

Přenosy signálů citlivých na časování, pokročilé přepínače pro Open DWDM



Jan Radil

WDM Systems Summit 2013

Přenosy signálů citlivých na časování, pokročilé přepínače pro Open DWDM

- ◆ CESNET - Czech Educational and Scientific NETwork
- ◆ Sdružení založeno 1996 jako nezisková organizace
- ◆ z.s.p.o. – veřejné univerzity a Akademie věd ČR
- ◆ Národní síť pro vědu a vzdělávání – CESNET2
- ◆ www.cesnet.cz

Přenosy signálů citlivých na časování, pokročilé přepínače pro Open DWDM

- ◆ Přehled aplikací/přepínačů v prezentaci J.Vojtěcha z WDM Systems Summit 2012
- ◆ Pokusím se zbytečně neopakovat
- ◆ Nové směry ve stavění sítí, zejména s přihlédnutím ke koherentní optické technologii
- ◆ Kompenzace chromatické disperze
- ◆ Současně 100G a 10G a případně další pomalé signály – Fotonické služby

Přenosy signálů citlivých na časování, pokročilé přepínače pro Open DWDM

◆ Po optických sítích se přenáší nejen velké objemy dat vysokými rychlostmi

- 100G všude nebo dokonce 400G/1T a více nestačí

◆ Nové druhy aplikací

- důležité minimální a/nebo konstantní zpoždění (rychlé obchodování)

◆ ‚Real-time‘ aplikace

- důležitá odezva – časové omezení, nesmí dojít k překročení limitů
- řízení procesů, kontrola přístrojů (teleskopy), včasné varování (tsunami, zemětřesení, laviny), robotická medicína, 4k/8k VC,...
- ‚Nejlepší snaha‘ nezaručí tyto požadavky, následky mohou být vážné

Přenosy signálů citlivých na časování, pokročilé přepínače pro Open DWDM

◆ Přenos přesného času a stabilní frekvence

- skutečně nový typ aplikací, jiný druh přenášených signálů
- rychlost nepodstatná (pomalé signály nebo nemodulované)
- optické vlákno je zajímavý kandidát

◆ Evropský projekt NEAT-FT

- Accurate time/frequency comparison and dissemination through optical telecommunication networks
- Network for European Accurate Time and Frequency Transfer
- http://www.ptb.de/emrp/neatft_home.html
- Čas: 50ps, Frekvence: 10^{-17} (a lepší stabilita)

Přenosy signálů citlivých na časování, pokročilé přepínače pro Open DWDM



Přenosy signálů citlivých na časování, pokročilé přepínače pro Open DWDM

◆ Projekt REFIMEVE+ (Francie)

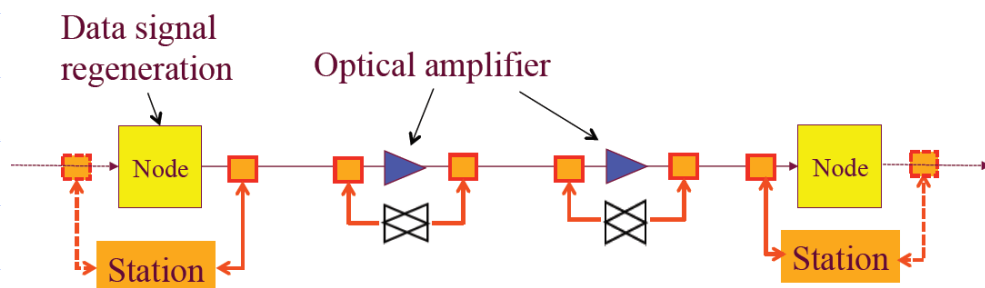
- Ultrastabilní frekvence
- REseau Fibré MEtrologique à Vocation Européenne+
- 2012-2019 a 6.5M€

◆ RENATER

- FR NREN
- První experimenty na produkční síti
- Nutné obejít standardní zařízení

Přenosy signálů citlivých na časování, pokročilé přepínače pro Open DWDM

Projekt REFIMEVE+ (Francie)



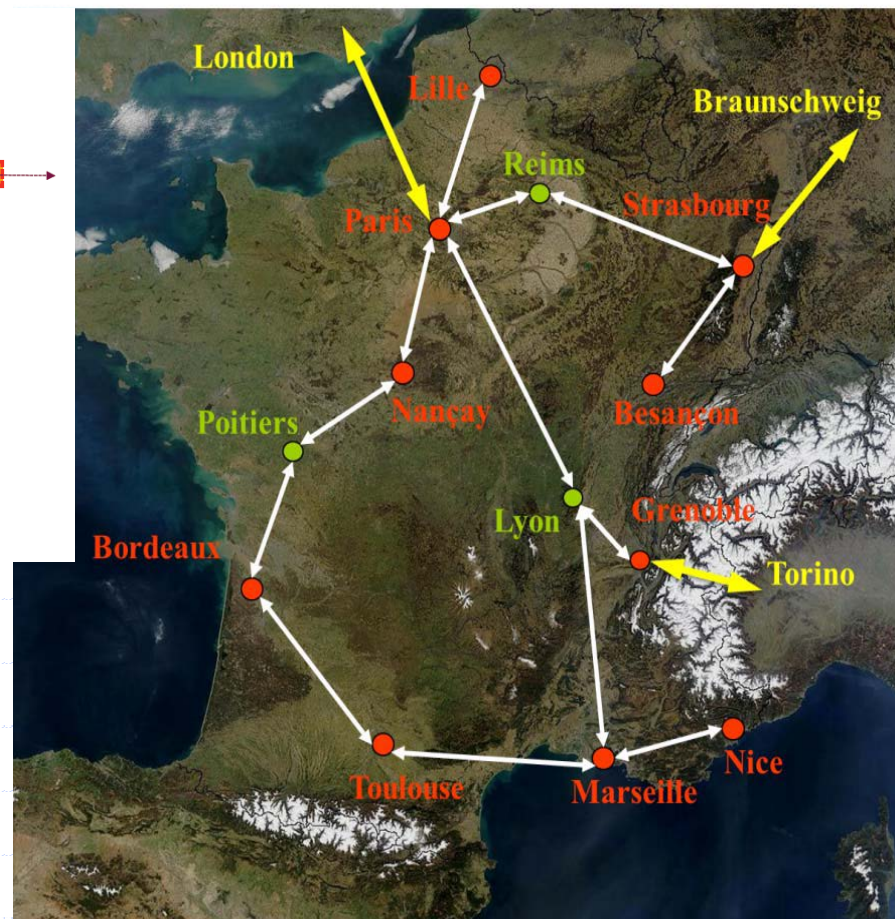
Bypass : bidirectional amplifiers + OADM (+ AOM?)

Station : every 400 km -600km

■ OADM

⊠ Bidir EDFA

Source: G. Santarelli at al "Transmitting ultra-stable optical signals over public telecommunication networks"



Přenosy signálů citlivých na časování, pokročilé přepínače pro Open DWDM

◆ Přenos přesného času a stabilní frekvence

- Další experimenty např. v Německu (Max Planck Institut, PTB)

◆ Speciální požadavky

- Jen optické vlákno nestačí, zejména přenos stabilní frekvence má specifické požadavky (přesný čas je „rozumnější“)
- Jednovláknové přenosy (korekce šumu, zpoždění, vibrace, 10^{-17} !)
- Obousměrné EDFA
- Brillouinovy zesilovače
- Nepříliš obvyklá zařízení

Přenosy signálů citlivých na časování, pokročilé přepínače pro Open DWDM

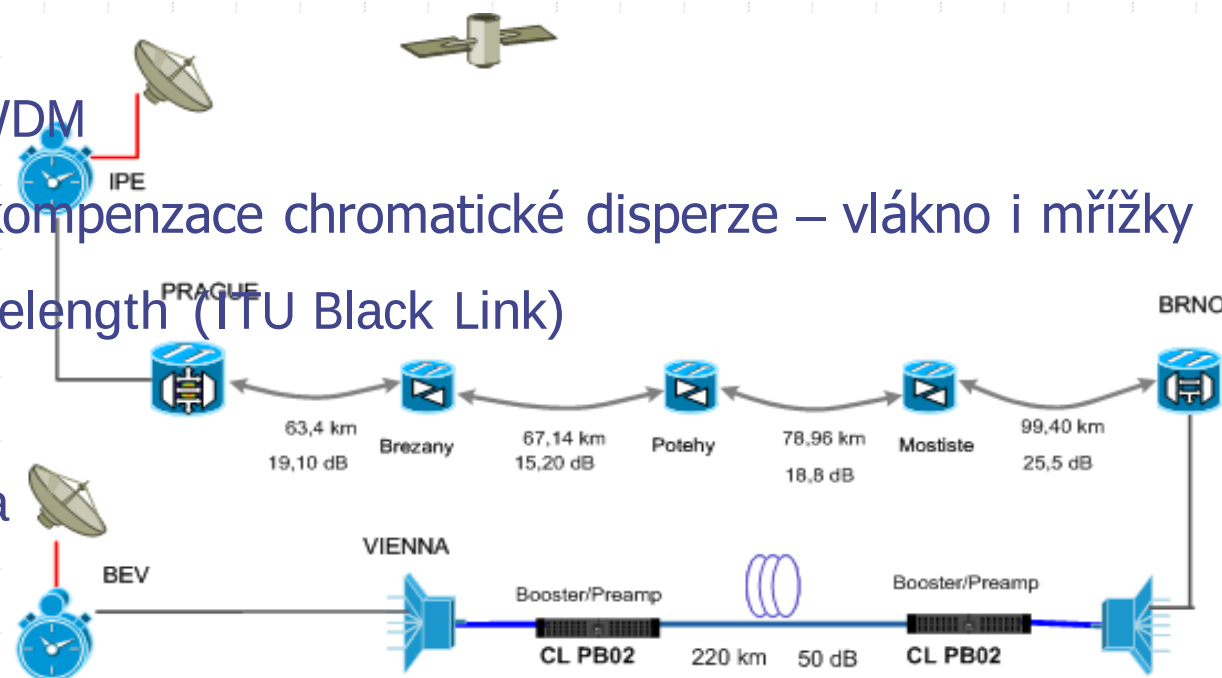
- ◆ Proč to všechno? NEAT-FT, REFIMEVE+, není to zbytečnost?
 - Protože to jde.
- ◆ Fyzika, navigační systémy, geodézie, astronomie, další obory (armáda)
- ◆ Redefinice jednotek SI

Přenosy signálů citlivých na časování, pokročilé přepínače pro Open DWDM

◆ Přesný čas v ČR

- Porovnání atomových hodin Praha-Vídeň
- Začátky 2010, od 2011 v provozním režimu – CESNET, AConet
- 550km, 137dB
- Cisco a OpenDWDM
- Různé metody kompenzace chromatické disperze – vlákno i mřížky
- Jde o Alien Wavelength (ITU Black Link)
- Času se věnuje

kolega V.Smotlacha



Přenosy signálů citlivých na časování, pokročilé přepínače pro Open DWDM

◆ Přepínače pro OpenDWDM systém přehledně popsány v prezentaci kolegy J.Vojtěcha z r. 2012

➤ Další typy nejsou nezbytné, ale je žádoucí jejich využití pro nové aplikace

◆ Propojení Praha-Ondřejov-Pecný

➤ Specifické požadavky na přenos přesného času (pouze vlákno)

➤ Praha-Ondřejov pouze jedno vlákno (poměrně běžné v Cesnetu, finanční úspora)

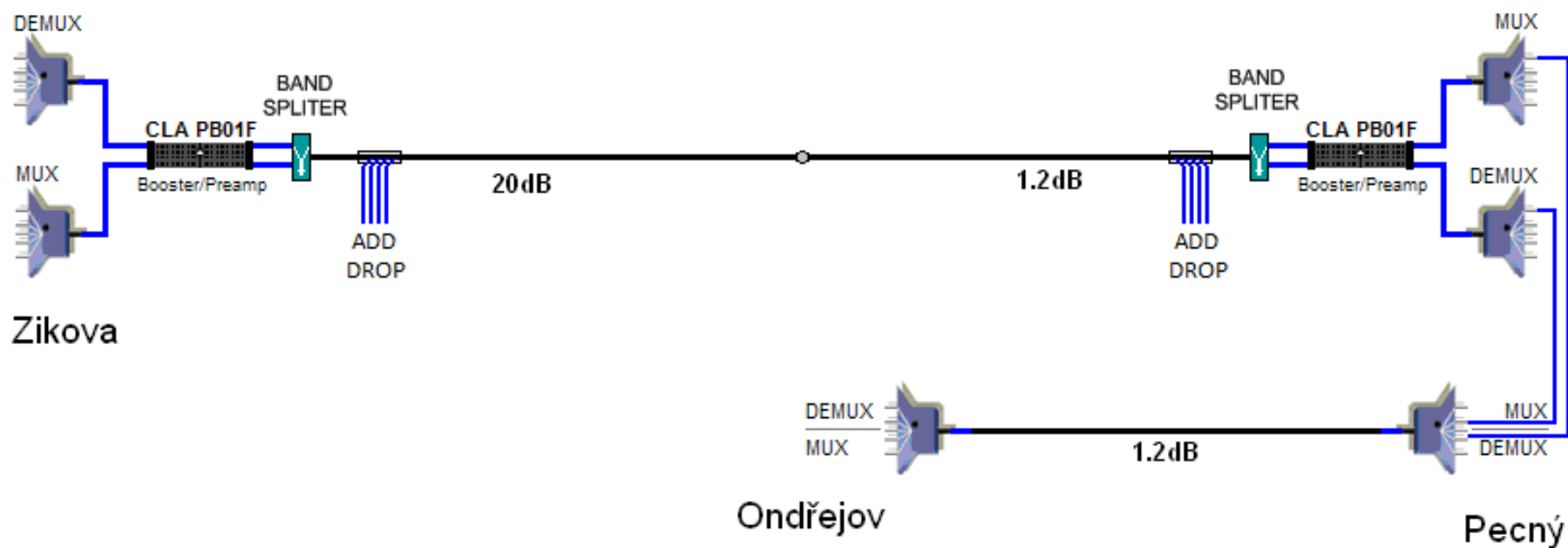
➤ Ondřejov-Pecný jsou dvě vlákna (krátká vzdálenost)

➤ Přesný čas nutný mezi Prahou a Pecným

Přenosy signálů citlivých na časování, pokročilé přepínače pro Open DWDM

Propojení Praha-Ondřejov-Pecný

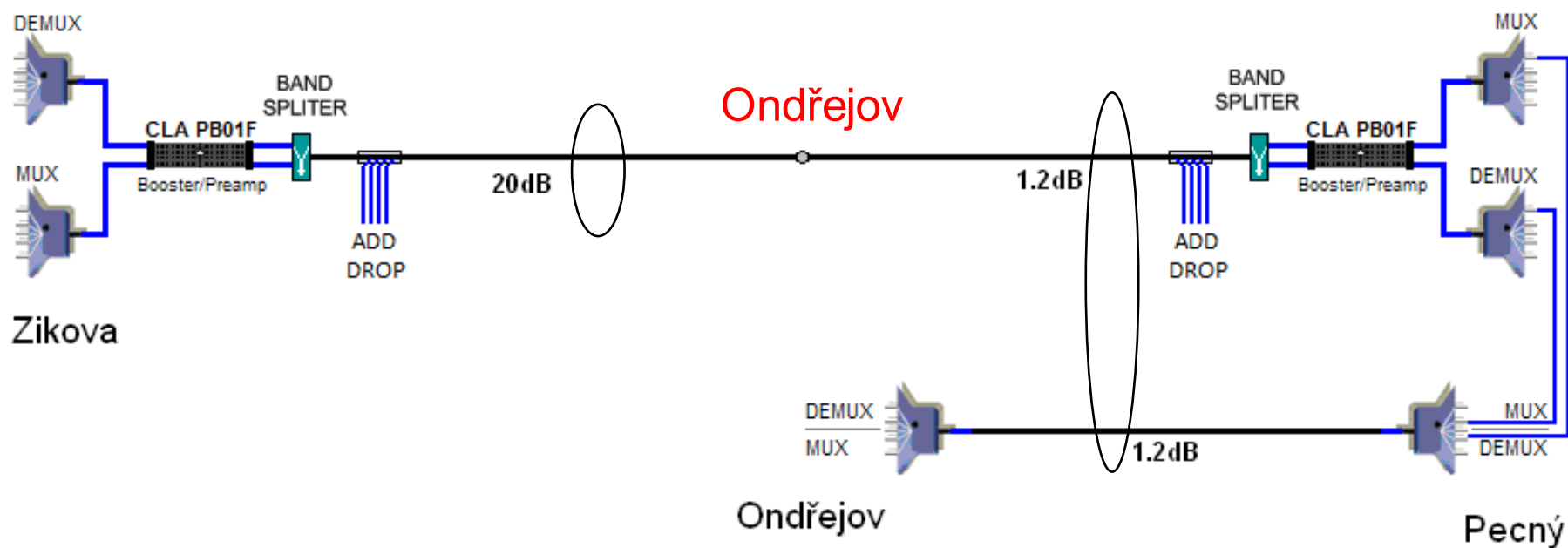
➤ Návrh: M. Hůla, CESNET



Přenosy signálů citlivých na časování, pokročilé přepínače pro Open DWDM

◆ Propojení Praha-Ondřejov-Pecný

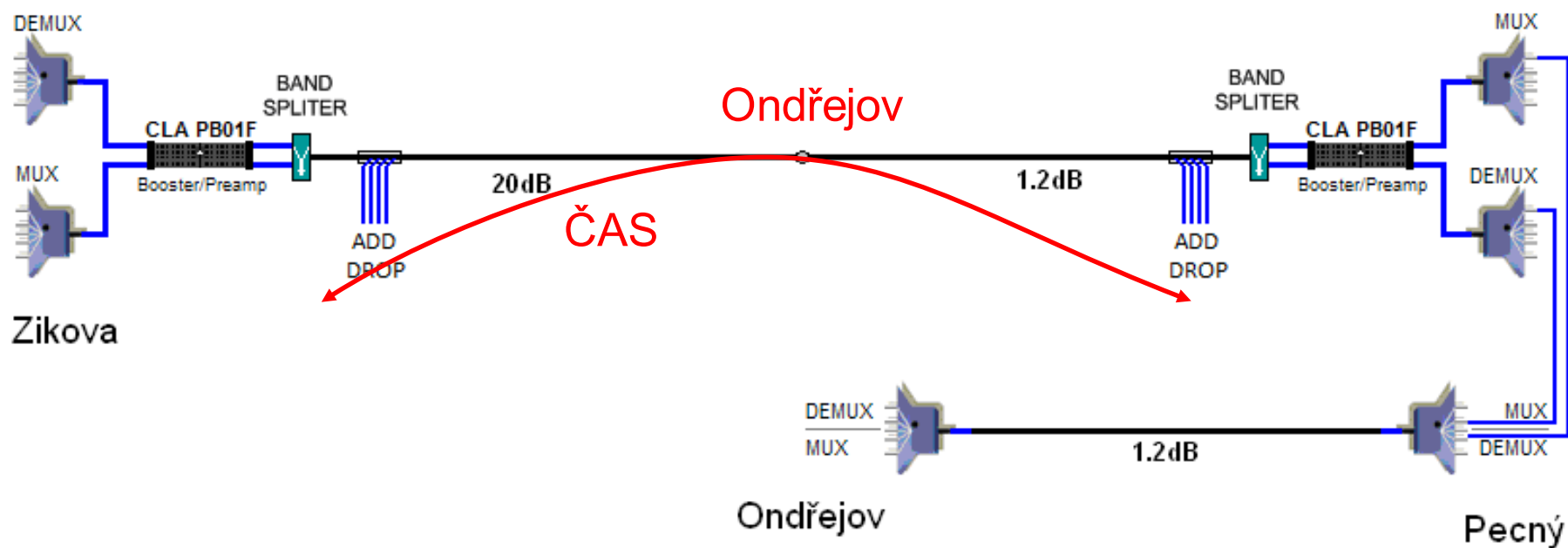
➤ Návrh: M. Hůla, CESNET



Přenosy signálů citlivých na časování, pokročilé přepínače pro Open DWDM

Propojení Praha-Ondřejov-Pecný

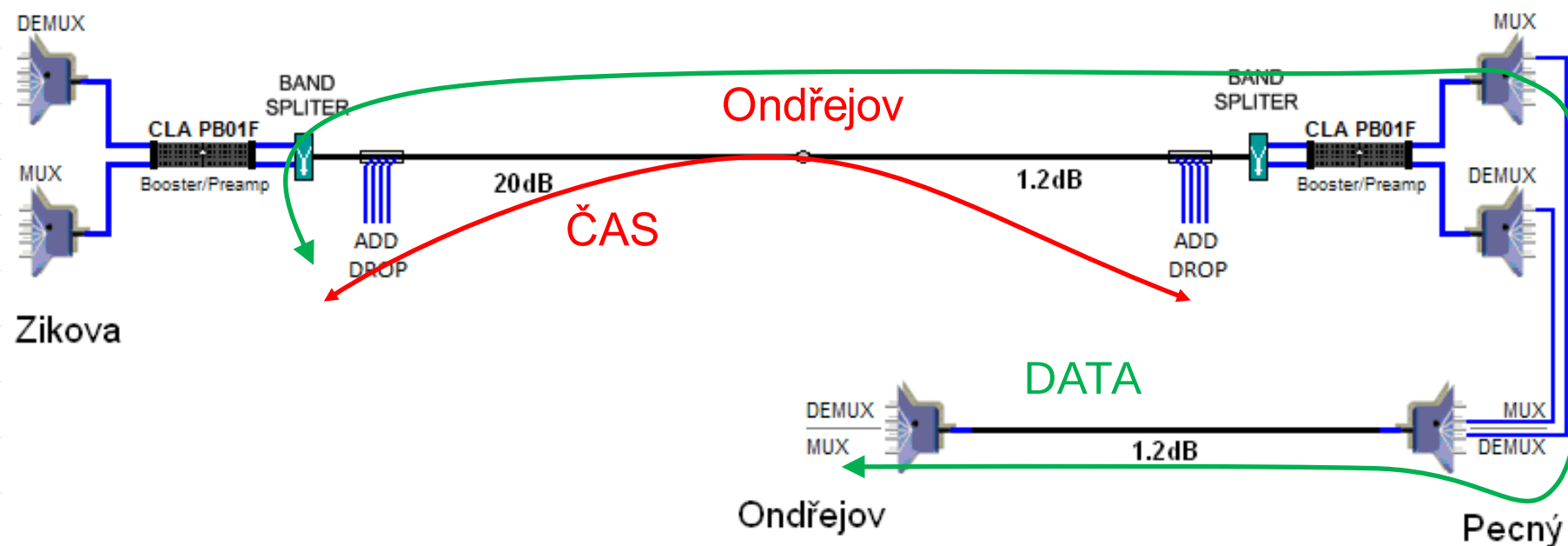
➤ Návrh: M. Hůla, CESNET



Přenosy signálů citlivých na časování, pokročilé přepínače pro Open DWDM

Propojení Praha-Ondřejov-Pecný

Návrh: M. Hůla, CESNET



Přenosy signálů citlivých na časování, pokročilé přepínače pro Open DWDM

- ◆ Tyto nové aplikace/služby se specifickými požadavky jsme nazvali Fotonické služby (Photonic Services)
- 2010 byl tento termín použit experty CESNETu (pokud je nám známo je to první použití a definice pro nový typ ‚nedatových‘ služeb)
- 2011 PSs popsány v GN3 Deliverable DS1.1.1,2 Final GÉANT Architecture
- 2013 PSs se věnuje dokument Photonic Services: Challenge for Users and for Networkers
- FS/PS - plně optické spojení bez optoelektrické (OEO) konverze
- Jak lze Fotonické služby nasadit, monitorovat, využívat

Přenosy signálů citlivých na časování, pokročilé přepínače pro Open DWDM

◆ 100G koherentní systémy a jejich nasazování

- Kompatibilní s 10G OOK, 25GBaud DP-QPSK
- Ale lze nasadit 10G a 100G současně? Jak to bude s kompenzací chromatické disperze? Ovlivňování 10G a 100G mezi sebou?
- A co Fotonické služby a jejich život vedle 10G a hlavně 100G?

◆ 100G dnes běžné (od 2009, 2010) – 400G?

- Parametry se dost různé, např. tolerance k CD 29 000 až 80 000 ps ovšem tyto hodnoty jsou fantastické (1200ps pro 10G) díky DSP
- Doporučení výrobců se různí taktéž
- Nejasnosti zejména v kompenzaci CD a vlivu pomalých (tj. 10G a méně) signálů na 100G signály

Přenosy signálů citlivých na časování, pokročilé přepínače pro Open DWDM

◆ 100G a chromatická disperze

- Výrobci doporučují tzv. DCM-free sítě, což přináší (má přinášet) úspory a zvýšení dosvitu
- To je pravda pouze při použití starší techniky kompenzace CD s pomocí kompenzačních vláken DCF (nově mřížky FBG)
- DCM je Module, také se objevuje DCU což je Unit – bezobsažná slova, musí být uvedeno DCF nebo FBG (jako nestačí MM vlákno)
- DCF jsou drahá, mají velký útlum, vliv nelinearit (malý průměr jádra), zvýšení zpoždění (na 100km G.652 cca 8km DCF) – všechno jsou to fakta
- Ovšem bez kompenzace CD nelze nasadit staré dobré 10G NRZ OOK (\$) transceivery, VŠUDE musí být 100G koherentní karty (\$\$\$) což úspory nepřináší

Přenosy signálů citlivých na časování, pokročilé přepínače pro Open DWDM

◆ 100G a chromatická disperze

- K dispozici jsou ale nejen DCF (\$), nýbrž Braggovy mřížky FBG (\$)
- FBG jsou levnější, nesnižují dosvit (žádné nelinearity), nezvyšují zpoždění (délka 10cm až metry, rozdíl oproti DCF 1:10⁴)
- Lze nalézt několik příspěvků z prestižních konferencí (OFC), kde je zmíněn naopak pozitivní vliv FBG na 100G signály [Tip]
- Je také jasné že pokud systém toleruje např. 30 000ps tak delší dosvit je možný POUZE S KOMPENZACÍ CD [Ter]
- Většina výrobců použití FBG nedoporučuje
- Technické důvody nejasné (filtrační efekt, fázové zvlnění) ale zároveň „100G zvládnou vše“
- Je jasné že s FBG/DCF je možné použít 10G technologii - což je levné

Přenosy signálů citlivých na časování, pokročilé přepínače pro Open DWDM

◆ 100G a chromatická disperze



Přenosy signálů citlivých na časování, pokročilé přepínače pro Open DWDM

◆ 100G a chromatická disperze

- Musíme být nestraní a zmínit existenci dvou typů FBG – kanálované a nekanálované (jako DCF kompenzují všude)
- Kanálované kompenzují jen na ITU gridu a filtrační efekt skutečně existuje, ovšem filtruje každý mux/demux, ROADM, WSS (10-20-40)
- Stejně jako nepoužívat optické zesilovače protože zhoršují odstup signál/šum – to je fakt ale bez nich to zkrátka nejde! Také zvyšují latenci (EDFA obsahují vlákno, ne tak ramanovské zesilování)!
- Nekanálované FBG jsou pravda dražší, ale pořád levnější než DCF – POKUD SE KUPUJÍ OD VÝROBCE (Original Equipment Manufacturer)
- Value-added reseller (VAR) přidá nejen hodnotu ale i cenu, ta může být 2x, 3x ale také 10x vyšší (známe např. z automobilového průmyslu) než OEM, co třeba Money-added reseller (MAR)

Přenosy signálů citlivých na časování, pokročilé přepínače pro Open DWDM

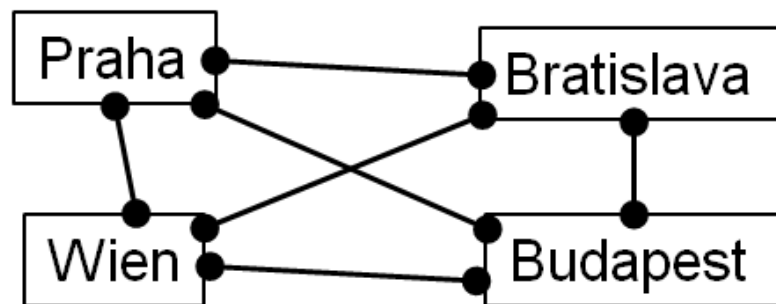
◆ 100G a chromatická disperze

- Tento OEM a VAR vztah postihuje také další komponenty, známý příklad jsou 10G transceivery
- Je jasné, že pokud je cena FBG a 10G transceiverů navýšena 5x, konkurenceschopnost 10G oproti 100G se vytrácí (pro delší trasu a víc kanálů, bod-bod ne)
- Autor prezentace samozřejmě uznává právo VAR určovat cenu ale má stejné právo se vyjádřit když je to pouze MAR
- DCM-free síť pak nemůže využívat výhod flexibilních optických sítí s ROADM
- A co 400G/1T? Dosvit nemusí být jako u 100G viz [Aug]
- Dobrý příklad může být hypotetické ale nikoliv nereálné propojení Praha-Vídeň-Bratislava-Budapešť

Přenosy signálů citlivých na časování, pokročilé přepínače pro Open DWDM

◆ 100G a chromatická disperze

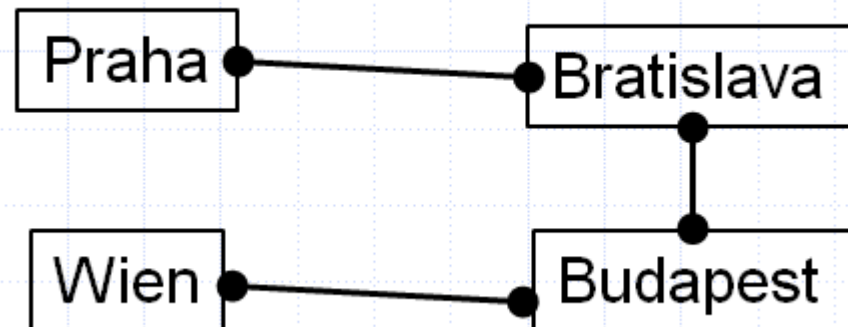
- Praha-Vídeň-Bratislava-Budapešť
- Bez DCF/FBG potřebujeme 12x100G transpondér/muxpondér - \$\$\$\$\$\$
- 100G transpondér/muxpondér je bod-bod
- Není možné spojit Prahu a Budapešť přes jiné město (pokud nemáme nasazen plně funkční OTN systém který elektricky propojí část kapacity v Bratislavě nebo Vídni, \$\$\$\$\$\$)
- Muxpondéry/transpondéry používají OTN pouze pro framing, plná OTN funkcionalita něco stojí (jako u SDH)



Přenosy signálů citlivých na časování, pokročilé přepínače pro Open DWDM

◆ 100G a chromatická disperze

- Praha-Vídeň-Bratislava-Budapešť
- Ve skutečnosti je možné získat přímé spojení Praha-Budapešť s využitím tzv. vlásenkování/sponkování (hairpinning)
- Spojíme MANUÁLNĚ dva 10G porty v Bratislavě a jeden 10G ,kanál' bude k dispozici
- Hairpinning je dobře znám ze starých SDH a PDH systémů
- V extrémním případě tímto dokážeme spojit všechna města ale veškerá flexibilita je ztracena
- S DCF/FBG nasadíme 10G a je to



Přenosy signálů citlivých na časování, pokročilé přepínače pro Open DWDM

◆ 100G a pomalé signály

- Problém vlivu OOK na (Q)PSK znám (amplitudová modulace ovlivňuje fázovou)
- Vyjádření výrobců nejednoznačné (od koexistence 10/40/100G bez problémů až po doporučení zcela eliminovat OOK)
- Fotonická služba přesný čas Praha-Vídeň je nejhorší případ, pod 1Gb/s, doporučení výrobce: použít velký odstup od 100Gb/s signálu
- Experimenty kdy jsme snižovali tento odstup až na 50GHz s výsledkem – chybovost 100G produkčního kanálu zůstala STEJNÁ (velmi malé rozdíly zapříčiněny výkonovou nevyrovnaností protože ROADM není bezbarvé), poděkování J.Verichovi a K.Slavíčkovi protože toto bylo prováděno na produkční síti CESNET2

Přenosy signálů citlivých na časování, pokročilé přepínače pro Open DWDM

◆ Závěry?

- Nové druhy aplikací které se nespokojí s 100G jsou zde
- Nejen čas/frekvence a real-time ale např. high speed trading, o 1ms kratší dopravní zpoždění vydělá \$100M za rok (nový transatlantický kabel) – FBG (a ramany) vhodný kandidát? I když 98% zpoždění je vlákno, zbytek FEC a další.
- Mohou existovat vedle tradičních datových služeb
- Nové směry (tzv. DCM-free) nemusí být vhodné pro všechny uživatele/operátory
- Zařízení (ROADM) dnes poskytují dostatečnou flexibilitu ale způsob využití je dosti tradiční

Přenosy signálů citlivých na časování, pokročilé přepínače pro Open DWDM

❖ Závěry?

- I jasné experimenty nepřesvědčí (vliv FBG a pomalých signálů na kvalitu 100G), 1000km s FBG a DCF a 1/10/100G, Cisco, ALU, Open
- Podobný problém s alien waves (i přes existující ITU doporučení)
- Ani příspěvky z prestižních konferencí nejsou dostatečný argument
- Nerozlišování FBG a DCF vede ke špatným výsledkům – stejné jako nerozlišovat různé druhy multimodových vláken G.651 (1GE od 250m do 1100m, 10GE od 26m do 550m, 40/100GE od 0m do 170m)
- Stejně tak i nasazování OTN (SDHv3 nebo spíš superrychlá PDH)
- Autorovy poznámky ke 100G systémům jsou založeny na osobní zkušenosti v evropském tendru

Přenosy signálů citlivých na časování, pokročilé přepínače pro Open DWDM

◆ Závěry?

- Je dobré vědět co síť (a zařízení) **doopravdy** umožňuje – měření a **vyhodnocení**
- Co všechno je třeba měřit?
- Měření OTDR, CD/PMD je základ (PMD podél tratí apod.)
- Potřebná i další měření jako je in-band šum, velmi přesná spektrální měření, analýza modulačních formátů, konstelace
- Protokolová analýza 100G (OTN, Ethernet), 40G, 10G
- Analýza signálů osciloskopem (až 4x30G elektricky)
- Zaměření nejen na vysoké rychlosti – využít potenciál nových možností
- Nepodlehnout jednostranné argumentaci a nepodcenit parametry.

Přenosy signálů citlivých na časování, pokročilé přepínače pro Open DWDM

[Tip] E. Tipsuwannakul et al, Mitigation of Fiber Bragg Grating-Induced Group-Delay Ripple in 112 Gbit/s DP-QPSK Coherent Systems, OFC 2012.

[Ter] Benoit Maheux-Lacroix, TeraXion, High Level Dispersion Compensator for Ultra Long-Haul Coherent Detection Links, 2012, http://www.teraxion.com/images/stories/pdf/White_paper_HLDC_v5.pdf

[Aug] J.L. Augé, Can we use Flexible Transponders to Reduce Margins?, OFC 2013.

[PS] GN3 report, Photonic Services: Challenge for Users and for Networkers, 2013.

[Kik] K. Kikuchi: Coherent Optical Communications: Historical Perspectives and Future Directions, Springer, 2010.

[Mak] S. Makovejs: High-speed optical fibre transmission using advanced modulation formats, PhD thesis, UCL, 2011.

Přenosy signálů citlivých na časování, pokročilé přepínače pro Open DWDM

Poděkování:

Lada Altmanová, Jan Gruntorád, Miloslav Hůla, Martin Míchal, Jan Nejman, Václav Novák, Karel Slavíček, Vladimír Smotlacha, Stanislav Šíma, Pavel Škoda, Josef Verich, Josef Vojtěch

Přenosy signálů citlivých na časování, pokročilé přepínače pro Open DWDM

zesilovač (preselektor) a detektor. To by vedlo ke značné komplikaci při přeladování přijímače, neboť by se měnilo zesílení v elektronice. Proto se od dalšího rozšiřování přímo zesilujících přijímačů upouští a zavádějí se metody jiné. Přímé zesilující přijímače se používají jen pro poslech vysílání místních nebo vysílání velkých výkonů, nejčastěji v pásmu krátkých vln, a to zejména pro měření.

c) Superheterodynní rozhlasové přijímače

Nedostatků tkví v malé citlivosti a selektivitě běžných přímo zesilujících přijímačů lze odstranit zavedením metody nepřímého zesílení, tzv. superheterodynní. Metoda superheterodynní je založena

Obr. 261. Blokové schéma superheterodynního přijímače

na směšování dvou signálů proměnných kmitočetů, a to signálu vstupního (z antény) a signálu oscilátorového (vlastní oscilátor přijímače); získá se tím signál třetí o konstantním kmitočtu. Tomuto třetímu kmitočtu říkáme kmitočet mezifrekvenční. K zesilování tohoto mezifrekvenčního kmitočtu se používá pásmových vysokofrekvenčních zesilovačů s velkým zesílením, kterého lze dosáhnout např. ve vlnovém pásmu kmitočetů, na něž jsou vyladěny obvody mř. kmitočtu. Vstupní obvody přijímače mají poměrně malou selektivitu, a tedy i odladivost, neboť musí pokud možno nezkráceně přenášet celou šířku požadovaného akustického pásma kmitočetů. Přesto však superheterodynní přijímač má velkou selektivitu a citlivost, která je dána hlavně jakostními

vázanými obvody mezifrekvenční zesilovače a jeho velmi zesílením.

Superheterodynní přijímače se skládají z těchto hlavních částí: vstupní laděný obvod, směšovač a oscilátor nebo měnič kmitočtu, je-li směšovač i oscilátor tvořen jednou elektronkou, jednoho nebo více mezifrekvenčních zesilovačů, detekčního stupně, napěťového (nř) zesilovače a konečného stupně s reproduktorem. Toto složení superheterodynního přijímače je vyznačeno na obr. 261. Jednotlivé díly přijímače a jejich činnost jsou zevrubně popsány v článku 44.

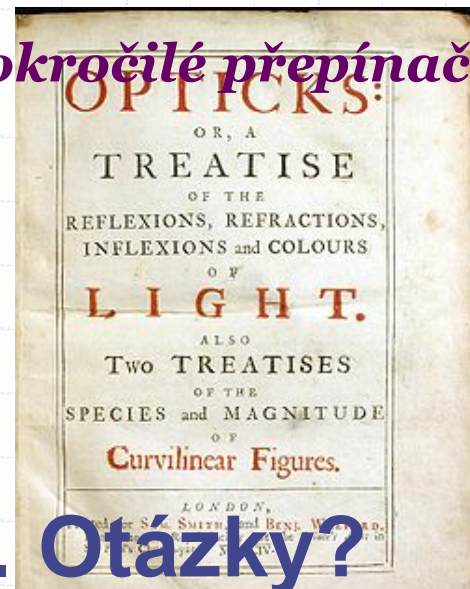
Obr. 262. Blokové schéma synchronního přijímače

d) Synchronní přijímače

Jsou to přijímače, které při poměrně jednoduchém zapojení s malým množstvím laděných obvodů dávají dobrou selektivitu a dostatečnou citlivost. Jsou založeny na principu směšovací detekce. Vstupní signál se směšuje ve směšovacím detektoru se signálem místního oscilátoru, který musí mít stejný kmitočet jako signál vstupní, je

Obr. 262. Blokové schéma synchronního přijímače

si synchronizaci oscilátoru se vstupním obvodem.



Děkuji za pozornost. Otázky?

