

} ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

} Факультет комп'ютерних систем і автоматики

} Кафедра лазерної та оптикоелектронної техніки



Матеріали до МКР ст. гр. ЛТО-17м Молочнюка О.І.
на тему:

Лазерна інформаційно-передавальна система

Науковий керівник

к.т.н., проф. кафедри ЛОТ Лисенко Г.Л.

Вінниця ВНТУ 2019

Актуальність

- } Наш час характеризується динамічним розвитком інформаційних систем і телекомунікаційних мереж. Інформація в сучасному світі стає стратегічним ресурсом суспільства, стрімке збільшення її обсягів вимагає постійного удосконалення технологій зв'язку та обладнання телекомунікаційних мереж, зокрема підвищення їх швидкодії та пропускної спроможності.
 - } Одним із актуальних напрямків розвитку швидкісних безпроводних систем зв'язку невеликої протяжності є розробка й удосконалення відкритих лазерних оптичних каналів, які працюють у ближньому інфрачервоному діапазоні.
 - } Важливою перевагою таких систем є також те, що на відміну від систем радіодіапазону, відсутня необхідність ліцензування частотного діапазону у державному центрі радіочастот.
-



Мета

- } *Метою* магістерської кваліфікаційної роботи є підвищення надійності та розширення функціональних можливостей лазерних інформаційно-передавальних систем зв'язку на основі запропонованих технічних рішень.



Задачі

- } Проаналізувати сучасні комерційні системи лазерного атмосферного зв'язку та методи їх роботи.
 - } Провести комп'ютерне моделювання впливу атмосферних умов на роботу відкритої оптичної лінії зв'язку та визначити найбільш важливі фактори, які впливають на швидкість і дальність зв'язку.
 - } Удосконалити методи компенсації впливу атмосферних завад на роботу системи.
 - } Розробити структурну модель адаптивної відкритої оптичної системи зв'язку, оптичні і електричні схеми основних функціональних вузлів;
 - } Провести комп'ютерне моделювання характеристик запропонованої системи.
 - } Дослідити аспекти практичної реалізації АОЛЗ на сучасній оптоелектронній елементній базі.
-



Об'єкт і предмет дослідження

- } *Об'єкт дослідження* – процеси прийому-передавання сигналів у оптичних трактах лазерних атмосферних ліній зв'язку.
- } *Предмет дослідження* – методи функціонування та структурна організація лазерних атмосферних систем зв'язку.
- } *Методи дослідження* базуються на основних положеннях фотоніки, геометричної та прикладної фізичної оптики, теорії переносу випромінювання, оптоелектронної схемотехніки, лазерної техніки і квантової електроніки, системного аналізу і теорії обробки сигналів.



Переваги передачі сигналів на оптичних частотах

- більше відношення потужності сигналу, що приймається до потужності випромінювання при менших апертурах антен передавача і приймача;
 - краще просторове розширення при менших апертурах антен передавача і приймача;
 - малі габарити передавального і приймального модулів, які використовуються для зв'язку на відстань до 2 км;
 - освоєння не використовуваної ділянки спектра електромагнітних випромінювань;
 - не потрібно дозволу та оплати на експлуатацію оптичної системи зв'язку;
 - висока пропускна здатність каналу зв'язку;
 - захищеність від електромагнітних завад.
-



Недоліки оптичних атмосферних систем передачі

- } мала придатність для радіомовлення через високу направленість лазерного променя;
 - } необхідна висока точність наведення антен передавача та приймача;
 - } низький ККД оптичних випромінювачів;
 - } порівняно високий рівень шумів в приймачі, частково обумовлений квантовою природою процесу детектування оптичного сигналу;
 - } вплив характеристик атмосфери на надійність зв'язку.
-



Класифікація систем FSO

FSO системи



Порівняльний аналіз систем відкритого оптичного зв'язку сучасних виробників

Фірма, модель	Випромінювач	Дальність зв'язку, м	Тип інтерфейсу, швидкість передачі
«Мостком» <i>ARTOLINK M1-GE</i>	1 лазер, $\lambda=1550$ нм, $\rho=5$ дБм	1200	GbE, full duplex 100/1000 Мбіт/с
Trimble <i>FSO</i>	Лазер, $\lambda=1550$ нм	1500	Full duplex, G802.3af 1250 Мбіт/с
AstroTerra <i>TerraLink 2000</i>	VCSEL лазери (3 шт.)	3000	Оптичний до 155 Мбіт/с
Koruza <i>Bridge 1GBPS</i>	Лазер	500	GbE, full duplex 1,25 Гбіт/с
Jolt <i>UWIN4400</i>	2 лазери	2000	100 Мбіт/с
LightPointe <i>Model X-FSO</i>	4 лазери VCSEL, $\lambda=850$ нм	1000(17дБ/км), 2800(3дБ/км)	GbE, full duplex 1,25 Гбіт/с
LightPointe <i>MultiLink 155/2000</i>	2 лазери	3000	Оптичний до 155 Мбіт/с
PAVLight <i>Gigabit PL-1G/3TX</i>	3 лазери $\lambda=810$ нм	1500	Gigabit Ethernet, 1 Гбіт/с

Методика удосконалення характеристик адаптивної АОЛЗ

- підвищення потужності випромінювача;
 - використання максимальної кількості вікон прозорості атмосфери;
 - використання колімації каналу;
 - використання резервних каналів зв'язку,
 - використання стійких до завад та збільшення об'єму трафіку протоколів передачі;
 - використання точної елементної бази систем;
 - використання просвітлених покриттів та поляризаційних фільтрів.
-



Аналіз факторів впливу на передачу інформації по АОЛЗ

Інформаційна пропускна здатність B визначається по формулі Шеннона:

$$B = 2 \cdot \Delta f \cdot \log_2 \left(1 + \left(\frac{A_s}{A_N} \right)^2 \right)$$

Δf – смуга частот, в якій передається сигнал;

$\frac{A_s}{A_N}$ – відношення пікового значення сигналу до середньоквадратичного значення шуму.

В аналогових системах відношення сигнал-шум визначає якість зв'язку, у цифрових системах – ймовірність передачі помилки, що визначається за формулою:

$$BER = \frac{A_s}{A_N} = \frac{N_{ном}}{N_{норм}}$$



Фактори впливу повітряної атмосфери

Погіршення умов передачі в атмосфері є комплексним явищем і складається з таких складових як:

- } релєєвське розсіювання;
 - } аерозольне розсіювання;
 - } молекулярне поглинання;
 - } вплив турбулентних повітряних потоків;
 - } нелінійні ефекти при поширенні випромінювання у атмосфері.
-



Основні математичні залежності для аналізу факторів впливу фізичної моделі системи

} Спектральний коефіцієнт пропускання

$$\tau_A(\lambda) = \tau_m(\lambda) \cdot \tau_s(\lambda) \cdot \tau_{rs}(\lambda),$$

де $\tau_m(\lambda)$, $\tau_s(\lambda)$, $\tau_{rs}(\lambda)$ – спектральні коефіцієнти пропускання атмосфери, зумовлені поглинанням, розсіюванням і ослабленням за рахунок гідрометеорів

} Інтегральний коефіцієнт прозорості чистої вологої атмосфери

$$\phi = \phi_n \phi_p = (t_0 - k_{\Pi} \cdot \lg \omega) \cdot 0,998^{\omega}$$

t_0, k_{Π} – сталі відповідної спектральної ділянки

} Потік випромінювання від об'єкта

$$\Phi_e(\lambda) = \varepsilon_t \cdot M_{\lambda}(\lambda, T) \cdot A_t,$$

де $M_{\lambda}(\lambda, T)$ – спектральна енергетична світимість; A_t – площа поверхні об'єкта.



Основні математичні залежності для аналізу факторів впливу фізичної моделі АОЛЗ

Модуляційна передаточна функція атмосфери (МПФ) – величина, яка визначає спотворення сигналу відносно вхідного

$$M_A(\lambda) = \exp(-k_A \cdot d),$$

відповідно $k_A = 3.91/S$.

Для оцінки послаблення оптичного сигналу введено поняття відкритої оптичної видимості – це така відстань v (км), на якій випромінювання джерела зменшується в 50 разів по відношенню до величини на виході передавача

$$S = \frac{17}{V}$$

де S – ослаблення в [дБ]; V – дальність видимості.



Аналіз вихідної потужності АОЛЗ

Вихідна потужність каналу оцінюється впливом імпульсної характеристики на вхідну за допомогою операції згортки:

$$P_{out}(t) = g(t) * P_{in}(t)$$

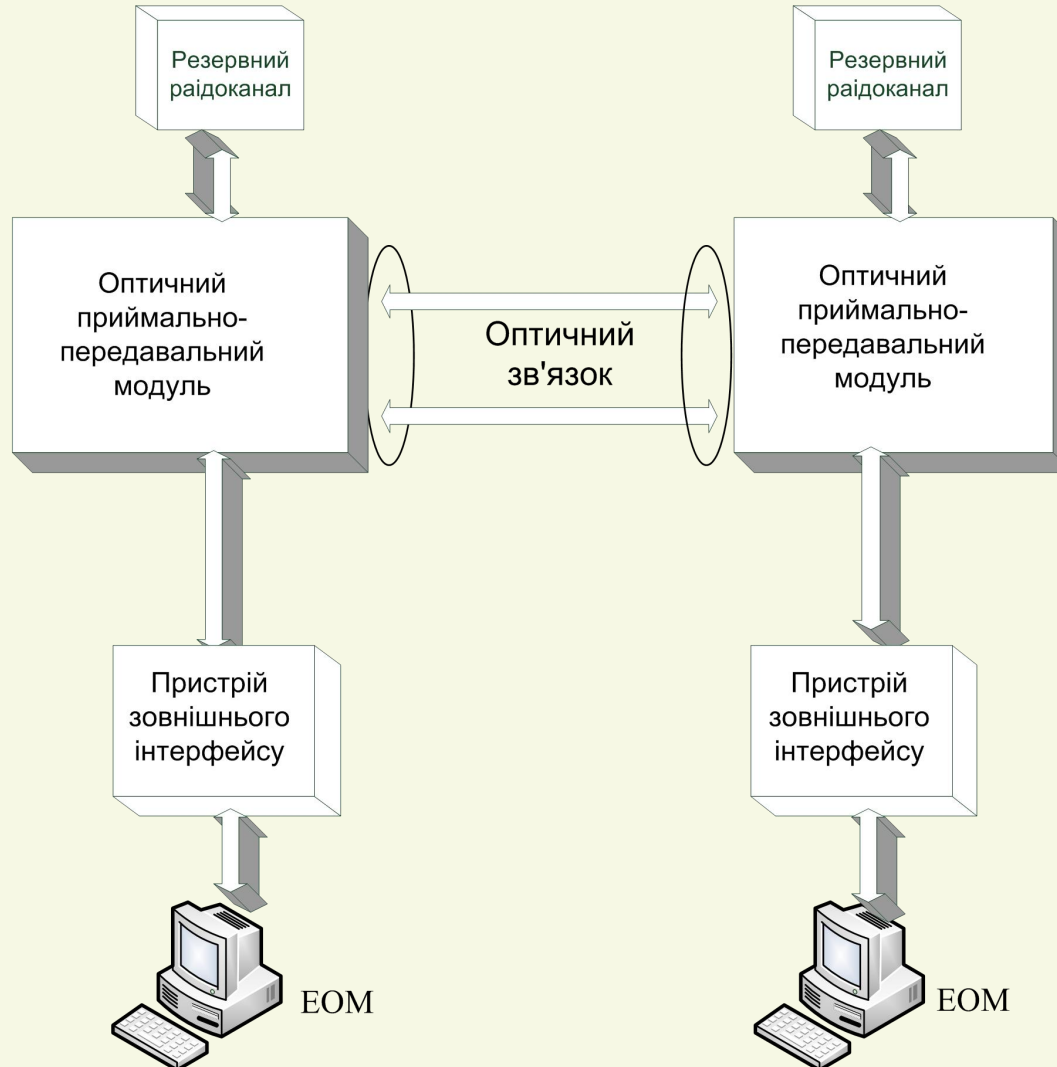
Імпульсна $g(t)$ і перехідна (амплітудо-частотна) $k(t)$ характеристики взаємопов'язані перетворенням Фур'є.

$$g(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} k(j\omega) e^{j\omega t} d\omega, \quad k(j\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} g(t) e^{-j\omega t} dt, \quad k(j\omega) = |k(\omega)| e^{j\phi(\omega)}$$

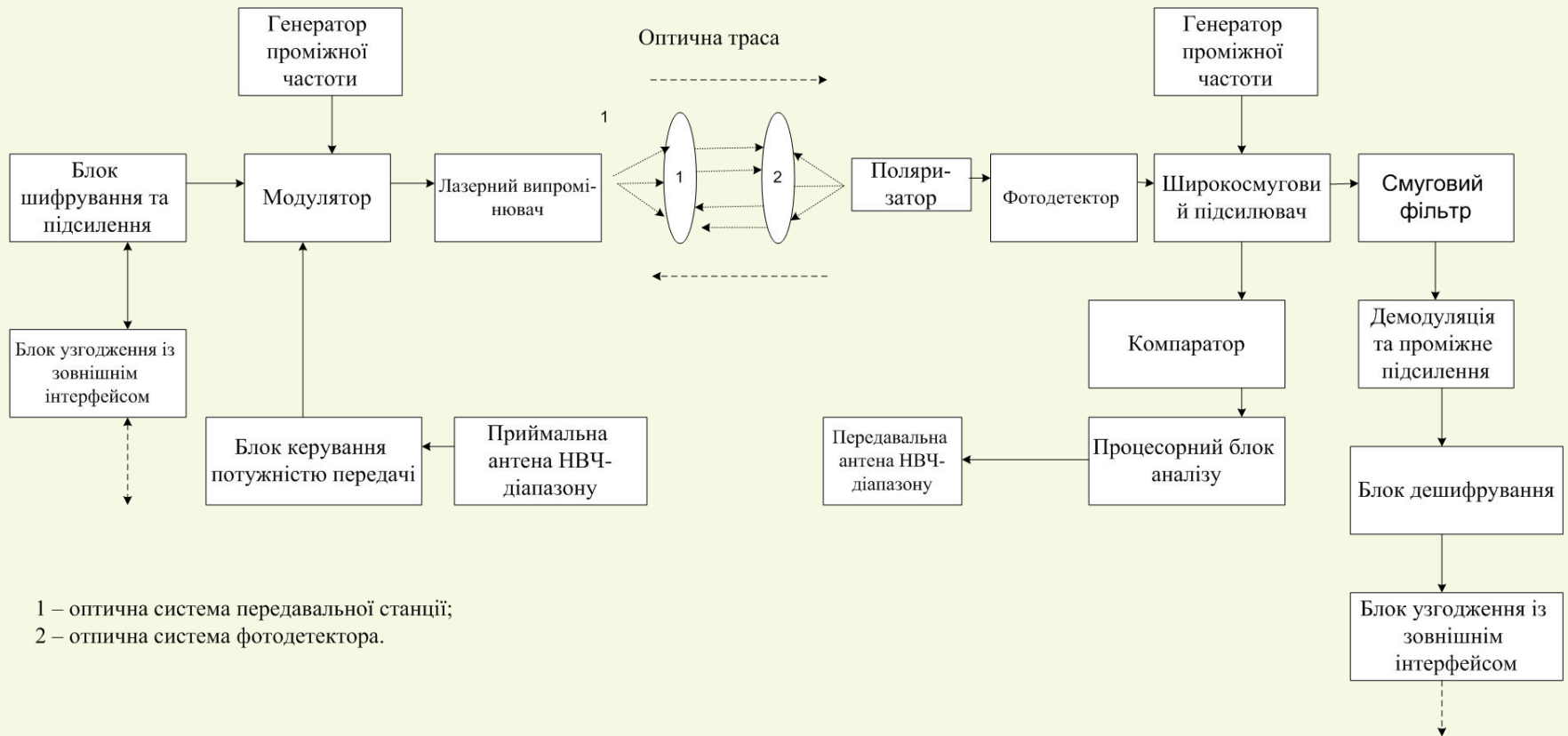
де ω – циклічна частота; $\phi(\omega)$ – фазово-частотна характеристика; j – комплексна змінна; c – швидкість світла.



Узагальнена схема лазерної інформаційно-передавальної системи відкритого оптичного зв'язку



Функціональна схема лазерної інформаційно-передавальної системи відкритого оптичного зв'язку



Основні технічні характеристики АОЛЗ

1 Коефіцієнт підсилення передавача: $G = 20 \lg(D) + 20 \lg(f) + 17,5$ [дБ],

де D - апертуру передавача м; f - робоча частота, Гц.

2. Ослаблення сигналу у вільному просторі: $L_0 = 20 \lg(4,189 \cdot 10^4 R_0 f)$ [дБ],

де R_0 - довжина інтервалу зв'язку, км,

3. Втрати енергії променя в газах атмосфери (L_2): $L_2 = (\gamma + \kappa) R_0$ [дБ],

де γ, κ - погонні загасання у водяних парах і атомах кисню атмосфери.

4. Рівень сигналу на вході приймача при відсутності завмирань:

$$P_{np} = P_{nep} + G_1 + G_2 - L_0 - L\phi_1 - L\phi_2 - L_2 - L_{p\phi} - L_{дон}$$

де P_{nep} - рівень потужності передавача, дБм, $L\phi_1, L\phi_2$ - ослаблення сигналу у фідерних лініях, дБ.

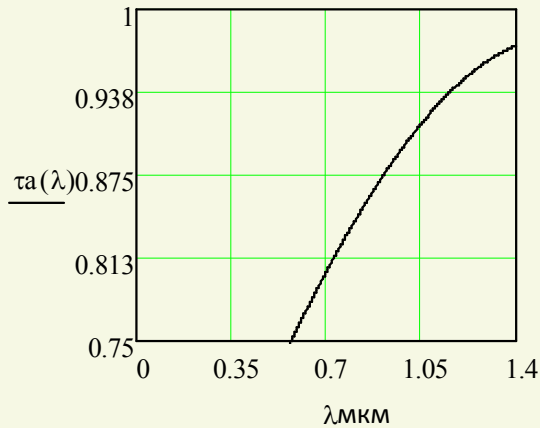
5. Радіус когерентності атмосфери: $r_0 = (0,423 \times 4\pi^2 \times C_n^2 L / \lambda^2)^{-3/5}$,

для випадку сильної турбулентності $C_n^2 = 3 \cdot 10^{-16} \text{ м}^{-2/3}$, отримуємо $r_0 \approx 1,18$ см.

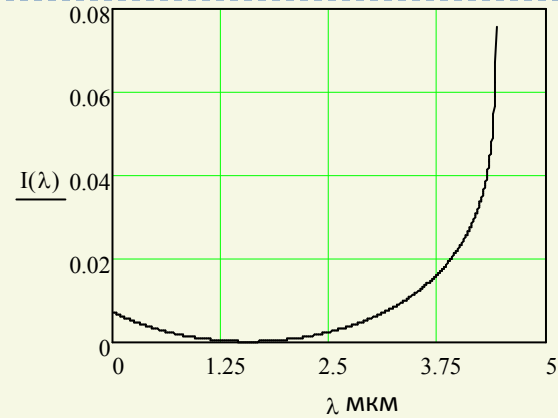
6. Дисперсія фазових збурень в атмосфері за формулою Д.Фрида: $\sigma_s^2 \approx 1,013 (D/r_0)^{5/3}$,



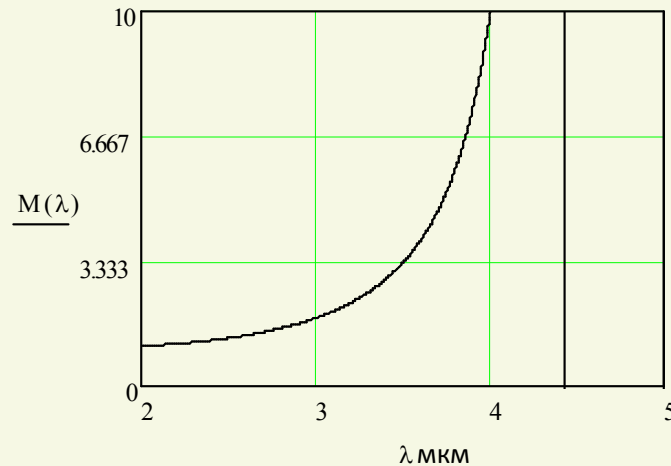
Аналіз основних характеристик розробленої АОЛЗ



Залежність $\tau_A(\lambda)$ від λ у вікнах прозорості 0,8...1,1; 1,2...1,6 мкм



Залежність $I(\lambda)$ від довжини хвилі λ у вікнах прозорості 0,8...1,1; 1,2...1,6 мкм



Залежність модуляційної передаточної функції атмосфери



Висновки

- } Проведено аналіз сучасних методів і засобів передачі інформації у відкритих оптичних системах зв'язку, визначено особливості їх функціонування та шляхи збільшення пропускної спроможності, дальності та надійності зв'язку, зокрема досліджено перспективи використання адаптивних оптичних каналів зв'язку.
- } Дістала подальшого розвитку методика компенсації атмосферних завад при розповсюдженні інформаційного сигналу в атмосферних оптичних системах зв'язку, яка відрізняється від відомих застосуванням комплексного механізму адаптації каналу зв'язку до зміни погодних умов, що дало можливість підвищити дальність зв'язку за рахунок зниження рівня втрат у системі.
- } Проведено моделювання характеристик атмосферної оптичної лінії зв'язку з урахуванням зміни атмосферних погодних умов та визначено критерій оптимізації потужності випромінювача в залежності від часу тривалості дії оптичної неоднорідності.



Апробація результатів

- } Матеріали магістерської кваліфікаційної роботи обговорювалися на міжнародній науково-технічній конференції «Оптоелектронні інформаційні технології ФОТОНІКА-ОДС-2018» (м.Вінниця, 2-4 жовтня 2018 року) та XLVII науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ (Факультет комп'ютерних систем і автоматики, секція лазерної та оптоелектронної техніки, Вінниця, ВНТУ, 2018), на яких доповідались окремі положення роботи й отримані результати.



Дякую за увагу!

