. 2010]. Dostupné z URL: <<http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2009060002>>.
- [10] ITU-T Publications *Transmission systems and media, digital systems and networks* [online]. 2008, poslední aktualizace 29.11.2010 [cit. 15. 12. 2010]. Dostupné z URL: <<http://www.itu.int/rec/T-REC-G/e>>.
- [11] KUCHARSKI, M., DUBSKÝ, P. *Měření přenosových parametrů optických vláken, kabelů a tras* MIKROKOM, Praha 1998. [cit. 15. 12. 2010].

- [12] HÁJEK, M., HOLOMEČEK, P. *Nová metoda měření PMD optických kabelových tras* [Online]. [cit. 15. 12. 2010]. Dostupné z URL: <<http://www.mikrokom.eu/cz/pdf>>.
- [13] HÁJEK, M., HOLOMEČEK, P. *Chromatická disperze jednovlákenných vláken a její měření* [Online]. [cit. 15. 12. 2010]. Dostupné z URL: <<http://www.mikrokom.eu/cz/pdf>>.
- [14] TELECOMMUNICATION STANDARDIZATION SECTOR OF ITU *Test methods for installed single-mode optical fibre cable links, G.650.3* Geneva 2008 / [Online]. [cit. 15. 12. 2010]. Dostupné z URL: <<http://www.itu.int/rec/T-REC-G/en>>.
- [15] LAFATA, P. *Pasivní optické sítě s rychlostí 10 Gbit/s* [online]. 10.3.2011 [cit. 10. 4. 2011]. Dostupné z URL: <<http://access.feld.cvut.cz/view.php?cislocclanku=2011030001>>.
- [16] HECHT, J. *Wavelength Division Multiplexing - WDM* [online]. 6.9.2006 [cit. 10. 4. 2011]. Dostupné z URL: <<http://zone.ni.com/devzone/cda/ph/p/id/303toc1>>.
- [17] Wikipedia *Arrayed waveguide grating* [online]. 17.10.2010 [cit. 10. 4. 2011]. Dostupné z URL: <http://en.wikipedia.org/wiki/Arrayed_waveguide_grating>.

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

AON	Active optical network - aktivní optická síť
APD	Avalanche Photodiode
ATM	Asynchronous Transfer Mode
AWG	Array Waveguide Grating
PON	Passive optical network - pasivní optická síť
APON	ATM based passive optical network
BPON	Broadband passive optical network
EPON	Ethernet passive optical network
GPON	Gigabit passive optical network
FBT	Fused Bionic Taper
IL	Insertion Loss
LD	Laser Diode
LED	Light Emitting Diode
CO	Central Office - centrální stanice
CD	Chromatic Dispersion
OLT	Optical Line Termination
ONT	Optical Network Terminal
ORL	Optical Return Loss
OSA	Optical Spectrum Analyzer
PIN	Positive Intrinsic Negative
PLC	Planar Lightwave Circuit
PMD	Polarization Mode Dispersion
P2P	Point to Point
P2M	Point to Multipoint

TDMA Time Division Multiple Acces

WDM Wavelength Division Multiplex

n počet kanálů

SEZNAM PŘÍLOH

A Přílohy na CD

77

A PŘÍLOHY NA CD

Adresáře s měření:

- FLS-300-234BL
- FLS-300-235BL
- FLS-5834A

Soubor SeznamMereni.xls - spustitelný v programu excel, obsahující popis souborů měření v jednotlivých adresářích Soubory měření - výstupy OSA FTB 400