

Висновки. Автором роботи розглянуто використання технологій Інтернету речей на прикладі розробленого програмно-апаратного комплексу для моніторингу складських приміщень та холодильних вітрин продуктового магазину. Описано апаратну частину, до якої входить 32-бітний мікроконтролер із телекомунікаційними можливостями, який виконує роль шлюзу, та програмну частину – односторінковий застосунок як вебінтерфейс користувача системи моніторингу. Система моніторингу надає оператору можливість відстежувати необхідні дані дистанційно, що допомагає підтримувати холодильне обладнання в належному стані та запобігати псуванню харчових продуктів.

Література

1. Самойленко М.Ю. Принципи застосування технології Інтернет речей у сучасному світі техніки // Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. 2020. Вип. 31 (70), № 6 Частина 1. С. 142–148.
2. Уривський Л.О. et al. Дослідження і розробка рішень Інтернету речей широкого застосування // Sciences of Europe. Praha, Czech Republic: Global Science Center LP, 2019. Вип. 1, № 36. С. 39–54.
3. UNEP Food Waste Index Report 2021 | UNEP - UN Environment Programme. URL: <https://www.unep.org/resources/report/unep-food-waste-index-report-2021> (дата звернення: 01.06.2023).
4. da Costa T.P. et al. A Systematic Review of Real-Time Monitoring Technologies and Its Potential Application to Reduce Food Loss and Waste: Key Elements of Food Supply Chains and IoT Technologies // Sustainability. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2022. Вип. 15, № 1. С. 614.
5. Maheshwari P. et al. Internet of things for perishable inventory management systems: an application and managerial insights for micro, small and medium enterprises // Annals of Operations Research. Springer, 2021. С. 1–29.
6. What is Cloudflare? | Cloudflare. URL: <https://www.cloudflare.com/learning/what-is-cloudflare/> (дата звернення: 01.06.2023).

УДК 621.372.8

*Педяш В.В., к.т.н, доцент
Державний університет інтелектуальних технологій та зв'язку
vpedyash@gmail.com*

*Мазур Г.Д.
Міжнародний гуманітарний університет
Anna2102@i.ua*

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИГНАЛУ ВОСП З ПОЛЯРИЗАЦІЙНИМ МУЛЬТИПЛЕКСУВАННЯМ

Анотація. У роботі виконано оцінку впливу характеристик сигналу когерентної ВОСП на якість оптичного каналу зі швидкістю передачі 264 Гбіт/с. Дослідження проведено методом імітаційного моделювання у програмному середовищі MatLab. Встановлено, що при використанні в приймачі декодера з гнучким рішенням (SD-FEC), довжина ділянки 3R регенерації оптичного каналу становить близько 1600 км.

Розширення набору послуг телекомунікаційної мережі потребує вирішення завдання зі збільшення пропускної спроможності систем передачі. Основою побудови транспортних мереж є волоконно-оптичні системи передачі оптичної транспортної

ієрархії (ОТН), що дозволяють організувати оптичні канали зі стандартизованими швидкостями від 2,7 до 112 Гбіт/с. Подальше збільшення швидкості до 200 Гбіт/с та вище вимагає використання сукупності ефективних методів модуляції та мультиплексування сигналів [1]. Також актуальним завданням є визначення оптимальних характеристик сигналу (метод модуляції, потужність, форма спектру та ін.) з метою мінімізації його спотворень в середовищі поширення ВОСП [2].

Тому метою даного дослідження є визначення оптимальних характеристик сигналу когерентної ВОСП з поляризаційним мультиплексуванням.

Для вирішення поставленого завдання було використано метод імітаційного моделювання, оскільки він дозволяє отримати достовірний результат з повноцінним урахуванням лінійних та нелінійних спотворень сигналу в оптичному волокні. Структурна схема розробленої MatLab моделі оптичного каналу включає блоки передавача, волоконно-оптичного лінійного тракту (ВОЛТ) і приймача (рис. 1). Основні характеристики функціональних блоків наведено у табл. 1.

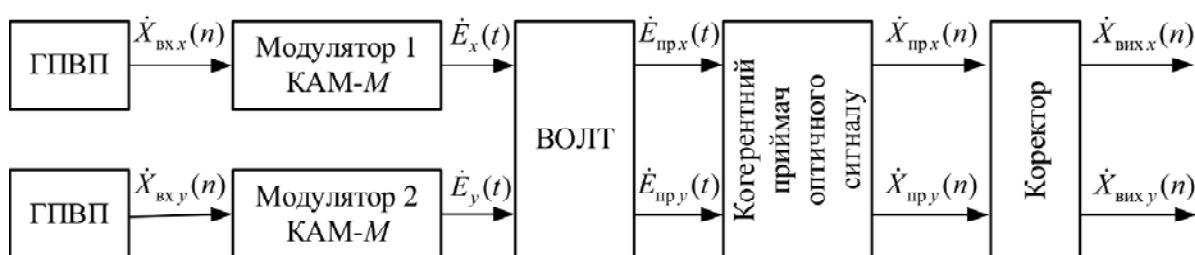


Рисунок 1 – Структурна схема каналу ВОСП з КАМ модуляцією та поляризаційним мультиплексуванням

Передавач ВОСП містить два генератори псевдовипадкової послідовності символів (ГПВП) та два модулятори КАМ-М. На їх виході формуються оптичні сигнали $E_x(t)$ та $E_y(t)$ у двох взаємно ортогональних площинах поляризації. У цій роботі представлені результати досліджень для модуляції КАМ-16 і каналної швидкості передачі 264,536 Гбіт/с, що відповідає характеристикам транспондера FlexRate 200G для платформи MICROSENS MSP3000 [3].

Таблиця 1 – Характеристики MatLab моделі каналу ВОСП з КАМ модуляцією

Параметр	Значення	Параметр	Значення
Швидкість передавання $V_{пер}$	264,536 Гбіт/с (2хOTU4)	Довжина підсилювальної секції $L_{секц}$	100 км
Тип модуляції	КАМ-16	Шум-фактор оптичного підсилювача nf	6 дБ
Кількість тестових символів	20000	Смуга частот каналу ВОСП	100 ГГц
Символьна швидкість $V_{симв}$	33,067 Гсимв/с	Смуга пропускання ФНЧ приймача	0,75 $B_{симв}$

Волоконно-оптичний лінійний тракт (ВОЛТ) складається з $N_{секц}$ однакових оптичних секцій. Кожна з них включає середовище поширення завдовжки $L_{секц}$, оптичний підсилювач на базі волокна, легованого ербієм та компенсатор хроматичної дисперсії. До

вихідного сигналу ВОЛТ додавався шум посиленого спонтанного випромінювання, який відповідає шум-фактору оптичного підсилювача.

Когерентний приймач оптичного сигналу виконує функцію демодулятора з поділом з поляризації. Компенсація амплітудних і фазових спотворень сигналу в середовищі поширення проводиться в блоці коректора. Для кожної з вихідних послідовностей символів $\dot{X}_{\text{вих},x}(n)$ та $\dot{X}_{\text{вих},y}(n)$ розраховувалися показники якості оптичного каналу – відносна помилка модуляції EVM та ймовірність помилки біта BER (рис. 2).

У ході досліджень визначалася залежність $EVM(P_{\text{пер}}, N_{\text{секц}})$ і було встановлено, що якісні характеристики обох цифрових потоків (горизонтальної та вертикальної площини поляризації оптичного сигналу) каналу зв'язку практично однакові, тому в подальшому тексті наведено результати потоку даних для горизонтальної поляризації ($\dot{X}_{\text{вих},x}(n)$). Також було встановлено, що для фіксованої протяжності ВОЛТ (числа секцій $N_{\text{секц}}$) залежність $EVM(P_{\text{пер}})$ має екстремум у вигляді мінімуму (рис. 2, а), якому відповідає оптимальне значення потужності сигналу передавача (рис. 2, б) та мінімальна ймовірність помилки

(рис. 2, в). Збільшення протяжності ВОЛТ призводить до накопичення нелінійних перешкод фазової самомодуляції, тому оптимальне значення потужності передавача слід зменшувати з 2 до 0,8 мВт одну площину поляризації.

До сучасних ВОСП висувається вимога щодо припустимої ймовірності помилки біта $BER_{\text{вих}} < 10^{-12}$ на виході оптичного каналу. Тому цифровий сигнал транспондером ВОСП передається за допомогою коду з виправленням помилок, який у разі використання декодерів з м'яким рішенням SD-FEC припускає роботу каналу при вхідному $BER_{\text{вх}} < 10^{-2}$ [4]. Виходячи з цієї умови, довжина ділянки регенерації складе 1600 км (16 секцій по 100 км згідно рис. 2, в).

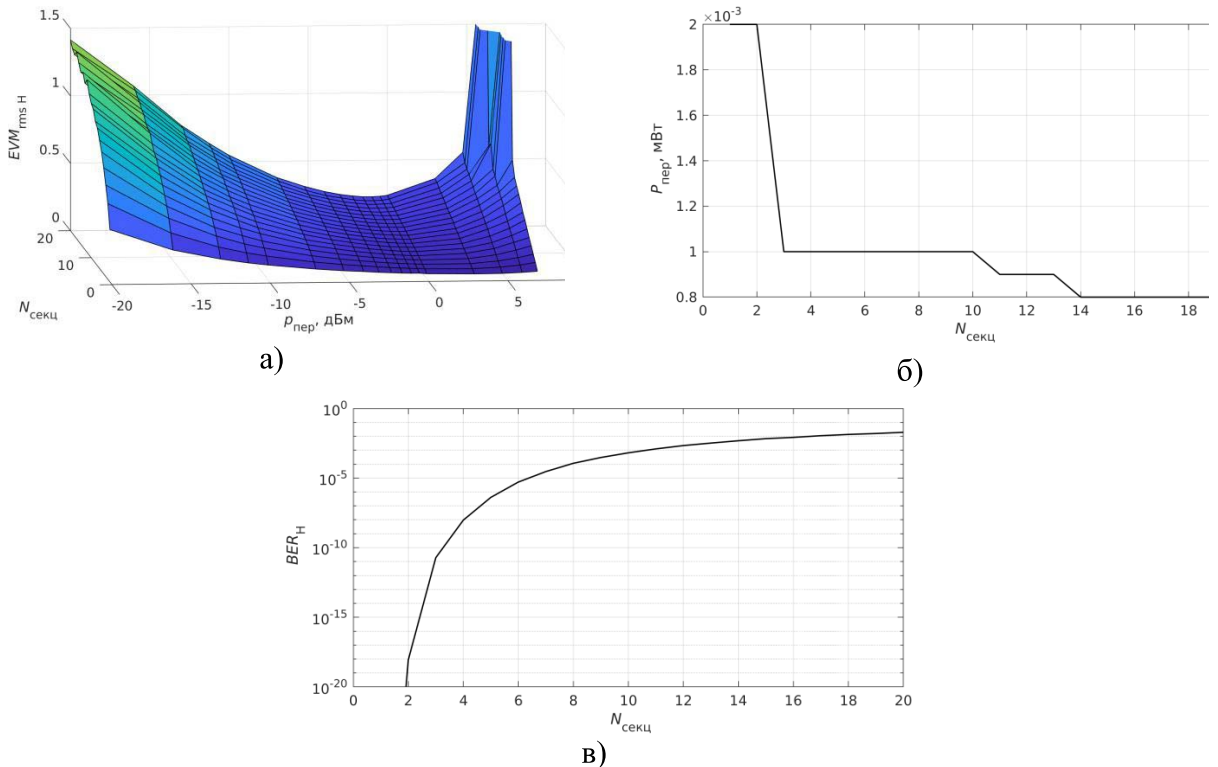


Рисунок 2 – Результати моделювання каналу ВОСП з КАМ-16 та поляризаційним мультиплексуванням (підканал горизонтальної поляризації): а) відносна помилка модуляції EVM; б) оптимальна потужність сигналу; в) ймовірність помилки BER

Підсумовуючи проведені дослідження, можна стверджувати, що поставлене в роботі завдання з визначення оптимальних характеристик ВОСП з поляризаційним мультиплексуванням виконано повністю. Отримана залежність оптимальної потужності передавача від протяжності ВОЛТ, яка дозволяє мінімізувати ймовірність помилки біта *BER* у каналі ВОСП. Встановлено, що для ВОСП із канальною швидкістю 264 Гбіт/с при використанні декодера з гнучким рішенням довжина ділянки регенерації становитиме близько 1600 км.

Література

1. I. Kaminow, T. Li, A.E. Willner. Optical Fiber Telecommunications VB: Systems and Networks. New York: Academic Press, 2008. 916 p.
2. Agrawal GP Nonlinear Fiber Optics. New York: Academic Press, 2013. 629 p.
3. FlexRate 200G Muxponder (MS430943/4M). URL: https://www.microsens.com/fileadmin/files/uploads/products/1_public/0_DAT/4_OTN/DAT422b_MS430943-4M_MSP3000-200G-FFI-Module_EN_1019.pdf (дата звернення: 02.12)
4. Alvarado A., Agrell E., Lavery D., Maher R., Bayvel P. Replacing soft-decision FEC граничний paradigm в дизайні optical communication systems. Journal of lightwave technology. 2015. Vol. 33, No. 20. P. 4338-4352.

УДК 621.314

Русу Олександр Петрович, к.т.н.
Міжнародний гуманітарний університет
shurusu@ukr.net

ВИЗНАЧЕННЯ ПЕРЕТВОРЮВАЛЬНОЇ ПОТУЖНОСТІ ІМПУЛЬСНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Анотація. Проведено дослідження рівня перетворювальної потужності імпульсних перетворювачів електричної енергії. Показано, що використання певних схемотехнічних рішень дозволяє зменшити кількість енергії, що проходить через магнітне поле силового накопичувального дроселя, що, у свою чергу, дозволяє зменшити масу, габарити та вартість вузлів живлення. Отримані результати дозволяють краще розуміти енергетичні процеси в імпульсних перетворювачах електричної енергії та покращувати техніко-економічні показники телекомунікаційної, радіотехнічної та комп'ютерної техніки.

Імпульсні перетворювачі електричної енергії є невід'ємною складовою апаратної частини телекомунікаційної, радіотехнічної та комп'ютерної техніки, оскільки її надійна та стабільна робота неможлива без електропостачання необхідної якості. Високі значення коефіцієнту корисної дії та питомої потужності, притаманні імпульсному перетворенню, призвели до того, що цей спосіб, на сьогоднішній день, фактично, є безальтернативним варіантом вирішення задач зміни величини напруги та струму, що майже завжди виникають при створенні електронного обладнання.

Однак, незважаючи на велику кількість робіт, присвячених підвищенню техніко-економічних показників імпульсних перетворювачів, у тому числі і провідних світових виробників електронного обладнання, наприклад [1, 2], існує ряд питань, які ще й досі не визначені та потребують проведення додаткових досліджень, як на практичному, так і на