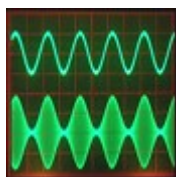


## Modulačné techniky v optickom prenosovom médiu II

Bartovič Kamil · Elektrotechnika, Študentské práce

21.05.2009



Dnešná časť seriálu o modulačných technikách naväzuje na [predošlú časť](#), v ktorej sme sa sústredili na teoretický opis jednotlivých typov modulácií ako aj na rôzne faktory, ktoré limitujú prenos.

### Najrozšírenejšie modulačné techniky v optickom médiu

#### 1) Modulácie v základnom pásme

##### NRZ a RZ modulácie (linkové kódy)

Tieto modulácie sú všeobecne používané v rozhraniach s „pomalými“ komunikačnými prenosmi. NRZ neobsahuje jednosmernú zložku, ako je to pri RZ modulácii. Ako už bolo spomenuté NRZ a RZ signály sa dajú realizovať aj unipolárne. Pravé unipolárna realizácia je používaná pri optických prenosoch. Predpokladajme, že amplitúda vyslaného signálu má hodnotu  $A$ , potom jednosmerná zložka signálu je  $A/2$ , tá sa prejaví ako impulzná funkcia s veľkosťou  $A^2/4$  pri nulovej frekvencii. Potom PSD (Power Spectral Density) unipolárneho NRZ signálu sa rovná:

$$\Psi_s(f) = \frac{A^2T}{4} \left( \frac{\sin \pi fT}{\pi fT} \right)^2 + \frac{A^2}{4} \delta(f) \quad (2)$$

kde  $A$  je amplitúda signálu,  $T$  je dĺžka trvania bitového intervalu,  $f$  je frekvencia,  $\delta(f)$  je sondovací impulz. PSD unipolárneho RZ signálu sa rovná:

$$\Psi_s(f) = \frac{A^2T}{16} \left( \frac{\sin \pi fT \frac{1}{2}}{\pi fT \frac{1}{2}} \right)^2 [1 + R_b \sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta(f - nR_b)] \quad (3)$$

kde  $R_b$  je bitová rýchlosť [1]

##### CS-RZ, porovnanie s NRZ a RZ

CS-RZ je modulačný formát, ktorý je odvodený od konvenčnej RZ modulácie. Hlavný rozdiel medzi týmito formátmi je, že pri CS-RZ modulácii je medzi susednými bitmi fázová zmena o  $\pi$ . Z tohto dôvodu je priemerné optické pole v CS-RZ rovné nule, nenachádza sa tu jednosmerná zložka. Priemerná hodnota optického signálu je znížená na jednu polovicu.

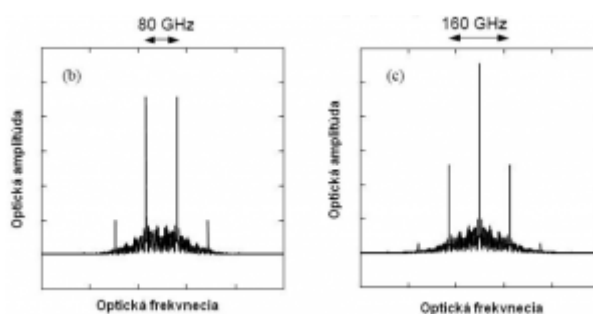
Práve pre tento fakt je CS-RZ modulácia pri vyšších prenosových rýchlostiach menej

náchylná na znehodnotenie signálu nelineárnymi efektmi, ktoré sa vyskytujú pri prenosoch s rýchlosťami 40 Gb/s a viac.

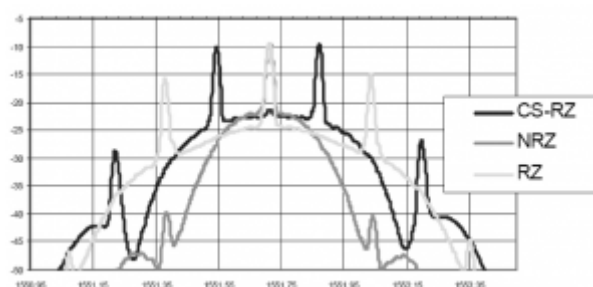
Táto modulácia sa vyznačuje lepším pomerom odstupe optického signálu od šumu ( OSNR- Optical Signal Noise Ratio ) v porovnaní s NRZ. Napriek týmto výhodám má CS-RZ obmedzenie pre systémy s hustým vlnovo dĺžkovým multiplexom ( DWDM - Dense Wavelength Division Multiplexing), nakoľko nemôže pracovať pri 50 GHz mriežke, ktorá je nevyhnutá k podpore 80-tich kanálov DWDM systémov. Pre toto obmedzenie sa CZ-RZ využíva v systémoch pracujúcich s 100 GHz mriežkou pri použití 40 kanálov.

Nelineárne efekty vo vláknach sú spôsobené najmä veľkosťou energie signálu. Nakoľko pri tejto modulačnej technike je energia signálu znížená na polovicu, je tento signál odolnejší voči nelineárnym efektom. Zvýšiť počet kanálov pri použití vlnovo dĺžkového multiplexu (WDM - Wavelength Division Multiplexing) a zúžiť kanálové rozostupy (channel spacing) sú základne body, ktoré sa budú musieť dosiahnuť, aby spektrálne šírka a úzke kanály vyhovovali budúcim optickým sieťam, potrebe šírky pásma a kapacity. Týmto požiadavkám sa prispôsobuje aj modulačný formát CS-RZ.

Následné je potrebné upraviť signál pre čo najväčšiu vzdialenosť medzi dvoma regenerátormi. Použitie RZ formátov, bez ďalšej úpravy nie je vhodné pre optický prenos. Jednotlivé impulzy sú úzke a preto ich spektrum je široké v porovnaní s NRZ formátom. Práve z tohto dôvodu sa využíva CS-RZ, kde ako sme spomínali vyššie, nastáva síce navráť k nule, no každý susediaci bit je s inou fázou. To má za efekt odstránenie optického nosného komponentu z optického spektra a redukovanie spektrálnej šírky na polovicu, povoľujúc zhustenie rozmiestnenie kanálov pri WDM. Spektrálna využiteľnosť sa zvýši  $>0.4$  bit/s/Hz. V obrázku Obr. 2 môžeme vidieť porovnanie robustnosti RZ (c) signálu s CS-RZ (b) pri 80 Git/s pri nelineárnom efekte SPM a interakcii susedných impulzov, v Obr. 3 porovnanie spektier CS-RZ, NRZ a RZ pre 40 Gbit/s [5].



Obr.2 Optické spektrum pre 80 Gbit/s CS-RZ signál (b), 80 Gbit/s pre RZ signál (c)



Obr.3 Optické spektrum pre vlnovú dĺžku 1550 nm pre 40 Gbit/s.

Vidíme, že pri zmene mriežky CS-RZ je zmena mriežky oproti NRZ polovičná (80GHz  $\leftrightarrow$  160GHz). Taktiež je z obrázku Obr. 2 vidno, že je odstránená jednosmerná optická zložka. Pri požiadavke dosiahnuť výraznejšie zväčšenie prenosovej kapacity (10Gb/s a viac) musíme prejsť od on/off keying modulácie na viacstavovú moduláciu ako napríklad ASK, FSK, PSK. To je ale jedine možné ak prejdeme od nekoherentného svetla ku koherentnému.

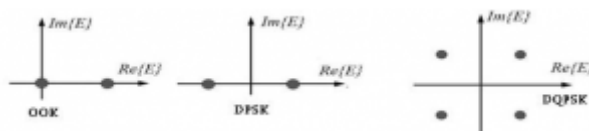
NRZ, RZ či CS-RZ modulácie nie sú ako také (samé o sebe) vhodné na prenos vyšších prenosových rýchlostí ako 40Gb/s  $\sim$  XXX Gb/s. Pri nasadení týchto modulácii dochádza k výrazným vzrastom chybovosti, ktorá je spôsobená hlavne prítomnosťou faktora PMD (Polarization Mode Dispersion) a iných. Tieto nedostatky sa pri použití systémov s hustým vlnovo dĺžkovým multiplexom (DWDM - Dense Wavelength Division Multiplexing) budú značne prejavovať a znehodnocovať prenos. Práve pre tento fakt sa hľadajú nové modulačné metódy, a to v modulácie v preloženom pásme.

## 2) Modulácie v preloženom pásme

Medzi základné patria:

- (NRZ, RZ, CSRZ) - **ASK (OOK)**
- (NRZ, RZ, CSRZ) - **DPSK** (Differential Phase-Shift Keying)
- (NRZ, RZ, CSRZ) - **DQPSK** (Quadrature DPSK (4-DQSK))
- (NRZ, RZ, CSRZ) - **DUOBINARY**

Ako už bolo spomenuté, sú to techniky, ktoré pracujú s koherentnými systémami, a ich realizácia vychádza z časti aj z linkových kódov (NRZ, RZ, CSRZ), resp. toku dát. Konceptia signálového priestoru pre modulačné techniky v optike je na Obr. 4.



Obr.4 Symbolové rozmiestnenie pre viacstavové modulácie

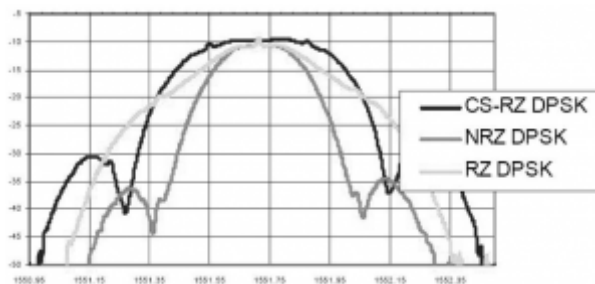
### Základné charakteristiky viacstavových modulácií

#### OOK

- technicky nenáročná, ľahko detekovateľná
- 1 prenesený symbol = 1 bit

#### DPSK

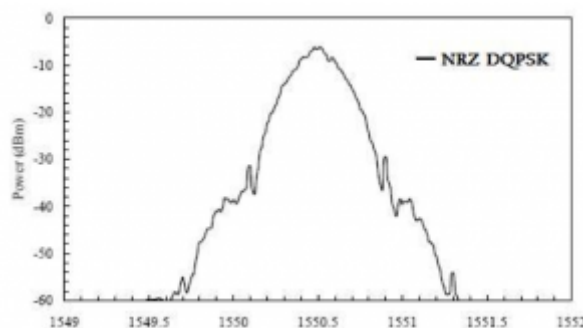
- zložitejšia detekcie zmeny fázy
- bit {0, 1} -> symboly {-1, 1}
- fázová zmena { $\exp j\pi$ ,  $\exp j0$ }
- 1 prenesený symbol = 1 bit



Obr.5 Spektrálne funkcie pre DPSK

## DQPSK

- náročná detekcia zmeny fázy (drahé)
- bit {00,01,10,11} -> symboly
- $\{\exp\pm j\pi/4, \exp\pm j3\pi/4\}$
- 1 prenesený symbol = 2 bit;  $T_s = 2T_b$
- šírka pásma je iba polovica z prenosovej rýchlosti [6]



Obr.6 Spektrálne funkcia pre NRZ DQPSK

Jednotlivé optické spektrálne funkcie pri vlnovej dĺžke 1550 nm sú na obrázkoch Obr. 5 pre DPSK, Obr. 6 pre NRZ DQPSK, Obr. 3 pre OOK.

## DUOBINARY

Duobinary modulácia je schéma pre prenos  $R$  bitov/s s použitím menej ako  $R/2$  Hz šírky pásma. Nyquistove výsledky hovoria, že na prenesenie  $R$  bitov/s bez medzi symbolovej interferencie (ISI Inter-Symbol Interference) je požadovaná minimálna šírka pásma  $R/2$  Hz. Z toho vyplýva, že táto modulácia bude mať medzisymbolovú interferenciu. Avšak ISI bude udržiavaná v medziach, kedy sa budú dať obnoviť počiatkové hodnoty signálu. Uvažujme signál :

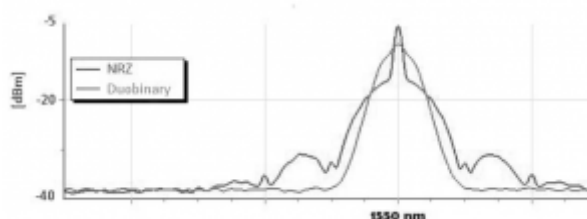
$$x(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} d_k q(t - kT) \quad (4)$$

kde  $d_k$  je hodnota („0“, „1“) informačného bitu,  $q(t)$  je prenášaný impulz,  $T=1/R$  perióda bitu,  $q(t)$  je impulz zvyčajne volený tak, aby nevznikala ISI pri vzorkovaniach, prípadoch  $(t + kT, k + 0, \pm 1, \dots)$  potom hodnoty  $q(kt)$  sú :

$$q(kT) = \begin{cases} 1 & k=0 \\ 0 & k \neq 0 \end{cases} \quad (5)$$

Pri NRZ signáli potrebujeme na prenos  $R$  bitov/s šírku pásma rovnú  $R$  Hz a to je dvojnásobne viac než Nyquistova šírka pásma  $R/2$  Hz. Ak túto moduláciu porovnáme

s NRZ dostávame sa k nasledujúcim záverom. Duobinary modulácia je omnoho viac flexibilnejšia ako NRZ aj za prítomnosti chromatickej disperzie. Pokiaľ NRZ je limitovaná na 80 Km, prechodom na DUOBINARI kódovanie sa vieme dostať do vzdialenosti 120 Km, bez kompenzácie disperzie vo vlákne, pri tejto vzdialenosti sú duobinary systémy limitované.[7]



Obr.7 Porovnanie spektier NRZ a DUOBINARY

*V budúcej časti sa budeme venovať modelovaniu rôznych modulačných techník v simulačnom prostredí Matlab/Simulink.*

## Literatúra

1. Fuqin XIONG, Digital Modulation Techniques kap. 2. Baseband modulation, str. 17 ~ 85, 2000
2. 40G Transmission in DWDM Long-Haul Networks:  
[http://downloads.lightreading.com/wplib/siemens/40G\\_Transmission\\_DWDM.pdf](http://downloads.lightreading.com/wplib/siemens/40G_Transmission_DWDM.pdf)
3. 40Gb/s in metro and regional optical networking:  
[http://www.terena.org/events/tnc2006/core/getfile.php?file\\_id=707](http://www.terena.org/events/tnc2006/core/getfile.php?file_id=707)
4. Jozef Magdolen, Základy prenosu optickými vláknami, kap 4.1.4 str.45, 1996
5. Investigation of 80 Gbit/s signal transmission with carrier-suppressed return-to-zero signal format: <http://www.ee.ucl.ac.uk/lcs/prog01/LCS074.pdf>
6. Jin Wang, Performance Evaluation of DPSK Optical Fiber Communication Systems:  
<https://inst.eecs.berkeley.edu/~ee290f/sp04/DissertationTalk.ppt> April 22, 2004
7. Duobinary Modulation For Optical Systems:  
<http://www.inphicorp.com/products/whitepapers/DuobinaryModulationForOpticalSystems.pdf>

Práca bola prednesená v súťaži ŠVOČ 2009 na FEI STU Bratislava v sekcii Telekomunikácie. Vedenie práce zabezpečil doc. Ing. Rastislav Róka, PhD. Práca získala cenu IEEE.