

Вінницький національний технічний університет  
Факультет комп'ютерних систем та автоматики  
Кафедра лазерної та оптоелектронної техніки

Метод передачі даних по універсальному локальному волоконно-оптичному інтерфейсу від сонячної фотоелектричної станції

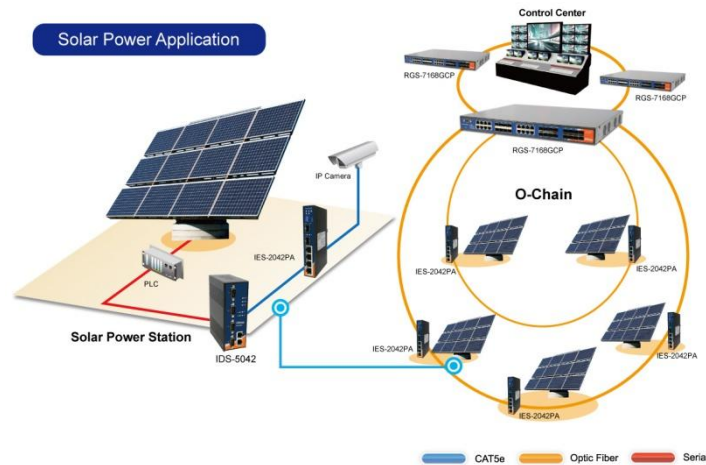
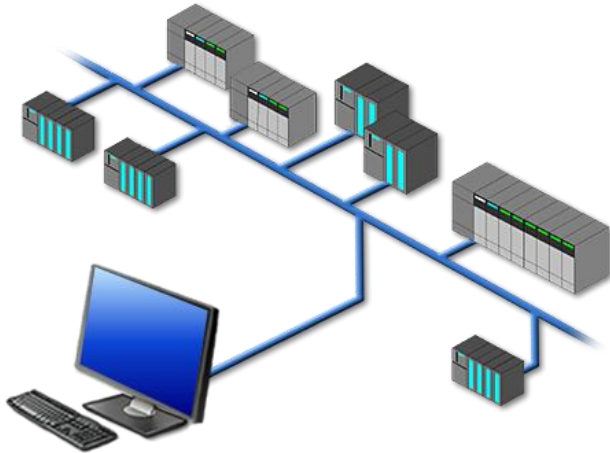
**Матеріали до дипломної роботи за освітньо-кваліфікаційним рівнем  
«магістр» із лазерної та оптоелектронної техніки**

Доповідач магістрант гр. ЛТО-17мз  
Бойчук В.О.

Науковий керівник:  
к.т.н., доц. Малиновський В. І.

**Вінниця – ВНТУ 2019**

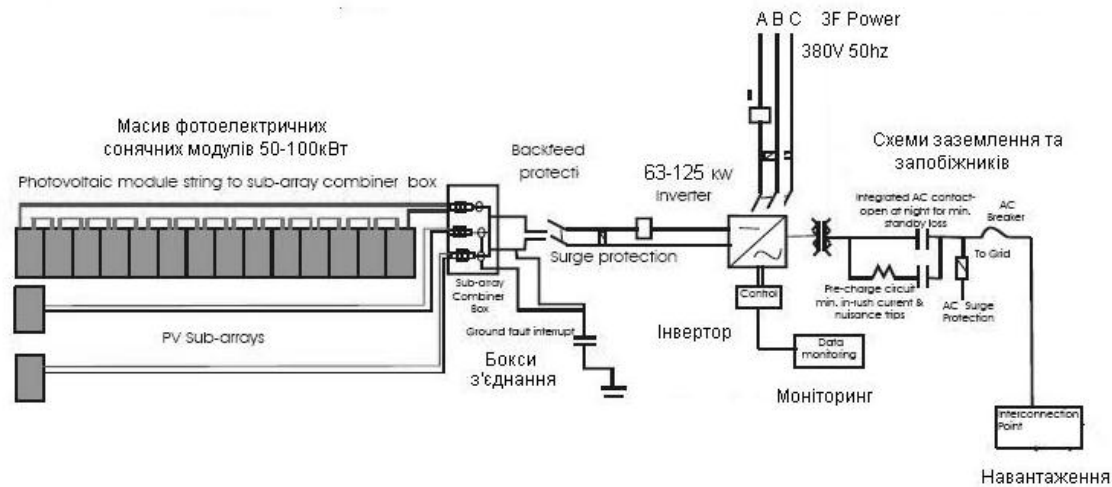
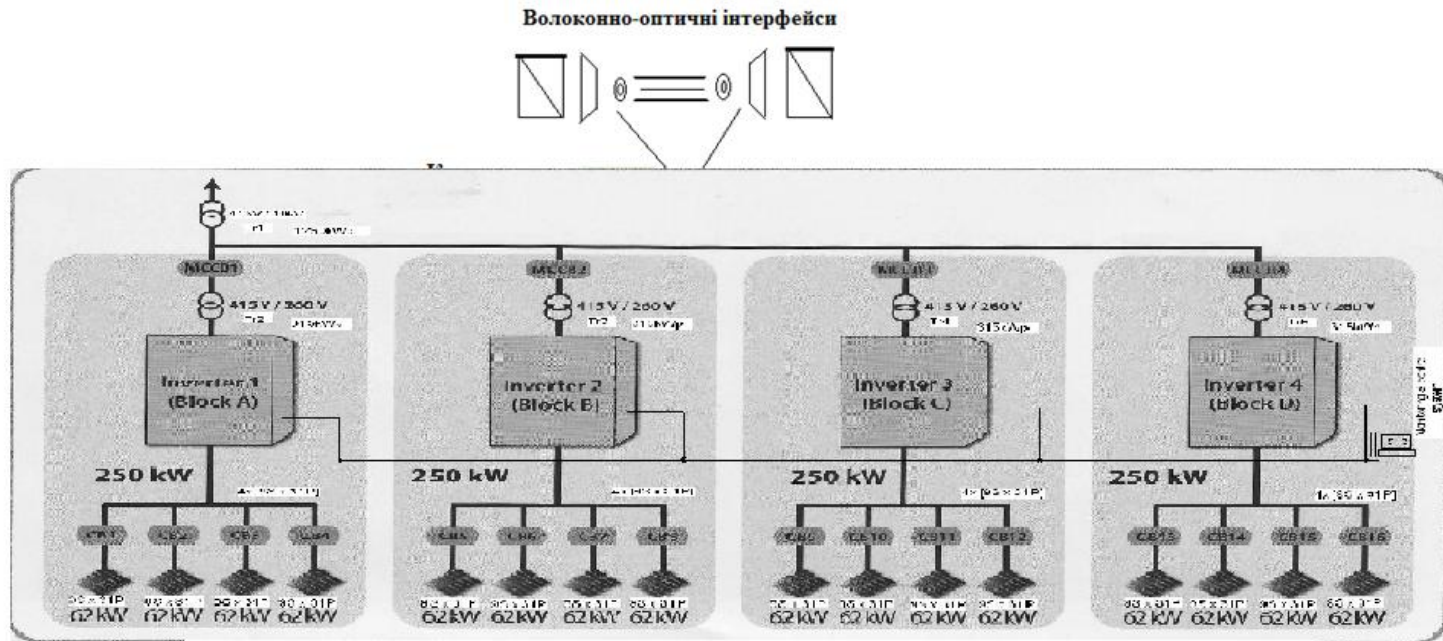
# АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ



Відстані від 1000м до 5км.

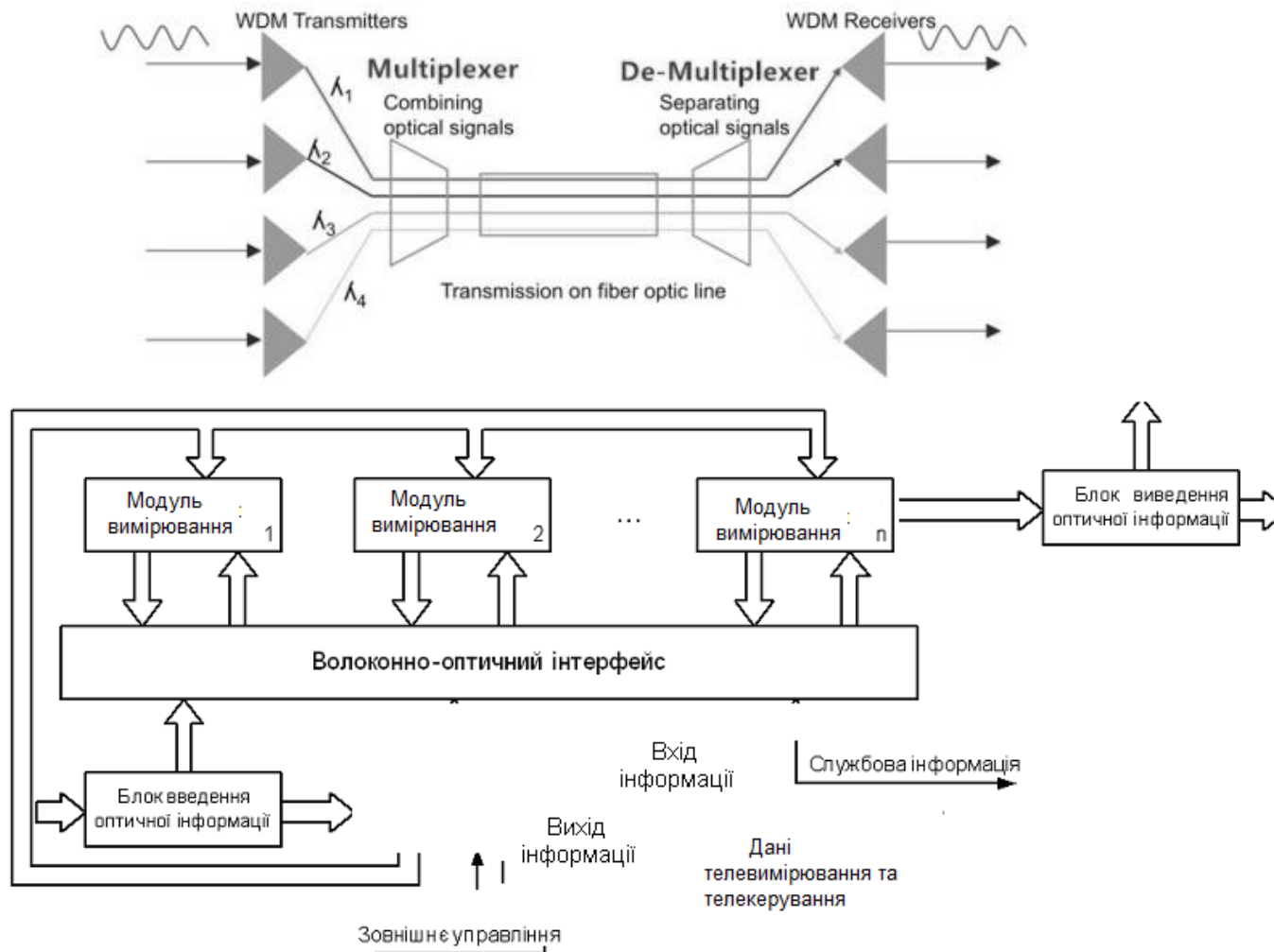
Процеси передавання вимірювальних параметрів та сигналів телеуправління від об'єкту контролю або керування до основного комп'ютера із програмним забезпеченням та системами SCADA [3, 4] і іншими НМІ є ключовою задачею сучасних промислових ФЕС (фотоелектричних станцій)

# ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ ІНТЕРФЕЙС-КАНАЛІВ ДЛЯ СИСТЕМ ТЕЛЕУПРАВЛІННЯ НА ФЕС



ТІ

# ВИКОРИСТАННЯ ВОЛ-ІНТЕРФЕЙСІВ У СИСТЕМАХ ФЕС



## МЕТА, ОБ'ЄКТ, ПРЕДМЕТ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

**Мета роботи:** розширення функціональних можливостей та підвищення показників швидкодії передачі інформації та її стабільності із зменшенням показника похибки передачі в універсальних локальних волоконно-оптичних інтерфейс-каналах для передавання вимірювальних даних та сигналів керування від модуля системи промислової автоматики в складі сонячної фотоелектричної станції.

**Об'єкт дослідження:** процес передавання інформаційних даних моніторингу вимірювальних даних від модуля системи промислової автоматики фотоелектричної станції по локальних волоконно-оптичних інтерфейсах.

**Предмет дослідження:** метод передачі телеметричних даних та даних керування по локальних волоконно-оптичних інтерфейсах від сонячної фотоелектричної станції», їх статичні та динамічні характеристики.

### **Завдання дослідження :**

- проаналізувати існуючі волоконно-оптичні інтерфейси на промислових об'єктах автоматизації та сонячних фотоелектричних станцій обґрунтувати переваги цих оптичних інтерфейсів по відношенню до існуючих;
- розробити математичну модель передачі групи сигналів у локальних оптоволоконних інтерфейсах спільного передавання інформаційних даних та енергетичного живлення малої потужності.
- вдосконалити метод універсального передавання телеметричної та керуючої інформації у локальних волоконно-оптичних інтерфейс-каналах із врахуванням промислових умов, факторів впливів на сигнал на сонячної фотоелектричної станції;
- вдосконалити математичну модель сигналу у волоконно-оптичні лінії інтерфейсу із врахуванням паралельної передачі інформації та конвергентного(змішаного) трафіку даних оптичними потоками та електромагнітних впливів від промислового обладнання.
- розробити структурні схеми та алгоритмічну частину локальних волоконно-оптичних інтерфейсів із використанням методу.

## НАУКОВА НОВИЗНА ОДЕРЖАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

1. Вдосконалено метод універсального передавання телеметричної та керуючої інформації у локальних волоконно-оптичних інтерфейс-каналах, який відрізняється від відомих тим, що передбачає апаратно-програмну фільтрацію спектру сигналів даних, використанн завадостійкого кодування із стисненням даних, виконує комплексну конфергенцію трафіку і враховує промислові умови і фактори впливу на інформаційні сигнали. Розроблений метод дозволяє виконувати передавання сигналів у волоконно-оптичному середовищі промислових ліній до ФЕС із забезпеченням вищої швидкодії та меншим коефіцієнтом помилки, що дозволяє підвищити якість і виконати компенсацію процесів завад і загального спотворення пакетів даних у волоконно-оптичному тракті.

2. Вдосконалено математичну модель передачі сигналу у волоконно-оптичному інтерфейс-каналі до сонячної фотоелектричної станції, яка передбачає використання завадостійкого комплексного кодування і перетворень сигналів із фільтрацією їх спектрів, також враховує комплексну конвергенцію потоків даних, які групами вводяться і розповсюджується у волоконно-оптичному інтерфейс-каналі. Дана модель дозщволяє зкомпенсувати компоненти адитивних спектрів завад, пропорційно кількості сигналів у волоконно-оптичному інтерфейс-каналі при мультиплексуванні. Також модель враховує величину втрат інформації і взаємодій каналів в оптичному середовищі. Це дозволило більш точно описувати передачу сигналів із вищими швидкостями і частково зменшити вплив негативних факторів і адитивних спектральних складових на корисні сигнали даних.

## ПРАКТИЧНЕ ЗНАЧЕННЯ ОДЕРЖАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

1. Вдосконалено структурну схему волоконно-оптичних інформаційно-енергетичних інтерфейс-каналів, яка на відміну від відомої включає блоки комплексної конвергенції та апаратно-програмного заводостійкого кодування і фільтрації, що дозволило зменшити негативний вплив та підвищити швидкість передачі для промислових задач, а також зменшити коефіцієнт виникнення помилки передачі. Це також дозволяє більш точно передавати дані керування та телевимірювань із сонячної промислової фотоелектричної станції.

2. Модифікованого структуру і конструкцію волоконно-оптичного інтерфейс-каналу системі передачі вимірювальних та керуючих блоків в складі сонячної фотоелектричної станції на базі багатомодового економічно дешевого оптичного волокна і суміщеного провідника передавання електричної енергії, що дозволило розширити функціональні можливості і підвищити символічну швидкість передачі даних.

3. Вдосконалено структуру системи передавання даних із ФЕС, що містить блоки кодування заводостійким кодом та кодом Грея, яка працює в складі інтерфейс-каналу зв'язку із фотоелектричною станцією, яка включає легке поєднання та структурну інтеграцію у промислові мережі. Це зменшує число загальних необхідних комунікацій каналів за рахунок комплексної конвергенції потоків даних керування і даних телевимірювань і дозволяє розширити функціональні можливості роботи систем дистанційного контролю та вимірювань.

## АНАЛІЗ АНАЛОГІВ ІНТЕРФЕЙСІВ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ ДО ФЕС

Таблиця 1.1 – Техніко-економічні показники аналогу та системи інтерфейсу

Показник	Система, яка розробляється	Аналог
Швидкість передачі (Мбіт/с)	750	10-200
Дальність передачі (км)	1-2	0.1-5
Точність передавання даних	$10^{-8}$	$3.5 \cdot 10^{-9}$
Собівартість, грн	--	--

Таблиця 1.2 – Характеристики основних техніко-економічних параметрів

Параметр порівняння	Аналог на основі ВОЛЗ	Нова розробка на основі ВОЛЗ
Максимальна швидкість передачі даних, МБіт/с	200	750-800
Максимальна відстань передачі інформації без підсилення, км	0.1-1	1-5
Час встановлення необхідної апаратури та пристроїв, днів	10-15	10– 15
Робоча частота, ГГц	До 600	До 800
Конфіденційність інформації, що передається	Дуже мала можливість підключення	Абсолютна неможливість підключення
Середня ціна систем зв'язку з швидкістю 1.25 Мбіт/сек	50000	25000



# АНАЛІЗ АНАЛОГІВ ІНТЕРФЕЙСІВ ПЕРЕДАЧІ ТЕЛЕДАНИХ ДО ФЕС

Таблиця 1.3. Параметри сучасних послідовних інтерфейсів передавання даних – аналогів каналів зв'язку із ФЕС

Інтерфейс	Версія	Швидкість передачі інформації Мбіт/с	Дальність зв'язку, м	Ціна реал. 1м, \$
USB	1.1	1-12	5-10	0.25
	2.0-3.0	480-1500	5-10	0.3
RS232-485		2 – 120 Кбіт/с	3-5	3
Bluetooth		1000 Кбіт/с	10-120	4
FC		1 Мбіт/с – 10 Гбіт/с	5-10км	6.5
HIPPI		200-1600 Мбіт/с 6Гбіт/с	10·10 <sup>3</sup>	18.0
FDDI/CDDI		100 Мбіт/с -1 Гбіт/с	2-5·10 <sup>3</sup>	0.4-8.4
ModBus		0.512-1 Мбіт/с	1 10 <sup>3</sup>	0.01
j-Bus		1-3 Мбіт/с	1 10 <sup>4</sup>	0.01-0.005
Profi-Bus		До 2 Мбіт/с	1 10 <sup>3</sup>	0.02-
VOIEIK		До 1 Мбіт/с	1 10 <sup>3</sup>	0.2-0.5

Таблиця 1.4 – Порівняльна характеристика існуючих інтерфейсів –

Назва інтерфейсу	Номінальна швидкість передавання даних, Мбіт/с	Номінальна дальність передавання, м	Енергетична пропускна здатність, Вт	Захищеність даних, ум.од.*
FC	70	200	100	0.21
FDDI / CDDI	150	300	10 <sup>4</sup>	0.6
PLC	0.3	15·10 <sup>3</sup> - 75·10 <sup>3</sup>	10 <sup>5</sup>	0.41
USB	100	150	15	0.3
POE	11	10	2.5	0.3
x-Bus (Profi Nets)	1-2	1000-3000	2.5-10	0.1
FOIEIC	до 1	До 1000	2.5-5	0.8-0.9

# АНАЛІЗ АНАЛОГІВ ІНТЕРФЕЙС-КАНАЛІВ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ ДО ФЕС

Таблиця 1.1 – Порівняння параметрів технологій PoE та USB

Технологія	PoE/Green Ethernet	USB
Довжина кабелю, м	До 5-10	5-10
Макс. потужність приладів, Вт	2.5-3	10-15
Швидкість передачі, Мбіт/с	10	900-1000
Міцність ізоляції, В	1.5-2кВ	1.5-2 кВ

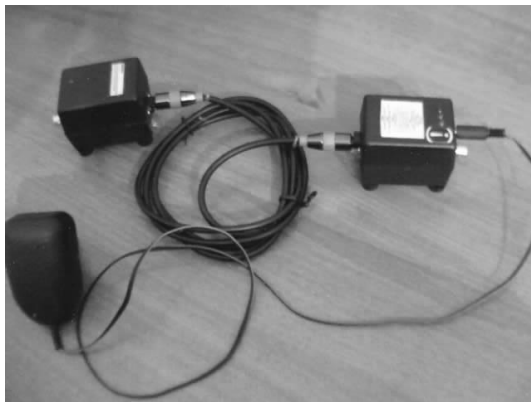


Рисунок 1.1 – Аналог (прототип): Макет волоконно-оптичний інформаційно-енергетичного інтерфейсу [21]

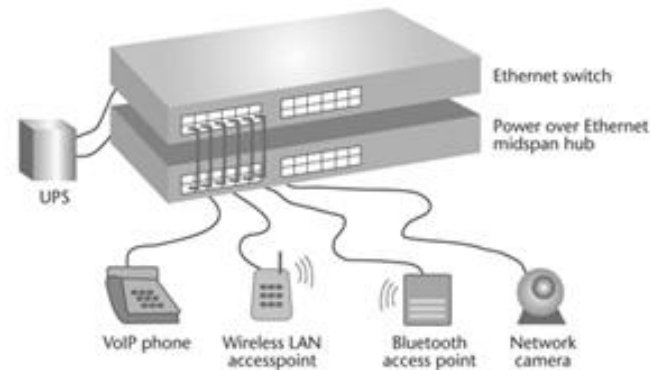
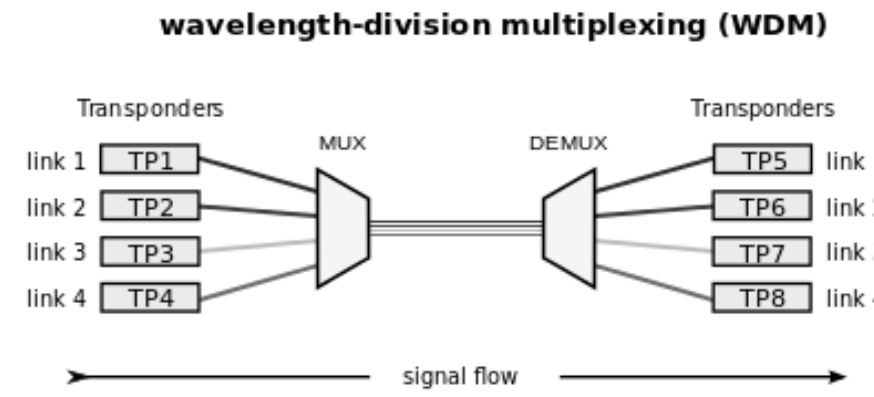
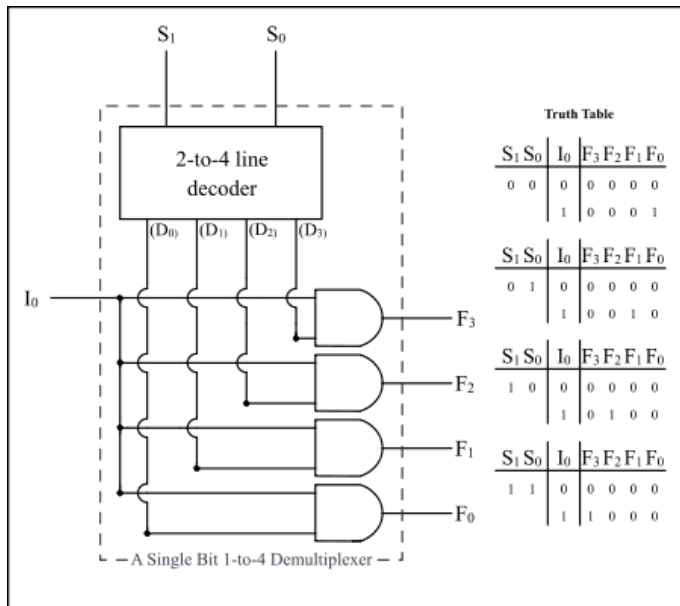
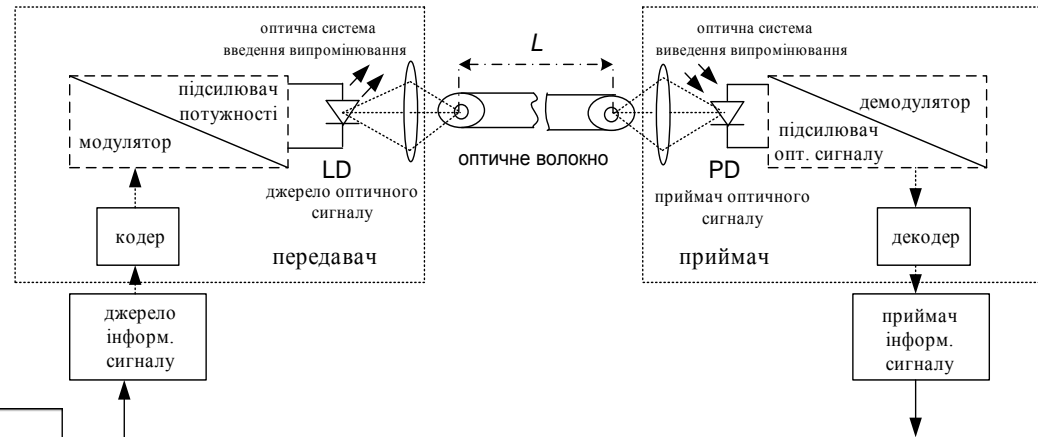
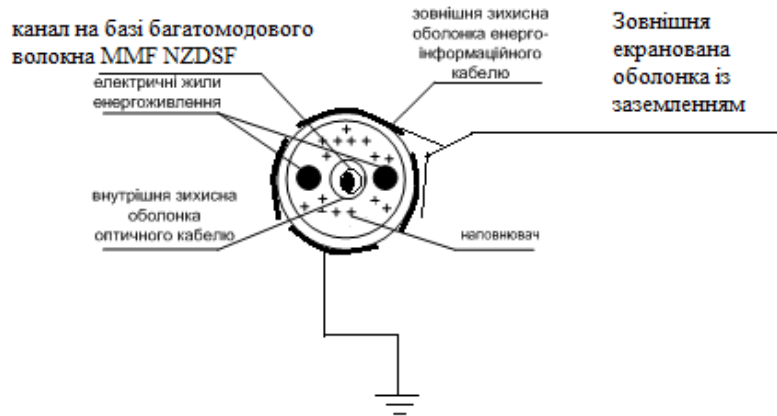


Рисунок 1.2 – Аналог : Інтерфейси Ethernet/PoE/Green Ethernet для передачі даних та енергетичного підживлення проміжного обладнання [22]

Таблиця 1.2 – Порівняльна характеристика існуючих інтерфейсів конкурентів із системою, що розробляється

Назва інтерфейсу	Номінальна швидкість передавання даних, Мбіт/с	Номінальна дальність передавання, м	Енергетична пропусканна здатність, Вт	Захищеність даних, ум.од.*
FC	1000	200	100	0.21
FDDI / CDDI	1000/100	300	10 <sup>4</sup>	0.6
PLC	0.3	15·10 <sup>3</sup> - 75·10 <sup>3</sup>	10 <sup>5</sup>	0.41
USB	100-480	150	15	0.3
POE	11	10	2.5	0.3
VOEIK	700 Мбіт/с	100	10-15	0.8

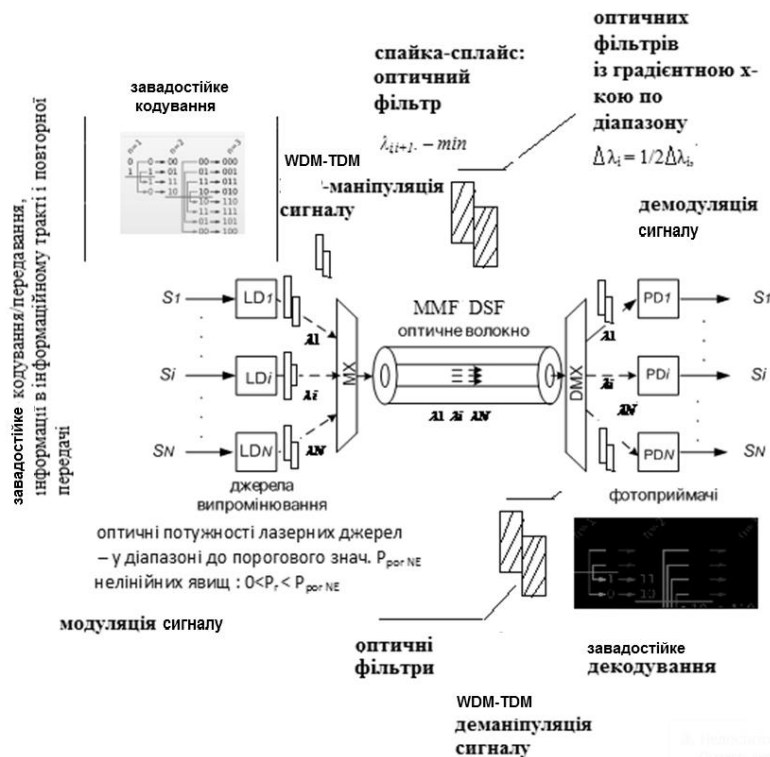
# УЗАГАЛЬНЕНІ ПІДХОДИ ТА ВІДОМІ ТЕХНОЛОГІЇ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ ІНТЕРФЕЙС-КАНАЛІВ



Спрощені структурні схеми ВОЛ інтерфейсу (технологія ВОІЕІК) із застосуванням ущільнення та підходів завадостійкого кодування для спільної передачі конвергованих(об'єднаних) потоків сигналів телевимірювання та телекерування від різних джерел даних у ФЕС

Більш деталізовано структурні схеми описані в пояснювальній записці

# ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ І СТРУКТУРИ ОПТИЧНИХ ІНТЕРФЕЙС КАНАЛІВА І КАБЕЛІВ ІНТЕРФЕЙСУ ЗВ'ЯЗКУ СИСТЕМИ ДЛЯ ЗАДАЧІ ОБМІНУ ДАНИМИ ІЗ ФЕС



Метод і узагальнена структура інформаційних кабелів (на базі об'єднаних провідників) для цільовому призначення і використання в якості ланки зв'язку у ФЕС

В середині волокна ОВ для покращення самого методу передачі пропонується використовувати цілий ряд заходів, зокрема:

- Використання волокон із зміщеною дисперсією: MMF DSF у багатомодовому різновиді. Для компенсації загальної дисперсії  $t_z$  і збільшення загальної швидкості каналу  $B_{max}$  [біт/с];
- Використання програмно-апаратних фільтрів і процесу фільтрації на сигнальному контролері DSP (Digital Signal processor) на вході (джерелі) і виході каналу з метою обмеження і часткової обрізки завад і обмеження спектру завад  $N\Delta\lambda_{i,i+1}$ , і визначення формування чіткого спектру сигналу  $S\Delta\lambda_{i,i+1} - min$
- Використання оптичних фільтрів по спектральним складовим ступінчастою характеристикою по всьому діапазону  $\Delta\lambda_i = 1/2\Delta\lambda_i$ , для зменшення перехресних взаємодій в каналах WDM.
- Використання режимів роботи оптичних джерел (лазерів і світлодіодів) у лінійному діапазоні: до порогового появи нелінійних ефектів [21], тобто  $0 < P_r < P_{por,NE}$ , де  $P_{por,NE}$  – порогові значення появи нелінійних явищ.
- Використання завадостійкого кодування/декодування, сигналів інформації із стисненням пакетів даних (перетворення Уолша-Адамара із кодуванням кодами Грея) в інформаційному тракті при повторній передачі, за рахунок втрати частотної смуги сигналу  $\Delta S\Delta W$  по швидкості передавання у об'єднаних волоконно-оптичних провідників шляхом застосування модифікованого методу оптичного хвильового мультиплексування WDM для волоконно-оптичних інтерфейс-каналів.

# МОДИФІКАЦІЯ СТРУКТУРИ ОБ'ЄДНАНИХ ПРОВІДНИКАХ ВОЛ-ІНТЕРФЕЙСІВ

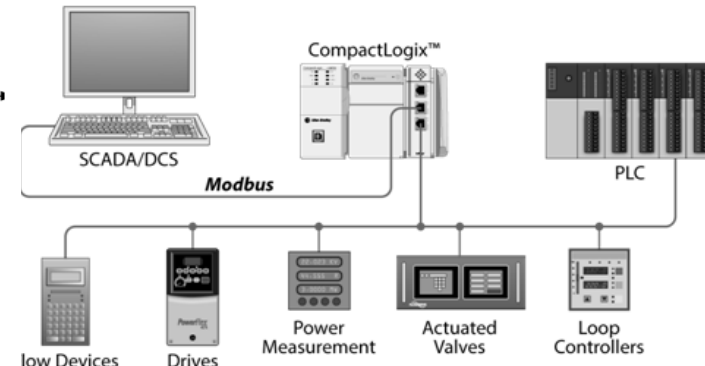
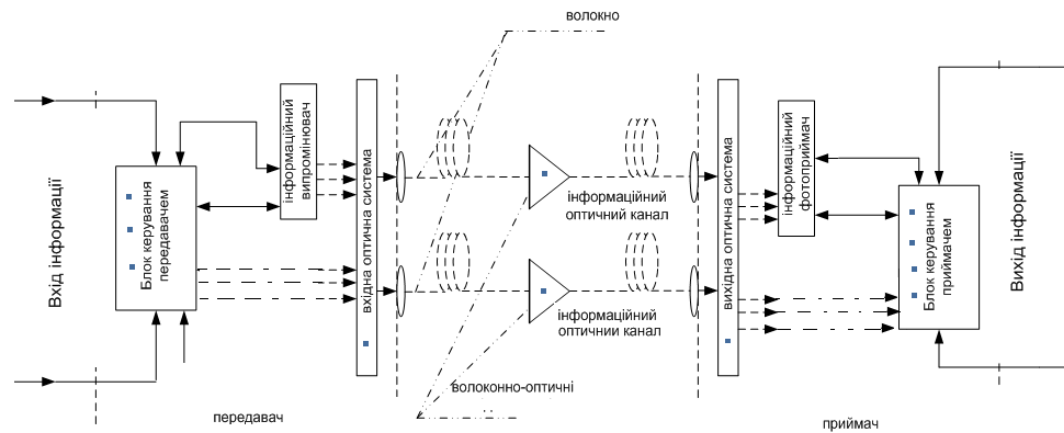
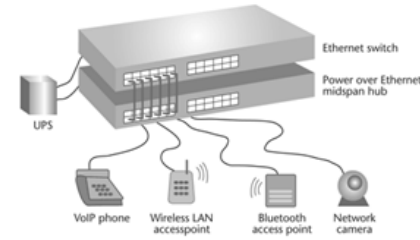
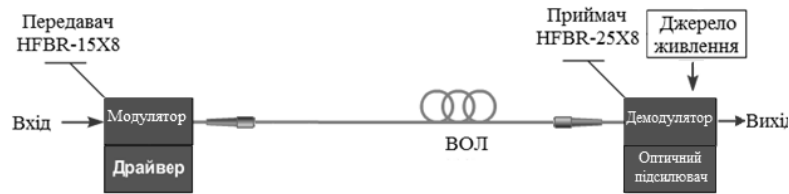


Рис. 2.5 – Узагальнена схема комутатора із оптичними портами та його підключення промислових інтерфейсів Profibus та ModBus для організації промислової мережі (наприклад ProfiNET)

Вдосконалена структурна схема волоконно-оптичного інформаційно-енергетичного каналу, що передбачає фільтрацію і містить спектральні оптичні фільтри на вході і виході

$$T\rho = \sum_{i=1}^N \frac{P_{opt}\lambda_i}{S_{core}} = \sum_{i=1}^N \frac{P_{opt}\lambda_i}{\pi r_{core}^2} = \sum_{i=1}^N \frac{P_{opt}\lambda_i}{\pi r_{core}^2}$$

Сумарна кількість спектрів каналів системи  $S_{sum}$  із врахуванням фільтрації спектральними оптичними фільтрами визначиться як:

$$S_{sum} = \sum_{i=1}^N \lambda_i + \sum_{j=1}^K \lambda_j - \sum_{j=1}^M \Delta\lambda_j - \sum_{j=1}^M \Delta\lambda_j$$

де  $T\rho_{opt,\lambda_i}$  – оптична потужність довжини хвилі  $\lambda_i$ , що відповідає кожному  $i$ -му каналу зв'язку;

$r_{core}$  – радіус серцевини оптичного волокна;  $S_{core}$  – площа серцевини оптичного волокна;

$N$  – кількість каналів у оптичному волокні, розташованих на оптичних частотах  $\lambda_i$ ,

$i=1-N$ . Кількість каналів у одному волокні визначається величинами втрат і перехресних взаємодій спектрів оптичних каналів з врахуванням нелінійних ефектів та робочим вікном прозорості  $\Delta\lambda_{роб}$  оптичного волокна,

# ВРАХУВАННЯ УМОВ ВИСОКОНАДІЙНОЇ ПЕРЕДАЧІ ПРИ ВИСОКОЇ ШВИДКОСТІ ПЕРЕДАЧІ ТЕЛЕДАНИХ У ОБ'ЄДНАНИХ ПРОВІДНИКАХ ВОЛ-

Допустимі межі для стабільного і надійного трафіку сигналів в каналі мережі можна визначити співвідношенням [21]:

$$D_{\text{заг}} \geq \sum_{i=1}^J D_{\text{однmax}} + D_{\text{втр}} + D_{\text{рез}}, \quad (2.1)$$

де  $D_{\text{заг}}$  - загальна потужність, що надходить у ОІВКМ;  $D_{\text{однmax}}$  - значення максимальної потужності, яку може спожити один споживач;  $D_{\text{втр}}$  - величина всіх втрат потужності в каналах системи та у її вузлах;  $D_{\text{рез}}$  - значення запасу потужності, яка зарезервована на майбутніх користувачів та іншого кінцевого обладнання, і визначає ступінь потенційної енергетичної напруженості мережі.

Для ВОЛЗ із хвилевим мультиплексуванням WDM/TDM основним критерієм необхідної високої пропускної здатності і швидкості буде умова виконання рівності:

$$S_{qk} \Delta WMB = \sum_{q=1}^k m \Delta WNB (1 \leq qk \leq P), \quad (2.2)$$

де  $\Delta WMB$  – усереднений розкид оптичних частот між оптичними каналами  $q$ , при взаємодії яких спостерігається нелінійних ефект накладання і нелінійного змішування довжин хвиль (НЗ);  $q = 1 \dots P$ , де  $P$  – загальне число всіх каналів у волокні, які мультиплексуються,  $P=N+K$  ( $N$  - кількість інформаційних,  $K$ -кількість енергетичних каналів);  $S_{qk} \Delta W$  – значення розкиду між каналами з оптичними частотами  $f$  ( $f = c/\lambda$ ,  $c$  - швидкість світла в оптичному волокні,  $\lambda$ -довжина хвилі визначеного каналу);  $k$  - кількість груп каналів, при взаємодії яких спостерігається ефект нелінійного змішування (НЗ);  $m$  – ціле число, більше за 1.

$$T_p = \sum_{i=1}^N \frac{P_{\text{opt}} \lambda_i}{S_{\text{core}}} = \sum_{i=1}^N \frac{P_{\text{opt}} \lambda_i}{\pi r_{\text{core}}^2} - \sum_{i=1}^N \frac{P_{\text{opt}} \lambda_i}{\pi r_{\text{core}}^2}$$

Сумарна кількість спектрів каналів системи  $S_{\text{sum}}$  із врахуванням фільтрації спектральними оптичними фільтрами визначиться як:

$$S_{\text{sum}} = \sum^N \lambda_i + \sum^K \lambda_j - \sum^M \Delta \lambda_j - \sum^M \Delta \lambda_i$$

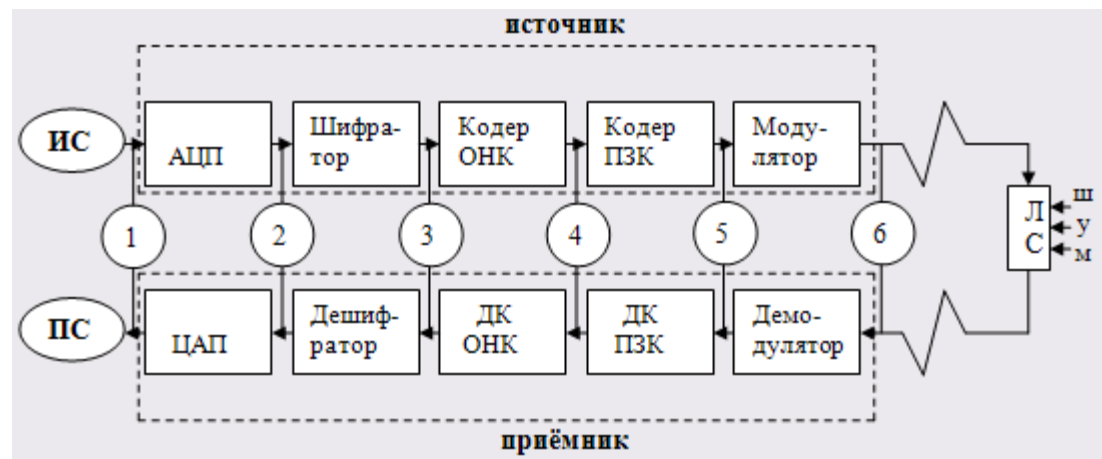
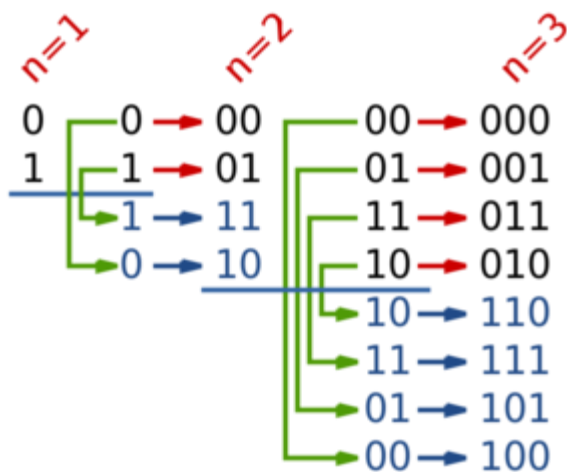
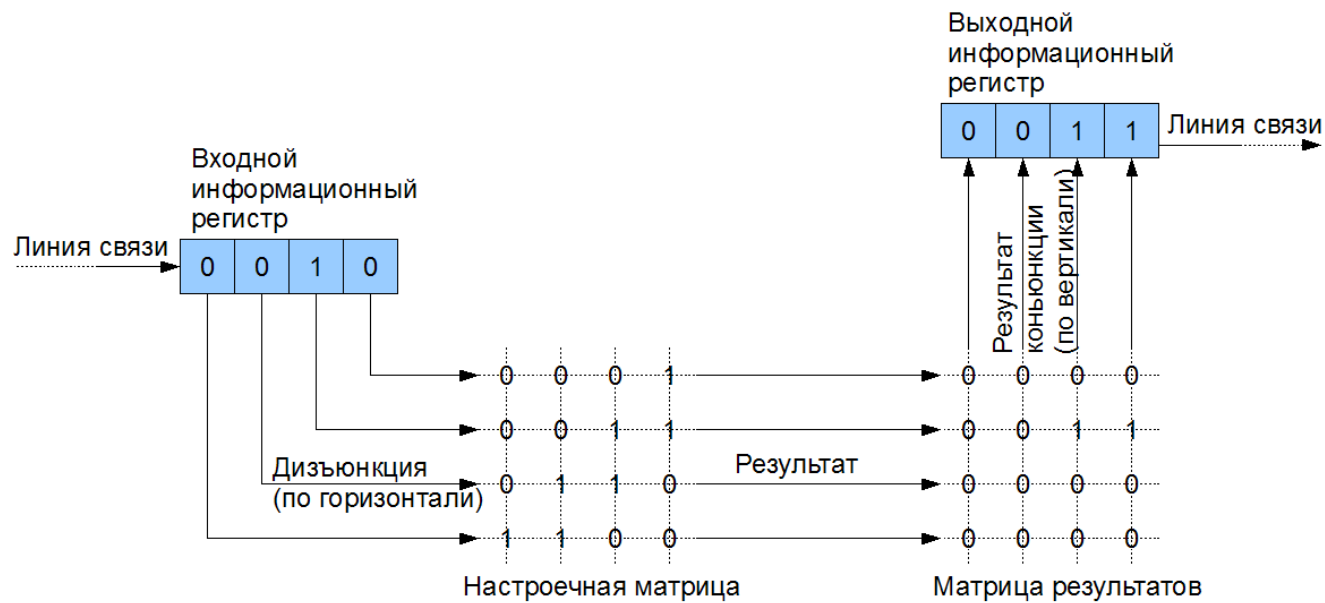
де  $T_{p_{\text{opt}} \lambda_i}$  – оптична потужність довжини хвилі  $\lambda_i$ , що відповідає кожному  $i$ -му каналу зв'язку;

$r_{\text{core}}$  – радіус серцевини оптичного волокна;  $S_{\text{core}}$  – площа серцевини оптичного волокна;

$N$  – кількість каналів у оптичному волокні, розташованих на оптичних частотах  $\lambda_i$ ,

$i=1-N$ . Кількість каналів у одному волокні визначається величинами втрат і перехресних взаємодій спектрів оптичних каналів з врахуванням нелінійних ефектів та робочим вікном прозорості  $\Delta \lambda_{\text{роб}}$  оптичного волокна,

# ПІДХОДИ ВИКОРИСТАННЯ КОДІВ ГРЕЯ ДЛЯ ЗАДАЧ ПЕРЕДАВАННЯ І СТИСНЕННЯ У ОБ'ЄДНАНИХ ПРОВІДНИКАХ ВОЛ-ІНТЕРФЕЙСІВ



# МОДИФІКАЦІЯ МЕТОДУ ПЕРЕДАВАННЯ ДАНИХ ОБ'ЄДНАНИХ ПРОВІДНИКАХ ВОЛ-ІНТЕРФЕЙСІВ

В середині волокна ОВ для покращення самого методу передачі пропонується використовувати цілий ряд заходів, зокрема:

- Використання багатомодових волокон із зміщеною дисперсією: MMF DSF у кабельному варіанті: для компенсації загальної дисперсії  $t_z$  і збільшення загальної швидкості каналу  $V_{max}$  [біт/с];

- Використання апаратно-програмної фільтрації сигналів фільтрів на вході лазерних джерел і виході – на приймачах із метою обмеження і часткової обрізки ширини спектрів і флуктуацій завад в інформаційно-вимірювальних ланках інтерфейс-каналів із метою зменшення  $\Delta S$  та  $\Delta\lambda_{i,i+1}$ , і визначення формування чіткого спектру  $\Delta\lambda_{i,i+1} - \min$  (на практиці із  $\Delta\lambda_i=1-3\text{нм} - \min \Delta\lambda_i=0.3-1.5\text{нм}$ , а для світлодіодів LED  $\Delta\lambda=20-45\text{нм}$ );  $\Delta\lambda_{i,i+1} - \min$

- Використання завадостійкого кодування (перетворення Уолша-Адамара та код Грея) та декодування сигналів даних в оптико-електронних трактах перетворення для зменшення впливу завад і кодів із збільшеною послідовністю із авто компенсацією. Застосування фільтрації інформаційного сигналу по спектральним складовим із градієнтною характеристикою по всьому діапазону  $\Delta S_i = 1/2 S \lambda [i; i+1;]$ , для зменшення впливу адитивних та мультиплікативних завад і сусідніх спектральних взаємодій.

- Використання низьких порогів і лінійних режимів роботи у чітких межах діапазону оптичних потужностей джерел світла (як світлодіодів –LED, так і лазерних), до порогового появи нелінійних ефектів,  $0 < P_r < 1/2 P_{porNE}$ , де  $P_{porNE}$  – порогові значення появи нелінійних ефектів.

- Використання завадостійкого кодування/передавання сигналів даних із апаратно-програмною реалізацією алгоритмів і підпрограм на сигнальних DSP-процесорах у трактах передачі-приймання інформації, а також оптичної фільтрації в інформаційному тракті із повторною передачею пакету на рівні L1 (OSI), за рахунок втрати частотної смуги сигналу  $\Delta W/\Delta S$  у об'єднаних провідників із застосуванням комплексного мультиплексування OFDM-TDM-WDM та методів генерації самоконтролюючих послідовностей за рахунок автокореляційних функцій у волоконно-оптичних інтерфейс-каналів.



# МЕТОД ПЕРЕДАЧІ У ОБ'ЄДНАНИХ ПРОВІДНИКАХ ОПТИЧНОГО ІНТЕРФЕЙСУ, ЯКИЙ РОЗРОБЛЯЄТЬСЯ

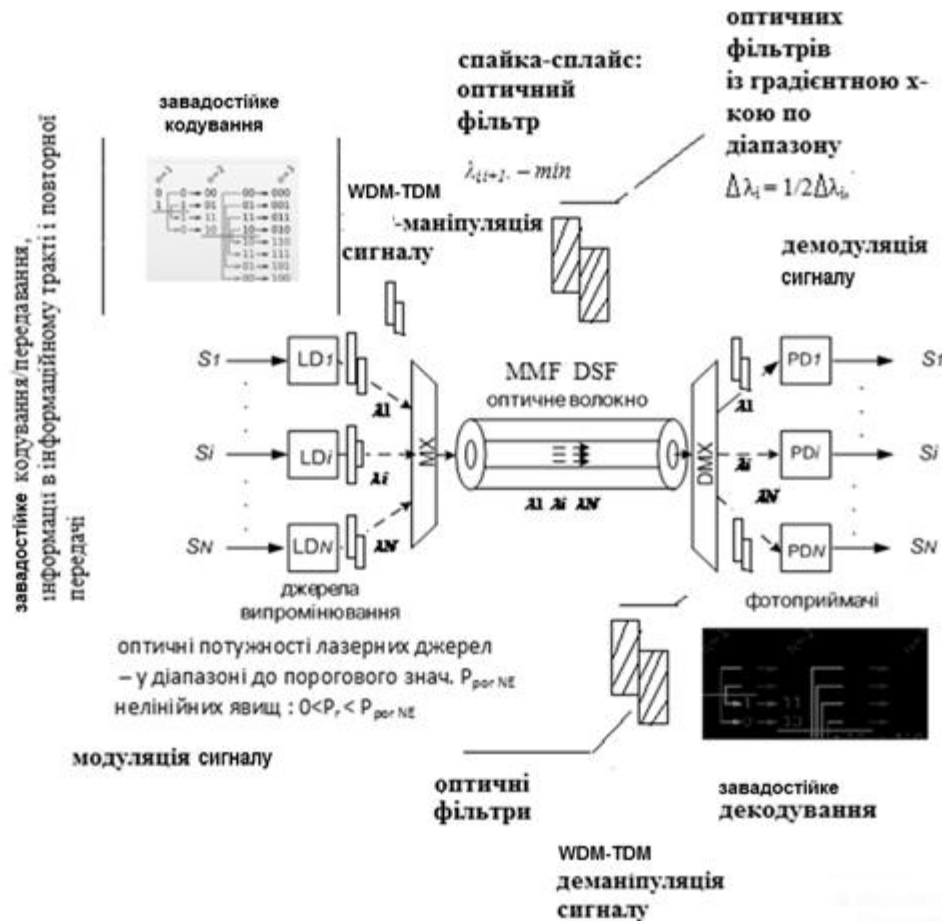


Рисунок 2.13. – Модифікований метод із технології хвильового мультиплексування у волоконно-оптичних лініях об'єданого провідника

# ВДОСКОНАЛЕНІ МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ ПЕРЕДАЧІ СИГНАЛІВ ДАНИХ У ОБ'ЄДНАНОГО ВОЛОКОННО-ОПТИЧНОГО ІНТЕРФЕЙСУ-КАНАЛАХ ІЗ ВРАХУВАННЯМ ВПЛИВУ РІЗНИХ ФАКТОРІВ

Стабільність функціонування ОІВКМ по інформаційній складовій гарантується достатньою величиною пропускної спроможності (трафіку), як всієї мережі в цілому, так і окремих магістральних її ланок. У будь-якому випадку загальна величина пропускної спроможності повинна бути не меншою за суму трафіку кожного з одиничних інформаційно-вимірювальних вузлів.

$$D_{\text{заг}} \geq \sum_{i=1}^j D_{OJ_{\text{max}}} + D_{\text{втр}} + D_{\text{рез}}, \quad (2.1)$$

де  $D_{\text{заг}}$  - загальна потужність, що надходить у ОІВКМ;  $D_{OJ_{\text{max}}}$  - значення максимальної потужності, яку може спожити один споживач;  $D_{\text{втр}}$  - величина всіх втрат потужності в каналах системи та у її вузлах;  $D_{\text{рез}}$  - значення запасу потужності, яка зарезервована на майбутніх користувачів та іншого кінцевого обладнання, і визначає ступінь потенційної енергетичної наросуваності мережі.



Для оптичних інформаційно-вимірювальних мереж для промислових комплексів автоматизації, у яких як в якості інформаційних каналів, використовуються спеціалізовані багатомодові і одномодові волоконно-оптичні лінії з хвильовим мультиплексуванням WDM/TDM основним критерієм стабільної роботи буде умова виконання рівності:

$$S_{\text{к}} \Delta WMB = \sum_{q=1}^k m \Delta WNB (1 \leq q \leq P), \quad (2.2)$$

де  $\Delta WMB$  – усереднений розкид оптичних частот між оптичними каналами  $q$ , при взаємодії яких спостерігається нелінійних ефект накладання і нелінійного змішування довжин хвиль (НЗ);  $q = 1 \dots P$ , де  $P$  – загальне число всіх каналів у волокні, які

# ВДОСКОНАЛЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ ПЕРЕДАЧІ СИГНАЛІВ ДАНИХ У ОБ'ЄДНАНОГО ВОЛОКОННО-ОПТИЧНОГО ІНТЕРФЕЙС-КАНАЛАХ ІЗ ВРАХУВАННЯМ ВПЛИВУ РІЗНИХ ФАКТОРІВ

Потужності сигналу визначаються по спектральним потокам випромінювання від об'єкта  $F_e(\lambda, 0)$ . Значення залежностей моделі матимуть вигляд [23]:

$$P_{out}(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S_{out}(w) \exp(jwt \tau_A^i) dw = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S_{out}(w) \exp(jwt \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} F_e(\lambda_i, 0) \tau_A^i(\lambda_i, l) d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} F_e(\lambda_i, 0) d\lambda}) dw. \quad (2.4)$$

В дипломній роботі автором розроблено структуру волоконно-оптичної системи для промислових комплексів автоматизації на ФЕС, яка відрізняється від відомих, тим, що використовує підвищену стабільність та є більш економічно дешевою в порівнянні із аналогами на базі електронних та оптоелектронних складових. Це у поєднанні із запропонованими підходом керування та підвищення оптичної потужності та нової топології дозволяє підвищити стабільність керування та передачі вимірних показників до центральних блоків SCADA або іншою НМІ волоконно-оптичними каналами. на коротких відстанях 1-5км.

Передавальні пристрої оптичних каналів інтерфейсу організовують оптичні канали у вигляді набору довжин хвиль  $\lambda_i$ ,  $i=1-N$  з близько розташованими оптичними спектрами  $\Delta\lambda_i$  та з досить великою величиною густини оптичної потужності  $\rho$  у поперечному перерізі волокна [21]:

$$P = \sum_{i=1}^N P_{opt, \lambda_i} = \sum_{i=1}^N P_{opt, \lambda_i}, \quad (2.5)$$

де  $S_1-S_N$ - сигнали даних у оптичному каналі  $1-N$ ;  $LD_1-LD_N$  – світлові джерела оптичного випромінювання;  $PD_1-PD_N$  –приймачі оптичних сигналів;  $MTX, DMTX$ - хвильові мультиплексор та демультиплексор.

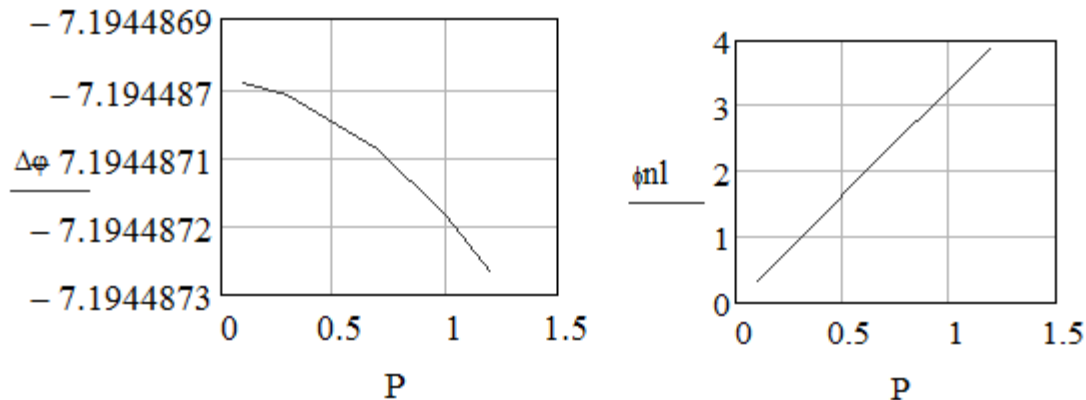
Оскільки джерела випромінювання мають смуги довжин хвиль  $\Delta\lambda_i$ , то фільтрація забезпечує скорочення смуг і утримання на необхідному рівні оптичної потужності тобто  $0 < P_r < P_{роз\Delta E}$ , де  $P_{роз\Delta E}$  – порогові значення появи нелінійних явищ, що виключає накладання сигналу.

# РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ ПО ЛОКАЛЬНИХ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ ІНТЕРФЕЙСАХ

Розрахунки оптичної потужності для супербагатомодового волокна SMA 905:

$$P := 1 \text{ Wt}$$
$$d := 0.9 \cdot 10^{-3} \text{ sm}$$
$$S := \pi \frac{d^2}{4} \text{ sm}^2$$
$$\rho := \frac{P}{S} = 1.572 \times 10^6 \frac{\text{Wt}}{\text{cm}^2}$$

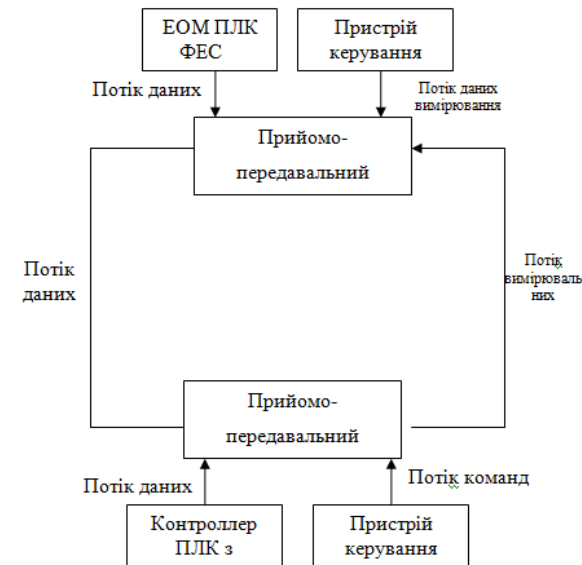
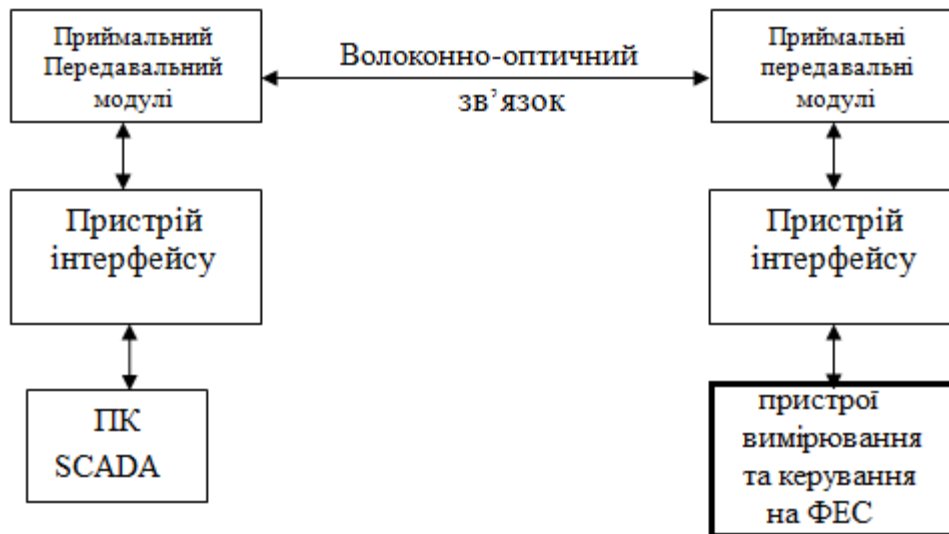
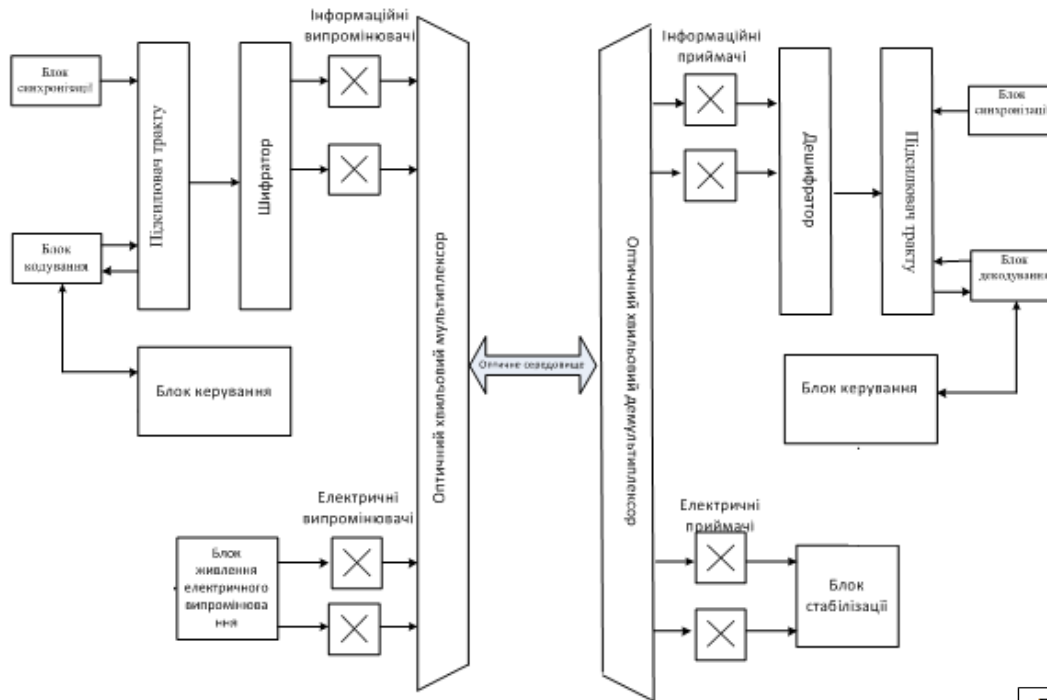
Ці данні розрахунків можна вважати рівними при потужності 0.01Вт, перших типах оптоволокна оптична потужність збільшиться до  $10^1$ - $10^2$  мВт, що приведе до втрат сигналу волокна.



Графік залежності величини зсуву потужності

Характеристика пропускної здатності і швидкості волоконно – оптичного інтерфейсу із інформаційним табло у діапазоні 1550-1560нм.

# СТРУКТУРИ ОБ'ЄДНАНОГО ВОЛОКОННО-ОПТИЧНОГО ІНТЕРФЕЙСУ



## ВИСНОВКИ

В магістерській кваліфікаційній роботі представлено розробку методу передачі даних по універсальному локальному волоконно-оптичному інтерфейсу від сонячної фотоелектричної станції, де часто виникає завдання підвищення швидкодії та точності передавання інформації від вимірювальних кіл до систем автоматики і моніторингу показників. Часто такі ділянки каналів зв'язку виконуються на базі мідної пари (RS-232/485) або на базі оптичних систем інформаційного зв'язку для передавання вимірювальних та керуючих параметрів від ПК до промислових контролерів і пристроїв автоматики. В роботі представлено розробку методу. Який вирішує завдання підвищення швидкості передачі із порівняно меншим коефіцієнтом помилок, що часто виникає саме у сучасних системах із великою кількістю каналів. Запропонований метод використовує алгоритм підвищення швидкості та показнику бітової помилки при погіршенні трафіку мережі і має кращу характеристику передачі даних вимірювання порівняно із звичайними традиційними рішеннями інтерфейсів зв'язку. Розрахунок і розробка системи проводились на базі попередніх розділів, де детально розраховувались параметри середовища передачі та умови проходження світлових сигналів через оптичне середовище волоконно-оптичного кабелю.

*Дякую за увагу!*