

# *Nové směry v návrhu a realizaci sítí - vyřeší koherentní systémy vše?*



Jan Radil

OPTICKÉ KOMUNIKACE 2013

## *Nové směry v návrhu a realizaci sítí - vyřeší koherentní systémy vše?*

- ◆ 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](http://www.cesnet.cz)

## *Nové směry v návrhu a realizaci sítí - vyřeší koherentní systémy vše?*

- ◆ Nové směry ve stavění sítí, zejména s přihlédnutím ke koherentní optické technologii
  - ,koherentní` používáno v různých významech, skutečné kouzlo v elektrickém zpracování signálu
  - ,koherentní` systémy zvládají linearity (CD), náhodnost (PMD) ale ne nelinearity (SPM, XPM, FWM), to je stejné jako u 1G/2.5G/10G [Kar]
- ◆ Kompenzace chromatické disperze
  - má CD opravdu tak negativní vliv jak se říká? Není CD náš přítel?
- ◆ Současně 100G a 10G a případně další pomalé signály – tzv. Fotonické služby (exotické nové aplikace jako je přenos přesného času a velmi stabilní frekvence) nebo rychlé obchodování...

## *Nové směry v návrhu a realizaci sítí - vyřeší koherentní systémy vše?*

### ◆ 100G koherentní systémy a jejich nasazování

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

### ◆ 100G dnes běžné (od 2009, 2010) – 400G 2013?

- Parametry se dost různí, např. tolerance k CD 29 000 až 80 000 ps, hodnoty jsou to fantastické (1200ps pro 10G) díky číslicovému zpracování signálu (že je systém koherentní ještě nedělá kouzla, 60.léta - střední školy učily o koherentních přijímačích)
- Doporučení výrobců se různí taktéž, umí systém max. CD a PMD?
- Nejasnosti zejména v kompenzaci CD a vlivu pomalých (tj. 10G a méně) signálů na 100G signály

## *Nové směry v návrhu a realizaci sítí - vyřeší koherentní systémy vše?*

### ◆ 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

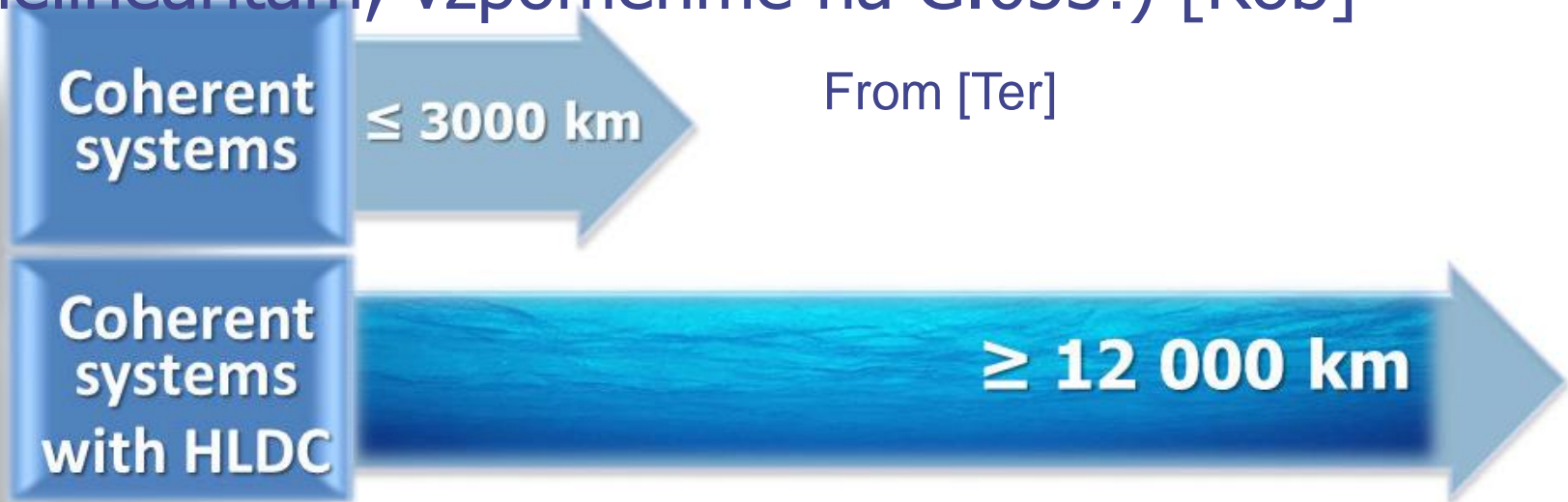
## *Nové směry v návrhu a realizaci sítí - vyřeší koherentní systémy vše?*

### ◆ 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 1:10<sup>4</sup>)
- 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 protože nemusíme všude nasadit 100G karty

## *Nové směry v návrhu a realizaci sítí - vyřeší koherentní systémy vše?*

- ◆ 100G a chromatická disperze
- ◆ A což teprve CD a 400G/1T systémy:
- ◆ Dosvit jen 500-700km! Dle pana Kima Robertse (přes 100 patentů). Také CD je přítel (protože bojuje proti nelinearitám, vzpomeňme na G.653!) [Rob]



## *Nové směry v návrhu a realizaci sítí - vyřeší koherentní systémy vše?*

- ◆ 100G a chromatická disperze
- ◆ Trend zbavit síť kompenzátorů protože „100G umí vše“, „špatná kompenzace“ není pro budoucí povýšení
- ◆ Když přijde povýšení 100G->400G zjistíme že dosah není 2000km ale 500km – co s tím?
- ◆ Nasadíme elektrickou regeneraci což ale znamená dvojice 400G transpondérů - \$\$\$\$\$\$
- ◆ Budeme dělat vlásenkování (hairpinning) na 100G portech? \$\$\$\$\$\$
- ◆ S kompenzací CD povýšení není takový problém



## *Nové směry v návrhu a realizaci sítí - vyřeší koherentní systémy vše?*

### ◆ 100G a pomalé signály

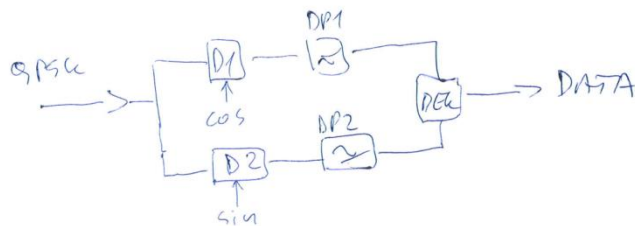
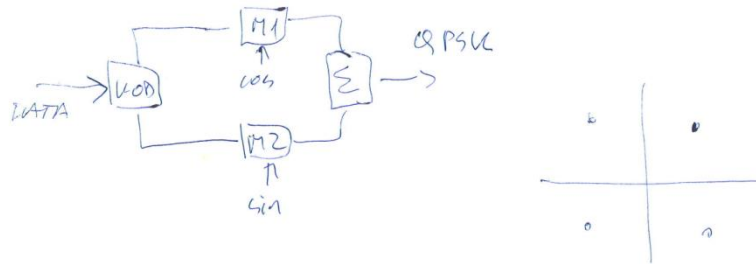
- Problém vlivu ASK/OOK na (Q)PSK znám (amplitudová modulace ovlivňuje fázovou, XPM)
- Ale QPSK a QAM sdílejí mnohé – proč by (Q)AM měla škodit A(SK)?
- Vyjádření výrobců nejednoznačné (od koexistence 10/40/100G zcela bez problémů až po doporučení zcela eliminovat OOK), jasné doporučení/pravidla autor nezískal i když se snažil
- Fotonická služba přesný čas Praha-Vídeň je nejhorší případ, pod 1Gb/s, doporučení výrobce: použít velký odstup od 100G 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

# Nové směry v návrhu a realizaci sítí - vyřeší koherentní systémy vše?

## ◆ 100G a pomalé signály

- Problém vlivu OOK na (Q)PSK znám (amplitudová modulace ovlivňuje fázovou, XPM)
- Ale QPSK a QAM sdílejí mnohé – proč by (Q)AM měla škodit A(SK)?

↳ - PSK (Q PSK)



Q – quadrature nebo také quaternary

Čtyřstavová modulace (nebo čtvercová  
nebo počtverná modulace)

# Nové směry v návrhu a realizaci sítí - vyřeší koherentní systémy vše?

## ◆ 100G a pomalé signály

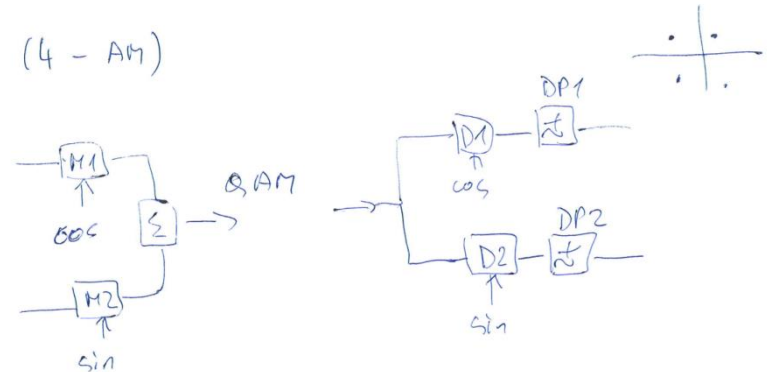
- Problém vlivu OOK na (Q)PSK znám (amplitudová modulace ovlivňuje fázovou)
- Ale QPSK a QAM sdílejí mnohé – proč by (Q)AM měla škodit A(SK)?

Q – quadrature nebo také quaternary

Čtyřstavová modulace (nebo čtvercová nebo počtverná modulace)

4 ASK samozřejmě není QAM!  
(čtyřstavová amplitudová modulace  
není čtvercová amplitudová modulace)

QAM (4 - AM)

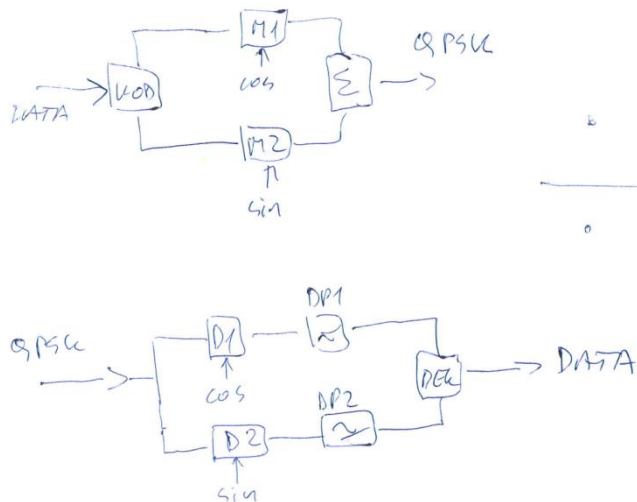


# Nové směry v návrhu a realizaci sítí - vyřeší koherentní systémy vše?

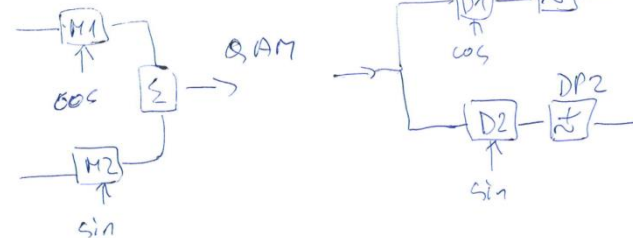
## ◆ 100G a pomalé signály

- Problém vlivu OOK na (Q)PSK znám (amplitudová modulace ovlivňuje fázovou)
- Ale QPSK a QAM sdílejí mnohé – proč by (Q)AM měla škodit A(SK)?
- Takže máme vlastně 100G DP-4QAM? (je také 16QAM, 256QAM, navíc hvězdicová, čtvercová...).

4 - PSK (Q PSK)



QAM (4 - AM)



## *Nové směry v návrhu a realizaci sítí - vyřeší koherentní systémy vše?*

### ◆ Závěry I

- 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.
- (Proč nikdo nemá ‚photonic crystal‘ vlákno – rychlost šíření 300 000km/s, kampak na to kratší kabel a DCM-free návrh/sít')
- Nové aplikace mohou existovat vedle tradičních datových služeb
- Nové směry (tzv. DCM-free) nemusí být vhodné pro všechny uživatele/operátory
- Vyřeší vše? Spojení typu Moskva-Peking ano, ale jinde zbývají zajímavé možnosti...

## *Nové směry v návrhu a realizaci sítí - vyřeší koherentní systémy vše?*

### ◆ Závěry II

- I jasné experimenty nepřesvědčí (vliv FBG a pomalých signálů na kvalitu 100G), 1000km s FBG a DCF a 1/10/100G, Cisco, ALU, OpenDWDM
- 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 k diskuzi (OTN je SDHv3 nebo spíš superrychlá PDH, \$\$\$\$\$)
- Autorovy poznámky ke 100G systémům jsou založeny na osobní zkušenosti v evropském tendru

## *Nové směry v návrhu a realizaci sítí - vyřeší koherentní systémy vše?*

### ◆ Závěry III

- Je dobré vědět co síť (a zařízení) **doopravdy** umožňuje – měření a **vyhodnocení**
- Co všechno je třeba měřit? Linearity, nonlinearity...

# Nové směry v návrhu a realizaci sítí - vyřeší koherentní systémy vše?

## ◆ Závěry III

- Je dobré vědět co síť (a zařízení) **doopravdy** umožňuje – měření a **vyhodnocení**
- Co všechno je třeba měřit? Linearity, nonlinearity...

STŘEDNÍ HODNOTA VÝKONU (COIT)  $\bar{P}$

$$\bar{P} = e^{2(\bar{X} - \sigma_x^2)} \left[ \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{[x - (\bar{X} + 2\sigma_x^2)]^2}{2\sigma_x^2}} dx \right]$$

$$\bar{P} = e^{2(\bar{X} + \sigma_x^2)}$$



## *Nové směry v návrhu a realizaci sítí - vyřeší koherentní systémy vše?*

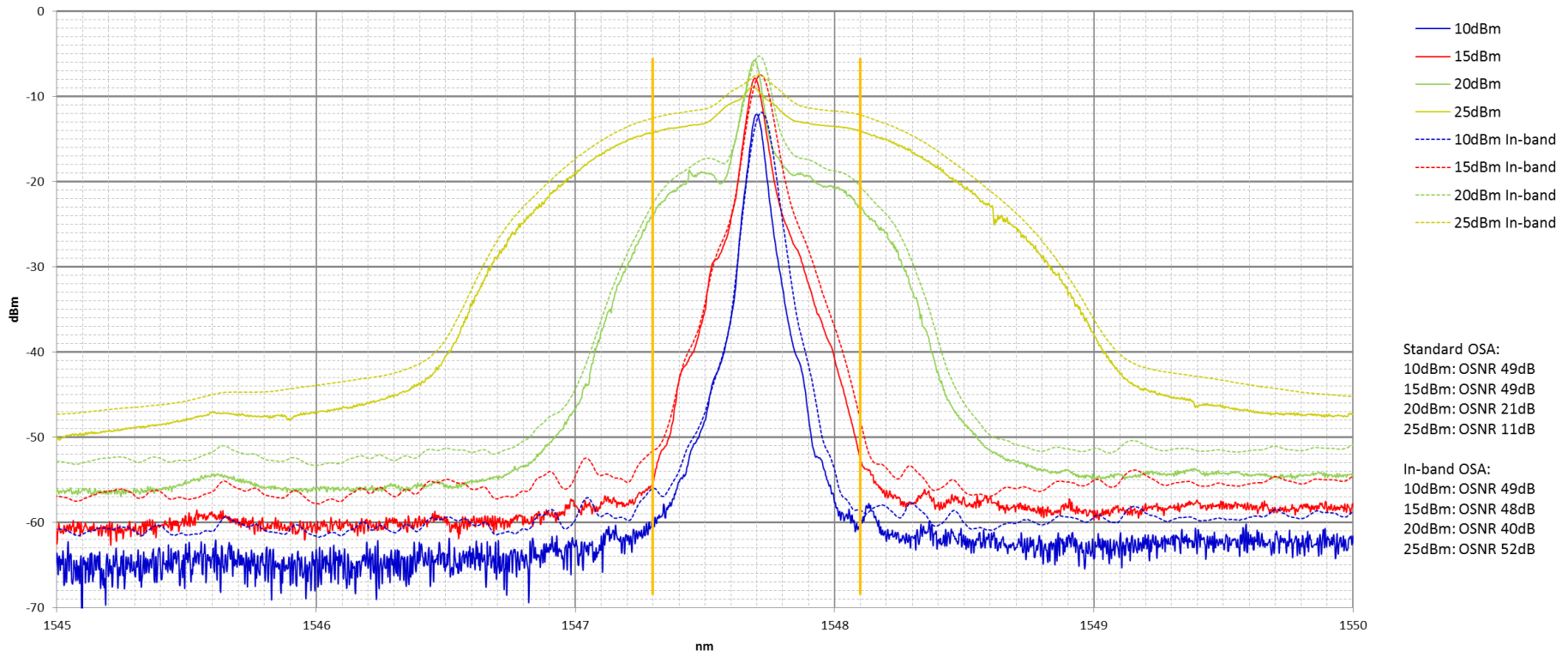
### ◆ Závěry III

- Je dobré vědět co síť (a zařízení) **doopravdy** umožňuje – měření a **vyhodnocení**
- Co všechno je třeba měřit? Linearity, nonlinearity...
- Měření OTDR, CD/PMD je základ (PMD podél železničních 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, nejen optika...)
- Zaměřením nejen na vysoké rychlosti – využít potenciál nových možností
- Nepodlehnout jednostranné argumentaci a nepodcenit parametry
- **CESNET nabízí služby měření a vyhodnocení**

# Nové směry v návrhu a realizaci sítí - vyřeší koherentní systémy vše?

## Závěry IV – nonlinearity, in-band šum(y)

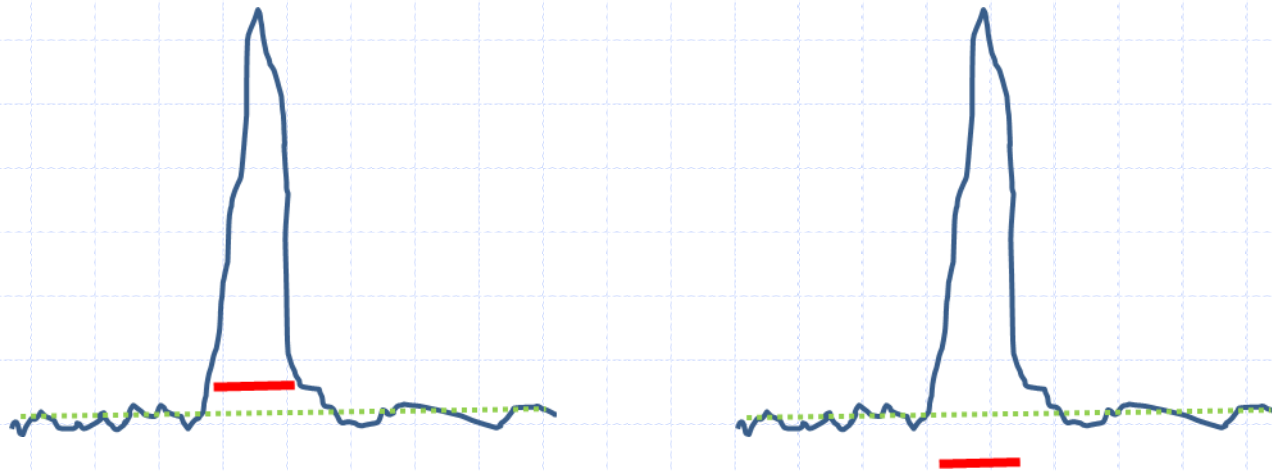
In-band OSA and Standard OSA: 10G NRZ OOK after 100km fibre, one EDFA



„Nafukování“ pro 1/10/100G signály!

## *Nové směry v návrhu a realizaci sítí - vyřeší koherentní systémy vše?*

### ◆ Závěry V – nonlinearity, in-band šum(y)



◆ Má cenu měřit? Ano.

◆ Vyřeší „koherentní“ vše? Určitě ne vždy a všude.

## *Nové směry v návrhu a realizaci sítí - vyřeší koherentní systémy vše?*

- [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](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.
- [Rob] K.Roberts, <http://www.gazettabyte.com/home/2012/5/30/2020-vision.html>
- [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.
- [Kar] M.Karásek et al: Optimalizace přenosu NRZ dat rychlostí 10Gb/s po G.652, OK2003. (vliv nelinearit, kompenzace CD)**
- [Mak] S. Makovejs: High-speed optical fibre transmission using advanced modulation formats, PhD thesis, UCL, 2011. (nejlepší text co jsem našel, velmi doporučuji)**

## *Nové směry v návrhu a realizaci sítí - vyřeší koherentní systémy vše?*

### Poděkování:

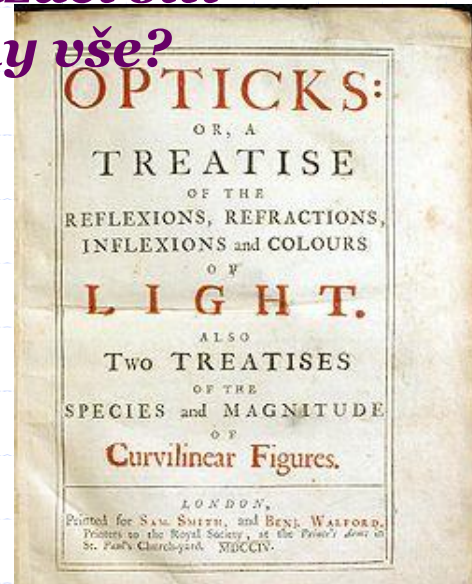
CESNET: Lada Altmanová, Jan Gruntorád, Miloslav Hůla, Martin Míchal, Jan Nejman, Václav Novák, Karel Slavíček, Vladimír Smotlacha, Stanislav Šíma, Pavel Škoda, Josef Verich, Josef Vojtěch

PROFiber Networking: Jan Brouček, Josef Beran

### **Poděkování a věnování:**

**Miroslav Karásek (1946-2013)**

# Nové směry v návrhu a realizaci sítí - vyřeší koherentní systémy vše?



zesilovačů (preselektorů) a detektorů. To by vedlo ke značné komplikaci při přeladování přijímače, neboť by se změnilo zesnění v zesilovači vzhledem k změně pracovní impedance obvodů v anodách vř elektronek. Proto se od dalšího rozšiřování přímo zesilujících přijímačů upouští a zavádějí se metody jiné. Přímou zesilujících přijímačů se používá jen pro poslech vysílacích místních nebo vysílacích velkých výkonů, nejčastěji v pásmu krátkých vln, a to zejména pro měření.

c) Superheterodynní rozhlasové přijímače

Nedostatků tkívá v malé citlivosti a selektivitě běžných přímo-zesilujících přijímačů lze odstranit zavedením metody nepřímoozesilující, 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 nebo přijímaný); oba se tím signál třetí o konstantním kmitočtu. Směšovací kmitočet říkáme kmitočet mezifrekvenční. K zesilování na tomto kmitočtu se používá pásmových vysokých frekvencí, které jsou s velkým zesněním, kterého lze dosáhnout nejlépe při konstantním kmitočtu, na něj jsou vyladěny obvody mř zesilovače. Proto musí dávat směšovač konstantní výstupní (mř) kmitočet. Vstupní obvody přijímače mají poměrně malou selektivitu, a tedy i odladivost, neboť musí pokud možno nezkrasleně přenášet celou šířku požadovaného akustického pásma kmitočetů. Přesto však superheterodynní přijímače má velkou selektivitu a citlivost, která je dána hlavně jakostními

vázanými obvody mezifrekvenčního zesilovače a jeho velkým zesněním.

Superheterodynní přijímače se skládají z těchto hlavních částí: vstupní laděný obvod, směšovač a oscilátor nebo méně kmitočetů, je-li směšovač i oscilátor tvořen jednou elektronekou, jednoho nebo více mezifrekvenčních zesilovačů, detekčního stupně, napájecího (mř) 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 vstupního oscilátoru, který musí mít stejný kmitočet jako signál vstupní, je

Obr. 263. Blokové schéma superheterodynního přijímače se synchronním detektem

víak posunut o 180°. Směšovač musí pracovat v přímkové části charakteristiky. Stejněho kmitočtu oscilátoru a vyladěného vstupního kmitočtu se dosahuje synchronizací oscilátoru se vstupním obvodem

## Děkuji za pozornost.

## Otázky?

