

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Факультет енергетики та інформаційних технологій
Кафедра енергозберігаючих технологій та енергетичного менеджменту

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

Аналіз сучасних оптичних систем зв'язку

Виконав:

здобувач вищої освіти денної форми навчання
освітнього ступеня «Магістр», освітньо-
професійної програми «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

_____ **Олександр ЛОПАТИНСЬКИЙ**

Керівник: кандидат технічних наук, доцент

_____ **Віктор ДУБІК**

Оцінка захисту:

Національна шкала _____

Кількість балів _____ Шкала ECTS _____

Допускається до захисту:

«_____» _____ 2024 р.

Гарант освітньої програми

«Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

кандидат технічних наук, доцент _____ **Павло ПОТАПСЬКИЙ**

м. Кам'янець-Подільський, 2024р.

ЗМІСТ

Оглавление

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧІ КВАНТОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ.....	10
Історія розвитку та особливості оптичних систем зв'язку	10
1.2. Кубіти	12
1.3. Перетворення одного кубіта	13
1.4. Змішування	17
1.5. Змішування і квантова непомітність	20
1.6. Зв'язування атомів і фотонів	25
Висновки з розділу 1	27
РОЗДІЛ 2. КВАНТОВІ ОПТИЧНІ СИСТЕМИ ЗВ'ЯЗКУ.....	28
2.1. Квантова мережа	28
2. Компоненти й конфігурація ВОСПІ.....	29
2.1.2. Дуплексна мережа	33
2.1.3. Т-подібна мережа	34
2.1.4. Зіркоподібна мережа	37
2.1.5. Кільцева мережа	40
2.1.6. Гібридні системи розподілу	42
2.1.7. Повнозв'язана мережа ("кожна з кожною").....	43
2.2. Квантові обчислення та квантова інформація.....	50
2.3. Квантова криптографія	55
2.4. Змішані стани.....	59
2.5. Квантові вимірювання	61
2.6. Оптичне поле	62

2.6.1. Однофотонні оптичні імпульси	64
2.6.2. Когерентні і інші стани оптичних полів	66
Висновок з розділу 2	69
РОЗДІЛ 3. РЕАЛІЗАЦІЯ КВАНТОВИХ КРИПТОГРАФІЧНИХ СИСТЕМ	70
3.1. Квантовий розподіл ключів.....	70
3.1.1. Захист за допомогою неортогональних станів	71
3.1.2. Захист за допомогою заплутування.....	73
3.1.3. Властивості зашумелених квантових каналів.....	75
3.2. Протоколи квантового розподілення ключа	76
3.2.1. Протокол BB84.....	76
3.2.2. Протокол B92.....	80
3.2.3. Протокол Еккерта.....	81
3.2.4. Шум і перехват інформації в каналі.....	82
3.3. Оптична реалізація квантових криптографічних систем	87
3.3.1. Джерела поодиноких фотонів.	87
3.3.2. Детектування поодиноких фотонів	89
3.3.3. Середовища поширення фотонів.....	92
3.4. Експериментальні криптосистеми КРК	96
3.4.1. Оптичні схеми з поляризаційним кодуванням.....	96
3.5 Висновок з розділу 3	101
ВИСНОВОК.....	102
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	103

ВСТУП

Розвиток людства і постійний обмін інформацією - основа прогресу. Обсяг та надійність передачі є основними показниками розвитку країни. Під час стрімкого розвитку технологій дуже важко уявити життя без засобів передачі інформації, не говорячи вже про науку та управлінську діяльність. В усі часи людство потребувало надійних та конфіденційних засоби передачі даних.

В останні два десятиліття минулого і на початку поточного століття відбувається зміна епохи індустріально-технологічного розвитку передових держав епохою інформаційно-технологічної. Яскравим проявом цього процесу є небачений за швидкістю і результатами прогрес у створенні нових методів і засобів телекомунікацій. Бурхливий розвиток технології виробництва систем і засобів зв'язку з практично необмеженою пропускнуою здатністю і дальністю передачі і масове їх використання по суті привели до інформаційно-технологічної революції і формування глобального інформаційного суспільства.

Телекомунікаційні системи вдосконалюються кожного дня, починаючи від звукових та візуальних пристроїв і закінчуючи системами автоматичного обміну, які забезпечують обмін інформацією на необмежені відстані в межах Землі.

Сьогодні телекомунікації - це одна з найбільш швидко високотехнологічних і наукомістких галузей світової економіки. Рівень розвитку технологічних розробок, виробництва і впровадження в різні сфери діяльності телекомунікаційних систем багато в чому формують позитивний образ передового суспільства. Такий розвиток подій став можливим завдяки широкому практичному використанню досягнень фундаментальних наук - перш за все фізики, хімії та математики, а також комп'ютерних технологій.

Мета роботи. Визначення шляхів збільшення обсягу і швидкості передачі інформації в високопродуктивних інтелектуальних мережах, що вимагає розробки відповідних технічних засобів, серед яких оптика і оптичні методи передачі сигналів.

Завдання роботи: Провести аналіз сучасних оптичних систем з оцінкою їхніх сильних і слабких сторін. Визначити конструкції оптичних систем, які

базуються на різних методах, що відповідають конкретним завданням пристрою. Описати схему оптичного пристрою для тривимірного контролю розмірів деталей із використанням тіньового методу, методу структурованого світла та телевізійного методу.

Методи дослідження. Джерела одиночних фотонів (ДОФ), засновані на послаблених лазерних імпульсах, характеризуються простотою у використанні, можливістю роботи при кімнатній температурі та широким спектром доступних довжин хвиль. Вони дозволяють легко маніпулювати випромінюванням, направляти його на потрібні детектори та інтегрувати в різні системи. Основними недоліками таких джерел є ймовірність генерації кількох фотонів одночасно, а також залежність від температурного режиму під час експлуатації.

Проте їх недоліками залишаються недостатньо висока швидкодія та наявність шумів у сигнальній лінії, що обмежує їх ефективність. У зв'язку з цим тривають дослідження альтернативних типів детекторів, які можуть забезпечити кращі характеристики.

Поляризаційне та фазове кодування широко застосовуються у квантових системах, проте вони також мають недоліки. Зокрема, для коректної роботи таких систем потрібні компенсаційні механізми, які постійно відстежують і виправляють поляризацію. Це ускладнює конструкцію і робить систему громіздкішою. Наразі активно вдосконалюються методи кодування для зменшення цих недоліків та підвищення ефективності квантових систем

Практичне значення одержаних результатів. Результати дослідження дадуть можливість на базі традиційних пристроїв детектування, такі як фотоелектронні помножувачі (ФЕП) і лавинні фотодіоди (ЛФД), є найбільш поширеними в квантових системах ефективно застосовувати в інформаційних системах.

..

Апробація результатів роботи. Результати магістерської роботи були оприлюднені на четвертій Всеукраїнській науково-практичній конференції «Ефективне використання енергії: стан і перспективи». (19 листопада 2024). – Кам'янець-Подільський: ЗВО «ПДУ», 2024.

Публікації. За результатами наукових досліджень було опубліковано тези:

Олександр ЛОПАТИНСЬКИЙ. ДОСЛІДЖЕННЯ ОПТИЧНИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ З ПОЛЯРИЗАЦІЙНИМ КОДУВАННЯМ / Матеріали IV Всеукраїнської науково-практичної конференції «Ефективне використання енергії: стан і перспективи». (19 листопада 2024). – Кам'янець-Подільський: ЗВО «ПДУ», 2024.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Gisin, N. Towards practical and fast quantum cryptography / N. Gisin, G. Ribordy, H. Zbinden et al. // arXiv:quant-ph/0411022.— 2004.
2. Hirano, T. Quantum cryptography using pulsed homodyne detection / T. Hirano, H. Yamanaka, M. Ashikaga et al. // Phys. Rev. A. — 2003.— Vol. 68.— P. 042331.
3. Lorenz, S. Continuous variable quantum key distribution using polarization encoding and post selection / S. Lorenz, N. Korolkova, G. Leuchs // Appl. Phys. B. — 2004.— Vol. 79.— P. 273.
4. Grosshans, F. Continuous variable quantum cryptography / F. Grosshans, P. Grangier // Phys. Rev. Lett. — 2022.— Vol. 88, № 5.— P. 057902.
5. Каток, В.Б. Модовое мультиплексирование в волоконно-оптической связи/ В.Б. Каток, С.Е. Марков, А.А. Манько // Телекомунікаційні та інформаційні технології. – 2014. – №4. – С.61 –67.
6. Salsi, M. Transmission at 2x100Gb/s, over Two Modes of 40km-long Prototype Few-Mode Fiber, using LCOS based Mode Multiplexer and Demultiplexer / M. Salsi, C. Koebele, D. Sperti, P. Tran, P. Brindel, H. Mardoyan, S. Bigo, A. Boutin, F. Verluise, P. Sillard, M. Bigot-Astruc, L. Provost, F. Cerou, G. Charlet // Optical Fiber Communication Conference. – OSA Technical Digest (CD) (Optical Society of America, 2011), paper PDPB9.
7. Жирар, Андре. Руководство по технологии и тестированию систем WDM [Текст]: пер. с англ. / Андре Жирар . – М.: EXFO, 2001. – 264 с.
8. ITU-T Recommendation G.694.1 (06/02) Spectral grids for WDM applications: DWDM frequency grid.
9. Li, A. Reception of Mode and Polarization Multiplexed 107-Gb/s CO-OFDM Signal over a Two-Mode Fiber / A. Li, A. Amin Al, X. Chen, W. Shieh // Optical Fiber Communication Conference. – OSA Technical Digest (CD) (Optical Society of America, 2022), paper PDPB8.
10. Gruner-Nielsen, L. Few Mode Transmission Fiber with low DGD, low Mode Coupling and low Loss / L. Gruner-Nielsen, Y. Sun, J. W. Nicholson, D. Jakobsen,

Lingle, B. Palsdottir // Optical Fiber Communication Conference. – OSA Technical Digest (CD) (Optical Society of America, 2022), paper PDP5A.1.

11. Іванов, О. В. Оболонкові моди волоконних світлопроводів і довгопериодні волоконні ґрати [Текст] / О. В. Іванов, С. А. Никитов. - Київ:, 2022. - 252 с.

12. Infocommunication and computer technologies, № 2 (02), 2021 94

13. Ryf, R. Low-Loss Mode Coupler for Mode-Multiplexed transmission in Few-Mode Fiber / R. Ryf, M. A. Mestre, A. Gnauck, S. Randel, C. Schmidt, R. Essiambre, P. Winzer, R. Delbue, P. Pupalaikis, A. Sureka, Y. Sun, X. Liang, D. Peckham, A.H. McCurdy, R. Lingle // Optical Fiber Communication Conference. – OSA Technical Digest (CD) (Optical Society of America, 2022), paper PDP5B.5.

14. Chen, X. Reception of Dual-LP11-Mode CO-OFDM Signals through Few-mode Compatible Optical Add/Drop Multiplexer / X. Chen, A. Li, J. Ye, A. Amin Al, W. Shieh // Optical Fiber Communication Conference. – OSA Technical Digest (CD) (Optical Society of America, 2022), paper PDP5B.4.

15. Манько, О. Обробка оптичних сигналів та ефективність систем зв'язку / О. Манько, С. Марков, І. Меліщук // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. – 2016. – №2(42) С.44-50.

16. Hayashi, T. Ultra-Low-Crosstalk Multi-Core Fiber Feasible to Ultra-Long-Haul Transmission / T. Hayashi, T. Taru, O. Shimakawa, T. Sasaki, E. Sasaoka // Optical Fiber Communication Conference, OSA Technical Digest (CD) (Optical Society of America). – 2021. – Paper PDPC2.

17. Бондаренко О.В., Петрович В.С., Степанов Д.М. Методичні вказівки з курсового проектування за темою: «Проект однохвильової волоконно-оптичної лінії передачі» з дисципліни «Напрямні системи електричного та оптичного зв'язку» для студентів заочної форми навчання за напрямом 6.050903 – Телекомунікації, Одеса, 2012. 48 с.

18. КНД-141-99. Керівництво щодо будівництва споруд волоконнооптичного зв'язку. К.: Держкомзв'язок, 2004. 120 с.

19. Gnatenko, A. S., & Machechin, Y. P. (2015). Vasko K.O Providing control of

the polarization inside the resonator fiber ring laser. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Радіофізика та електроніка. Київ, 20-23.

20. Hnatenko O. S. The creation of an optical laboratory using modern optical applications / O. S. Hnatenko, V. P. Obozna // Інформатика, математика, автоматика: матеріали науково-технічної конференції ІМА:2018, 5-9 лютого 2018 р. Суми, 2018. 200 с.

21. Characteristics of a single-mode optical fibre and cables (Характеристики кабеля с одномодовими оптичними волокнами). G.652.

22. Characteristics of a nonzero dispersion shifted single-mode optical fibre cable (Характеристики кабеля с одномодовими оптичними волокнами со смещенной ненулевой дисперсией). G.655.

23. КНД 45-136-99 Інструкція по захисту волоконно-оптичних ліній зв'язку від ударів блискавки та електромагнітних впливів. [Вид. офіц.]. Київ, 1999.

24. Kurskoy Y., Machekhin Y., & Gnatenko A. S. (2018). Топологічні методи в вимірюваннях і дослідженнях нелінійних динамічних систем. Вісник Харківського національного університету імені ВН Каразіна. Серія «Фізика», (29). 22-28

25. Кабелі зв'язку оптичні для магістральних, зонових та міських мереж зв'язку. Технічні умови. ТУ-У 05758730.007-97: 1997. [Чинні від 1997-12-10]. Одеса: УРУ Держстандарта Одеський центр стандартизації і метрології, 1997. 69 с. (Технічні умови ВАТ «Одескабель»).

26. Бондаренко О.В. Статистичні дані для розрахунку показників надійності підземних волоконно-оптичних ліній зв'язку // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. 2009. № 1. С. 64 – 69.

27. Hnatenko, Oleksandr S., Yuriy P. Machekhin, Victor Bilichenko, Valeriy Zarytskyi, Yaroslav Yaroslavskyy, Jacek Klimek, Kanat Mussabekov, Bakhyt Yeraliyeva, and Ainur Ormanbekova. "Fiber-optic system for control of the orientation of objects in space." In Optical Fibers and Their Applications 2023, vol. 12985, pp. 47-54. SPIE, 2023