

11. 11. 2015

Oponentský posudek disertační práce Ing. Radima ŠIFTY

KVALITA SLUŽEB OPTICKÝCH PŘÍSTUPOVÝCH SÍTÍ

Předložená disertační práce je zaměřena na výzkum pasivních sítí realizovaných optickými vlákny, které nabývají stále většího významu a rozvoje, vzhledem k rostoucím nárokům uživatelů na poskytované služby. Týká se to jednak požadavků na větší šířku pásma pro data a video, ale i nových služeb pro tzv. chytrou domácnost, která předpokládá napojení většiny systémů do veřejné sítě. S rozvojem nových služeb a rostoucími požadavky uživatelů se objevují nové trendy výstavby optických sítí, s cílem zvýšit jejich kapacitu s využitím stávajících optických vláken a metod vlnového nebo polarizačního multiplexu.

Práce je z tohoto pohledu vysoce aktuální a řešením jednotlivých komponentů těchto systémů se v současné době zabývá řada pracovišť včetně školicího pracoviště disertanta.

Disertant v úvodní části uvedl zaměření práce na optické sítě a možnosti redukce negativního vlivu polarizační vidové disperze při zdvojnásobení objemu dat pomocí techniky polarizačního multiplexu. Na základě rozboru stavu a úrovně přístupových sítí si stanovil cíle práce a to zejména posouzení optických tras z hlediska polarizační vidové disperze (PMD), její teplotní závislosti, měření a vyhodnocení negativního vlivu přenosových parametrů fyzické vrstvy na parametry kvality služeb, ověření funkce polarizačního multiplexu a jeho kombinace s vlnovým multiplexem a návrh opatření pro udržování optimálního stavu polarizace.

Druhá kapitola se zabývá vlastnostmi a parametry optických vláken, zejména z hlediska polarizace optické vlny a popisuje jednotlivé používané typy vláken včetně vláken zachovávajících polarizaci. Jako významný omezující faktor je sledována chromatická a polarizační vidová disperze a jejich vliv na přenášený signál.

Třetí kapitola se věnuje optickým přístupovým sítím a jejich základnímu uspořádání a standardům. Podrobněji jsou rozebírány techniky sdružování přenosových kanálů zejména vlnový a polarizační multiplex a jsou uvedeny potřebné komponenty pro zajištění správné funkce. Jsou také definovány parametry kvality služeb a jejich testování zejména z hlediska bitové chybovosti (BER).

Čtvrtá kapitola obsahuje výsledky práce, které jsou zaměřeny na přenosové parametry optických sítí, především na fyzické vrstvě, ovlivňující parametry kvality služeb ve vyšších vrstvách. Posouzení stavu optických vláken v ČR bylo provedeno na základě proměření jedenácti existujících tras různého stáří a délek od jednotek po desítky km, používaných předními operátory. Další výsledky se týkají sledování vlivu teploty okolí na PMD, což bylo ověřeno v laboratorních podmínkách umístěním jednotlivých OV komponentů (vláken konektorů, svarů, rozbočovačů) do teplotní komory. Výsledky jsou statisticky zpracovány do tabulky a graficky. Podobně byl zkoumán vliv teploty na polarizačně multiplexovaný signál, jehož výsledkem je graf prostorového zobrazení závislosti optického výkonu v polarizačních rovinách na teplotě. Po realizaci polarizačního multiplexu byly nejprve provedeny simulace (VIP photonics), kdy v jednom kanálu byla přenášena data a ve druhém ortogonálním kanálu šum. Simulována byla jednosměrná trasa se dvěma kanály a obousměrná trasa. V obou

případech byly analyzovány závislosti BER a Q-faktoru na odstupu obou multiplexovaných kanálů a byla určena mez, kdy došlo k degradaci datového signálu. Vliv odstupu byl ověřen i pomocí diagramu oka.

Jádrem kapitoly je návrh a realizace vysokorychlostního optického přenosu založeném na polarizačním multiplexu. Základní ověření a měření probíhalo v laboratoři a posléze na reálné optické trase. Pro oddělení jednotlivých vlivů na BER, byla nejprve měřena závislost na vloženém útlumu na trase dlouhé 20km, poté následoval vliv PMD na celkový útlum a závislost BER na další vlnové délce. Uspořádání pro částečný polarizační multiplex mělo za cíl posoudit, jak se bude systém chovat, když jedna polarizační složka ponese užitečný signál a druhá složka bude zatížena bílým šumem. K ověření byla sestavena trasa pro přenos datového signálu 10G a analogového signálu CATV. Výsledky stanovily meze funkčnosti systému při použití komponentů s ideálními parametry. Kritické místo bude funkce polarizačního kontroléru na straně přijímače, který musí dorovnat změny polarizace na konci optického vlákna, přičemž se předpokládá, že obě polarizační složky jsou ortogonální. To nemusí být splněno. Podobně byl realizován polarizační multiplex pro oddělení směrů přenosu, ale pouze s optickými nosnými o stejné frekvenci v obou směrech. Zde byly sledovány různé vlivy na chybovost a degradaci přenášeného signálu vlivem změn polarizace. Dosažené výsledky jsou přínosné pro další realizace s využitím polarizačního multiplexu.

Poslední realizací byl návrh vysokorychlostní optické přístupové sítě založené na kombinaci polarizačního a vlnového multiplexu, umožňující zdvojnásobení přenosové kapacity. V návrhu jsou ukázány možnosti uspořádání WDM multiplexeru a polarizačního multiplexeru a jsou popsány výhody a nevýhody včetně požadavků na optovláknové komponenty, zejména dynamický polarizační kontrolér. Jeho uspořádání je rovněž navrženo, nicméně jeho realizace může být značně komplikovaná. Navržený kombinovaný systém byl simulován pro 32 účastníků sítě PON a sledován byl vliv polarizační extinkce jednotlivých zdrojů na výsledný demultiplexovaný signál konkrétní jednotky. Stavy polarizace v jednotlivých bodech byly rovněž sledovány na Poincaréově kouli, což je velmi názorné zobrazení vývoje polarizace.

Předložená disertační práce je napsána srozumitelnou formou, formální úprava odpovídá požadavkům. V práci jsem nenalezl žádné podstatné chyby, grafické zpracování je na velmi dobré úrovni. Zvolené metody zpracování disertace odpovídají požadavkům. Práce přináší nové poznatky v oblasti teoretické a zejména v praktických realizacích. Cíle práce byly splněny.

Disertant vykázal celkem 32 článků a 5 realizací, na nichž se během studia podílel, z toho 15 bezprostředně se vztahující k dané problematice předložil spolu s disertační prací. Uvedené výsledky byly podle mého názoru podrobeny dostatečné diskusi a jejich přijetí svědčí o náležité úrovni jejich obsahu a zpracování.

K disertantovi mám následující dotazy:

1. Jak bude reagovat dynamický polarizační kontrolér na situaci, kdy nebudou obě polarizační složky na konci trasy ortogonální?
2. Proč není na obr. 4.32 polarizační kontrolér také na výstupu trasy pro vzestupný směr?
3. Jaká data 10G byla použita pro testování trasy mezi VUT a MU?

Závěrem konstatuji, že předložená disertační práce Ing. Radima ŠIFTY odpovídá mezinárodně uznávaným požadavkům řízení k udělení akademického titulu doktor v oboru Teleinformatika a proto ji doporučuji k obhajobě.

