**Modulační techniky**

Jako u všeho ostatního i v optických sítích je nutno signál namodulovat na nosnou. K tomu se používají různé modulační techniky. Základem pro nás bude přednáška Ing. Boháče na OK 2010 <http://ozeas.sdb.cz/panska/4A/optika/Bohac.pdf>

Prostě si to přečteme od začátku

strana 10

Přímá modulace – to znamená, že proud do laseru se zapíná a vypíná. Při startu svícení ovšem laser chvíli svítí jako LED (bylo probráno u laserů), takže vysílá větší frekvenční spektrum než v době , kdy už pořádně svítí. Tohle se nazývá chirp (parazitní frekvenční modulace) laseru při přímé modulaci .

Řešením je CW laser (continual wave) – laser svítí pořád, a světlo za ním se přerušuje modulátorem.

Zmínka o modulátoru je již v <http://ozeas.sdb.cz/panska/4A/optika/vyuka/ROADM/ROADM.docx> , znovu přečíst a naučit, zejména fyzikální základy. Zde v přednášce Ing. Boháče máme ten modulátor

strana 11 - připomenutí některých kódů , zde i pro metalické sítě !!!!

strana 12 - doopravdy používaný kód OOK-NRZ On-Off Keying

zde máme na pravé straně důležitou věc – oko rozhodnutí

Obrázek vypadá strašidelně a záhadně, ale je jednoduchý

Signál, který vysíláme do vlákna, by měl vypadat takto:



Ale nevypadá. Vzestupné a sestupné hrany by měly následovat v přesně stejných časových intervalech. Ale nenásledují. Každý signál má takzvaný jitter, to znamená, že hrana někdy přijde trochu dříve, a jindy trochu později. Při konstrukci oka rozhodnutí si vezmeme všechny vzestupné hrany signálu a naplácáme je na sebe.



Protože ale signál má jitter, jsou ty čáry rozmazané – na obrázku je ta linka tlustší, je tvořena mnoha a mnoha vzestupnými hranami. Stejně tak na druhé straně oka rozhodnutí na sebe naplácáme sestupné hrany. I tady se objeví jitter, takže i tady je mnoho čar přes sebe, a vypadá to jako tlustší čára. Občas je signál v log. 0 déle než po dobu jednoho bitu – to je čára dole. A stejně tak i čára nahoře , signál je v log. 1 déle než po dobu jednoho bitu. Na oku dále vidíme zkreslení log. 1 a log. 0 signálu. Výhodou tohoto zobrazení je, že v oku jsou vidět i signály, které se jenom občas nevejdou do správných norem.

Konstrukce eye diagram viz

<https://www.edn.com/eye-diagram-basics-reading-and-applying-eye-diagrams/>

Příklad použití oka rozhodnutí např. na

<https://www.cesnet.cz/wp-content/uploads/2014/08/Beran-Diagnostika_transport_signalu.pdf>

od strany 17 dále, zde jsou i konstelační diagramy v souvislosti s okem rozhodnutí, podívejte se

A důležité u oka je, že si můžeme nadefinovat rozmezí, ve kterém se mohou signály pohybovat, aby to ještě bylo správné – to se jmenuje maska oka rozhodnutí - viz např. <https://www.tek.com/datasheet/tdscem1> , jinak si hoďte do googlu „eye diagram mask“

Nicméně zpět k Boháčovi

strana 11 – modulace OOK Optical ON-OFF On-Off Keying

NRZ – naprosto jednoduché. log.1 – laser svítí, log.0 – laser zhasnut

RZ – log.0 – laser zhasnut, log.1 – laser udělá pulsík , 50% šíře, 33% , 66% šíře nebo i jinak.

Manchester code

log. 0 je sestupná hrana, log. 1 je vzestupná hrana

je to „self clocking“ kód, udržuje synchronizaci, protože každá hodnota má hranu

NRZI

NRZI-M - log. 1 je změna úrovně, log. 0 je stále stejná úroveň (m jako mark)

NRZI-S nebo NRZ-S log. 0 je změna úrovně, log. 1 je stále stejná úroveň (s jako space)

Boháč má tedy na str. 11 NRZI-S

strana 13 - další modulace, zde máme i trosky nějakých ok rozhodnutí

strana 15 – modulace s potlačenou nosnou. Zde si zopakujte úplně normální amplitudovou modulaci a její spektrum. Vidíme, že nosná nepřenáší žádnou informaci. Výkon , který se na kmitočtu nosné přenáší, je vyplýtván k ničemu. U AM se potlačuje nosná – viz Novotný - AM DSB SC (Dual Side Band Supressed Carrier)

str. 18 Duobinární modulace –DB

Duobinární modulace (DB) má tři logické stavy.

Logická (binární) nula představuje absenci laserového pulzu;

logická (binární) jednička představuje laserový pulz se střídající se fází, která je určována na základě

předchozích symbolů následujícím způsobem.

Fáze binárního symbolu je posunuta o π, pokud nastane lichý počet logických nul

mezi dvěma logickými jedničkami.

Princip DB modulace může být kombinován s principem RZ nebo NRZ.

• Non-return-to-zero (NRZ) – logická jednička je po dobu celého bitového

intervalu, logická nula představuje absenci laserového pulzu.

• Return-to-zero (RZ) – logická jednička je po určitou dobu bitového intervalu,

logická nula představuje absenci laserového pulzu.

Výhody DB:

• Vysoká odolnost na chromatickou disperzi – chromatic dispersion (CD)

• Jednoduché úzkopásmové filtrování (DB má úzké spektrum), které lze

přirovnat ke spektru modulace Differential Quadrature Phase Shift Keying

(DQPSK). Tento formát je vhodný pro DWDM sítě s úzkou kanálovou roztečí,

např. 12,5 GHz.

• DB je jediný intenzitní modulační formát, který je stabilní na větších

vzdálenostech, např. 130 km bez obnovy. Výkonnost modulace DB lze

přirovnat k výkonnosti fázových modulací, zejména DQPSK, která bude

vysvětlena později.

• DB je efektivnější než NRZ-DQPSK a CSRZ-DQPSK ve smyslu požadavků na

finanční náklady a konstrukci vysílače.

ISI – intersymbolová interference – znamená to, že jeden pulsík ovlivňuje ten následující. K vysvětlení je nutno si uvědomit, že ve skutečnosti je každý signál reálně složen ze sinusovek, které trvají (teoreticky) pořád. (viz Fourierova transformace). Když pak díky vlastnostem vlákna u některé sinusovky změníme amplitudu či fázi, výsledný signál se pochopitelně změní (a to i u těch pulsíků, které jsou v čase následující !!!!! jednoduše a hodně zhruba: ty sinusovky tam stále jsou, a jejich součet je 0, pokud má být výsledek log. 0. Pokud sinusovky změníme, tak samozřejmě výsledek 0 nebude. Tohle je samozřejmě teorie, která pracuje s nekonečnou šířkou pásma a s nekonečným časem. Reálně to ale opravdu do jisté míry takto funguje, tedy předchozí symbol ovlivňuje ten následující )

a ta modulace DB je pokus tomu nějak zabránit

Používané modulace v PON

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| typ | doporučení | modulace |
| GPON | G.984 | NRZ oba směry |
| NG-PON1 | G.987 | NRZ oba směry |
| NG-PON2 | G.989 | scrambled NRZ. oba směry |
| XGS-PON | G.9807 | scrambled NRZ. oba směry |
| 1G-EPON | IEEE 802.3ah | 4B/5B NRZI |
| 10G-EPON | IEEE 802.3av | tají to |
| 100G-EPON | IEEE 802.3ca | tají to |

a zde přečíst i file pozn.txt v tomto adresáři

NRZI – Boháč str. 11

kódování 4B/5B

<https://en.wikipedia.org/wiki/4B5B>

doplnit systematické a nesystematické kódy –

systematické kódy mají jasně oddělenou část pro zabezpečení, tenhle je nesystematický

Modulace PAM4

<https://www.prooptix.com/news/understanding-pam4-and-how-it-is-enabling-higher-data-rates/>

4th level Pulse Amplitude Modulation (PAM4)

modulační rychlost je poloviční oproti přenosové

příklady viz file pozn, nejsou úplně jasné úrovně a kódování

**Koherentní systémy** – světlo je elektomagnetické vlnění. Mělo by být možno s ním pracovat úplně stejně jako s rádiovým spektrem – tedy používat signály na různých nosných, nejrůznější modulace atd. atd. , používat princip superhetu - známe ! tedy převést signál z kmitočtů v optickém pásmu na nějaký nižší a zpracovat atd. atd.

Bude tedy (asi) možno používat všechny modulace, které znáte z radiového spektra – AM, FM, QAM , ..... , hodněstavové QAM, ......

Jako domácí úkol si udělejte: spočítáme kmitočet na dolním a horním okraji optického pásma. Pak si spočítáme šíři pásma. Dále si spočteme, kolik klasických televizních kanálů by se do toho vešlo. Samozřejmě, tohle je hudba budoucnosti, ale tady vidíme, jaké možnosti ta optika má.

https://www.vut.cz/www\_base/zav\_prace\_soubor\_verejne.php?file\_id=129276

detekce strana 31, modulace od str. 24 . Je to tak na úrovni vašich referátů.

a zopakovat superhet – to úplně na začátku

Protokoly – již jsme probrali něco u GPON – jako ukázka

GPON používá NRZ

příklad protokolu http://ozeas.sdb.cz/panska/4A/optika/G.984.3.pdf názvy jsou na začátku

3.2.7 G-PON encapsulation method (GEM)

3.2.8 G-PON transmission convergence (GTC) layer

3.2.11 GTC adaptation sublayer

3.2.12 GTC framing sublayer

a dále je vysvětlení, ale je to fakt hodně komplikovaný a zatím jsem to nezjednodušil

str 19 a str 37 - struktura rámce, alepoň trochu nakouknout

Ethernet rámec https://www.geeksforgeeks.org/ethernet-frame-format/ a do preambule se nacpe leccos od EPONu

EPON rámec https://www.researchgate.net/figure/IEEE-8023ah-EPON-frame-format\_fig2\_260514153

Tady je

<http://ozeas.sdb.cz/panska/4A/optika/LM16_F_CZ.pdf>

je to rok 2017 , ale musí se to vyfiltrovat, ne všechno se hodí, leccos máme již v Boháčovi. A dát pozor na to, že tenhle pán patlá dohromady modulace pro optiku a pro drát.

<https://techpedia.eu/cs/topic/86>

a tady je mnoho a mnoho věcí , ale je to dost povrchně

<https://techpedia.eu/cs/topic/>