

DESIGN OF HIGH-SPEED OPTICAL BACKBONE NETWORKS

Tomáš Filip

Master Degree Programme (2), FEEC BUT

E-mail: xfilip24@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Vladimír Tejkal

E-mail: xtejka00@stud.feec.vutbr.cz

Abstract: The paper deals with WDM (wavelength division multiplexing) in optical networks. The suitability of CWDM and DWDM technology for backbone networks using optical amplifiers EDFA was tested in simulation tool OptiSystem 7.0.

Keywords: Wavelength Division Multiplexing, Optical Amplifier, Dispersion, Backbone Network

1. ÚVOD

Optické vlákno ve svých počátcích bylo schopné přenášet pouze jedinou vlnovou délku. Tento fakt vedl k hledání způsobu, jak jej využít efektivněji.

Základní myšlenkou vlnového multiplexu je sloučení (multiplexování) několika signálů tak, aby mohly být přenášeny paralelně po jediném optickém vlákne. První vlnový multiplex pracoval pouze se dvěma vlnovými délkami. V současné době existuje několik typů WDM, které jsou standardizovány organizací ITU. Jak již bylo zmíněno - klasický o dvou vlnových délkách, dále se můžeme setkat s WWDM (Wide Wavelength Division Multiplexing), DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing), CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing).

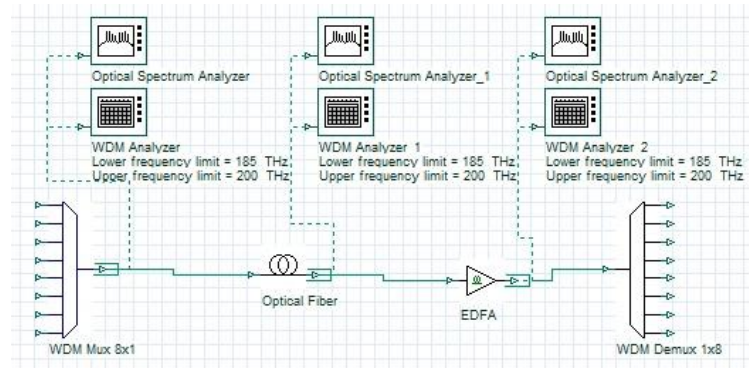
Tato práce se zabývá srovnáním dvou nejpoužívanějších technologií pro vysokorychlostní optické datové přenosy (CWDM a DWDM) a jejich vhodností pro nasazení na páteřní optické trasy.

2. MODEL PÁTEŘNÍ SÍTĚ

Návrh vysokorychlostní páteřní sítě (a nejrůznějších sítí obecně) je složitý proces, který vyžaduje zohlednění mnoha faktorů. Pro zjednodušení celého navrhování a pomoc se spoustou složitých výpočtů dnes můžeme použít množství simulačních prostředí. Jedním z těchto nástrojů je i OptiSystem od firmy Optiwave, ve kterém byl navrhován níže popsáný model páteřní sítě.

2.1. SCHÉMA ZAPOJENÍ SIMULOVANÝCH TRAS

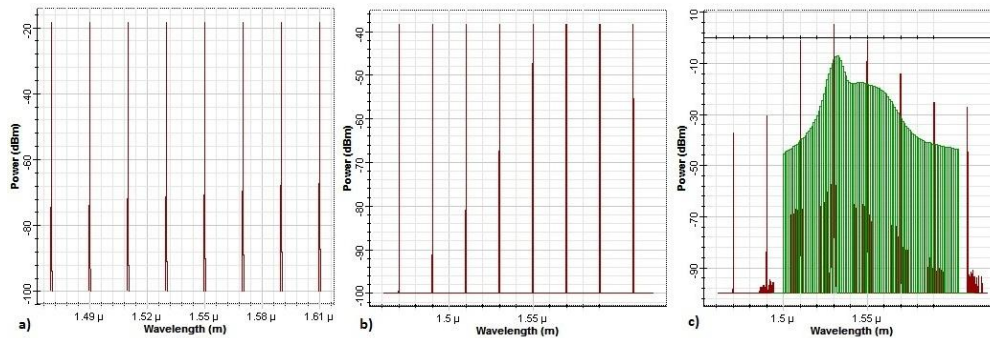
Pro zapojení vysílače pro každý kanál byl použit generátor pseudonáhodné bitové sekvence, generátor pulzu bez návratu k nule, CW Laser a k modulaci byl použit Mach-Zehnderův modulátor. Pro návrh a testování byla zvolena přenosová rychlost 2,5 Gbit/s a multiplexováno bylo vždy 8 kanálů. Příjemci strana pak byla složena z fotodetektoru a dolní propusti Besselova filtru. Analýza chybovosti přijatého kanálu byla prováděna pomocí analyzátoru diagramu oka a BER analyzátoru. Optickou trasu zobrazuje Obrázek 1. Začíná multiplexorem, který do vlákna slučuje 8 kanálů. Na trase bylo zvoleno vlákno standardu G.652d, které je použitelné v celém rozsahu vlnových délek. Na konci trasy, těsně před demultiplexorem, je umístěn předzesilovač EDFA. Pro analýzu spektra v různých částech trasy byl použit analyzátor optického spektra a WDM analyzátor. Analyzátoři byly vždy zapojeny na začátku trasy (hned za multiplexorem), na konci trasy (před vstupem do předzesilovače) a také po zesílení těsně před vstupem do demultiplexoru.



Obrázek 1: Zapojení optické trasy pro přenos multiplexovaného signálu.

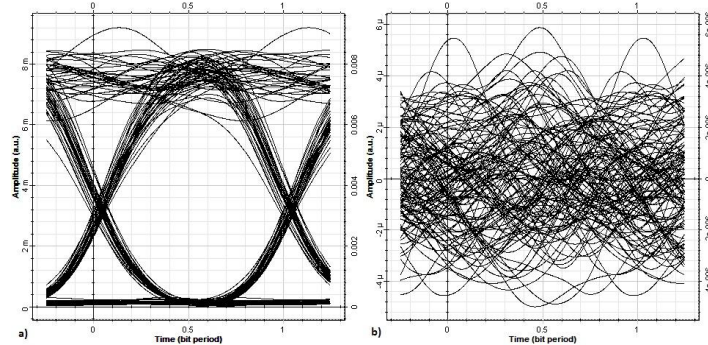
2.2. VOLBA PŘENOSOVÉ TECHNOLOGIE

V programu OptiSystem 7.0 bylo testováno použití technologií CWDM a DWDM na trase dlouhé 100km. Byly tak ověřovány teoretické poznatky o vhodnosti použití EDFA zesilovače na trasách s CWDM. Níže uvedený Obrázek 2 ukazuje spektrum 8 kanálů při použití CWDM s odstupem nosných jednotlivých kanálů 20 nm dle ITU-T: G. 694.2. Nejprve je zobrazeno spektrum těsně za multiplexorem s úrovní signálů -20 dBm, následně na konci trasy před zesílením s úrovní signálů -40 dBm a nakonec spektrum zesílené, kde je úroveň pro každý kanál různá. Poslední zobrazené spektrum (po zesílení EDFA zesilovačem) dokazuje tvrzení, že optický zesilovač EDFA je použitelný pro zesilování pouze úzkého spektra.



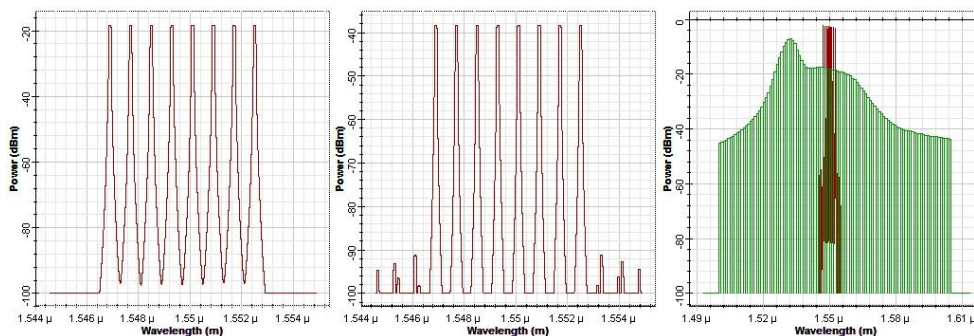
Obrázek 2: Spektrum kanálů při použití CWDM. a) začátek trasy, b) konec trasy, c) po zesílení.

Pro detailnější analýzu byl použit diagram oka nejlepšího (Obrázek 3a) a nejhoršího (Obrázek 3b) kanálu. Nejlepší 4. kanál (na vlnové délce 1530 nm) byl velmi dobře detekovatelný – chybovost byla řádově 10^{-54} z diagramu jsou dobře znatelné obě logické hodnoty. Naopak nejhorší 1. kanál (1470 nm) měl tak velkou chybovost, že nebyl na přijímací straně detekovatelný. Jak je vidět, logické úrovně jsou v tomto případě naprosto nerozeznatelné. Uvedená chybovost je výsledkem simulace na komponentě BER analyzátoru, který lze použít v OptiSystem 7.0.



Obrázek 3: Diagramy oka při použití CWDM. a) 4. kanál, b) 1. kanál.

Následující Obrázek 4 opět uvádí spektra v jednotlivých částech optické trasy, tentokrát však při použití DWDM s odstupem nosných mezi kanály 0,8 nm dle ITU-T: G. 694.1. Jak je vidět, všechny kanály po zesílení EDFA zesilovačem mají dostatečnou a srovnatelnou úroveň, jsou tedy všechny na přijímací straně dobře detekovatelné. Chybovost každého kanálu se pohybovala v okolí řádu 10^{-60} , lze tedy říct, že šlo o bezchybný přenos celého spektra kanálů. I zde je chybovost výsledkem simulace na komponentě BER analyzátoru. Pro uváděný případ se nepředpokládá, že by se mohla vyskytnout chyba a systém bude při zvolené konfiguraci fungovat vždy.



Obrázek 4: Spektrum kanálů při použití DWDM. a) začátek trasy, b) konec trasy, c) po zesílení.

V následných simulacích dálkových optických tras byla tedy vybrána technologie DWDM. Z výše uvedených výsledků srovnání obou technologií je zřejmé, proč je tomu tak.

3. ZÁVĚR

Pro páteřní trasy je jednoznačně lepší volbou hustý vlnový multiplex. Bylo zjištěno, že s nasazenou rychlostí 2,5 Gbit/s lze zajistit kvalitní přenos na dlouhé vzdálenosti bez nutnosti kompenzace chromatické nebo polarizační vidové disperze. Při vyšších rychlostech se však použití kompenzačních metod stává nutností.

Obrovskou výhodou DWDM je možnost efektivně zesilovat a obnovovat signál všech kanálů současně při použití jediného EDFA zesilovače. Právě tato vlastnost dovoluje jeho výhodné využití převážně pro přenos na velké vzdálenosti páteřních sítí. Technologie DWDM je tedy zároveň i ekonomičtější v rámci zesilování signálu než CWDM, kde je široké spektrum kanálů a bylo by tak nutné použít samostatný zesilovač pro každý kanál.

Hrubý vlnový multiplex je výhodnější používat pro metropolitní sítě, jejichž délka je maximálně v řádu desítek kilometrů s propustností 2,5 Gbit/s pro každou vlnovou délku.

Ověřena byla i vhodnost základních zapojení zesilovače EDFA v různých částech optického spoje. Jako naprosto nevhodné se jeví umístění pouze jediného zesilovače hned za vysílací část.

REFERENCE

- [1] WDM Systems Summit [online]. 2011 [cit. 2011-11-12]. Dostupný z WWW: <<http://www.wdmsummit.cz/>>
- [2] ZAHRADNÍK, P. Hodně hustá vlna: Technologie datových přenosů v optických sítích [Online]. [cit. 2011-11-09]. Dostupný z WWW: <<http://www.flops.cz/hodne-husta-vlna-technologie-datovych-prenosu-v-optickych-sitich>>
- [3] DUTTA, A. K., DUTTA, N. K., FUJIWARA M. WDM Technologies: Optical Networks. USA: Academic Press, 2004. 315s. ISB 0-12-225263-2
- [4] PASCHOTTA, R. Erbium-doped Fiber Amplifiers [Online]. [cit. 2011-12-1]. Dostupný z WWW: <http://www.rp-photonics.com/erbium_doped_fiber_amplifiers.html>
- [5] Optiwave Systems Inc. [Online]. Dostupný z WWW: <<http://www.optiwave.com/>>