

СТРУКТУРИ ОПТИЧНИХ СЕКЦІЙ ЛІНІЙНИХ ТРАКТІВ ВОСП СУ ІЗ ГРАНИЧНО МІНІМАЛЬНИМ OSNR

Бердников О.М.

*Інститут спеціального зв'язку та захисту
інформації КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: 2507bom@gmail.com*

OPTICAL SECTIONS LINEAR PATHS STRUCTURES OF FOTS WDM WITH EXTREMELY MINIMAL OSNR

Improvement of the optical signal / noise ratio (OSNR) coefficient in each optical path formed by the VOSP SU is possible due to the reduction of amplifiers of intermediate points of the linear path. The results of long optical sections of OASs transformation that meet the requirements of ITU-T Rec. G.692 on the working attenuation of amplification sections and the sections length on which it is possible to obtain the minimum limit OSNR are provided.

Останні десятиліття характеризуються явно вираженим процесом інтеграції інформаційних систем та телекомунікаційних технологій, що у теперішньому часі пов'язаний з цифровізацією суспільства, зокрема, в Україні, яка стрімко підвищує свої позиції, в тому числі на *digital*-ландшафті Європи. Реалізація цього процесу вимагає неухильного збільшення пропускної спроможності Національної телекомунікаційної мережі України (НТМУ), підвищення її гнучкості, забезпечення ефективної маршрутизації при передачі текстової та мовної інформації, рухомих і нерухомих візуалів, інших мультимедійних послуг. Серед основних компонентів НТМУ, що безпосередньо відповідають за пропускну спроможність мережі, є оптичний сегмент транспортної платформи, який сформовано телекомунікаційними транспортними системами (ТТС). Інтегральною оцінкою таких систем як раз є пропускна спроможність, що визначається швидкістю та дальністю передачі лінійного сигналу. В якості ТТС на телекомунікаційних транспортних мережах і мережах доступу ще з кінця минулого століття успішно використовуються волоконно-оптичні системи передавання (ВОСП).

За цей період вони зазнали помітної трансформації в бік збільшення швидкостей передачі сигналів в оптичних лінійних трактах (ОЛТ) ВОСП. Якщо при використанні каналотворюючої апаратури (КУА) плезіохронної цифрової ієрархії вона становила десятки і сотні мегабіт в секунду, при переході до КУА синхронної цифрової ієрархії – 10 і 40 Гбіт / с. В теперішній час швидкості передачі сигналів в ОЛТ, що використовують технологію спектрального ущільнення (СУ) (*WDM – Wavelength Division Multiplexing / WDM*) тільки для *C*-діапазону довжини хвиль (найбільш використовуваний в Україні) складають терабіти в секунду [1, 2]. Оптичний сегмент транспортної платформи НТМУ сформовано ВОСП, що використовують технологію спектрального ущільнення (ВОСП СУ). Такі ВОСП СУ мають класичну структуру будови ТТС, яка складається з обладнання кінцевих (КП) та проміжних пунктів (ПП), що з'єднані

одномодовими оптичними волокнами (ООВ) оптичних кабелів (ОК) рис. 1.

Обладнання кінцевих пунктів (КП) формується з оптичних, фотонних лінійних терміналів (*PLTs* – *Photon Line Terminals*), а проміжних пунктів (ПП) з оптичних лінійних підсилювачів (*OLAs* – *Optical Line Amplifiers*), які складають оптичний, фотонний лінійний тракт (*PLP* – *Photon Line Path*).

Основними пристроями терміналу *PLT* є оптичні мультиплексор і демультимплексор (*Optical Multiplexer* і *Demultiplexer* (*OMX* і *ODMX*)) та підсилювачі – оптичний бустер (*OB* – *Optical Booster*) на передачі й оптичний передпідсилювач (*OP* – *Optical PreAmplifier*) на прийомі [1].

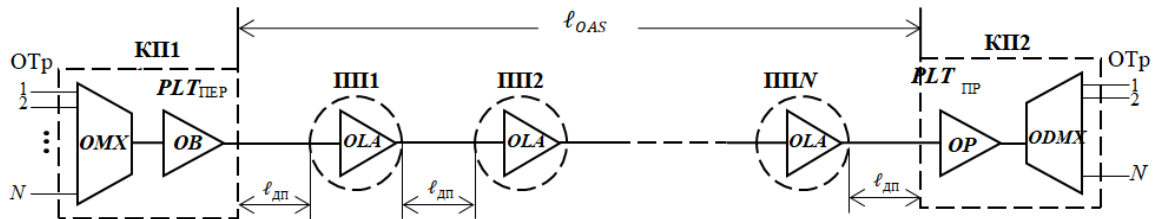


Рис. 1.

Ключова особливість ВОП в тому, що вони є широкопasmовими (ШСМ) або надширокопasmовими підсилювачами. ШСМ ВОП працюють, наприклад, у *C*- або *L*- діапазоні довжин хвиль λ та посилюють мультиплексний оптичний сигнал $\lambda_{1+2+3+\dots+N}$ у діапазоні 4...5 ТГц з нерівномірністю АХХ не більше ± 1 дБ. Однак, ВОП “шумлять” тобто, здійснюючи посилення мультиплексного сигналу $\lambda_{1+2+3+\dots+N}$ у лінійному тракті, вони вносять додатковий шум, який враховується коефіцієнтом відношення оптичний сигнал / шум (*OSNR* – *Optical Signal to Noise Ratio*) у кожному оптичному тракті (ОТр), що утворений ВОСП СУ. У ВОСП різних технологій СУ (*DWDM*, *HDWDM*, *NWDM*) тестування з коефіцієнта помилок по бітах (*BER* – *Bit Error Rate*) проводиться для кожного утвореного ОТр. При тестуванні ОТр по *BER* використовують однозначну функціональну залежність $BER = f(C/\text{Ш})$, де коефіцієнт помилок є функцією *BER* тобто відношення *OSNR* потужності сигналу (P_C) до потужності шуму ($P_{\text{ш}}$). Для двійкових цифрових сигналів такою функцією є функція Крампа, для неї існують відповідні таблиці. Тоді, вимір *BER* еквівалентний вимірюванню *OSNR*. Тому, щоб підтримувати задане *OSNR* на виході ОТр, що утворюється, число *OLAs* в лінійному тракті повинно бути обмежене.

Найближчі пункти *PLP* з’єднані стандартизованими ділянками посилення (ДП) з оптичних волокон різних типів з довжинами $l_{\text{ДП}}$, км рис. 1. Такі ДП через ООВ ОК з’єднують вказані елементи лінійних трактів. У ВОСП СУ для побудови їх *PLPs* застосовуються всі три групи типів ООВ: *SF*, *DSF* і *NZDSF*.

Сукупність декількох ДП складають оптичну секцію посилення (*OAS* – *Optical Amplifier Section*) – це частина *PLP* між двома будь-якими сусідніми пунктами доступу або елементами мережі, в яких *PLP* розділяється на ОТр. Секції *OASs* можуть бути короткими, середніми і довгими. Короткі *OASs* (50...80 км), як правило, не містять ВОП. Середні *OASs* (120...150 км) зазвичай містять оптичні бустери-*OB* і передпідсилювачі-*OP*. Довгі секції *OASs* (600...800 км), крім *OB* та *OP*, містять кілька підсилювачів *OLAs*.

Документами *ITU-T* Рек. *G.692* в структурі довгих секцій *OASs* рекомендовано використовувати три варіанти довгих ділянок ДП. *L* (*Long*) –

довгі ДП це ділянки ООВ до 80 км з затуханням (a_p^L) до 22 дБ, тоді коефіцієнт затухання ООВ буде не більше $\alpha_L = (22 \text{ дБ}) : (80 \text{ км}) = 0,275 \text{ дБ/км}$. VL (Very Long) – дуже довгі ДП це ділянки ООВ до 120 км з затуханням (a_p^{VL}) до 33 дБ, тоді коефіцієнт затухання ООВ буде не більше $\alpha_{VL} = (33 \text{ дБ}) : (120 \text{ км}) = 0,275 \text{ дБ/км}$. UL (Ultra Long) – наддовгі ДП це ділянки ООВ протяжністю до 160 км з затуханням (a_p^{UL}) до 44 дБ, тоді коефіцієнт затухання ООВ буде не більше $\alpha_{UL} = (44 \text{ дБ}) : (160 \text{ км}) = 0,275 \text{ дБ/км}$. Як видно, всі рекомендовані ДП секції OAS типу L, VL, UL з різними довжинами мають однакове значення коефіцієнта затухання ООВ (α). На практиці при будівництві PLPs це не виконується.

Згідно Рек. ITU-T G.692 кожний тип ДП визначається робочим затуханням ($a_p^{\text{ДП}}$), довжиною OAS (ℓ_{OAS}) та кількістю ДП ($n_{\text{ДП}}$), що надано в табл. 1 стрічками, які виділені сірим кольором.

Загальну структуру OASs PLPs ВОСП СУ пояснює рис. 1, на якому надані OLAs ПП, що вносять максимальну долю шумів PLPs в кожний ОTr. Зі зменшенням шумів покращується коефіцієнт OSNR і знижується коефіцієнт BER в кожному ОTr. Мінімізацію шумів можливо досягнути зменшенням кількості OLAs при заданому за Рек. ITU-T G.692 робочому затуханні ДП ($a_p^{\text{ДП}}$) та довжиною секції OASs (ℓ_{OAS}). Результати, що наведені в табл. 1, вказують на наявність структур OASs з гранично мінімальними коефіцієнтами OSNR.

Таблиця 1.

Типи ООВ	Параметри	<i>L OLAs</i>	<i>VL OLAs</i>	<i>UL OLAs</i>	Примітки
	ℓ_{OAS} , км	640	600	1280	
	$a_{P^{III}}$, дБ	22	33	44	
Рек. <i>ITU-T G.692</i>	$\ell_{ПД}$, км	80	120	160	<i>Corning: OB T (SSF G.652)</i> <i>Fujikura: DSM-8/125 (DSF G.653)</i>
	$\alpha_{ООВ}$, дБ/км	0,275			
	$N_{ВОП} / n_{ДП}$	9/8	6/5	9/8	
Варіант 1 <i>NZ DSF</i> Рек. <i>ITU-T G.655</i>	$\alpha_{ООВ}$, дБ/км	0,24	0,22	0,24	<i>Lucent Technologies: AllWave; TrueWave</i> <i>Corning: LEAF; SMF</i> <i>Fujikura: SM-10/125; DSMNZ-9/125</i>
	$\ell_{ДП}$, км	≈91,4	150	≈183	
	$N_{ВОП} / n_{ДП}$	8/7	5/4	8/7	
	Δ_{OSNR} , %	11	17	11	
Варіант 2 <i>NZ DSF</i>	$\alpha_{ООВ}$, дБ/км	0,205	0,165	0,206	Гранично мінімальні для <i>VL OLAs</i>
	$\ell_{ДП}$, км	≈107	200	213	
	$N_{ВОП} / n_{ДП}$	7/6	4/3	7/6	
	Δ_{OSNR} , %	22	33	22	
Варіант 3 ООВ	$\alpha_{ООВ}$, дБ/км	0,172	0,11	0,172	Гранично мінімальні для <i>L i UL OLAs</i> Не досягне для <i>VL OLAs</i>
	$\ell_{ДП}$, км	128	300	256	
	$N_{ВОП} / n_{ДП}$	6/5	3/2	6/5	
	Δ_{OSNR} , %	33	—	33	

При застосуванні ООВ типу *NZ DSF* різних вендерів з коефіцієнтами затухання менш 0,275 дБ/км зменшується загальний рівень шумів (Δ_{OSNR}) в границях від 11 до 33%, що дозволяє зробити висновок про якісне поліпшення коефіцієнту BER в кожному ОTr за рахунок трансформації структур секцій OASs лінійних трактів ВОСП СУ.

Література

1. Хмелев К.Ф. Основы фотонного транспорта. – Киев: Техніка. 2008. – 680 с.
2. Бердников О.М., Хмельов К.П. Застосування технології WDM на телекомунікаційних мережах / Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ “КПІ”. – 2003. – № 3. – с. 5...11.