

Вінницький національний технічний університет

Факультет комп'ютерних систем і автоматики

Кафедра лазерної та оптикоелектронної техніки

Розподілена волоконно-оптична мережа для керування індустріальними парками

Виконав:

студент групи ЛТО-19м

Магдій М. С.

Науковий керівник

к.т.н., проф.

Лисенко Г. Л.

Актуальність теми. Автоматизація таких процесів як моніторинг приладів є необхідністю в наш час, але вона не завжди можлива через різні види завад які утворюються в наслідок роботи приладів, тому необхідна реалізація мереж які можуть працювати в зоні сильних завад без відхилень. Розподілені волоконно-оптичні мережі є найбільш перспективними з усіх систем передачі, особливо в промисловості, оскільки забезпечують максимальну пропускну здатність і дальність зв'язку, завадостійкість та отримання даних в реальному часі. Існує значна кількість факторів і фізичних явищ, які обмежують пропускну здатність таких волоконно-оптичних мереж (дисперсія, загасання, втрати на з'єднаннях). Мінімізація їх впливу дозволить розробити системи із оптимальною дальністю і швидкістю передачі з урахуванням можливої кількості вузлів і архітектури мережі. Таким чином, розробка розподіленої волоконно-оптичної мережі для керування smart-індустріальними парками є актуальною науково-технічною задачею сьогодення.

Мета роботи. Метою магістерської кваліфікаційної роботи є розбудова розподіленої волоконно-оптичної мережі для керування smart-індустріальними парками.

Основні завдання дослідження:

- провести аналіз існуючих засобів передачі інформації, елементної бази і технологій волоконно-оптичних мереж для керування smart-індустріальними парками;
- проаналізувати основні фактори, які впливають на пропускну здатність та дальність зв'язку волоконно-оптичних мереж для керування smart-індустріальними парками;
- спроектувати та проаналізувати роботу волоконно-оптичної мережі та її основних компонентів;
- розробити структурну схему волоконно-оптичної мережі для керування smart-індустріальними парками з оптимальним набором компонентів для забезпечення запасу пропускну здатності мережі у майбутньому;
- розрахувати основні параметри одномодового волокна та енергетичний запас мережі;
- розробка програми підключення кількох датчиків температури для керування smart-індустріальними парками.

Об'єкт дослідження – процеси передачі інформації у волоконно-оптичних мережах для керування індустріальними парками.

Предмет дослідження – методи, моделі і засоби організації зв'язку у волоконно-оптичних мереж для керування індустріальними парками.

Запропоновано удосконалений інформаційно-вимірювальний комплекс, для smart-індустріальних парків, що на відміну від існуючих забезпечує достатню надійність, підвищує функціональні можливості та економічний ефект за рахунок гнучкого керування.

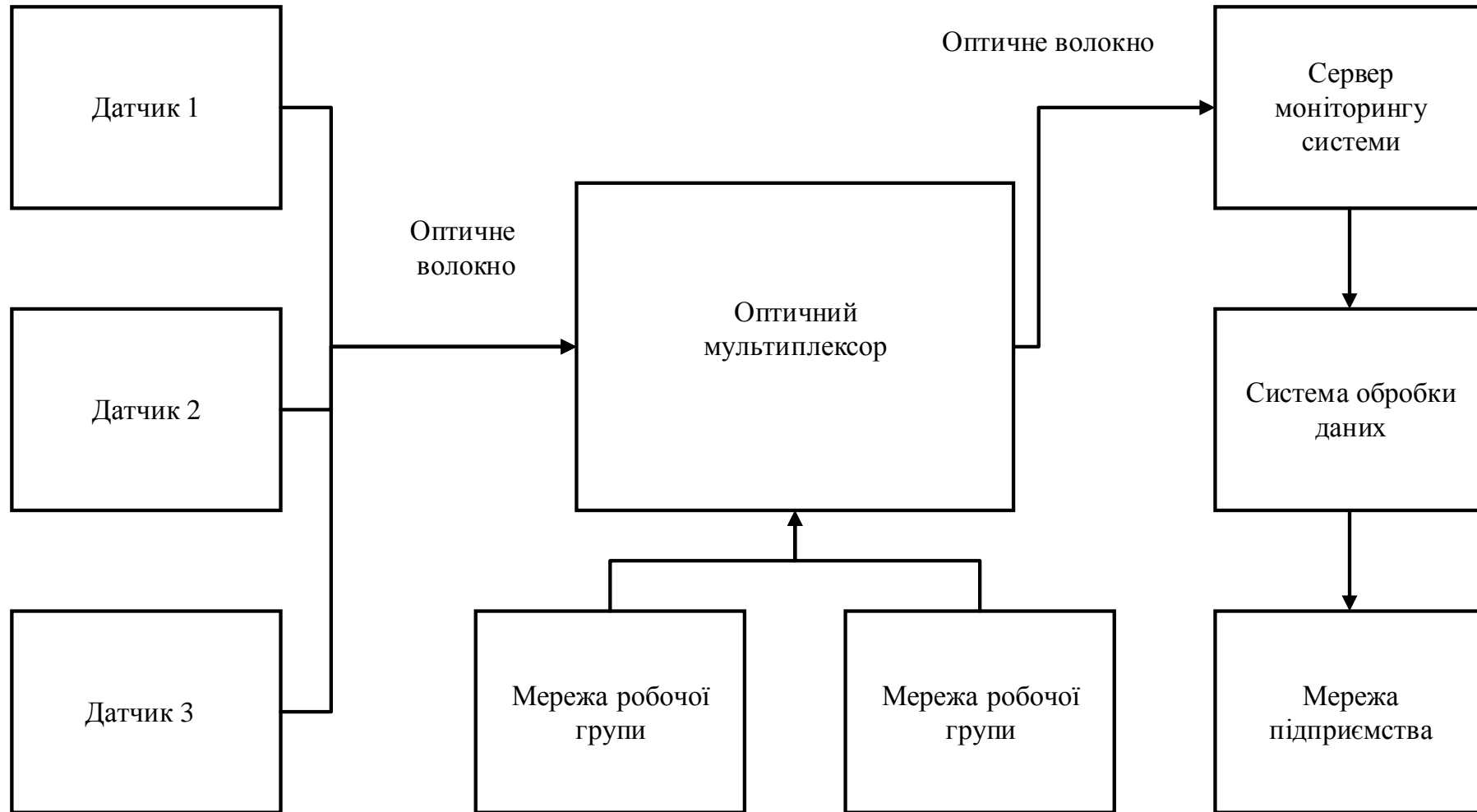
Удосконалено метод передачі інформації в розподіленій волоконно-оптичній мережі від давачів різних типів детектування у smart-індустріальних парках, яка відрізняється від відомих застосувань адаптації каналу зв'язку, що дало можливість підвищити доступність, дальність і швидкість передачі за рахунок використання унікального послідовного коду зчитування.

Розроблено три методи зчитування на мові С.

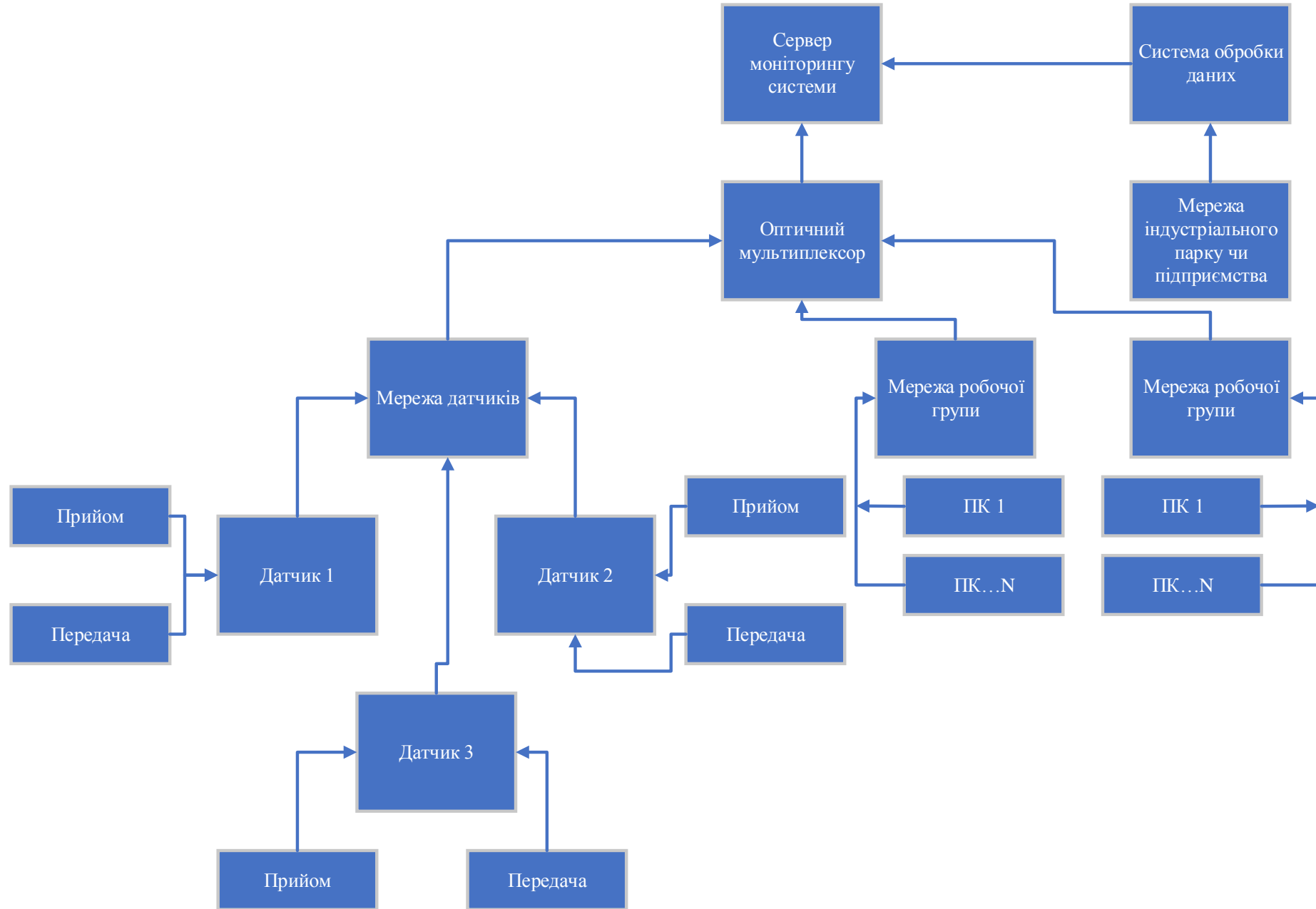
Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що завдяки реалізації у нашій системі можливості підключення кількох датчиків температури до однієї шини плати керування, схема спрощується. А саме знижується її вартість за рахунок зменшення кількості плат керування до однієї, підвищується швидкість передачі даних а також знижується енергоспоживання самої системи.

Апробація результатів роботи. Основні наукові та практичні результати, отримані в магістерській кваліфікаційній роботі, було опубліковано на науково-технічній конференції професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів факультету комп'ютерних систем і автоматики » (м. Вінниця, травень 2020).

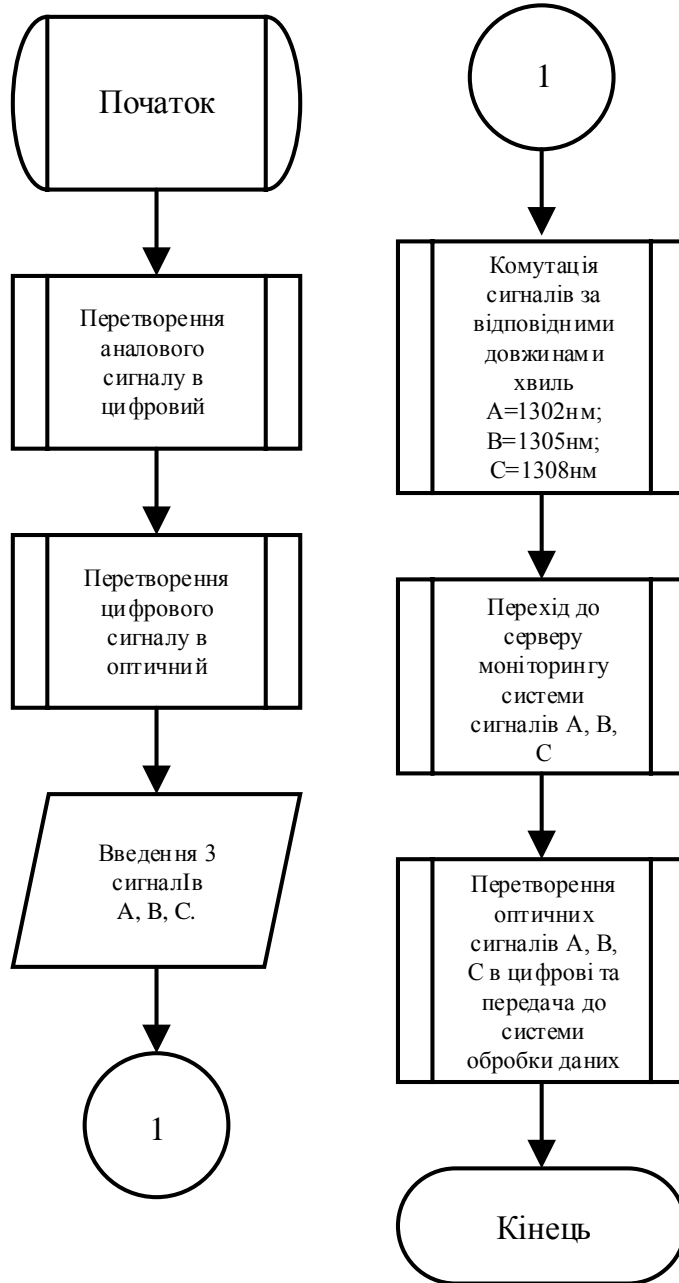
Структурна схема розподіленої волоконно-оптичної мережі для керування smart-індустріальними парками



Система моніторингу мережі



Блок-схема алгоритму передачі сигналів в волоконно-оптичній мережі



Розрахунок основних параметрів одномодового волокна відбувається у такому порядку:

- відносне значення показників заломлення:

$$\Delta = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$$

- числова апертура:

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

- нормована частота:

$$v = \frac{2\pi a}{\lambda} \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

- число хвиль (мод):

$$N = v^2/2$$

Розрахунок характеристик волоконно-оптичної мережі

- критична частота:

$$f_0 = \frac{P_{mn}c}{\pi 2a \sqrt{n_1^2 - n_2^2}},$$

- критична довжина хвилі:

$$\lambda_0 = \frac{\pi 2a}{P_{mn}n_1} \sqrt{n_1^2 - n_2^2},$$

- втрати енергії на поглинання:

$$\alpha_{\Pi} = \frac{\pi n_1 \operatorname{tg} \delta}{\lambda} 8,69 \cdot 10^3,$$

- втрати на розсіювання:

$$\alpha_p = K_p / \lambda^4,$$

- загальні втрати:

$$\alpha = \alpha_{\Pi} + \alpha_p,$$

- втрати в ІЧ діапазоні:

$$\alpha_{\text{ПК}} = C_{\text{ПК}} e^{-k/\lambda},$$

- загальна дисперсія:

$$\tau^2 = \tau_{\text{mod}}^2 + (\tau_{\text{mat}} + \tau_w)^2$$

де τ_{mod} – міжмодова дисперсія; τ_{mat} – матеріальна дисперсія; τ_w – хвильова дисперсія.

Розрахунок характеристик волоконно-оптичної мережі 10

Для розрахунку беремо кабель відповідно до стандарту *ITU – T G.657*, а саме одномодове волокно зі зменшеними втратами при малих радіусах згину. Відносна різниця показників заломлення серцевини і оболонки $\Delta n = 0,0025$ для довжини хвилі 1,31 мкм, показник заломлення серцевини $n_1 = 1,52$.

Потрібно визначити показник заломлення оболонки n_2 :

$$n_2 = n_1 - \Delta n \times n_1 = 1,52 - 0,0025 \times 1,52 = 1,516$$

Визначимо апертуру світловоду:

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \sqrt{(1,52)^2 - (1,516)^2} = 0,1074$$

Діаметр серцевини такого волокна за стандартом *ITU-T G.657* становить від 8,6 до 9,5 мкм, а діаметр оболонки 125 мкм.

Потрібно визначити нормовану частоту для $\lambda=1,31$ мкм

$$v = \frac{3,14 \times 8,6 \times 0,1074}{1,31} = 2,213 < 2,405$$

Отже в оптичному волокні з параметрами: $n_1 = 1,52$, $\Delta n = 0,0025$, $NA = 0,1074$, $a = 8,6$ мкм, $b = 125$ мкм та робочій довжині хвилі $\lambda = 1,31$ мкм забезпечується одномодовий режим передачі.

Для обраного волоконного кабелю у 2 вікні прозорості ОВ нормовані втрати на загасання на довжину кабелю становлять 0,20 дБ/км.

загальні втрати на довжину кабелю 3км.

$$\alpha = \alpha_L \times L = 0,20 \times 3 = 0,6 \text{ Дб}$$

Розрахуємо довжину регенераційної ділянки, для початку необхідно скласти рівняння енергетичного балансу:

$$E \geq \alpha_k \cdot L_{\text{др}} + \alpha_{\text{рз}} \cdot n_{\text{рз}} + \alpha_{\text{нз}} \cdot n_{\text{нз}} + \alpha_z,$$

де E – енергетичний запас системи;

α_k – кілометричний коефіцієнт загасання ОВ (0,20 дБ/км);

$\alpha_{\text{рз}}$ – коефіцієнт загасання роз'ємних з'єднань (0,2 дБ);

$n_{\text{рз}}$ – кількість роз'ємних з'єднань, по одному на вході і виході ОВ;

$\alpha_{\text{нз}}$ – коефіцієнт загасання нероз'ємних з'єднань, місця зварки світловодів (0,1 дБ);

$n_{\text{нз}}$ – кількість нероз'ємних з'єднань;

α_z – експлуатаційний запас надійності (6,5 дБ, що включає фактор середовища 1 дБ, фактор старіння 2дБ, фактор ремонту 1 дБ, фактор проектних помилок 2 дБ, фактори дисперсії 0,3 дБ і флуктуації 0,2 дБ);

Розрахунок характеристик волоконно-оптичної мережі

Кількість нероз'ємних з'єднань знаходимо за формулою:

$$n_{\text{нз}} = \frac{L_{\text{дп}}}{L_{\text{бвд}}} + 1,$$

Максимальну довжину регенераційної ділянки за загасанням визначаємо за формулою:

$$L_{\text{рд}} = \frac{E - \alpha_{\text{рз}} \cdot n_{\text{рз}} - \alpha_{\text{нз}} - \alpha_{\text{з}}}{\alpha_{\text{к}} + \alpha_{\text{нз}} / L_{\text{бвд}}}$$

Енергетичний запас мережі визначається за максимально можливими рівнями сигналу на передавальному та приймальному кінці:

Енергетичний запас по параметрам роботи приймального та передавального пристроїв для стандарту *STM-8* становить 11дБ.

$$L_{\text{рд}} = \frac{11 - 0,2 \times 4 - 0,1 - 0,5 - 6,5}{0,20 + 0,1/3} = 13,285$$

$$D_{рд} = 104000 \div B^2 = 104000 \div 1,25^2 = 665,6 \text{ нс/нм.}$$

$$PMD_{рд} = 140 \div B = 140 \div 1,25 = 112 \text{ пс.}$$

де B – швидкість передачі в лінії у Гбіт/с.

Хроматичну дисперсію до 1км оптичного волокна визначають за формулою:

$$D_{хр} = D_{ов} \times \Delta\lambda = 3,5 \times 0,1 = 0,35 \text{ пс/км}$$

де $D_{ов}$ – значення параметра дисперсії оптичного волокна, визначеного по його технічним даним, пс/(нм×км); $\Delta\lambda$ –ширина лінії випромінювання лазера, нм.

Значення прогнозованої хроматичної дисперсії на регенераційній ділянці визначається за формулою:

$$D_{рд} = D_{хрд} \times L_{рд} = 0,35 \times 13,2 \approx 4,62 \text{ пс}$$

Розрахунок характеристик волоконно-оптичної мережі

А прогнозовані значення поляризаційної модової дисперсії розраховуються по формулам:

$$PMD_{рд} = PMD_{хрд} \times \sqrt{L_{рд}} = 0,2 \times 3,64$$

Прогнозоване середньоквадратичне значення дисперсії на розрахованій ділянці:

$$\sigma = \sqrt{D_{рд}^2 + PMD_{рд}^2} = \sqrt{4,62^2 + 3,64^2} = 8,26 \text{ пс}$$

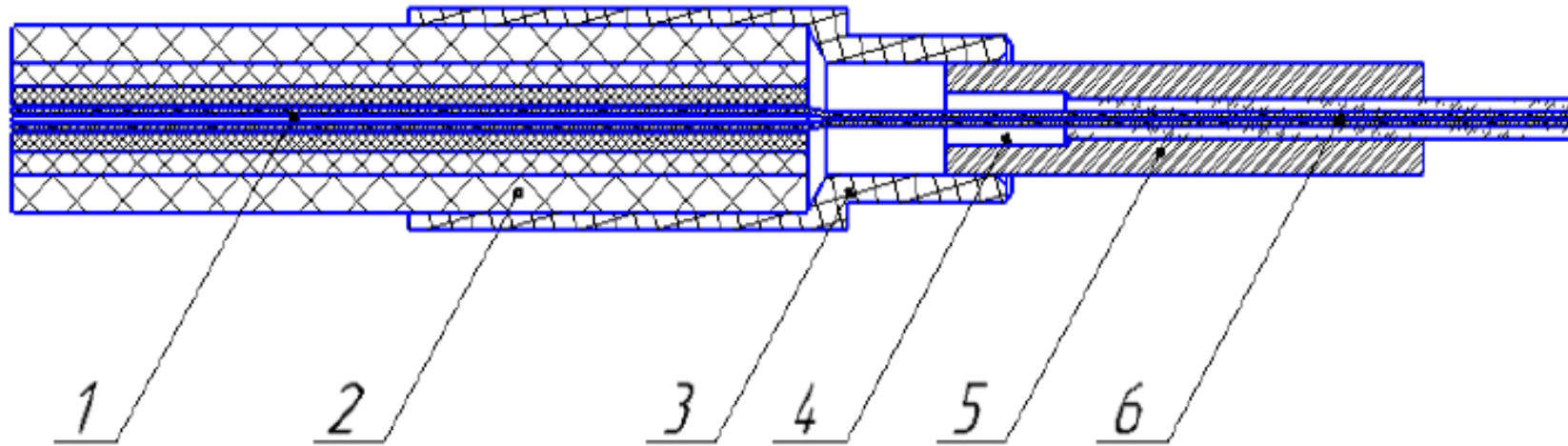
Отримавши значення дисперсії можна знайти величину дисперсійних спотворень у волокні.

В мережі застосовується інтерфейс STM-8 1,25 Гбіт/с, який має NZRI кодування в якому значення бітів передаються змінами потенціалів, що відповідає частотній модуляції, при коефіцієнті модуляції $10/8=1,25$:

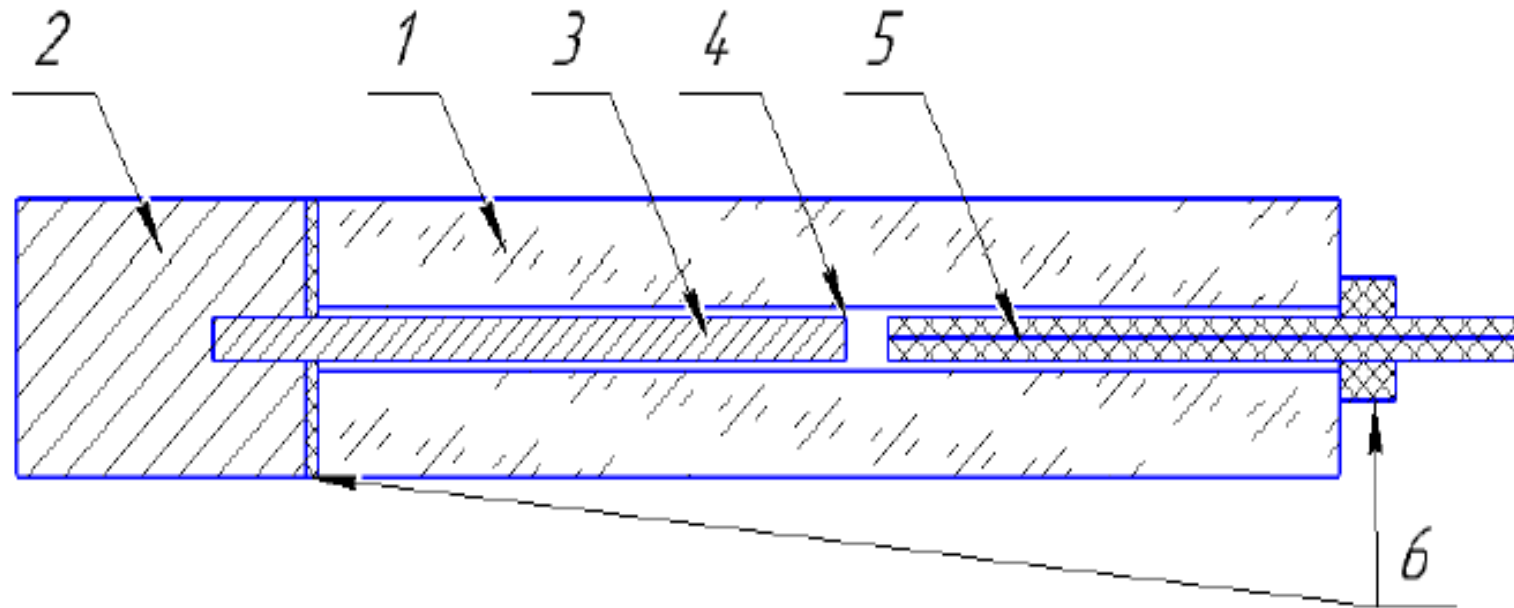
$$F_M = 1,25 \times 10^3 \times 1,25 = 1,562 \text{ ГГц}$$

Приведена на 1км дисперсія оптичного волокна становить 0,55 пс/км (0,35пс/км - хроматична, 0,2пс-поляризаційна модова).

Проаналізувавши отримані дані можна зробити висновок, що обраний варіант структури мережі, волоконно-оптичного кабелю, кількості з'єднань та відповідне значення втрат у мережі дозволяють організувати функціонування розподіленої волоконно-оптичної мережі із заданими параметрами, оскільки отриманий енергетичний запас є додатнім та знаходиться в межах допустимих норм.

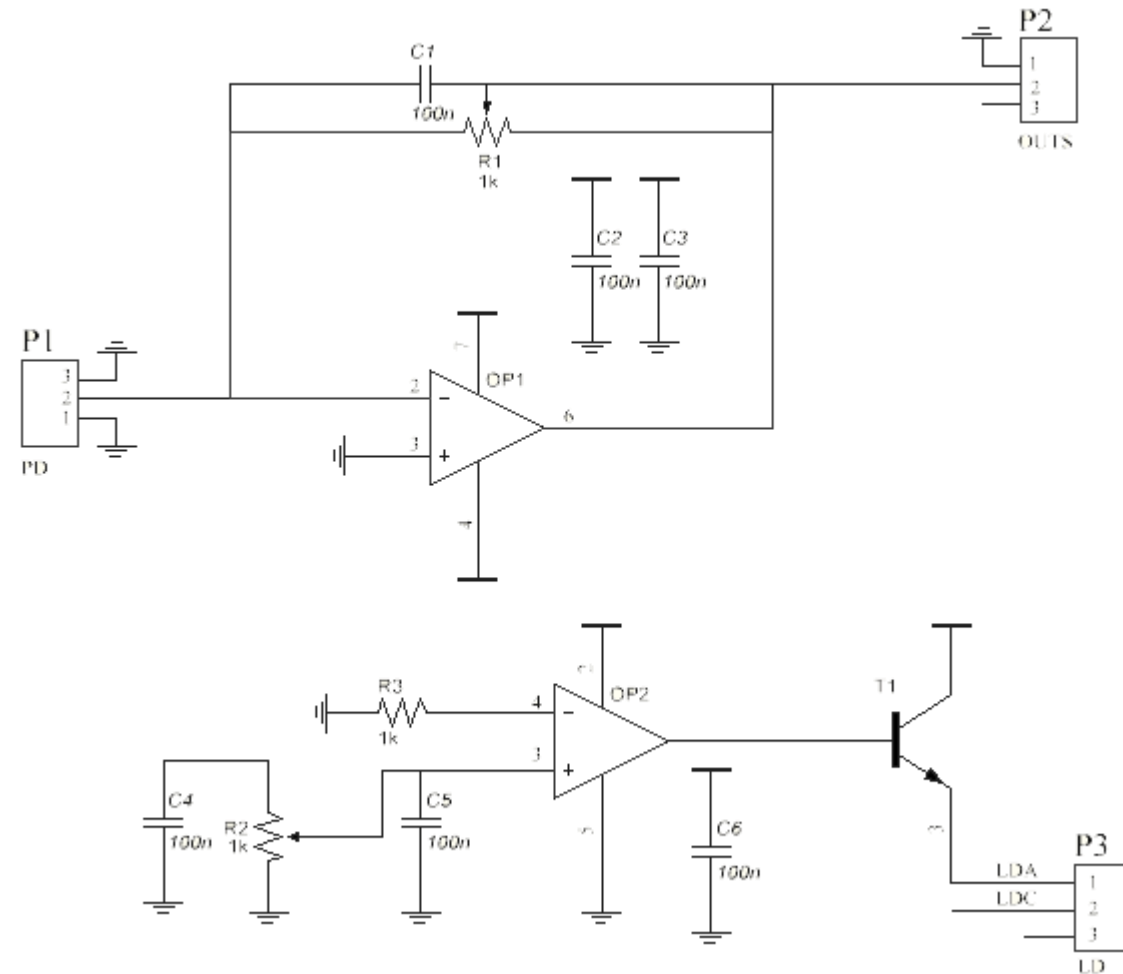


Волоконно-оптичний модуль. 1 – два паралельних одномодових волокна; 2 - захисний шар (гума); 3 - керамічний захисний шар; 4 - керамічний утримувач; 5 - захисний шар (гума); 6 – продовження оптичного волокна.



Кострукція чутливого елемента волоконно-оптичного датчика температури. 1-скляний корпус (кварцова трубка); 2-металевий корпус (підставка); 3 рухливий елемент (металевий стрижень), 4-відбивач (полірований торець стрижня); 5-оптичне волокно. 6-герметичний шар.

Схема електрична принципова передачі сигналів датчика



Де $P1$ - фотодіод, $P2$ - вихід на систему обробки даних, $P3$ – лазерний діод, $U1, U2$ - операційний підсилювач.

Взаємодія кількох цифрових датчиків температури з Arduino

Зазвичай для отримання даних стану температури використовують окрему плату керування на окремий датчик, потім дані з кожної плати формуються у головний блок, тобто ще одну плату керування яка вже виводить дані екран оператора моніторингу. Задачею є спростити цей процес, а саме шляхом присвоєння кожному окремому датчику температури унікального 64-бітного послідовного коду. Таким чином на одній шині 1-Wire зможуть співіснувати кілька таких датчиків.

Майже усі системи моніторингу побудовані на складних процесорах, ми ж реалізуємо на мікроконтролері *ATmega2560*. Для спрощення процесу підключення контролера будемо використовувати плату *Arduino*

Розробимо програму підключення кількох датчиків температури для керування індустріальними парками до однієї шини і отримуємо показники температури від кожного з них. Дана функція це велика перевага при керуванні кількома датчиками температури, розподіленими на великій площі.

Підключення декількох датчиків температури до платформи до Arduino

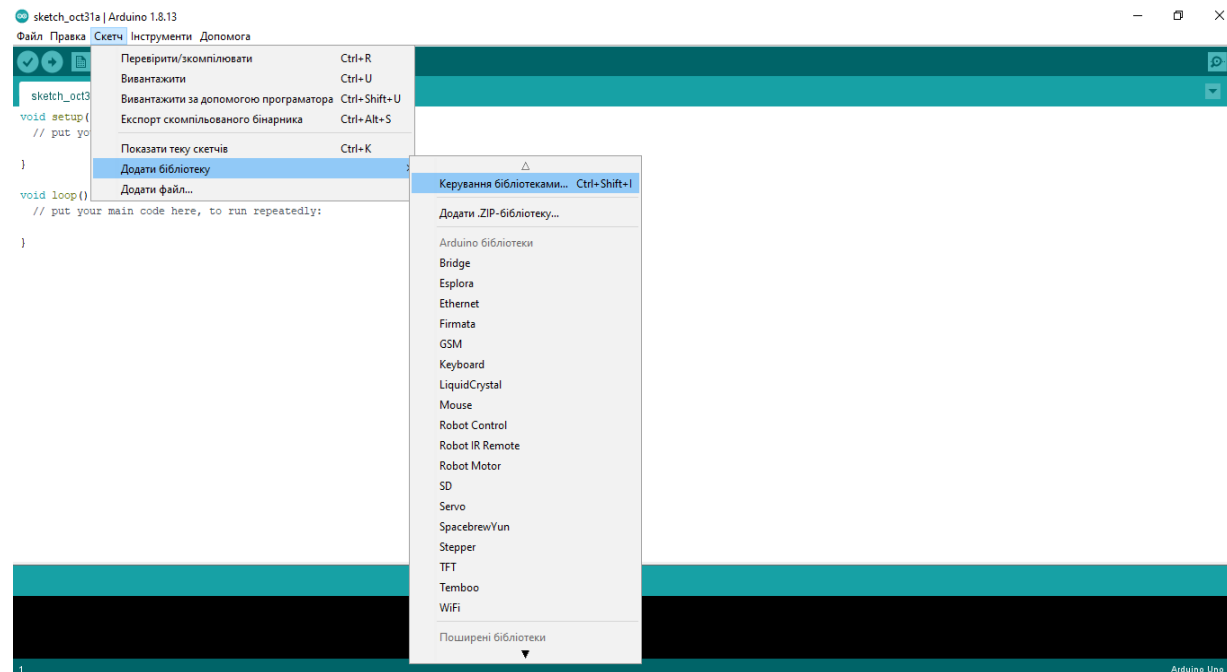
Почнемо з підключення всіх датчиків температури паралельно, тобто об'єднання всіх виводів *VDD*, виводів *GND* і сигнальних виводів. Потім підключемо шину *VDD* до виходу *5V* на *Arduino*, *GND* до виводу землі *Arduino*, і підключемо сигнальні виводи до цифрового виводу на *Arduino*.

Потім, щоб забезпечити стабільну передачу даних, потрібно додати один резистор $4,7\text{ кОм}$ для всієї шини між сигнальними виводами і виводами живлення.

Установка бібліотеки

Протокол *Dallas 1 – Wire* складний і вимагає багато коду для парсинга зв'язку. Щоб приховати цю непотрібну складність, ми встановимо бібліотеку *DallasTemperature.h*, щоб ми могли виконувати прості команди для отримання свідчень температури від датчика.

Щоб встановити бібліотеку, перейдемо в розділ «Скетч» → «Додати бібліотеку» → «Керування бібліотеками...». Зачекаємо, поки менеджер бібліотеки завантажить індекс бібліотек і оновить список встановлених бібліотек.



Зчитування показників температури

Зчитування інформації з датчиками реалізуємо трьома різними способами.

Спосіб 1: читання показань за індексом

У цьому методі бібліотека *Dallas Temperature* при ініціалізації виявляє всі датчики, що використовують одну шину. Вона розглядає всю шину як масив датчиків і надає їм індекси. Тому ми можемо точно вибрати кожен датчик по його індексу і прочитати показання температури.

```

#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
// лінія даних підключена до цифрового виводу 2 Arduino
#define ONE_WIRE_BUS 2
// налаштування об'єкта oneWire для зв'язку з будь-яким пристроєм OneWire
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);

// передати посилання на oneWire бібліотеці DallasTemperature
DallasTemperature sensors(&oneWire);
int deviceCount = 0;
float tempC;
void setup(void)
{
  sensors.begin(); // запустити бібліотеку
  Serial.begin(9600);
  // знайти пристрій на шині
  Serial.print("Locating devices...");
  Serial.print("Found ");
  deviceCount = sensors.getDeviceCount();
  Serial.print(deviceCount, DEC);
  Serial.println(" devices.");
  Serial.println("");
}

```

```

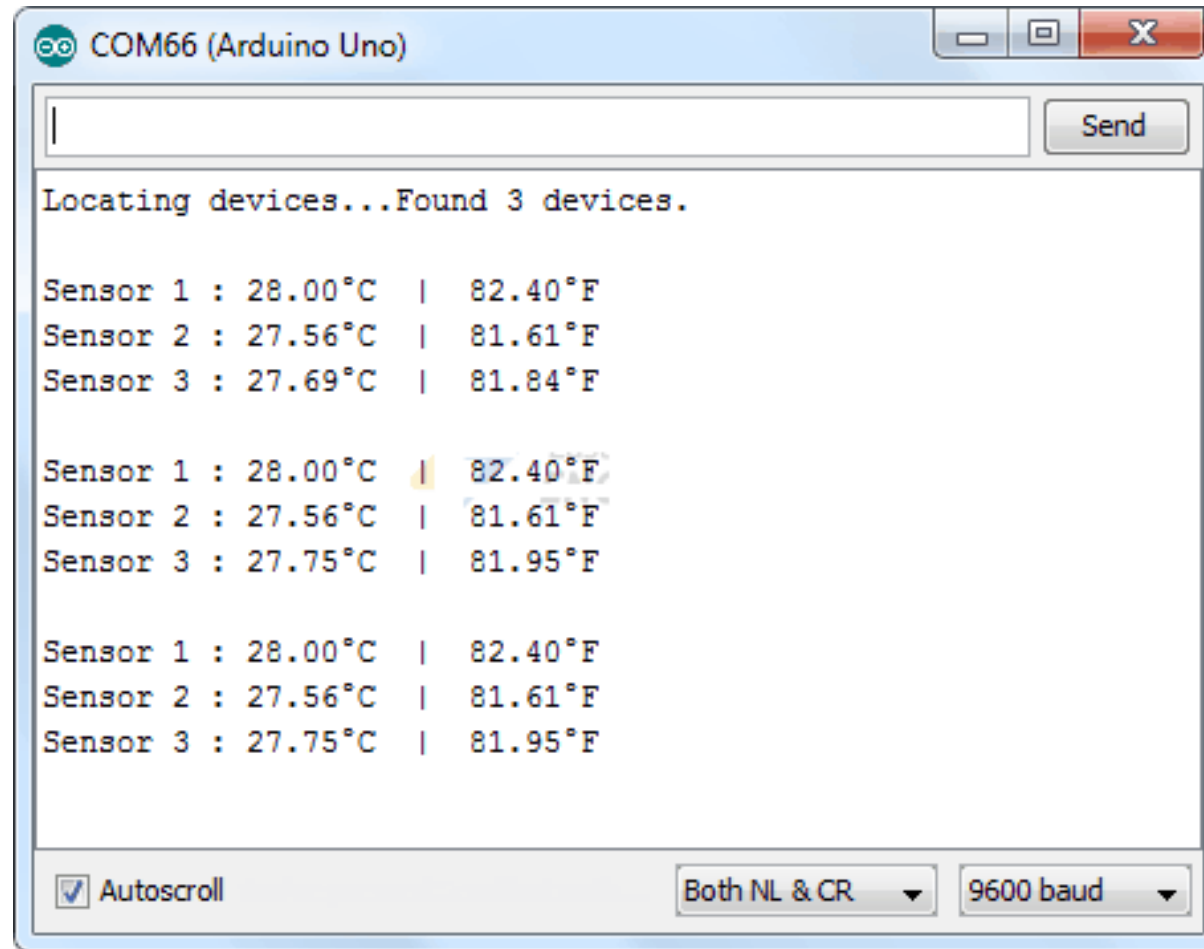
void loop(void)
{
  // відправити команду всіх датчиків для перетворення температури
  sensors.requestTemperatures();

  // відобразити температуру з кожного датчика
  for (int i = 0; i < deviceCount; i++)
  {
    Serial.print("Sensor ");
    Serial.print(i+1);
    Serial.print(" : ");
    tempC = sensors.getTempCByIndex(i);
    Serial.print(tempC);
    Serial.print((char)176); // надрукувати символ градусів
    Serial.print("C | ");
    Serial.print(DallasTemperature::toFahrenheit(tempC));
    Serial.print((char)176); // надрукувати символ градусів
    Serial.println("F");
  }

  Serial.println("");
  delay(1000);
}

```


Результат показань декількох датчиків температури індексним методом



```
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
// лінія даних підключена до цифрового виводу 2 Arduino
#define ONE_WIRE_BUS 2
// налаштування об'єкта oneWire для зв'язку з будь-яким пристроєм OneWire
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
// передача посилання на oneWire бібліотеки DallasTemperature
DallasTemperature sensors(&oneWire);
// змінна для зберігання адреси пристроїв
DeviceAddress Thermometer;
int deviceCount = 0;
void setup(void)
{
  // запустити послідовний порт
  Serial.begin(9600);
  // запустити бібліотеку
  sensors.begin();
  // знайти пристрій на шині
  Serial.println("Locating devices...");
  Serial.print("Found ");
  deviceCount = sensors.getDeviceCount();
  Serial.print(deviceCount, DEC);
  Serial.println(" devices.");
  Serial.println("");
  Serial.println("Printing addresses...");
  for (int i = 0; i < deviceCount; i++)
  {
    Serial.print("Sensor ");
    Serial.print(i+1);
    Serial.print(" : ");
    sensors.getAddress(Thermometer, i);
    printAddress(Thermometer);
  }
}
void loop(void)
{}
void printAddress(DeviceAddress deviceAddress)
{
  for (uint8_t i = 0; i < 8; i++)
  {
    Serial.print("0x");
    if (deviceAddress[i] < 0x10) Serial.print("0");
    Serial.print(deviceAddress[i], HEX);
    if (i < 7) Serial.print(", ");
  }
  Serial.println("");
}
```

Знаходження адрес 1 – *Wire* всіх датчиків температури на шині

```
COM66 (Arduino Uno)
Locating devices...
Found 3 devices.

Printing addresses...
Sensor 1 : 0x28, 0xEE, 0xD5, 0x64, 0x1A, 0x16, 0x02, 0xEC
Sensor 2 : 0x28, 0x61, 0x64, 0x12, 0x3C, 0x7C, 0x2F, 0x27
Sensor 3 : 0x28, 0x61, 0x64, 0x12, 0x3F, 0xFD, 0x80, 0xC6

 Autoscroll
Both NL & CR
9600 baud
```

```
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>

// лінія даних підключена до цифрового виводу 2 Arduino
#define ONE_WIRE_BUS 2

// налаштування об'єкта oneWire для зв'язку з будь-яким пристроєм OneWire
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);

// передати посилання на oneWire бібліотеки DallasTemperature
DallasTemperature sensors(&oneWire);

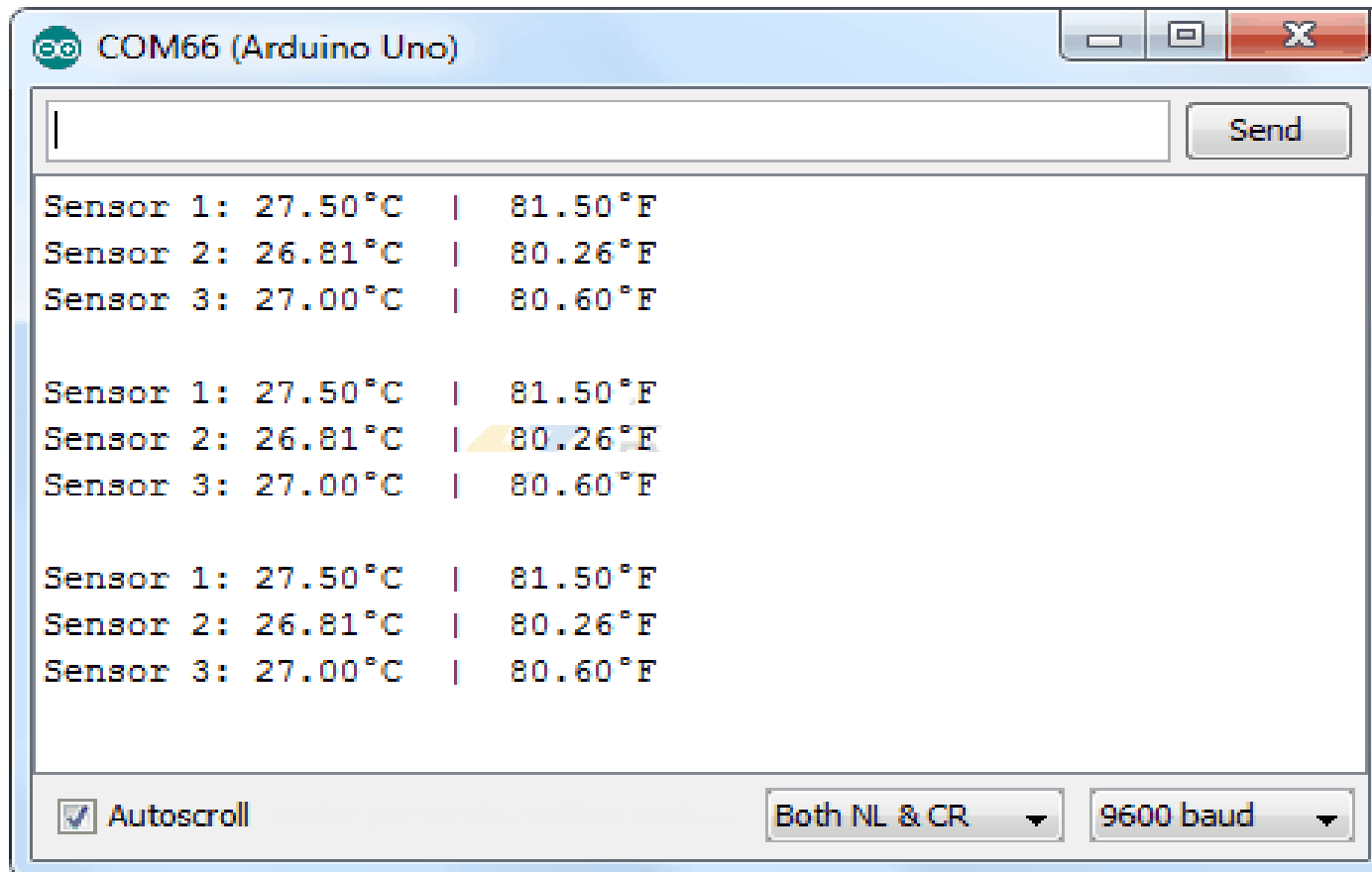
// адреса трьох датчиків DS18B20
uint8_t sensor1[8] = { 0x28, 0xEE, 0xD5, 0x64, 0x1A, 0x16, 0x02, 0xEC };
uint8_t sensor2[8] = { 0x28, 0x61, 0x64, 0x12, 0x3C, 0x7C, 0x2F, 0x27 };
uint8_t sensor3[8] = { 0x28, 0x61, 0x64, 0x12, 0x3F, 0xFD, 0x80, 0xC6 };

void setup(void)
{
  Serial.begin(9600);
  sensors.begin();
}
```

```
void loop(void)
{
  sensors.requestTemperatures();
  Serial.print("Sensor 1: ");
  printTemperature(sensor1);
  Serial.print("Sensor 2: ");
  printTemperature(sensor2);
  Serial.print("Sensor 3: ");
  printTemperature(sensor3);
  Serial.println();
  delay(1000);
}

void printTemperature(DeviceAddress deviceAddress)
{
  float tempC = sensors.getTempC(deviceAddress);
  Serial.print(tempC);
  Serial.print((char)176);
  Serial.print("C | ");
  Serial.print(DallasTemperature::toFahrenheit(tempC));
  Serial.print((char)176);
  Serial.println("F");
}
```

Результат показань декількох датчиків температури методом адреси



```
COM66 (Arduino Uno)
|
|
Sensor 1: 27.50°C | 81.50°F
Sensor 2: 26.81°C | 80.26°F
Sensor 3: 27.00°C | 80.60°F

Sensor 1: 27.50°C | 81.50°F
Sensor 2: 26.81°C | 80.26°F
Sensor 3: 27.00°C | 80.60°F

Sensor 1: 27.50°C | 81.50°F
Sensor 2: 26.81°C | 80.26°F
Sensor 3: 27.00°C | 80.60°F

 Autoscroll
Both NL & CR
9600 baud
```

В результаті виконання магістерської кваліфікаційної роботи були проаналізовані усі доступні методи та технології передачі даних, та аргументований вибір у сторону волоконно-оптичних мереж. Розглянуто типи волокна для подальшого використання в мережі. Виконано аналіз вікон прозорості волокна для вибору оптимальної довжини хвилі з найменшим загасанням. Було розглянуто волоконно-оптичні датчики та принцип їх дії. Проаналізовано методи та принцип побудови волоконно-оптичних мереж. На основі отриманої інформації побудовано структурну схему розподіленої волоконно-оптичної мережі для керування smart-індустріальними парками та алгоритм її роботи. Проаналізована базова модель розрахунку основних параметрів одномодового волокна та на основі аналізу виконано розрахунок враховуючи вибраний волоконно-оптичний кабель та розраховано енергетичний запас мережі. Було побудовано та розраховано волоконно-оптичні датчики температури які націлені на постановку задачі.

Вдосконалено метод отримання даних з датчиків шляхом присвоєння унікального 64-бітного послідовного коду та реалізації зчитування на одній шині 1-Wire. Розроблено три методи зчитування на мові C. Завдяки реалізації у нашій системі можливості підключення кількох датчиків температури до однієї шини плати керування, схема спрощується. А саме знижується її вартість за рахунок зменшення кількості плат керування до однієї, підвищується швидкість передачі даних а також знижується енергоспоживання самої системи.

Дякую за увагу!