

ОЦІНЮВАННЯ СПЕКТРАЛЬНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ОПТИЧНИХ КАНАЛІВ У ВОСП

Вінницький національний технічний університет

Анотація

В роботі виконано оцінювання спектральної ефективності формування оптичних сигналів та характерні обмеження при передачі сигналів оптичними каналами. Також розглянуті деякі види модуляцій та показані можливості оптичних каналів із застосуванням цих типів модуляцій.

Ключові слова: спектральна ефективність, OSNR, теорема Шеннона, QPSK, QAM, RZ, оптичні канали.

Abstract

In work the estimation of the spectral efficiency of the formation of the optical signals and the characteristic restrictions in the transmission of optical signal channels. It also discusses some modulation types and capabilities of optical channels with the use of these types of modulations.

Keywords: spectral efficiency, OSNR, theorem of Shannon, QPSK, QAM, RZ, optical channels.

Вступ

Враховуючи значну кількість факторів та фізичних явищ, які обмежують пропускну здатність ВОСП (дисперсія, загасання, втрати на з'єднаннях) актуальною задачею є визначення шляхів мінімізації їх впливу на ВОСП та знаходження оптимального варіанту підвищення ефективності ВОСП, зокрема спектральної ефективності використання оптичних каналів у ВОЛТ.

Для оцінки спектральної ефективності формування сигналів в оптичних каналах використовується теоретичний критерій Шеннона (теорема Шеннона).

Основна частина

Для всіх багаторівневих та багатофазних методів модуляції і кодування теорема Шеннона характеризує пропускну здатність каналу при заданій середній потужності оптичного сигналу за умови впливу адитивного білого гаусового шуму, згідно формули:

$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right)$$

При збільшенні сукупної потужності оптичних каналів, або при збільшенні оптичної потужності в одному каналі за умови дотримання необхідного OSNR, критерій Шеннона має враховувати нелінійні властивості волокон (ефект Керра) у техніці волоконно-оптичного зв'язку.

Таблиця 1 – Класифікація пропускну здатності ВОСП згідно критерію Шеннона

Формула	Вид
$\frac{C}{B} = \log_2(1 + SNR)$	Пряма модуляція (амплітуда+фаза) з прямим детектуванням в системі
$\frac{C}{B} = \frac{1}{2} \log_2(SNR) + 1.1$	Фазова модуляція з когерентним детектуванням
$\frac{C}{B} = \frac{1}{2} \log_2(SNR) - 1.0$	Пряма модуляція (амплітуда+фаза) з когерентним детектуванням

Нелінійні межі спектральної ефективності з урахуванням шумів підсилювачів та нелінійних властивостей волокон оцінюються за співвідношеннями:

$$P_n = N_a(G - 1)n_{sp}h\nu$$

$$P_{NL} = B \sqrt{\frac{\lambda^2 B D \Delta f}{c \gamma^2 L_{eff} 2 \ln \left(\frac{N_{ch}}{2} \right)}}$$

$$\frac{C}{B} = \log_2(1 + SNR) = \log_2 \left\{ 1 + \frac{P e^{-\left(\frac{P_s}{P_{NL}}\right)^2}}{P_N + \left(1 - e^{-\left(\frac{P_s}{P_{NL}}\right)^2}\right)} \right\}$$

Дослідження показує, що найгірші умови функціонування ВОСП створюють ефекти фазової крос-модуляції (ХРМ) і чотиривхвильове змішування (FWM). Ці явища обмежують спектральну ефективність 8 біт/с/Гц при співвідношеннях сигнал/шум 20-25 дБ і дисперсії 17 пс/нм×км для волокон SMF.

Серед проблем багатопозиційної фазової і амплітудної модуляції необхідно відзначити фазові і амплітудні шуми, викликані такими факторами: шуми спонтанної емісії, фазові флуктуації в каналах модуляторів, фазовий шум через нелінійність оптичних ефектів, температурний дрейф характеристик модуляторів та ін. Підсумком цих дестабілізуючих факторів є амплітудно-фазові шуми, що призводять до розширення спектру каналного оптичного сигналу.(див. табл. 2).

Таблиця 2 - Швидкість передачі і спектральна ефективність оптичних високошвидкісних каналів

Лінійна швидкість, Гбіт/с	Швидкість в Бод, ГБод	Модуляція	Біт/символ	Спектральна ефективність, біт/с/Гц	Вимоги OSNR, дБ при BER = 10 ⁻³
112	28	DP-QPSK	2	4	12.6
224	28	DP-16QAM	4	4	17.4
448	112	DP-QPSK	2	4	19.3
448	56	DP-16QAM	4	8	23.1
448	37	DP-64QAM	6	12	27.3
448	28	DP-256QAM	8	16	31.9

Висновки

Для оцінки спектральної ефективності застосовують теорему Шеннона, яка характеризує всі комбінації багаторівневих та багатофазних методів модуляції.

Серед проблем формування оптичних сигналів виділяються проблеми їх стійкості: до шумів спонтанної емісії, до хроматичної та поляризаційно-модової дисперсії, до нелінійних спотворень.

Проведений порівняльний аналіз результатів досліджень показав явні переваги завадостійкості фазових методів модуляції (RZ-DPSK, RZ-DQPSK) по відношенню до шумів, ПМД, нелінійних спотворень у волокні. За винятком, DB формату, який має кращі показники завадостійкості до хроматичної дисперсії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Фокин В.Г. Когерентные оптические сети: Учебное пособие. - Н.: СибГУТИ. 2015
2. Бортник Г.Г. Транспортні телекомунікаційні технології: навчальний посібник/ Бортник Г.Г., Васильківський М.В., Кичак В.М. – Вінниця: ВНТУ, 2017 – 162 с.

Васильківський Микола Володимирович — канд. техн. наук, доцент кафедри телекомунікаційних систем та телебачення, Вінницький національний технічний університет

Vasykivskiy Mykola Volodymyrovych — Cand. Sc. (Eng), Associate Professor at the Department of Telecommunication System and Television, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Присяжнюк Віктор Петрович — студент групи ТКС-17мі, факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: prusyashnuk@gmail.com

Prusiazhniuk Viktor Petrovych — a student of group ТКС-17mi, the faculty of Infocommunications, electronics and nanosystems, Vinnytsia national technical University, Vinnytsia, e-mail: prusyashnuk@gmail.com