

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії  
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій  
(повна назва кафедри)

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Розробка та дослідження автоматизованої системи керування парком наземних паливних ємностей

Виконав: студент

VI курсу, групи КТМ-61

спеціальності

174 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(шифр і назва спеціальності)

Завіша І.С.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Тотосько О.В.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Микитишин А.Г.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Тернопіль  
2023

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії  
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій  
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Микитишин А.Г.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня Магістр  
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 174 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології  
(шифр і назва спеціальності)

Студенту Завіші Ігору Степановичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка та дослідження автоматизованої системи керування парком наземних паливних ємностей

Керівник роботи Тотосько Олег Васильович, к.т.н., доцент кафедри КТ  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 року № \_\_\_\_\_

2. Термін подання студентом завершеної роботи 26 грудня 2023р.

3. Вихідні дані до роботи Наукові публікації про процеси перекачування рідин

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ

Аналітична частина

Технологічна частина

Конструкторська частина

Науково-дослідна

Спеціальна частина

Безпека в надзвичайних ситуаціях, охорона праці, Висновки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Тотосько О.В., доцент кафедри КТ		
Безпека в надзвичайних ситуаціях	Клепчик В. М., проректор з адміністративно-господарської роботи та будівництва		

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Ознайомлення з завданням до кваліфікаційної роботи	25.11.2023	Виконано
2.	Підбір наукових джерел по темі роботи	26.11.2023-28.11.2023	Виконано
3.	Опрацювання наукових публікацій та збір даних по темі роботи	29.11.2023-1.12.2023	Виконано
4.	Виконання дослідження згідно мети кваліфікаційної роботи	2.12.2023-4.12.2023	Виконано
5.	Оформлення першого та другого розділів	5.12.2023-7.12.2023	Виконано
6.	Оформлення третього розділу	8.12.2023-10.12.2023	Виконано
7.	Оформлення четвертого розділу	11.12.2023-13.12.2023	Виконано
8.	Виконання завдання до підрозділу «Охорона праці»	14.12.2023-15.12.2023	Виконано
9.	Виконання завдання до підрозділу «Безпека в надзвичайних ситуаціях»	16.12.2023-17.12.2023	Виконано
10.	Оформлення кваліфікаційної роботи	18.12.2023-19.12.2023	Виконано
11.	Нормоконтроль	19.12.2023-20.12.2023	Виконано
12.	Перевірка на плагіат	21.12.2023	Виконано
13.	Попередній захист кваліфікаційної роботи	22.12.2023	Виконано
14.	Захист кваліфікаційної роботи		

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

Завіша І.С.

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

Тотосько О.В.

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота магістра складається з пояснювальної записки та графічної частини (ілюстративний матеріал – слайди).

Об'єм графічної частини дипломної роботи становить \_\_\_\_\_.

Об'єм пояснювальної записки складає 76 друкованих сторінок формату А4.

В роботі використано 27 літературних джерел.

У роботі було проведено дослідження теоретичних і прикладних проблем цифрового управління безперервними процесами за допомогою програмованих логічних контролерів.

Аналіз був зосереджений на різних технічних і програмних можливостях ПЛК загальні операції ПЛК, програмування для системи на основі ПЛК, адресація вводу/виводу для проектування систем керування.

Наведено порядок побудови системи керування з її аналізом. Рішення для вимірювання різних параметрів при меншій енергії споживання підтверджено прикладами інноваційних технологій вимірювання.

Створено структуру програми керування парком резервуарів. Розроблено та апробовано алгоритми локального керування.

Ключові слова: КОНТРОЛЕР, ПАЛИВО, РІВЕНЬ, ТЕМПЕРАТУРА, АВТОМАТИЧНИЙ КОНТРОЛЬ.

## **ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ**

DP (англ. Distributed I/O) – Розподілені входи/виходи;

PLC (англ. Programmable Logic Controller) – ПЛК, програмований логічний контролер

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	6
1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА .....	8
1.1 Сучасні функції контролерів у системах керування .....	8
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА .....	19
2.1 Структурний синтез керування контролерами з розподіленим вводом/виводом .....	19
2.2. Головне управління розподіленим введенням/виведенням.....	21
2.3. Конфігурація PROFIBUS.....	22
2.4. PROFIBUS PA.....	26
3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА .....	31
3.1 Конфігурація мережі автоматизованої системи контролю паливних ємностей .....	31
3.2. Встановлення ПЛК.....	33
3.3. Зрівнювання потенціалів вибухозахищених систем. ....	34
3.4. Апаратна структура системи керування. ....	35
3.5. Конфігурація проекту управління відповідно до вимог. ....	36
4. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА.....	46
4.1 Вимірювання параметрів баків .....	46
4.2. Надлишковість розробленої системи. ....	56
5. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА.....	59
5.1 Опис програмного забезпечення розробленого проекту .....	59
5.2. Конфігурація керуючої програми.....	62

6 БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ, ОХОРОНА ПРАЦІ.....	65
6.1 Організація охорони праці при роботі з системою управління .....	65
6.2 Електробезпека .....	67
6.3 Розрахунок заземлення .....	70
ОСНОВНІ ВИСНОВКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ .....	74
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	75

## ВСТУП

Системи управління є невід'ємною частиною сучасного суспільства. Проектування, тестування та оптимізація систем автоматичного керування з програмованими логічними контролерами (PLC) стали надзвичайно важливими [1]. Цілі автоматизації включають розробку, аналіз, синтез і тестування технічних систем, розроблених для забезпечення оптимальної продуктивності технічних і виробничих процесів без постійної участі людини. Ступінь реалізованої автоматизації визначається ступенем, до якого процес або метод виробництва фактично виконується автоматично за допомогою обладнання та системи автоматизації. Головні цілі продуктивності, гнучкості, безпеки та захисту навколишнього середовища в технічних і виробничих процесах призвели до постійно зростаючої потреби у підвищенні ступеня автоматизації. Отже, технологія автоматизації знаходиться в середині швидкого розвитку, який можна охарактеризувати наступними чотирма особливостями:

- перехід від аналогового до цифрового та гібридного обладнання автоматизації шляхом інтеграції систем і процесів, що підтримуються комп'ютером;
- застосування методів керування для автоматичного керування технічними системами з використанням мовних змінних без складних математичних моделей;
- оптимізація комунікаційного ланцюга «людина-процес» шляхом інтеграції комунікацій, обробки інформації та сенсорно-виконавчих систем;
- застосування складних та ієрархічно налаштованих структур автоматизації та впровадження адаптивних та інтелектуальних систем.

Основні системні компоненти техніки автоматичного керування характеризуються такими функціями, як вимірювання, обробка інформації та автоматичне керування. Розв'язання задач керування передбачає: принципи



оперативності, швидкості та точності в тій мірі, в якій вони застосовні до конкретного завдання. Технологія автоматичного керування також використовує висновки відповідних математичних, наукових і технічних дисциплін для вирішення завдань [11].

Автоматичні системи керування дозволяють управляти процесами безпечно та прибутково. Системи керування досягають цієї «безпечної та прибуткової» мети шляхом постійного вимірювання змінних процесу. Основною мотивацією автоматичного керування є безпека людей, навколишнього середовища та обладнання.

Цілі управління на рівні заводу, мотивовані прибутком, включають виконання специфікацій кінцевого продукту, мінімізацію виробництва відходів, мінімізацію впливу на навколишнє середовище, мінімізацію використання енергії та максимізацію загальної продуктивності. Впровадження автоматизованих систем управління технологічними процесами є перспективним напрямком енергобезпеки [3].

Економічна вигода систем керування (понад 30 % економії енергоресурсів) досягається за рахунок точного контролю параметрів технологічного процесу, моніторингу стану технологічного обладнання та скорочення часу реагування персоналу на аварійні та передаварійні події. Продуктивність процесу означає оптимізацію процесу, обладнання та засобів керування. У наш час розширений контроль є синонімом впровадження комп'ютерних технологій.

## 1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

### 1.1 Сучасні функції контролерів у системах керування

Програмовані логічні контролери (ПЛК) сьогодні вважаються основним елементом автоматизації. За допомогою цих контролерів можна реалізовувати найрізноманітніші завдання автоматизації в залежності від постановки задачі. Системи, традиційно пов'язані з керуванням процесами, використовуються в окремих додатках.

Пристрій керування є основним інтерфейсом з установкою, від одноконтурних систем до систем розподіленого керування. Це дозволяє заводу знаходити основні проблеми керування, діагностувати, що викликає проблему, і отримувати відповідність всьому заводу специфікації. Іноді проблема полягає в процесі, в базовій конструкції або в несправності обладнання. Але це може бути в системі управління, в базовій стратегії або в несправності обладнання.

Сучасні системи керування вимагають одночасного керування кількома контурами – тиском, рівнем, температурою, наприклад [8]. Переваги ПЛК полягають у тому, що ці системи можуть керувати численними контурами. Контролери є складовою частиною систем автоматизації, основними завданнями яких є стабілізація процесу. Вони використовуються для автоматичного підтримання певних станів процесу (робочого режиму), усунення впливу перешкод на послідовність процесу, запобігання небажаного зв'язку компонентів процесів у технічному процесі.

Функція ПЛК полягає в тому, щоб контролювати, контролювати та інтегрувати все в цьому процесі, а комп'ютер дозволяє ПЛК і процесу взаємодіяти із зовнішнім світом – операторами, іншими процесами та системами вищого рівня. Системи керування складаються з різних блоків і включають складні проблеми. Контролери завжди мають можливість

отримувати вхідні дані, виконувати математичну функцію з вхідними даними та виробляти вихідний сигнал що відповідає керованій змінній. В інтелектуальному суспільстві люди спілкуються один з одним, організовуються та утворюють мережі.

Ця парадигма також використовується в сучасних технологіях і надає окремим об'єктам, обладнаним датчиками, приводами та програмним забезпеченням, певний рівень інтелекту та ідентифікації. Завдяки сучасній комунікаційній технології окремі компоненти об'єднуються в інтегровану мережеву систему. Віддалені операції, несприятливі умови навколишнього середовища, екстремальний клімат, небезпечний космос – це лише деякі складні виклики, які характерні для розвідки та видобутку горючих сланців. Вони вимагають вимог до продукту, які включають надзвичайну міцність, максимальну доступність і компактні модульні конструкції.

Ці вимоги поширюються на контроль складних процесів обробки горючих сланців з використанням різних технологій, придатних для вимірювання ряду різних відповідних параметрів. Усі частини заводу повинні працювати як єдине ціле. Це вимагає автоматизації відкритих, інтегрованих комунікаційних зв'язків у всій компанії.

Це дослідження допомагає уникнути використання ізольованих додатків в автоматизації та інформаційних технологіях завдяки:

- безперебійному потоку інформації від рівня датчика/виконавчого механізму до високого рівня управління;
- доступність інформації в будь-якому місці;
- швидкий обмін даними між ділянками заводу;
- узгоджена конфігурація та ефективна діагностика;
- вбудовані функції безпеки, що запобігають несанкціонованому доступу;
- безвідмовний зв'язок і стандартний зв'язок за допомогою одного кабелю. Така конфігурація використовує інтелектуальні пристрої на

локальному рівні, які взаємодіють один з одним через мережі. Відкритість і гнучкість дозволяють легко зв'язувати різні системи і впроваджувати розширення. Це не тільки зменшує кількість інтерфейсів, але й забезпечує максимальну прозорість даних на всіх рівнях – від польового, виробничого рівня до рівня управління. Для цих цілей використовуються міжнародний стандарт польового рівня PROFIBUS і міжнародний стандарт регіональних мереж Industrial Ethernet.

Програмовані логічні контролери сьогодні вважаються основним елементом автоматизації [2]. За допомогою цих контролерів можуть бути реалізовані найрізноманітніші завдання автоматизації в залежності від постановки задачі (рис. 1.1).

Програмовані логічні контролери існували назавжди (у технологічні роки). Їх підтверджена надійність у суворих умовах і конструкція для роботи з багатьма входами та виходами зробили їх основою багатьох заводських автоматизованих систем.

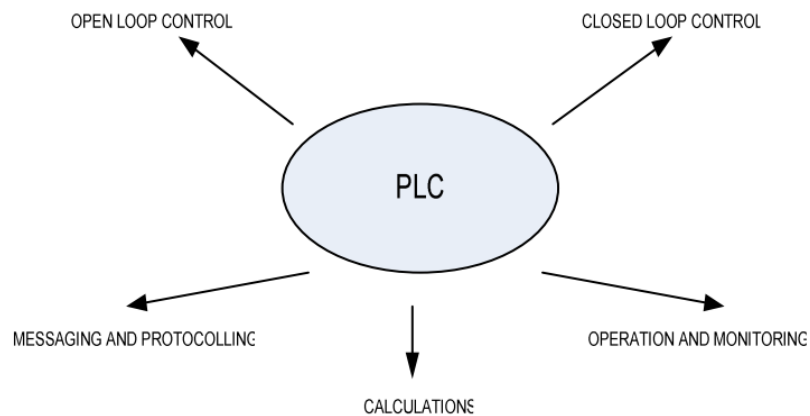


Рисунок 1.1 - ПЛК є елементом автоматизації.

Контролери - у сенсі систем автоматичного керування - це функціональні елементи, які діють на фізичну змінну за допомогою виконавчого механізму в залежності від аналізованої змінної процесу

(виміряної за допомогою датчика) у замкнутому аналоговому колі з точними математичними визначеннями. Це показано на рис. 1.2.

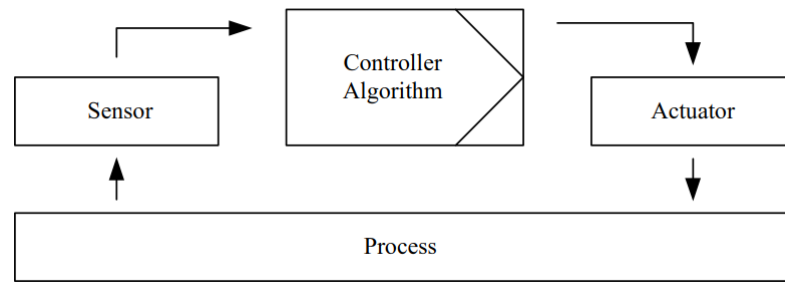


Рисунок 1.2 - Основний потік сигналів у контролері.

476 компаній постачають програмовані логічні контролери (PLC). ПЛК є центрами керування для широкого спектру автоматизованих систем і процесів. Вони містять кілька входів і виходів, які використовують транзистори та інші схеми для імітації перемикачів і реле контрольного обладнання.

Специфікації системи ПЛК, які слід враховувати, включають час сканування, кількість інструкцій, пам'ять даних і пам'ять програм. Вони програмуються за допомогою програмного забезпечення, підключеного через стандартні комп'ютерні інтерфейси та власні мови та параметри мережі.

ПЛК бувають різних розмірів: великі, середні, малі, мікро та нано. Процесори ПЛК мають різні характеристики.

Omron SRM1 має всю обчислювальну потужність і контроль у головному блоці, який підтримує до 256 мережевих входів-виходів (128 входів/128 виходів) через мережу виті пари на відстані до 500 метрів. Час виконання базових інструкцій ПЛК становить 0,97 мікросекунди. Час виконання ПЛК вимірюється відповідно до IEC 61131 [4].

Програма користувача повинна бути рівною 1К з мовою програмування ІЛ IEC 61131-3. Міні-ПЛК S7-200 забезпечує ємність програмної пам'яті 24 КБ і пам'ять даних 10 КБ, 16-розрядні таймери, 12-розрядний АЦП із

перетворенням сигналу 25 мкс, SPI (послідовний периферійний інтерфейс) і SCI (UART), часові переривання між 1 і 255 мс, з роздільною здатністю 1 мс.

Швидкість обробки бітів становить 0,22 мкс. Він містить понад 200 інструкцій, включаючи математику з плаваючою комою, PID, цикли for/next, підпрограми та керування послідовністю як для простого дискретного керування, так і для аналогового керування. У поєднанні з високошвидкісними лічильниками 20 кГц, перериваннями та імпульсними виходами 100 кГц, серія S7-200 забезпечує керування в реальному часі з булевою швидкістю обробки 0,375 мікросекунди на інструкцію.

Unitronics Vision 120 U2A, Unitronics M90-19-B1A мають 10 цифрових входів, 1 аналоговий вхід, 6 релейних виходів, RS232, час відгуку від 0 до 1–5 мс, від 1 до 0–10 мс, роздільна здатність 16 біт, 1 роздільна здатність аналогового входу для 0–20 мА — це 10 біт (1024 одиниці), для 4–20 мА — від 204 до 1024 (820 одиниць) [5].

Сімейство ПЛК Mitsubishi має RAM 8 – 16 К, EPROM 8 – 16 К, EEPROM 4 – 16 К [20]. S7-400 містить робочу пам'ять 512 Кб для коду; навантажувальна пам'ять 256 КБ; інтегрований розширюваний EEPROM з картою пам'яті (FLASH) від 1 МБ до 64 МБ; Розширювана оперативна пам'ять за допомогою карти пам'яті (RAM) 256 КБ до 64 МБ; Час обробки для бітових інструкцій 75 нс, інструкцій Word 75 нс, математики з плаваючою комою 225 нс [5].

Програмовані логічні контролери використовують для управління мови програмування. Середовище програмування IEC 61131-3 забезпечує підтримку п'яти мов, визначених глобальним стандартом: послідовна функціональна схема, функціональна блок-схема, сходова діаграма, структурований текст і список інструкцій.

Це забезпечує сумісність із різними постачальниками та багатомовне програмування.

SFC — це графічна мова, яка забезпечує координацію програмних послідовностей, підтримуючи альтернативний вибір послідовності та паралельні послідовності.

FBD використовує широку бібліотеку функцій для створення складних процедур у графічному форматі. Стандартні математичні та логічні функції можна узгоджувати з функціями зв'язку та інтерфейсу, що настроюються.

LD — це графічна мова для дискретного керування та логіки блокування. Він повністю сумісний з FBD для дискретного керування функціями.

ST — це текстова мова, яка використовується для складних математичних процедур і обчислень, що менш підходить для графічних мов.

IL — мова низького рівня, схожа на асемблерний код. Він використовується у відносно простих логічних інструкціях. Ретрансляційна сходова логіка, або сходові діаграми, є сьогодні найпоширенішими мовами програмування для керування [6].

Блок-схема — це графічна мова, яка описує послідовні операції в послідовності контролера або додатку. Він використовується для створення модульних багаторазових бібліотек функцій. Стандартизація мов програмування високого рівня для ПЛК дозволяє реалізувати більш просунуті стратегії керування в додатках керування на основі ПЛК. C++ — це мова програмування високого рівня, яка підходить для обробки найскладніших обчислень, послідовності і завдання реєстрації даних.

Зазвичай він розробляється та налагоджується на програмному ПЛК для ПК. IEC 61499 — це стандарт розробки програмного забезпечення в області систем вимірювання та управління промисловими процесами (IPMCS). Цей стандарт спрощує розробку розподілених додатків IPMCS за рахунок можливості повторного використання, інкапсуляції та модульності.

Завдяки великій схожості з об'єктно-орієнтованою парадигмою IEC 61499 також визначає спосіб інтеграції методів моделювання в процес

розробки розподілених додатків IPMCS. Специфікації каналів введення/виведення програмованих логічних контролерів включають загальну кількість точок, кількість входів і виходів, можливість розширення та максимальну кількість каналів.

Кількість балів є сумою входів і виходів. ПЛК можуть бути задані будь-якою можливою комбінацією цих значень. Блоки, що розширюються, можуть складатися або з'єднуватися разом, щоб збільшити загальну здатність керування. Максимальна кількість каналів означає максимальну загальну кількість вхідних і вихідних каналів у розширеній системі.

ПЛК можна поєднувати з більшістю інших технологій, щоб створити складну систему контролю та моніторингу (рис. 1.3).

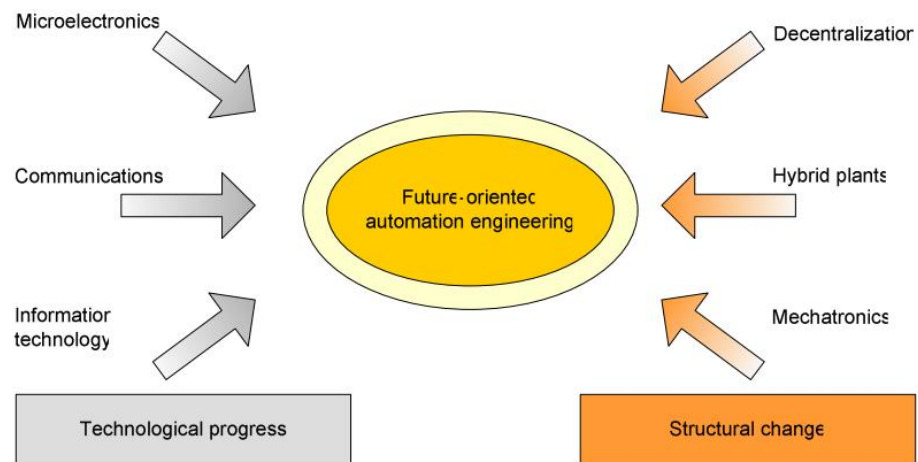


Рисунок 1.3 - Мотивація ПЛК для використання в системах керування.

Доступні входи для ПЛК включають входи постійного струму, змінного струму, аналогові входи, термопари, резистивні датчики температури, частотні чи імпульсні, транзисторні та входи переривань. Виходи для ПЛК включають постійний, змінний, релейний, аналоговий, частотний або імпульсний, транзисторний і симисторний.

Сьогодні існує багато альтернатив традиційним ПЛК. Постачальники програмних ПЛК пропонують «жорсткі» ПЛК. SoftPLC — це ПЛК із блоком живлення, стійкою, об'єднаною платою, модулями введення/виведення, а



також ЦП на базі 486. Стандартний блок містить 16 МБ (з можливістю розширення) DRAM, 8 МБ (з можливістю розширення) флеш-диск і 128-4 КБ оперативної пам'яті з живленням від акумулятора. SoftPLC Tealware також має вбудовані послідовні порти, порт Ethernet 10 BaseT і порт віддаленого введення/виведення.

Він також має можливість гарячого резервного копіювання. З магазином PC-104 може мати модуль центрального процесора, модуль живлення, чотири модулі введення/виведення та до п'яти карт PC-104. Ці карти можна використовувати для альтернативних систем вводу-виводу (Profibus, DeviceNet, PC-board I/O), комунікаційних карт (додаткові послідовні порти, карта Data Highway Plus, карта Ethernet), інтерфейсів пристроїв (карти руху, власні інтерфейси), або інші картки. ATmega128 — це малопотужний 8-розрядний мікроконтролер CMOS.

Виконуючи потужні команди за один такт, ATmega128 досягає пропускної здатності, що наближається до 1 MIPS на МГц. ATmega128 забезпечує наступні функції: 128 Кбайт внутрішньосистемної програмованої флеш-пам'яті з можливостями читання під час запису, 4 Кбайт EEPROM, 4 Кбайт SRAM, лічильник реального часу (RTC), чотири гнучких таймера/лічильника з режимами порівняння та ШІМ, 2 USARTs, байт-орієнтований двопровідний послідовний інтерфейс, 8-канальний 10-бітний АЦП з додатковим диференціальним входним каскадом із програмованим посиленням, програмований сторожовий таймер із внутрішнім осцилятором, годинник асинхронного таймера дозволяє синхронізувати асинхронний таймер/лічильник безпосередньо від зовнішнього тактового кристала 32 кГц, навіть коли пристрій перебуває в режимі сну [6].

На відміну від систем керування на базі ПК, які спочатку завантажують операційну систему, а потім додаток для керування, обидві ці системи SoftPLC є ПЛК з операційною системою ПЛК. Після завантаження SoftPLC вбудовує 32-розрядне багатозадачне ядро в режимі реального часу в

оперативну пам'ять, створюючи жорсткий детермінований контролер реального часу.

За даними компанії, час виконання інструкцій SoftPLC у системі на базі 486 зазвичай у 2-10 разів швидший, ніж у звичайних ПЛК. У системах Pentium час сканування в 50-100 разів швидший, ніж у звичайного ПЛК. Rexroth постачає всі свої контролери з 2 МБ оперативної пам'яті (4 МБ додатково) для даних користувача.

Це підтримує програми ПЛК приблизно 300 000 інструкцій. Варіанти живлення ПЛК, варіанти монтажу та робочі умови середовища також важливі для застосування в системах керування (рис. 1.4).

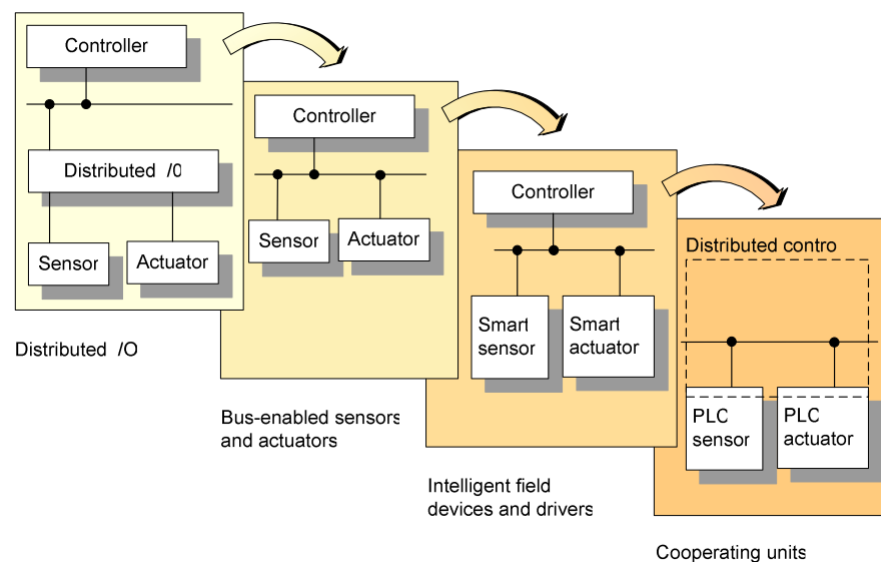


Рисунок 1.4 - ПЛК з рядом варіантів інтерфейсу комп'ютера. Деякі програмовані логічні контролери можуть розв'язувати задачі, пов'язані з такими математичними функціями, як синус, косинус, тангенс, ху, корінь у з х,  $e^{\text{sub } x}$ , натуральні та звичайні логарифми, необхідні для керування багатьма процесами.

Складний програмований логічний контролер здатний виконувати ці обчислення на багатьох різних частинах процесу одночасно. Такі розрахунки часто потрібні для управління енергією, управління процесами, моделювання процесів і виправлення помилок у реальному часі.

Здатність обробляти аналогові сигнали разом з арифметичними та іншими складними обчисленнями зробила програмовані логічні контролери придатними для керування процесом. На підтримку цих функцій деякі програмовані логічні контролери тепер мають можливість зберігати рецепти для пакетної обробки, зменшуючи потребу в ручному введенні.

На практиці контролери не тільки складаються з математичного визначення (алгоритму), вони також містять низку елементів керування функції для роботи, моніторингу, функцій безпеки та можливостей зв'язку в мережі контролера з частотою дискретизації від 20 до 2000 Гц [7].

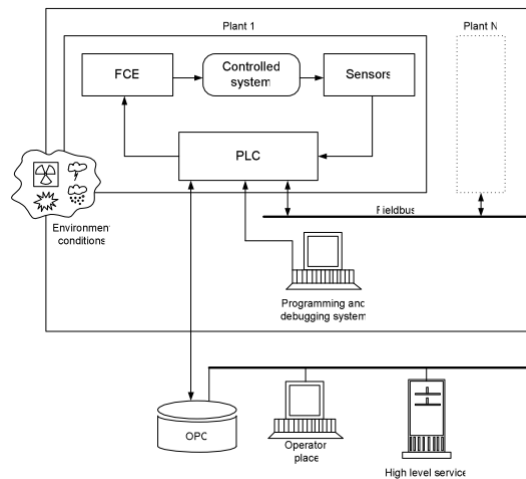


Рисунок 1.5 - Місце ПЛК у промисловому середовищі.

Сучасний програмований логічний контролер також може передавати інформацію назад оператору. Він може роздрукувати власну сходову діаграму для запису, перегляду чи зміни, або він може надавати звіти про стан або прогрес регулярно чи за запитом. Програмований логічний контролер також може відображати повідомлення для узагальнення даних або керівництва оператора. Програми аналізу даних стають все більш поширеними [15].

Зазвичай кожному програмованому логічному контролеру присвоюється тег або номер. Програмований логічний контролер ініціює зміни даних у базі даних комп'ютера, які ініціюють інші завдання керування.

Програмований логічний контролер також може відстежувати зовнішні несправності. Ця можливість є корисною, оскільки машина та зовнішні елементи керування, такі як кінцеві вимикачі, соленоїди, датчики, перетворювачі, дистанційні кнопки та перемикачі, зазвичай набагато менш надійні та частіше є причиною простою машини, ніж ПЛК (рис. 1.5).

Кожна частина контролера має низку різних додаткових функцій, реалізація чи активація яких суттєво впливає на реакцію контролера, а також визначає назву багатьох різних типів контролера.

## 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 2.1 Структурний синтез керування контролерами з розподіленим вводом/виводом

Коли входи та виходи розташовані на значній відстані від програмованого логічного контролера, можуть бути довгі кабелі, які не відразу зрозумілі, а електромагнітні перешкоди можуть погіршити надійність. Розподілені системи вводу/виводу є рішенням у таких випадках, оскільки центральний процесор контролера розташований централізовано, а системи вводу/виводу (входи та виходи) працюють локально на розподіленій основі.

Розвиток технології розподіленої системи вводу/виводу має багато переваг, оскільки результати децентралізованого керування мають більшу гнучкість у процесі планування. Вони дозволяють краще реалізувати індивідуальні вимоги. Завод із розподіленим керуванням можна легше розширити. Значна економія може бути досягнута, зокрема, на механічній установці, монтажі та електропроводці обладнання заводу завдяки зменшенню кількості кабелів для розподілених пристроїв введення/виведення.

Другим фактором є широкий вибір польових пристроїв, доступних для цієї технології. Щоб максимально використати ці переваги, польова шина повинна мати стандартизовану та відкриту архітектуру. Усі головні системи, що складаються з головного пристрою DP і підлеглих пристроїв DP, які підключені за допомогою шинного кабелю та обмінюються даними через протокол PROFIBUS-DP, позначаються як розподілені вводи/виводи. Високопродуктивна шинна система PROFIBUS-DP з високою швидкістю передачі даних доступна для плавного зв'язку ЦП ПЛК і системи введення/виведення.

Конфігурація розподіленого вводу/виводу за допомогою PROFIBUS DP.

Налаштування розподіленого вводу/виводу за допомогою PROFIBUS DP полягає в основному у призначенні станцій DP (вузлів PROFIBUS) головній системі DP [8]. Головний пристрій DP і підключені до нього ведені пристрої DP складають головну систему DP. Майстер DP з'єднує центральний процесор контролера з розподіленими системами введення/виведення. Головний пристрій DP обмінюється даними за допомогою PROFIBUS-DP з розподіленими системами введення/виведення та контролює систему шини PROFIBUS-DP.

Розподілені системи вводу/виводу (підпорядковані пристрої DP) готують дані датчиків і виконавчих механізмів локально, щоб їх можна було передати через PROFIBUS-DP до ЦП ПЛК. PROFIBUS – система польових шин, яка може використовуватися всім обладнанням автоматизації типу PLC, PC, HMI-системами, приводами та датчиками для обміну даними.

PROFIBUS - DP - оптимізований за швидкістю протокол - був розроблений спеціально для зв'язку між ПЛК (DP майстер) і пристроями розподіленого введення-виведення (DP Slaves). Ресурси системної інтеграції є складовою базового програмного забезпечення сучасного ПЛК. Програмування зв'язків між контролерами та іншими програмованими системами визначено в стандарті IEC 61131-5.

Мережева організація являє собою універсальний набір модульних блоків, розроблених для ефективного вирішення завдань комунікацій для всього технологічного процесу. Така конфігурація використовує інтелектуальні пристрої на локальному рівні, які співпрацюють один з одним у мережі. Відкритість і гнучкість дозволяють підключати різні системи і розширення. Сегмент мережі може включати максимум 32 станції, уся мережа може об'єднувати максимум 127 станцій.

Максимальна кількість підлеглих пристроїв DP у провідній системі DP визначається типом використовуваного ведучого пристрою DP. Майстри DP можуть бути майстрами класу 1 для обміну даними в режимі онлайн-процесу та майстрами класу 2 для сервісних і діагностичних завдань, які виконуються пристроєм програмування [2].

Польове обладнання для автоматизації технічних процесів (типи датчиків, приводів, перетворювачів і двигунів) все частіше використовує систему польових шин для обміну інформацією з блоками управління більш високого рівня.

Розробка системи керування з модулями вводу-виводу S7 300, ET200M, Ex Модулі SIMATIC S7 Ex S7-300, ET 200M використовуються для створення систем керування у вибухонебезпечних зонах.

Модулі SIMATIC S7 Ex мають таку ліцензію Ex II 3 (2) G EEx nA іb ІС Т4. Це означає, що їх можна встановлювати в безпечній зоні, а також у зоні 2. До модулів SIMATIC S7 Ex можна підключати лише іскробезпечне електричне обладнання (приводи/датчики), дозволене в зонах 1 і 2.

Фізична ізоляція невибухонебезпечних сигналів від вибухонебезпечних сигналів відповідає вимогам щодо конфігурації вибухозахищеної техніки автоматизації. Усі системи автоматизації підведені до спільної землі.

## **2.2. Головне управління розподіленням введенням/виведенням.**

DP Master є активною станцією в мережі PROFIBUS і спілкується зі своїми підлеглими DP за допомогою циклічної передачі даних. SIMATIC S7-300 CPU 315-2 PN/DP з інтегрованим інтерфейсом MPI/DP, середньою програмною пам'яттю та структурою кількісних даних, високою продуктивністю обробки в двійковій системі та арифметиці з плаваючою комою, пропонується як головний DP у системі керування з розподіленням I/O [9].

SIMATIC Manager контролює всі дані автоматизації, що надходять, і всі інструменти, необхідні для обробки цих даних. Data зв'язок із підлеглими DP обробляється таблицями введення та виведення зображення процесу ЦП або прямими командами доступу до введення/виведення з програми користувача. Доступні інтерфейси та функції для обробки та оцінки процесу та діагностичних переривань.

ЦП SIMATIC S7 також дозволяє змінювати набори параметрів для підлеглих пристроїв DP і DPV1 з програми. Конфігураційні дані для апаратного забезпечення, параметри призначених даних для модулів і дані з'єднання для зв'язку визначені та організовані в програмному пакеті STEP7.

Програмне забезпечення для програмування та конфігурації STEP7 доступне для програмування завдань автоматизації:

- конфігурація обладнання та налаштування його параметрів;
- налаштування мереж, з'єднань та інтерфейсів;
- створення та налагодження керуючої програми. У провідній системі DP провідний DP керує лише призначеними йому підлеглими DP.

Якщо станції налаштовано належним чином, інший вузол у підмережі PROFIBUS — головний або підлеглий, і називається одержувачем — тепер може «прослуховувати» вхідні дані, надіслані підлеглим пристроєм DP — який називається відправником — своєму головному пристрою DP.

### **2.3. Конфігурація PROFIBUS.**

У системі автоматизації надійний ефективний зв'язок між пристроями польового рівня та системою керування є критично важливим для оптимального керування. Щоб полегшити підключення польових пристроїв до PROFIBUS, необхідні інтерфейси були інтегровані. PROFIBUS DP Система управління складається з двох майстрів з розподіленими завданнями (рис. 2.1). Головний клас 1 забезпечує функції керування, тоді як головний клас 2 забезпечує функції керування та моніторингу. Циклічний обмін даними вимірювання та налаштування відбувається між головним 1 та



польовими пристроями. Паралельно з цими даними дані про стан польових пристроїв передаються та оцінюються в головному пристрої класу 1.

Під час циклічної роботи не встановлюються параметри польового пристрою або не зчитується інша інформація про пристрій. Інформація, необхідна для встановлення зв'язку, доступна системі керування зі збережених файлів основних даних пристрою (GSD), що зберігаються для конкретного пристрою. Р

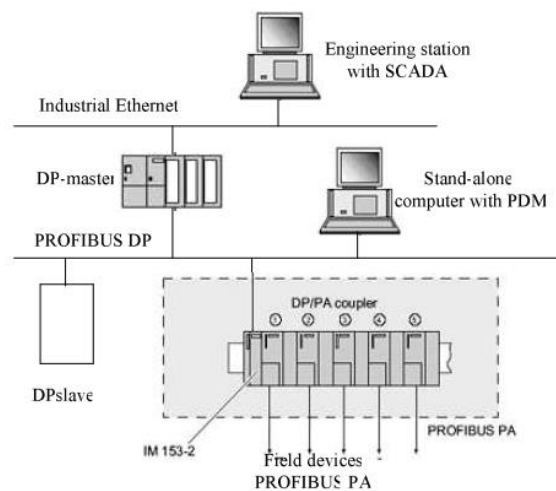


Рисунок 2.1. - Конфігурація системи управління мережею PROFIBUS.

Один або кілька головних пристроїв класу 2 можуть ациклічно отримувати доступ до польових пристроїв на додаток до циклічного режиму. За допомогою цього типу зв'язку можна отримати додаткову інформацію з пристроїв або налаштувати пристрої [10].

Кожен вузол шини повинен отримати адресу PROFIBUS, щоб його можна було однозначно ідентифікувати на PROFIBUS-DP. Адреса PROFIBUS встановлюється на КРОКІ 7 окремо для кожної з двох мереж PROFIBUS DP.

Правила для призначення адреси PROFIBUS:

- Дійсні адреси PROFIBUS: від 1 до 125.

- Кожна адреса PROFIBUS може бути призначена лише один раз у головній системі DP.

Адреси в головній системі DP.

Головна система DP з головним DP і всіма підлеглими DP інтегрована в структуру адреси центрального ЦП, оскільки центральний ЦП звертається до підлеглих DP так, ніби вони були централізованими модулями.

Головна система DP містить такі адреси.

- Адреса станції Кожна станція в підмережі PROFIBUS має унікальну адресу. Ця адреса станції є номером станції, який відрізняє її від усіх інших станцій у підмережі.

- Географічна адреса Містить ідентифікатор головної системи DP, указаний під час конфігурації, та адресу станції на PROFIBUS, яка відповідає номеру стійки.

- Логічна адреса, початкова адреса модуля Найменша логічна адреса – це початкова адреса модуля ЦП.

- Діагностична адреса DP Master має діагностичні дані та звертається за допомогою діагностичної адреси.

Розподілені модульні системи введення/виведення.

Розподілені модульні системи введення/виведення ET 200M використовуються для підключення датчиків і виконавчих механізмів до центрального контролера через PROFIBUS. Пристрої розподіленого введення/виведення доступні зі ступенями захисту IP 20 та IP 65/67, а також із вбудованою технологією безпеки та як іскробезпечні пристрої для використання у небезпечних зонах.

Структура вхідної та вихідної області модульних DP slaves ET200M є змінною. Ця структура визначається, коли підлеглий пристрій DP налаштовано за допомогою програмного забезпечення S7 HW Config. До складу станції SIMATIC ET 200M входять сигнальний і функціональний модулі, модуль живлення.

Підключення до мережі PROFIBUS-DP здійснюється через інтерфейсні модулі IM 153-2. Сигнали внутрішньої шини передаються від модуля до модуля через роз'єм шини. Використовуються субмодулі активної шини, до яких прикріплені модулі, модулі можна замінити під час роботи (гаряча заміна). ET 200M використовується разом з модулями S7-300, що володіють характеристиками в середовищах з підвищеними вимогами.

ET 200M також підходить для роботи з резервуванням у відмовостійких системах. Відмовостійкі модулі S7-300 можна використовувати в ET 200M - також у суміші зі стандартними модулями. У поєднанні з Ex цифровими модулями можна підключати іскробезпечні датчики та виконавчі механізми із зон 1 і 2 вибухонебезпечних установок.

У мережі PROFIBUS-DP станція SIMATIC ET 200M виконує функції пасивного (провідного) пристрою. IM 153-2 також використовується як DP V1-Slave в комбінації з DPV1-master для використання додаткових ациклічних функцій DPV1-Slave. Підмережа PROFIBUS використовується для встановлення зв'язку з децентралізованою периферією. Комунікаційна утиліта PROFIBUS DP неявно включена.

Передача пам'яті за допомогою інтелектуальних підлеглих пристроїв DP.

Головний процесор не має прямого доступу до модулів введення/виведення інтелектуальних підлеглих пристроїв DP. З цієї причини кожен інтелектуальний підлеглий пристрій DP має пам'ять передачі, яку можна розділити на кілька підобластей різної довжини та узгодженості даних. Залежно від свого поділу, кожен інтелектуальний підлеглий пристрій DP відображається головним центральним процесором як компактний або модульний підлеглий пристрій DP. Адреси пам'яті передачі вводяться під час налаштування. Адреси вказуються з точки зору веденого процесора під час конфігурації інтелектуального веденого DP.

Адреси вказуються з точки зору головного процесора, коли інтелектуальний підлеглий пристрій DP додається до головної системи DP. З точки зору головного пристрою DP, адреси пам'яті передачі не можуть конфліктувати з адресами інших модулів на (центральной) станції S7. З точки зору веденого процесора, адреси пам'яті передачі не можуть збігатися з адресами модулів інтелектуального веденого DP [10].

Що стосується доступу до даних користувача та узгодженості даних, адресні області пам'яті передачі обробляються як окремі модулі (найнижча адреса адресної області є початковою адресою модуля).

#### **2.4. PROFIBUS PA.**

PROFIBUS PA (Process Automation) має особливий метод передачі і тому задовольняє вимоги автоматизації процесів і виробництва. Цей спосіб передачі визначено в міжнародному стандарті IEC 61158-2. Низька швидкість передачі зменшує втрати потужності порівняно з PROFIBUS-DP і, отже, забезпечує іскробезпечну техніку для використання у небезпечних зонах. PROFIBUS PA використовує для передачі даних розширений протокол PROFIBUS DP.

Крім того, він реалізує профіль PA, який визначає характеристики польових пристроїв. PROFIBUS PA забезпечує двонаправлений зв'язок між головною шиною та польовими пристроями через екрановану двопровідну лінію. При цьому живлення подається на двопровідні польові пристрої по тих же лініях. PROFIBUS PA розроблено спеціально для високошвидкісного та надійного зв'язку, необхідного в автоматизованих процесах. За допомогою PROFIBUS PA датчики та виконавчі механізми підключаються до загальної лінії польової шини навіть у потенційно вибухонебезпечних зонах.

Інтерфейс.

Для з'єднання PROFIBUS DP і PROFIBUS PA доступні два мережеві компоненти, а саме з'єднувач DP/PA, якщо PROFIBUS DP може працювати на швидкості передачі 45,45 кбіт/с, і канал DP/PA, який перетворює передачу

швидкості передачі PROFIBUS DP до швидкості передачі PROFIBUS PA. Параметризація здійснюється за допомогою STEP 7.

Пристрої PROFIBUS PA інтегруються в мережі PROFIBUS DP за допомогою сегментних сполучників. Залежно від розміру системи і, отже, кількості польових пристроїв і необхідного часу, система повинна бути реалізована з одним або кількома каналами PROFIBUS-PA. Канал PROFIBUS PA складається з компонентів, показаних на рис. 3.1. Функції перетворення сигналу DP/PA, подачі шини та термінації шини поєднані в модулі сполучення. Залежно від кількості польових пристроїв PROFIBUS-PA, які будуть працювати в системі автоматизації, і необхідного часу використовується з'єднувач DP/PA або, у разі вищих вимог, більш потужний зв'язок DP/PA (рис. 2.1).

У конфігурації системи кілька каналів PROFIBUS PA підключено до швидкого PROFIBUS-DP за допомогою блоків сполучення. PLC також пов'язаний з цим. Обидві шинні системи використовують уніфікований рівень протоколу. Це робить PROFIBUS PA сумісним з комунікацією розширенням PROFIBUS DP у польових умовах. Для систем верхнього рівня (пристроїв автоматизації) роз'єм DP/PA link є DP slave, а для систем нижнього рівня – DP-master. Коннектор DP/PA link реалізує перехід мережі від головної системи PROFIBUS DP до PROFIBUS PA.

У цьому випадку обидві шинні системи фізично працюють незалежно через IM 153-2 (гальванічний зв'язок) зі звітами та форматом часу.

З'єднувач DP/PA.

Модуль зв'язку DP/PA – це фізичне з'єднання між PROFIBUS DP і PROFIBUS PA. При самостійній роботі це дає можливість адресації польових пристроїв PA через PROFIBUS DP. Модуль зв'язку DP/PA сполучник реалізує передачу між PROFIBUS DP і PROFIBUS PA, до яких підключені польові пристрої PA. На рис. 2.2 показана інтеграція комунікаційного модуля

DP/PA в систему. Модуль комунікаційний DP/PA сполучник Ex і використовується для підключення польових пристроїв PA у суворих умовах.

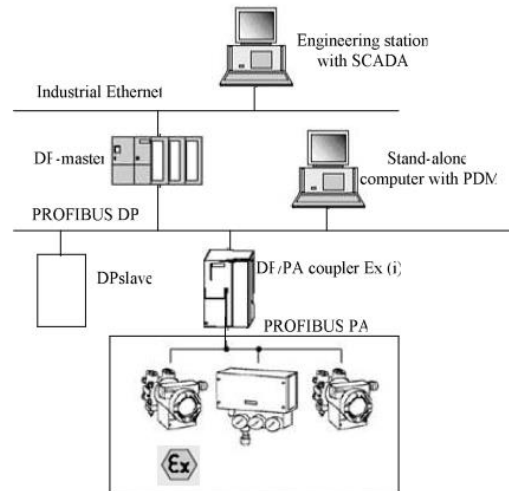


Рисунок 2.2 - Інтеграція DP/PA сполучника в систему.

Визначення довжини кабелю.

Максимальна довжина лінії в підмережі MPI становить 50 м для швидкості передачі даних до 187,5 Кбод з неізолюваними інтерфейсами. Між вузлами з ізолюваним інтерфейсом MPI довжина сегмента може становити максимум 1000 м за умови, що швидкість передачі не перевищує 187,5 Кбод. Кабель PROFIBUS PA не можна використовувати для кабелю PROFIBUS DP у небезпечній зоні, оскільки два протоколи відрізняються перетворенням фізичного рівня (модель OSI).

У той час як PROFIBUS PA базується на стандарті IEC 61158-2, PROFIBUS DP використовує стандарт RS485 в електричній версії. Тому фізичні властивості кабелю різні. Кабелі PROFIBUS PA і DP відрізняються опором перенапруги, опором петлі та ослабленням сигналу. Додатковий кінцевий резистор T встановлюється на дальньому кінці шини з технічних причин передачі. При використанні рекомендованого шинного кабелю теоретично можлива довжина лінії (сума всіх ділянок лінії) становить максимум 1900 м.

Падіння напруги на лініях живлення польових пристроїв необхідно враховувати при плануванні. Окремі польові пристрої можна підключати практично будь-де в системі шини. DP/PA-з'єднувач або DP/PA-Link живляться від блоку живлення з SELV Safety ExtraLow Voltage). Це джерело живлення має достатній запас для подолання короткочасних збоїв живлення. З'єднувач DP/DP може працювати лише як підлеглий пристрій DPV1 у поєднанні з головним пристроєм DPV1.

Додаткові функції (ациклічні послуги) підлеглого пристрою DPV1 можна використовувати лише в цьому випадку. Підпорядковані пристрої DP, визначені як підпорядковані пристрої DPV1 у їхньому файлі GSD, можна вибрати зі спадного списку для роботи в режимі DPV1 або DPV0. Цей файл GSD включено в STEP 7. DPV1 підтримує повні й уніфіковані діагностичні функції [10].

Аналіз інтелектуального пристрою PA.

У суворих умовах процесу з високим хімічним і фізичним впливом надійність і точність є критичними для безпечної та економічної роботи. У всій сланцево-хімічній промисловості вимоги до вимірювань можуть бути надзвичайно високими. Повсякденні завдання включають різні вимірювання та потребують індивідуального рішення.

Оскільки вимірювання проводяться в надзвичайно суворих умовах навколишнього середовища, для схвалення безпеки (ATEX, FM, SIL, WHG) часто потрібні спеціальні технологічні прилади (наприклад, камери під тиском). Сучасні пристрої PA є інтелектуальними і виконують частину обробки інформації в системах автоматизації. Раніше це робили системи PLC або DCS.

Профіль PA розроблений у співпраці з переробною промисловістю та визначає всі функції та параметри для різних класів приладів. Він заснований на міжнародно визнаній технології функціональних блоків. Пристрій PA має три функціональні блоки.

- Фізичний блок описує необхідні параметри та функції самого пристрою (версія програмного забезпечення, серійний номер, ідентифікатор постачальника, команда скидання).

- Блок перетворювача містить параметри, які впливають на тип датчика або виконавчого механізму або описують його. Блоки перетворювача також можуть містити параметри для калібрування та лінеаризації. Оброблена інформація передається до функціонального блоку. Якщо пристрій має більше датчиків, він має відповідні блоки перетворювачів для кожного датчика.

- Функціональний блок містить один або кілька циклічно доступних вхідних або вихідних параметрів (значення процесу). Вони можуть мати аналоговий або дискретний характер. Інші параметри: налаштування масштабування, сигнали тривоги та факторізація одиниць.

Деякі пристрої споживають більше енергії, коли є проблема з ними самими. Струм FDE (Fault Disconnection Electronics) — це додаткове споживання статичного/базового струму. Деякі пристрої не мають струму FDE. Коли виникає проблема, вони споживають однаковий струм. Але коли проблема посилюється, пристрій відключається від шини (більше не споживає електроенергію). Розгляд системи керування полягає в забезпеченні можливості підключення пристроїв програмування, а також панелей оператора, підлеглих пристроїв або стандартних підлеглих пристроїв DP інших виробників до мережі PROFIBUS DP.

Обладнання АВАРІЙНОГО ВИМКНЕННЯ відповідно до IEC 6204 зберігає робочий стан у всіх режимах роботи системи [1].



## 3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

### 3.1 Конфігурація мережі автоматизованої системи контролю паливних ємностей

Інструмент конфігурації мережі, NetPro, забезпечує графічне представлення та документацію мереж та їхніх станцій, а також налаштовує підмережі та станції (рис. 3.1).

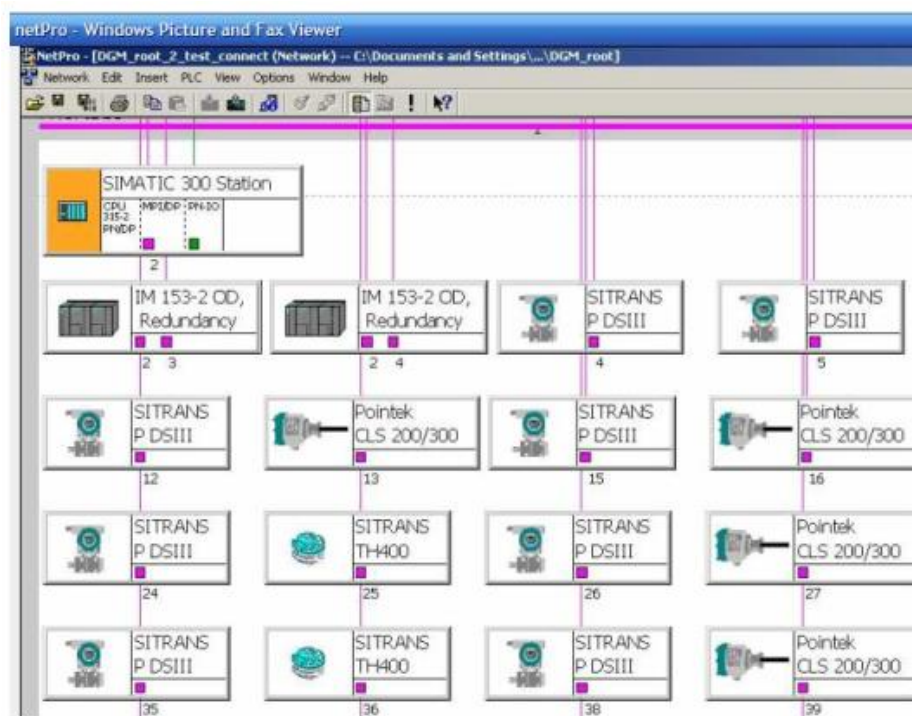


Рисунок 3.1 - NetPro: вікно налаштування мережі.

NetPro також показує графічне представлення головної системи DP з усіма її підлеглими DP, які потім можна редагувати. Комунікаційні підключення налаштовуються в таблиці підключень.

Проектування системи ПЛК.

Існує багато методів проектування системи ПЛК, підходів до процедур і практик компанії, прийнятих для навчання та розташування [12].

Контрольований об'єкт розділений на ділянки, які мають ступінь незалежності один від одного.

Це визначає межі між контролерами та вплив специфікацій функціонального опису та призначення ресурсів. Написані описи роботи для кожної секції контрольованого об'єкта, включаючи точки вводу/виводу, функціональний опис операції, стани, які повинні бути досягнуті перед дозволом дії для кожного приводу або датчика, опис інтерфейсу оператора та будь-які інтерфейси з іншими частинами процесу або машини.

Крім цього, визначено обладнання, для безпеки якого потрібна жорстка логіка. Пристрої керування можуть вийти з ладу небезпечним чином, спричинивши несподіваний запуск або зміну роботи обладнання. Якщо неочікувана або неправильна робота обладнання може призвести до фізичних травм людей або значної шкоди майну, слід розглянути можливість використання електромеханічних блоків, які працюють незалежно від ПЛК, щоб запобігти небезпечним операціям. При проектуванні ланцюгів безпеки розглядаються такі завдання:

- Виявлення неочікуваної роботи приводів, яка може бути небезпечною.
- Визначення умов, які гарантують, що операція не є небезпечною, і визначення того, як виявити ці умови незалежно від ПЛК.

Визначення того, як центральний процесор ПЛК і вхід/вивід впливають на процес, коли живлення подається та відключається, а також коли виявляються помилки. Цю інформацію слід використовувати лише для проектування нормальної та очікуваної ненормальної роботи, і не слід покладатися на неї з метою безпеки.

- Розробка ручних або електромеханічних засобів безпеки, які блокують небезпечну роботу незалежно від ПЛК.
- Надання відповідної інформації про стан від незалежних схем до ПЛК, щоб програма та будь-який інтерфейс оператора мали необхідну

інформацію. Загалом існує достатньо документації компанії для таких проблем, як захист від вибуху (вибухозахищене проектування обладнання та систем автоматизації), завдяки чому вимоги, що впливають із технології процесу, можуть бути досить успішно реалізовані.

Подібним чином, проблема захисту від блискавки повинна відповідати належному місцю в цьому контексті, оскільки вона також відіграє важливу роль у передовій системі автоматизації.

### **3.2. Встановлення ПЛК.**

Встановлення ПЛК розроблено таким чином, щоб бути безпечним і простим, і його вибрано відповідно до місцевих і національних стандартів. Пристрої не можна встановлювати в таких місцях: надмірна кількість або провідний пил, корозійний або легкозаймистий газ, вологість або дощ, надмірне тепло, регулярні удари або надмірна вібрація [14].

Завжди змонтовані вузли та блоки розташовуються якомога далі від високовольтних кабелів, високовольтного обладнання та силового обладнання. Вхідні сигнали не повинні встановлюватися в той самий багатожильний кабель, що й вихідні сигнали, або один і той же дріт.

Сигнальні кабелі вводу/виводу не можна встановлювати поруч із силовими кабелями або дозволяти їм використовувати один і той же кабельний канал. Кабелі низької напруги повинні бути надійно відокремлені або ізольовані відносно кабелів високої напруги.

Якщо сигнальні лінії вводу/виводу використовуються на великій відстані, слід враховувати падіння напруги та шумові перешкоди. Усі кабелі живлення мають бути не менше 2 мм<sup>2</sup> (AWG 14) [4]. Під час надзвичайних ситуацій усі ланцюги до та від блоку чи конфігурації агрегату слід вимкнути за допомогою зовнішнього вимикача щодо цієї конфігурації. Активна система повинна мати надійний метод повної ізоляції високої напруги.

Опір заземлення має бути менше 100 Ом (клас 3). Кабель заземлення не можна під'єднувати до тієї самої землі, що й ланцюги живлення. Якщо система, що встановлюється, використовує джерело обслуговування як від ПЛК, так і від розширювального блоку з живленням, то клема 0 В слід підключити.

Зовнішнє джерело живлення не підключено до терміналу 24 В ПЛК. Поширені помилки з'являються, коли пристрої вводу/виводу використовувалися за межами встановленого робочого діапазону або вхідний сигнал виникає протягом меншого періоду часу, ніж той, який приймається одним програмним скануванням, або джерело живлення 24 В постійного струму перевантажується.

### **3.3. Зрівнювання потенціалів вибухозахищених систем.**

Різниця потенціалів може виникнути між корпусами електричного обладнання, які з'єднані із захисним провідником, і провідними елементами конструкції, які не належать до електричного обладнання, наприклад, трубопроводом. Перекриття таких різниць потенціалів може спричинити іскри займання. Зрівнювання потенціалів вимагає, щоб провідні металеві частини, які не захищені від дотику, були з'єднані з провідником заземлення. Практичною центральною точкою для зрівнювання потенціалів є розподільна шафа. Поперечний переріз еквіпотенціального провідника має бути принаймні еквівалентним перерізу відповідного захисного провідника.

Загалом, мінімальний переріз еквіпотенціального провідника становить 10 мм<sup>2</sup> Cu [15]. Шина задньої панелі та схеми живлення вводу/виводу вибухонебезпечних модулів мають гальванічну розв'язку, тобто зрівнювання потенціалів для цих модулів не потрібне. Якщо в іскробезпечному ланцюзі необхідні пристрої блискавкозахисту, вони повинні бути приєднані до

провідника ЕВ у тій же точці, що й екран іскробезпечних ланцюгів. Як правило, кабельні стійки повинні бути вбудовані в систему заземлення [15].

### **3.4. Апаратна структура системи керування.**

Рідина перекачується у відповідні резервуари для тимчасового зберігання. Щоб запобігти переповненню цих резервуарів і таким чином зменшити ризик дорогих операцій з очищення та видалення, вбудований пристрій захисту від переповнення постійно контролює рівень у резервуарі – гарне рішення, яке також є вимогою законодавства [12].

Необхідно також виміряти технологічні параметри, такі як температура, тиск і щільність рідини. Органи керування насосом мають бути оснащені інтелектуальними приводами [13]. Географічно парк танків ДГО займає певну територію (рис. 3.2). На великій відстані монтаж входів і виходів системи управління утруднений і заплутаний. Електромагнітна сумісність впливає на надійність.

Для роботи з цією системою використовується конфігурація розподілених входів/виходів. При високій швидкості передачі даних PROFIBUS DP забезпечує стабільний зв'язок між системами управління CPU і пристроями розподіленого введення/виведення. Топологія шини вибирається вільно, щоб була можлива структура лінії. Деякі типи польових пристроїв, наприклад датчики, підключаються до PROFIBUS PA, тоді як приводи підключаються до PROFIBUS DP.

Датчики (рис. 3.2) підключаються по PROFIBUS PA і відповідно до вимог АТЕХ: на одному DP/PA сполучнику може бути не більше десяти датчиків. У цьому випадку сила струму не перевищує 110 мА [10].



Рисунок 3.2 - Парк резервуарів ДГО.

У комплектації шість роз'ємів DP/PA: з них п'ять на десять датчиків, 6-й - резервний. Для обшивки в Ex зонах використовується кабель типу А зі спеціальним геометричним профілем згідно ІЕС 61158–2. Датчики живляться від одного кабелю (до 110мА), один і той же кабель живлення та інформаційного сигналу.

Для схеми керування приводами 15 приводів (у резервуарах) підключені до першого сегменту PROFIBUS DP, 16 (у резервуарів) підключені до другого, а 18 підключені (у насосів) до третього. Така конфігурація зумовлена не вимогами АТЕХ, а географічним розташуванням приводів системи керування. Як головний DP контролер S7-300 CPU 315-PN-DP використовується в конфігурації мережі PROFIBUS. Він керує 53 датчиками та 49 виконавчими механізмами.

### **3.5. Конфігурація проекту управління відповідно до вимог.**

До контролерів висувуються наступні вимоги щодо проектування системи керування: 1. надійність за рахунок дублювання контролерів з можливістю гарячої заміни та безакцентного переходу на робочий контролер; 2. можливість побудови розподілених систем PLC. Функціями, які виконують пристрої автоматичного керування в розробленій системі управління, є:

1. діагностика обладнання;
2. вимірювання та контроль технологічних параметрів та визначення причин виникнення НС;
3. сигналізація (світлова і звукова) при порушенні технологічних параметрів і аварійному стані обладнання;
4. логічне управління блокуванням і захистом; аварійне відключення технологічного обладнання;
5. управління виконавчими механізмами.

Підключення датчиків керування та виконавчих механізмів до ПЛК.

Конфігурація та налаштування підключених вимірювальних датчиків та виконавчих механізмів були виконані за допомогою SIMATIC Manager. За допомогою утиліти HW Config можна не тільки налаштувати та звернутися до апаратної конфігурації відповідного обладнання, а й переглянути всі вузли у вигляді каталогу обладнання.

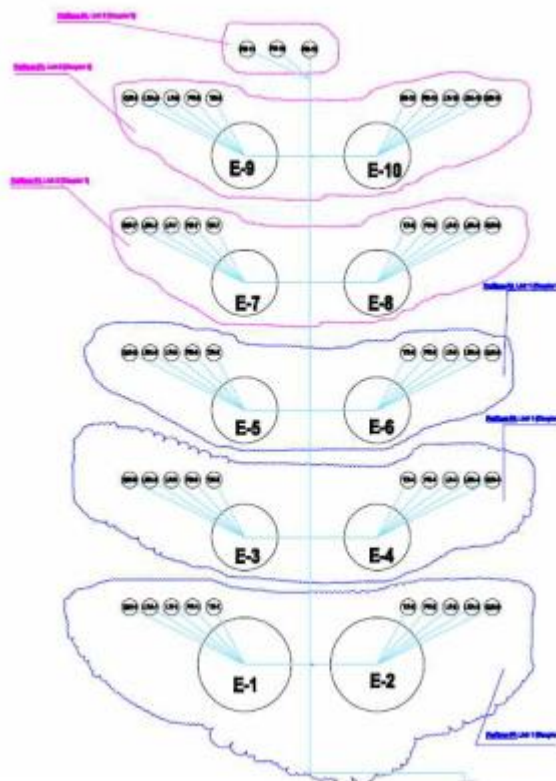


Рисунок 3.3 - Розташування датчиків на баках.

Для мережі Ex обов'язкова вимога, щоб усі схеми були іскрозахисними. Це досягається або зниженням струму, або спеціальною прокладкою кабелю. Муфта Ex видає 110МА, що забезпечує відсутність іскор/дуг, наприклад, при поломці або перемиканні.

Майстер-системи PROFIBUS PA Конфігурація виконана за допомогою STEP7. Необхідні польові РА-пристрої винесено з каталогу обладнання в РА master-систему, щоб вони відображалися під ІМ 153-2. Конфігурація мережі PROFIBUS для датчиків у всіх десяти резервуарах для зберігання показана на рис. 3.4.

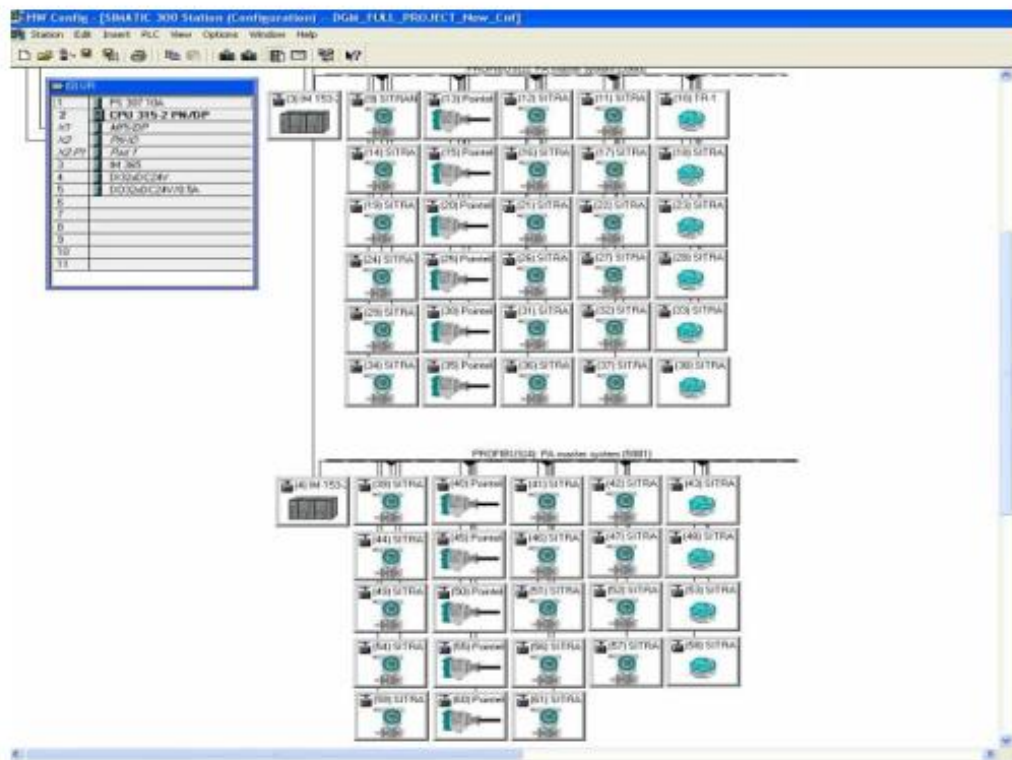


Рисунок 3.4 - Конфігурація мережі PROFIBUS для датчиків у 10 накопичувальних резервуарах.

У таблиці 3.1 наведені адреси датчиків в баках.



Таблиця 3.1 - Адреси датчиків у резервуарах

Addresses of sensors in tanks E-1 - E-10					
	PIR	LIRA	LIR	QIR	TIR
E-1	266-270	286-287	276-280	271-275	256-260; 261-265
E-2	281-285	298-299	288-292	293-297	300-304; 305-309
E-3	310-314	315-316	317-321	322-326	327-331; 332-336
E-4	337-341	342-343	344-348	349-353	354-358; 359-363
E-5	364-368	369-370	371-375	376-380	381-385; 386-390
E-6	391-395	396-397	398-402	403-407	408-412; 413-417
E-7	418-422	423-424	425-429	430-434	435-439; 440-444
E-8	445-449	450-451	452-456	457-461	462-466; 467-471
E-9	472-476	477-478	479-483	484-488	489-493; 494-498
E-10	499-503	504-505	506-510	511-515	516-520; 521-525

PROFIBUS DP для INTELLI+.

Нова система керування двигуном надає значно більше даних і пропонує можливість комплексного сервісного обслуговування [16]. На першому етапі 49 приводів насосів модернізовано новою системою керування. Нова система управління процесом працює на повну потужність, пристрої будуть підключені через PROFIBUS DP до інтегрованого рішення без затримок. Для полегшення цього шина була адресована вже при встановленні першого пристрою (рис. 3.5). Опис апаратного забезпечення Приводи Bernard з керуванням INTELLI+ забезпечують керування клапаном.

Привід зазвичай живиться від мережі, але у випадку втрати електроживлення можна використати аварійне джерело живлення, щоб продовжити зв'язок через шину. Це аварійне джерело живлення потребує 24 В постійного струму 4 Вт. У разі втрати зв'язку привод працює в закритому положенні, відкрите положення або залишається в поточному положенні.

Крім того, у разі втрати зв'язку всі елементи керування скидаються. Мікропроцесор гарантує динамічне керування приводом, перевіряючи та перевіряючи його компоненти та параметри в реальному часі, зберігаючи та передаючи в систему необхідну інформацію, яка дозволить налаштувати профілактичне технічне обслуговування для приводу та відповідного клапана. Модуль INTELLIBUS діє лише як ведений PROFIBUS.

Кабель PROFIBUS відповідає стандарту EN50170-2 і має тип А. Він відокремлений від інших кабелів на відстань не менше 0,2 м, кабельна траса підключена до землі. Усі приводи мають однаковий електричний потенціал землі. Управління клапаном по PROFIBUS можливе тільки в тому випадку, якщо поворотний селектор приводу знаходиться в положенні «дистанційно».

Умови, які можуть перешкоджати виконанню команди:

- обертання селектора приводу в положення «локальний» або «ВИМК.»;
- спрацювала сигналізація (теплове перевантаження двигуна);
- отримана аварійна команда (ESD).

Зв'язок інтелектуального приводу з ПЛК по шині польової шини зменшує кількість проводів до двох, незалежно від обсягу інформації, і дозволяє приводу повністю використовувати пропоновані можливості.

Завдяки точному алгоритму мікропроцесор гарантує контроль параметрів приводу та клапана, вимірювання положення та крутного моменту, лікування несправностей (з різними рівнями відмовостійкості), а також надання йому інформації у разі зміни продуктивності та продуктивності функцій. ESD – це сигнал дистанційного аварійного керування з пріоритетом над усіма іншими засобами керування. Залежно від роботи клапана ESD може бути налаштований на команду «Відкрити», «Закрити» або «Зупинити».

Щоб підвищити готовність приводу в екстремальних умовах, ESD також може ігнорувати температурний датчик двигуна та ігнорувати будь-яке можливе перевантаження крутного моменту, яке може бути встановлено раніше. Усі комунікації між приводом і системою (команди та інформація) передаються по одній унікальній лінії.

Підключення до польової шини INTELLIBUS, підлеглий модуль PROFIBUS-DPV1, керується двома головними PROFIBUS-DP: ПЛК і ПК. Інтерфейс PROFIBUS DPV1 використовується для приводів Bernard з

керуванням INTELLI+. Цей інтерфейс сумісний з PROFIBUS DP (V0) і PROFIBUS DPV1. Стандарт апаратного зв'язку: RS 485.

Інтерфейс PROFIBUS DPV1 був спеціально розроблений для приводів Bernard з керуванням INTELLI+. INTELLI+ містить логіку керування та силові контактори. Він забезпечує повний контроль над приводом, включаючи звіти про стан, лікування несправностей і захист.

Можна повідомляти до 17 різних типів несправностей і тривоги. Основною особливістю розробленої системи керування є автономне виконання всіх функцій захисту та керування. Це означає, що навіть якщо система шини або технологія керування процесом виходить з ладу, живильний пристрій двигуна продовжує працювати та захищатися. Навіть певну поведінку для випадків несправності можна параметризувати [15].

Дві інтерфейсні плати PROFIBUS вбудовані в привод з ізольованими підключеннями до ліній PROFIBUS. У разі збою в одній лінії ПЛК все ще може спілкуватися через іншу лінію. Шина електрично повністю ізольована від схеми приводу. У випадках резервної версії кожен вхід електрично ізольований від схеми приводу, і вони ізольовані один від одного.

Втрата живлення приводу не призводить до порушення польової шини. Архітектура PROFIBUS DP Кабель PROFIBUS, що йде від ПЛК, підключається до першого приводу, потім кабель PROFIBUS з'єднує цей привод з наступним і так далі.

Усі приводи підключаються до лінії один за одним до останнього. Повернення до ПЛК не потрібне. На кожному кінці лінії було встановлено термінал. Додавання повторювальних модулів дозволило збільшити як кількість приводів на лінії, так і загальну довжину лінії. Важлива перевага повторювача порівняно з іншими технологіями без повторювачів полягає в тому, що швидкість зв'язку не змінюється, а отже, досягається дуже короткий час відповіді.

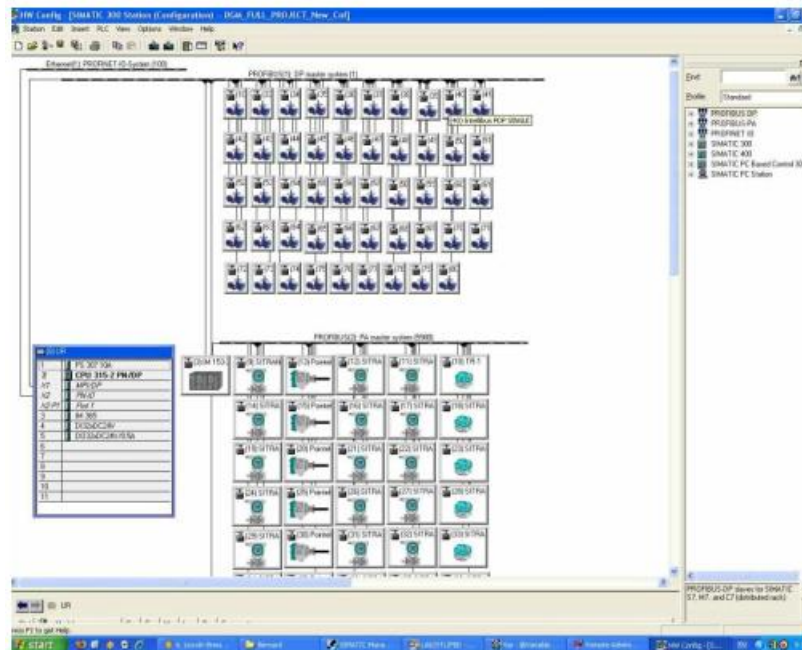


Рисунок 3.5 - Конфігурація мережі PROFIBUS для 49 приводів.

Повторювачі також використовуються для отримання додаткових шинних ліній за низькою ціною, якщо їх розмістити на виході ПЛК. Кожна лінія є незалежною від іншої, тому проблема на лінії не впливає на інші (рис. 3.6). Інтерфейс шини використовується для надсилання команд і даних по одній лінії. Спеціальна документація детально описує методи адресації окремого приводу та надає список адрес для доступу до всіх команд або джерел даних. Втрачено зв'язок використовується для конфігурації безвідмовної позиції.

Ця функція активна в стандартній конфігурації, і при втраті зв'язку привод залишається в тому ж положенні. Спеціальний кабель PROFIBUS відповідає стандарту EN50170-2 і має тип А [10].

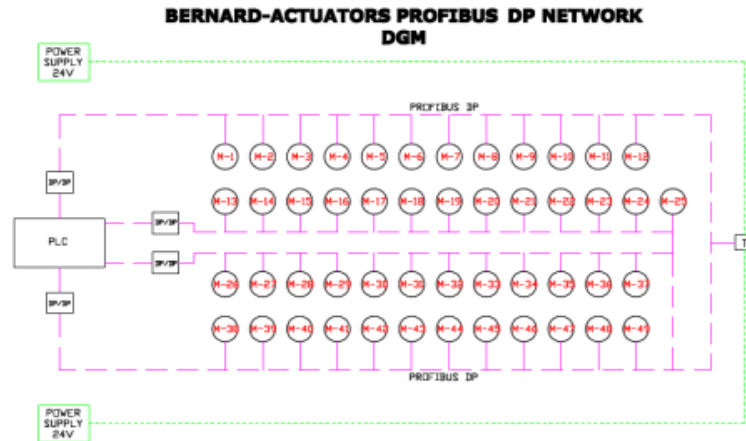


Рисунок 3.6 - Конфігурація PROFIBUS для приводів Bernard.

Таблиця 1.4 Максимальна довжина лінії відповідно до швидкості зв'язку

Transmission baud rate	≤93.75 kbit/s	187.5 kbit/s	500 kbit/s	1.5 Mkbit/s
Maximum line length	1200 m	1000 m	400 m	200 m

Ациклічні комунікації INTELLIBUS підтримує ациклічний зв'язок (розширення V1 протоколу PROFIBUS), що дозволяє зчитувати стан приводу та зчитувати всі його конфігурації.

Майстер-клас 1 підтримує циклічне спілкування. Це той самий ПЛК, який керує приводами.

Майстер-клас 2 підтримує всі ациклічні комунікації. Його можна підключити до PROFIBUS без перешкод. Ноутбук, оснащений модулем PROFIBUS і програмним забезпеченням PDM, використовується як майстер-клас 2 будь-де на лінії. INTELLIBUS підтримує повідомлення читання та запису головного класу 1 (MSAC1\_Read, MSAC1\_Write).

Для майстер-класу 2 цей інтерфейс підтримує служби Initiate, Abort, Read і Write. Інтерфейсна плата підтримує максимум 2 одночасних з'єднання

головного пристрою класу 2. Біти управління приводами розташовані за адресами від 0 до 4 на модулі INTELLIBUS.

Конфігураційне програмне забезпечення для всіх технологічних пристроїв.

Для конфігурації головної системи PROFIBUS PA та параметризації польових пристроїв PA використовується додаткове програмне забезпечення SIMATIS PDM. Польові PA-пристрої інтегровані в SIMATIC PDM і в STEP 7 як стандартні підлегли через їхні DDBF-файли [10]. SIMATIC PDM (Process Device Manager) — це єдиний програмний інструмент для централізованого доступу до всіх комунікаційних пристроїв у системі.

Це полегшує незалежну від виробника роботу, налаштування, обслуговування та діагностику інтелектуальних технологічних пристроїв. Усі пристрої та процедури, інтегровані в систему автоматизації процесу, безпечно контролюються (рис. 3.7). SIMATIC PDM містить простий моніторинг процесу значень процесу, сигналів тривоги та сигналів стану пристрою.



Рисунок 3.7 - SIMATIC PDM у конфігурації PROFIBUS.

SIMATIC PDM відповідає специфікації NAMUR NA64 щодо сигналізації стану польових пристроїв і підтримує рекомендацію NAMUR NE91 щодо управління активами, орієнтованого на завод.

Параметри діагностики технологічних пристроїв у зв'язку зі зв'язком PROFIBUS і електронним описом пристрою (EDD) використовуються в

PDM. SIMATIC PDM забезпечує роботу, обслуговування та автоматичну діагностику інтелектуальних пристроїв.

SIMATIC PDM підтримує деякі комунікаційні звіти та підтримує зв'язок:

- з пристроями, оснащеними вбудованим інтерфейсом PROFIBUS-DP і підключеними безпосередньо до мережі PROFIBUS-DP (приводи);
- з пристроями, оснащеними вбудованим інтерфейсом PROFIBUS-PA, підключеними до сегменту PROFIBUS-DP через модулі або комунікаційні блоки DP/PA (вимірювальні пристрої).

Налаштування пристрою здійснюється за допомогою конфігураційної маски, що входить до складу інструменту. Структура конструкції інтерфейсу відповідає вимогам стандарту DIN V19259. SIMATIC PDM виділяє дві групи користувачів: експерта та інженера в експлуатації (рис. 3.8).



Рисунок 3.8 - Експертний доступ.

## 4. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

### 4.1 Вимірювання параметрів баків

Під час операції вимірювання такі вимірювані значення, як тиск, рівень наповнення, надаються через інтерфейс PROFIBUS. Для роботи через PROFIBUS-PA ПК використовується програмне забезпечення SIMATIC PDM. Вимірювальні перетворювачі SITRANS P серії DS використовуються для вимірювання тиску, рівня рідини та щільності у всіх 10 резервуарах.

У серії DS є спеціальні пристрої для підключення до PROFIBUS PA. Оскільки PROFIBUS PA має низьку швидкість передачі і, отже, незначну витрату ємності, ці пристрої вибирають для установки у вибухонебезпечній зоні. Надійність підтверджена сертифікатом TÜV [19].

Передавачі SITRANS P DSIII мають широкий діапазон сертифікації: ATEX EEx ia, EEx ib, захист від пилу, FM, CS. Налаштування параметрів може здійснюватися як дистанційно за допомогою шини, так і локально за допомогою трьох кнопок локального індикатора. Монтаж вимірювальних перетворювачів виконується через PROFIBUS PA. Здійснюється налаштування параметрів за допомогою засобу конфігурації HW-Konfig. Відповідно до цієї конфігурації тут будуть структуровані циклічно передані дані користувача.

Конфігурація тестового проекту PROFIBUS.

Створено тестовий проект PROFIBUS для параметризації п'яти датчиків одного резервуара (рис. 4.1). Виконане підключення здійснюється за технологією шинної лінії (рис. 4.2) [20].

За допомогою утиліти Hardware Configuration створено систему DP-master з використанням DP/PA-link: в систему DP master вставлено модуль інтерфейсу IM153-2. Одночасно з DP-slave була створена система PA-master в мережі PROFIBUS (45,45 Кбіт/с).





Рисунок 4.1 - Випробувальний стенд PROFIBUS для п'яти датчиків одного бака.



Рисунок 4.2 - Польові пристрої PROFIBUS PA.

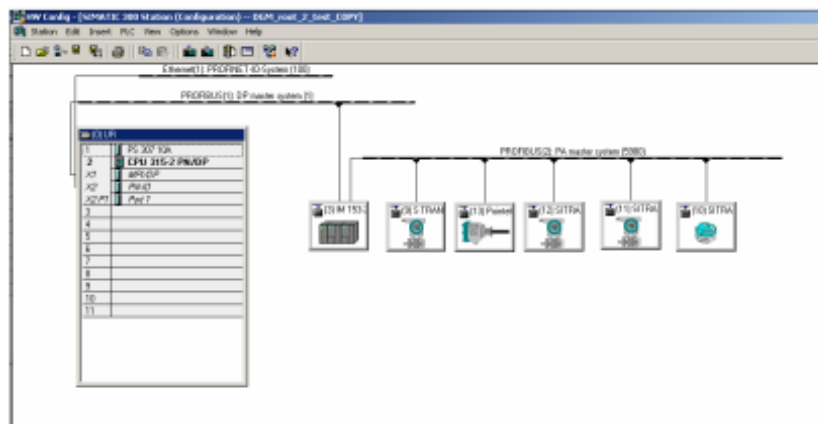


Рисунок 4.3 - Система DP-master в апаратній конфігурації

Вимірювання тиску.

Тиск вимірювався вимірювальним перетворювачем SITRANS P DSIII.



Рисунок 4.4 - Передавач SITRANS P DS III

Датчики тиску SITRANS P із розширеними функціями діагностики та моделювання забезпечують вимірювання тиску в усіх десяти резервуарах.

Конструкція передавача SITRANS P DS III забезпечує інтегроване в пристрій розділення зон. Завдяки цій конструкції технологічне підключення пристрою може працювати в зоні 0 і одночасно забезпечуватися допоміжною енергією EEx ib. Надійність (сертифікат TÜV), точність і класифікація SIL гарантують найвищий рівень безпеки для умов середовища сланцевої хімічної промисловості, тому її було обрано для цієї системи керування [20].

Діапазон вимірювань від - 5 кПа до +5 кПа. Трансмітер тиску SITRANS P DS III — це прилад для вимірювання тиску в небезпечних зонах із суворими умовами навколишнього середовища. SITRANS P DS III для вимірювання тиску має наступні параметри:

- точність  $\leq 0,075\%$  • довгострокова стабільність  $\leq 0,25\%$  / 60 місяців
- діапазон вимірювання від 1 мбар до 400 бар
- сертифікація: ATEX EEx ia, EEx ib, захист від пил, FM, CS
- встановлення через PROFIBUS PA [20]

Parameter	Value	Unit	Status
<b>Transducer Block 1</b>			
Static Resonance No.	0		Initial value
Transducer Type	Pressure		Initial value
<b>Measuring Range</b>			
Unit Pressure Flow Value	bar		Initial value
Lower Value Min.	0,25	bar	Initial value
Upper Value Max.	0,25	bar	Initial value
<b>Measuring Range</b>			
Unit (Secondary Value 1)	bar		Initial value
Lower Value	bar	bar	Initial value
Upper Value	bar	bar	Initial value
<b>Working Range</b>			
Unit	atm		Initial value
Lower Value	psi	bar	Initial value
Upper Value	kg/cm <sup>2</sup>	bar	Initial value
<b>Characterization</b>			
Characterization Type	inH <sub>2</sub> O (4°C)		Initial value
Low Flow Cut Off	inH <sub>2</sub> O	%	Initial value
Start Point Square Root	inH <sub>2</sub> O (4°C)	%	Initial value
Min Number of Coordinates	2		Initial value
Max Number of Coordinates	31		Changed
Number of Coordinates	2		Initial value
<b>Sensor Temperature</b>			
Temperature Unit	°C		Initial value
<b>Unit (Secondary Value 3)</b>			
Unit (Secondary Value 3)	kg/s		Initial value
<b>Density</b>			
Unit (Density)	kg/m <sup>3</sup>		Initial value
Density	1	kg/m <sup>3</sup>	Initial value

Рисунок 4.5 - PDM-маска для SITRANS P

### Вимірювання рівня.

До вимірювання рівня в цьому проекті висувається багато вимог. Вони варіюються від захисту від переповнення до вимірювань у потенційно вибухонебезпечних зонах – у десяти резервуарах для зберігання. Труднощі при вимірюванні рівня: збуджене середовище, конфігурація бака, монтаж бака, система опалення, вхідні отвори та виходи. Вимірювання та виявлення рівня мають вирішальне значення для ефективного управління запасами та зменшення екологічного ризику.

Середовище, що підлягає вимірюванню, має екстремально різні характеристики [10]. У кожній ємності є два прилади, один для вимірювання та резервний блок, підключений до резервної системи безпеки. SITRANS P DS III як датчики рівня та перемикачі рівня Pointek CLS 300 з цими вимогами для виявлення точкового рівня та безперервного вимірювання були перевизначені.

Перемикач рівня Pointek CLS 300 Використовуючи віддалений зв'язок SIMATIC PDM PROFIBUS PA (IEC 61158 CPF3 CP3/2), перемикач рівня Pointek CLS 300 забезпечує виявлення високого рівня рідин. Pointek CLS 300 — ємнісний перемикач рівня з зворотним звуком частоти для виявлення

рідких поверхонь агресивних хімічних речовин у критичних умовах високої температури та тиску.

Цей перемикач ємності витримує температуру до 400 °С і тиск від повного вакууму до 35 бар. З цих причин він був обраний для сигналізації високого рівня рідин у всіх резервуарах для зберігання.



Рисунок 4.6 - Реле рівня Pointek CLS 300

Мікропроцесорна електроніка Pointek CLS300 забезпечує калібрування за однією точкою, що робить можливим налаштування без припинення виробничого процесу. Pointek CLS300 має 2-провідний шлейф живлення з твердотільним вихідним перемикачем, просте кнопочке калібрування та вбудований локальний дисплей, повнофункціональну діагностику та зв'язок PROFIBUS для віддаленого введення в експлуатацію та перевірки.

Pointek CLS 300 включає в себе запатентовану технологію Active-Shield і Inverse Frequency Shift, що забезпечує високу точність, роздільну здатність і повторюваність [14]. Ця технологія гарантує, що на вимірювання не впливають пари, відкладення продукту, пил і конденсат. Ємнісний ліміт Pointek CLS надійно вказує, чи було досягнуто ліміту.

При контакті з поверхнею рідини діелектрик на датчику змінюється так, що кінцевий вимикач надійно сигналізує про досягнення максимального рівня. Pointek CLS 300 має сертифікат КЕМА, ЕС-Type-Examination-

Certificate ATEX для використання в небезпечних місцях і вихід NAMUR. Місцем установки реле рівня є фланець верхньої кришки.

Сигналізатори рівня будуть працювати у всіх резервуарах-накопичувачах на відстані 740 мм від верху циліндра. Довжина для вимірювання становить 1350 мм для резервуарів 1-2 і 1100 мм для резервуарів 3-10 (рис. 4.7).

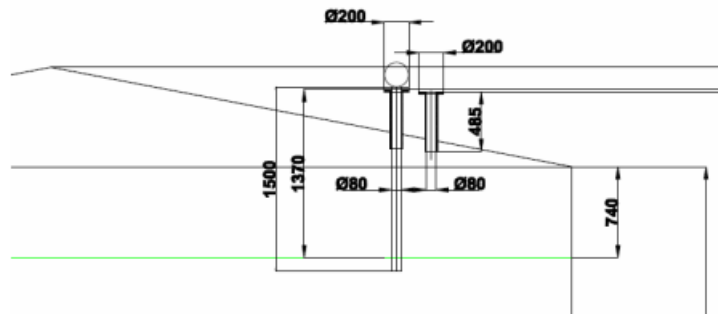


Рисунок 4.7 - Установка реле рівня

Властивості:

- повторюваність  $\pm 1\%$  від вимірюваного значення
- частота вимірювання на 5,5 МГц становить  $\epsilon_r = 1$ , на 1,1 МГц становить  $\epsilon_r = 80$
- повторюваність приблизно 1 % вимірювання
- вихід відповідає NAMUR
- чутливість (пФ): 1 % зміни від поточної ємності.

Тип контакту датчика встановлено за замовчуванням ЗАКРИТО, тому перемикач сигнального виходу працює як розривний контакт (розімкнутий). Вимірювання рівня заповнення Тип датчика рівня SITRANS P (DS III PA) є одним із способів вимірювання: гідростатичним. Величина вимірювання диференціального манометра пов'язана з висотою стовпа рідини [14].

Цей найпростіший і найнадійніший метод використовує той факт, що тиск у рідині прямо пропорційний стовпу рідини.



Рисунок 4.8 Датчик рівня

На вході датчика рівня вимірюється перепад тиску  $\Delta p$ , робочий діапазон 0–100 кПа, на виході – рівень рідини  $H$ . Статична характеристика:

$$H = k \cdot \Delta p \text{ де } k \text{ — приріст: } k = \frac{1}{\rho g} \left[ \frac{m^2 \cdot s^2}{kg} \right]$$

$\rho$  — густина рідини,  $g$  — прискорення сили тяжіння,  $H$  — стовп рідини [19].

Розрахунок рівня.

Для моніторингу на верхньому рівні управління для операторів значення рівня має відображатися в метрах і тоннах. SIMATIC PDM створює зв'язок між виміряним тиском і зареєстрованим рівнем, встановлюючи такі параметри:

$$H_{\max} \text{ (для баків 3-10)} = 5980 \text{ (мм)}$$

$$H_{\min} \text{ (для баків 3-10)} = 150 \text{ (мм)}$$

Діапазон вимірювання рівня 0- 100 % відповідає:

$$150 \text{ мм} - 5980 \text{ мм. (5980 - 150=5830 (мм))}$$

$$H_{\max} \text{ (для баків 1-2)} = 7470 \text{ (мм)}$$

$$H_{\min} \text{ (для баків 1-2)} = 150 \text{ (мм)}$$

Діапазон вимірювання рівня 0-100 % відповідає:

150–7470 мм. (7470 – 150=7320 (мм))

Вимірювання вимірювального датчика рівня SITRANS P DSIII (шкала в PDM (мм H<sub>2</sub>O)) пов'язані з висотою стовпа рідини за формулою:

1бар = 1·104 ммH<sub>2</sub>O

Для води з 1г/ см<sup>3</sup> густина за формулою (висота стовпа рідини) буде знаходитися:

$$\Delta p(\text{mmH}_2\text{O}) = \rho \left( \frac{\text{г}}{\text{см}^3} \right) \cdot H(\text{mm}) \quad (4.1)$$

$$H(\text{mm}) = \frac{\Delta p(\text{mmH}_2\text{O})}{\rho} \quad (4.2)$$

Функція для розрахунку рівня в мм визначається за формулою 4.2. Функція програми для перерахунку в (м) (для моніторингу) є (FC 29).

$$H(m) = \frac{\Delta p \cdot 1000}{\rho} \quad (4.3)$$

де Н – значення з рівняння (4.4), Δр – значення тиску.

Функція для розрахунку рівнів рідин у резервуарах 1–10 викликається десять разів у FC 202. Для розрахунку рівня в тоннах необхідно знати об'єм рідини.

Для резервуарів 3-10: об'єм мертвої зони 5,13 м<sup>3</sup>.

Об'єм вимірюваної рідини, що враховує мертву зону, становить:

$$V_{200} = \left( \pi R_{200}^2 \cdot H(m) + 5.13 \right) m^3 \quad (4.4)$$

$$V_{200} = (34.1946 \cdot H(m) + 5.13) m^3 \quad (4.5)$$

Н – значення з рівняння (4.3).

Для резервуарів 1–2



$$V_{400} = (\pi R_{400}^2 \cdot H(m) + 8.57)m^3 \quad (4.6)$$

Маса рідини в тоннах:

$$m = \rho \left( \frac{kg}{m^3} \right) [(34.1946 \cdot H(m) + 5.13)m^3] \cdot 1000(tons) \quad (4.7)$$

$$m = \rho \left( \frac{kg}{m^3} \right) [(57.117 \cdot H(m) + 8.57)m^3] \cdot 1000(tons) \quad (4.8)$$

Функції програми для розрахунку маси FC30 і FC32. Ці функції викликаються 10 разів у FC 202 для розрахунку рівнів рідин у резервуарах для зберігання 1–10 тонн.

Вимірювання та розрахунок густини.

Для вимірювання густини SITRANS P DSIII встановлено з робочим діапазоном від 15 кПа до 20 кПа.

Цей метод вимірює різницю тиску двох стовпів рідини різної висоти, що виключає вплив контрольованої зміни рівня рідини на результат вимірювання [10].

$$p_1 - p_2 = \Delta p = \rho \cdot g(H_1 - H_2) \quad (4.9)$$

SITRANS P DSIII – має шкалу PDM у мм H<sub>2</sub>O.



Рисунок 4.9 - Параметризація в PDM



У рівнянні (4.9) для розрахунку густини слід враховувати той факт, що стовпчик вимірюваної рідини повинен мати висоту  $H=600$  мм.

Таким чином, формула

$$\rho \left( \frac{g}{cm^3} \right) = \frac{\Delta p (mmH_2O)}{600mm} \quad (4.10)$$

Програмна функція FC26 призначена для розрахунків у г/см<sup>3</sup>, а FC27 — для кг/м<sup>3</sup>.

Ці функції викликаються десять разів у FC 203 для розрахунку щільності рідини в резервуарах для зберігання 1–10.

Вимірювання температури SITRANS TH400 з вимірюванням температури PROFIBUS PA є трансмітером з універсальним входом і комунікацією PROFIBUS PA (рис. 4.10).

SITRANS TH400 підтримує датчики RTD (PT100) [16]. Він перетворює сигнали від датчиків опору в стандартизований температурний лінійний вихідний сигнал. Якщо передавач монтується віддалено від датчика, він залишається вільним від гарячого та вібраційного середовища.

Дисплей доступний майже в будь-якому місці, де потрібна візуальна підтримка. Завдяки невеликому розміру пристрій дозволяє гнучкі варіанти монтажу, навіть у з'єднувальній головці DIN типу В. SIMATIC PDM є інструментом вибору для PROFIBUS TH400.

Вимірне значення від мікропроцесора стає доступним на польовій шині зі статусом специфікації якості та іншими параметрами, такими як гальванічна розв'язка. SITRANS TH400 пропонує опції діагностики та моделювання. Завдяки двоколірному світлодіоду можна відразу побачити робочий стан пристрою. Для важких умов SITRANS TH400 має вибухозахист і IP40. Електромагнітна сумісність (EMC) відповідає DIN EN 61326 і NE21.

Він відповідає АТЕХ: EEx ia або EEx ib, Ex n [10].

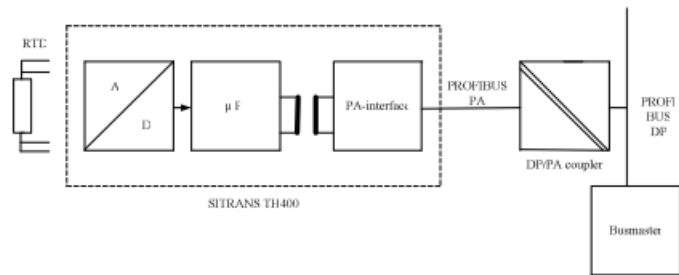


Рисунок 4.10 - Інтелектуальний датчик SITRANS TH400

Робочий діапазон датчика, граничні значення, поведінка при несправності, сигнал тривоги при обриві датчика або короткому замиканні програмуються. Резервування датчиків досягається за допомогою двох входів датчиків.

Другий датчик для резервування має додаткову адресу. Точність вхідного сигналу PT100 на датчику температури TH400 становить  $\pm 0,03$  °C відповідно до датчиків температури Tenth-DIN PT100 (рис. 4.11).



Рисунок 4.11 - SITRANS TH 400 і SpliTConnect

#### 4.2. Надлишковість розробленої системи.

У критичних для безпеки системах деякі частини системи керування дублюються. Помилка в одному компоненті може бути виключена з іншого. У цій надлишковій системі система має два підкомпоненти, обидва з яких повинні вийти з ладу, перш ніж система вийде з ладу.

Оскільки кожен з них рідко виходить з ладу, а підкомпоненти, як очікується, виходять з ладу незалежно, ймовірність того, що обидва вийдуть з ладу, є малою.

У цій роботі представлені наступні форми резервування: Розподілений вхід/вивід. Резервування підлеглих пристроїв було виконано за допомогою ET 200M з подвійними портами DP. Резервні розподілені вводи/виводи Вводи/виходи підключаються через дві резервні лінії PROFIBUS-DP до станцій ET-200M із резервними інтерфейсними модулями IM 153-2.

Станція розподіленого вводу-виводу ET 200M була підключена через два резервних підлеглих інтерфейси DP IM 153-2 через один канал до обох ліній PROFIBUS DP. Доступний повний діапазон входів/виходів ET 200M. Подвійне модульне резервування

Компонент із подвійним модульним резервуванням має дубльовані елементи, які працюють паралельно, щоб забезпечити одну форму резервування [12]. У розробленій системі управління датчик температури має дубльовані входи (адреси в накопичувальному резервуарі E1 256-260; 261-265), так що при виході з ладу одного входу інший готовий продовжувати свою роботу.

Резервування приводів допомагає подолати ризик перерізання проводів завдяки подвоєнню кабелю. Якщо перша виходить з ладу, зв'язок автоматично перемикається на другу плату. Функція резервування також забезпечується впровадженням двох плат Profibus у коробці INTELLI+.

Діагностика та ремонт.

Доступні всі стандартні діагностичні функції:

- статус модуля на оглядовому дисплеї,
- статус і модифікація входів і виходів;
- програмний стан функціональних блоків;
- змінний стан наприкінці циклу.

Якщо ЦП потребує ремонту, ЦП необхідно замінити та завантажити відповідну програму на новий ЦП.

Зв'язок Зв'язок з іншими пристроями підтримується таким чином:

- Скрипти резервування доступні для підключення до SCADA.

- Передача даних з ПК і ПЛК запрограмована. Таким чином, резервування системи PROFIBUS полягає в тому, щоб продовжувати обмінюватися даними з виконавчими механізмами та датчиками навіть у разі збою лінії. Для досягнення цієї функції вся система зв'язку подвоюється. ПЛК використовує два вихідних порти PROFIBUS, лінія польової шини подвоєна, а інтерфейсна плата приводу та датчика подвоєна.

Для кожного компонента, який подвоюється, формула ймовірності

$$P = 1 - [1 - p(x)]^n \quad (4.11)$$

де:  $P$  — ймовірність відмови кількох компонентів;  $p(x)$  — ймовірність відмови одного компонента;  $n$  — кількість компонентів.

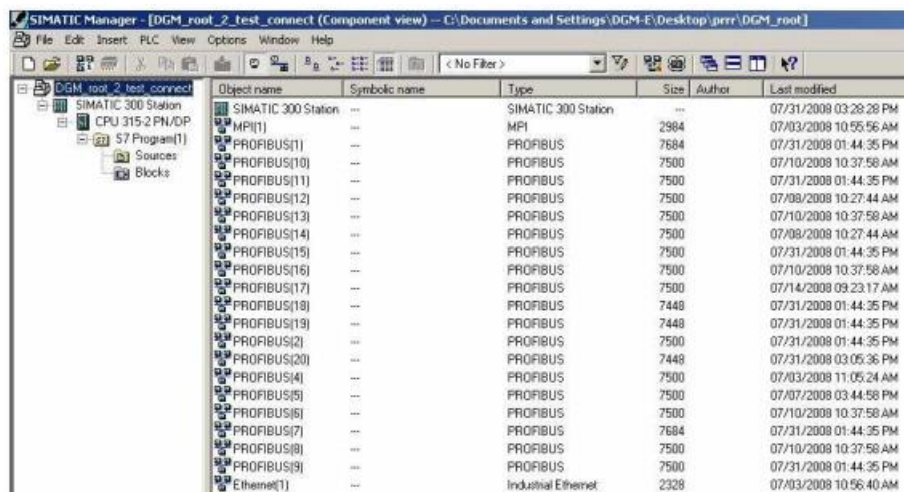
## 5. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

### 5.1 Опис програмного забезпечення розробленого проекту

S7 Manager є програмним забезпеченням для розробки проекту. Усі дані та програми, необхідні для обробки завдань автомата, зберігаються в структурі дерева.

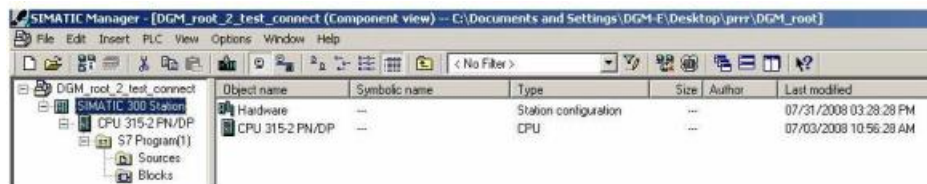
Ця структура дерева відображає ієрархію проекту. Проект складається з наступної конфігураційної інформації:

- конфігураційні дані для мереж і зв'язку (рис. 5.1);
- конфігураційні дані апаратної установки (рис. 5.2);
- дані про параметри використовуваного модуля (рис. 5.3);
- програми для програмованих модулів (рис. 5.4).



Object name	Symbolic name	Type	Size	Author	Last modified
SIMATIC 300 Station	---	SIMATIC 300 Station	---	---	07/31/2008 03:28:28 PM
MPI[1]	---	MPI	2984	---	07/03/2008 10:56:56 AM
PROFIBUS[1]	---	PROFIBUS	7684	---	07/31/2008 01:44:35 PM
PROFIBUS[10]	---	PROFIBUS	7500	---	07/10/2008 10:37:58 AM
PROFIBUS[11]	---	PROFIBUS	7500	---	07/31/2008 01:44:35 PM
PROFIBUS[12]	---	PROFIBUS	7500	---	07/08/2008 10:27:44 AM
PROFIBUS[13]	---	PROFIBUS	7500	---	07/10/2008 10:37:58 AM
PROFIBUS[14]	---	PROFIBUS	7500	---	07/08/2008 10:27:44 AM
PROFIBUS[15]	---	PROFIBUS	7500	---	07/31/2008 01:44:35 PM
PROFIBUS[16]	---	PROFIBUS	7500	---	07/10/2008 10:37:58 AM
PROFIBUS[17]	---	PROFIBUS	7500	---	07/14/2008 09:23:17 AM
PROFIBUS[18]	---	PROFIBUS	7448	---	07/31/2008 01:44:35 PM
PROFIBUS[19]	---	PROFIBUS	7448	---	07/31/2008 01:44:35 PM
PROFIBUS[2]	---	PROFIBUS	7500	---	07/31/2008 01:44:35 PM
PROFIBUS[20]	---	PROFIBUS	7448	---	07/31/2008 03:05:36 PM
PROFIBUS[4]	---	PROFIBUS	7500	---	07/03/2008 11:05:24 AM
PROFIBUS[5]	---	PROFIBUS	7500	---	07/07/2008 03:44:58 PM
PROFIBUS[6]	---	PROFIBUS	7500	---	07/10/2008 10:37:58 AM
PROFIBUS[7]	---	PROFIBUS	7684	---	07/31/2008 01:44:35 PM
PROFIBUS[8]	---	PROFIBUS	7500	---	07/10/2008 10:37:58 AM
PROFIBUS[9]	---	PROFIBUS	7500	---	07/31/2008 01:44:35 PM
Ethernet[1]	---	Industrial Ethernet	2328	---	07/03/2008 10:56:40 AM

Рисунок 5.1 - Конфігураційні дані для мереж і зв'язку.



Object name	Symbolic name	Type	Size	Author	Last modified
Hardware	---	Station configuration	---	---	07/31/2008 03:28:28 PM
CPU 315-2 PN/DP	---	CPU	---	---	07/03/2008 10:56:28 AM

Рисунок 5.2 - Дані конфігурації апаратної установки.

Object name	Symbolic name	Type	Size	Author	Last modified
S7 Program(1)	---	S7 Program	---	---	07/03/2008 10:56:39 AM
Connections	---	Connections	---	---	07/03/2008 10:56:41 AM
Sources					
Blocks					

Рисунок 5.3 - Дані параметрів CPU315 DP-master для використовуваного модуля.

Object name	Symbolic name	Type	Size	Author	Last modified
Sources	---	Source Folder	---	---	07/03/2008 02:28:44 PM
Blocks	---	Block Folder Offline	---	---	08/04/2008 10:36:10 AM
Symbols	---	Symbol table	22393	---	07/31/2008 01:19:56 PM

Рисунок 5.4 - Програма S7 для програмованих модулів.

Проект STEP 7, що додається, містить такі модулі (рис. 5.5):

Object name	Symbolic name	Type	Size	Author	Last modified
03-001	...	...	...	...	...
03-002	...	...	...	...	...
03-003	...	...	...	...	...
03-004	...	...	...	...	...
03-005	...	...	...	...	...
03-006	...	...	...	...	...
03-007	...	...	...	...	...
03-008	...	...	...	...	...
03-009	...	...	...	...	...
03-010	...	...	...	...	...
03-011	...	...	...	...	...
03-012	...	...	...	...	...
03-013	...	...	...	...	...
03-014	...	...	...	...	...
03-015	...	...	...	...	...
03-016	...	...	...	...	...
03-017	...	...	...	...	...
03-018	...	...	...	...	...
03-019	...	...	...	...	...
03-020	...	...	...	...	...
03-021	...	...	...	...	...
03-022	...	...	...	...	...
03-023	...	...	...	...	...
03-024	...	...	...	...	...
03-025	...	...	...	...	...
03-026	...	...	...	...	...
03-027	...	...	...	...	...
03-028	...	...	...	...	...
03-029	...	...	...	...	...
03-030	...	...	...	...	...
03-031	...	...	...	...	...
03-032	...	...	...	...	...
03-033	...	...	...	...	...
03-034	...	...	...	...	...
03-035	...	...	...	...	...
03-036	...	...	...	...	...
03-037	...	...	...	...	...
03-038	...	...	...	...	...
03-039	...	...	...	...	...
03-040	...	...	...	...	...
03-041	...	...	...	...	...

Рисунок 5.5 - S7 Блоки програми.

## Програма керування

Основні елементи програми Програмний блок складається з виконуваного коду та коментарів. Виконуваний код складається з головної програми та будь-яких підпрограм або процедур переривання. Програми мають бути розроблені таким чином, щоб заощадити якомога більше місця в

пам'яті. Програмні блоки можна було створювати, виконувати та перезавантажувати онлайн абсолютно незалежно один від одного. Область програми і даних суворо розділені.

Програмування ПЛК стає прозорішим і простішим завдяки структуруванню програми на програмні блоки та використанню функціональних блоків, визначених у ІЕС [14]. Підпрограми (функціональні блоки) виконуються лише при виклику основної програми, підпрограми переривання або іншої підпрограми. Підпрограми корисні, оскільки функція виконується неодноразово. Замість того, щоб переписувати логіку для кожного місця в основній програмі, де виникає функція, логіка записується один раз у підпрограмі, а підпрограма викликається стільки разів, скільки потрібно протягом основної програми.

Підпрограми зменшують загальний розмір програми, зменшують час сканування. Підпрограма запускається у відповідь на умову програми (рис. 5.6).

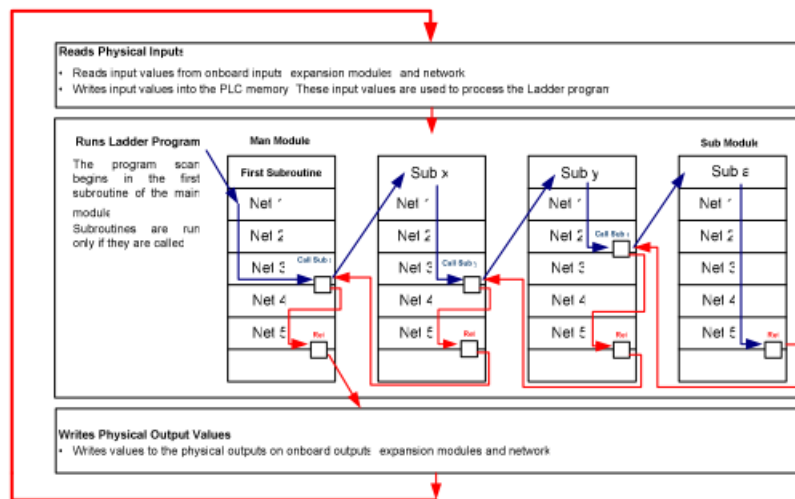


Рисунок 5.6 - Виконання підпрограми

Підпрограми переривання реагують на певні події переривання. Щоразу, коли відбувається зазначена подія, ПЛК виконує програму переривання. Підпрограми переривання призводять до негайної зупинки

програми щоразу, коли активується переривання, навіть якщо програма перебуває в середині сканування мережі в іншій підпрограмі.

Коли підпрограма переривання завершується, програма повертається туди, де її було перервано, і продовжує роботу з цього моменту до наступного переривання.

Процедури переривання зазвичай використовуються з негайними елементами, наприклад, щоб увімкнути вихід у разі тривоги або надзвичайної ситуації. Підпрограма виконується автоматично при виконанні умови для її виклику [MUE05].

## **5.2. Конфігурація керуючої програми.**

Організаційні блоки (ОВ) Для виконання керуючої програми використовувався широкий діапазон ОВ. Організаційні блоки є інтерфейсом між операційною системою ЦП і розробленою програмою. Вони мають завдання виконувати спеціальні частини програми на певних подіях. Кожен ОВ надає 20 байт локальних даних (змінних) інформації [21].

Коли апаратне переривання ініціюється DP або підлеглим пристроєм DPV1, або коли підлеглий пристрій DP виходить з ладу, операційна система ЦП викликає організаційний блок, призначений для цієї ситуації. Організаційні блоки дозволяють кероване подіями виконання програми користувача S7.

Керований подією виклик ОВ операційною системою зазвичай перериває ОВ, який щойно обробляється. Таким чином, система класів пріоритетів застосовна до ЦП. SIMATIC S7-300 визначає, якому ОВ дозволено переривати інший ОВ. ОВ з вищим пріоритетом може перервати ОВ з нижчим пріоритетом.

ОВ1



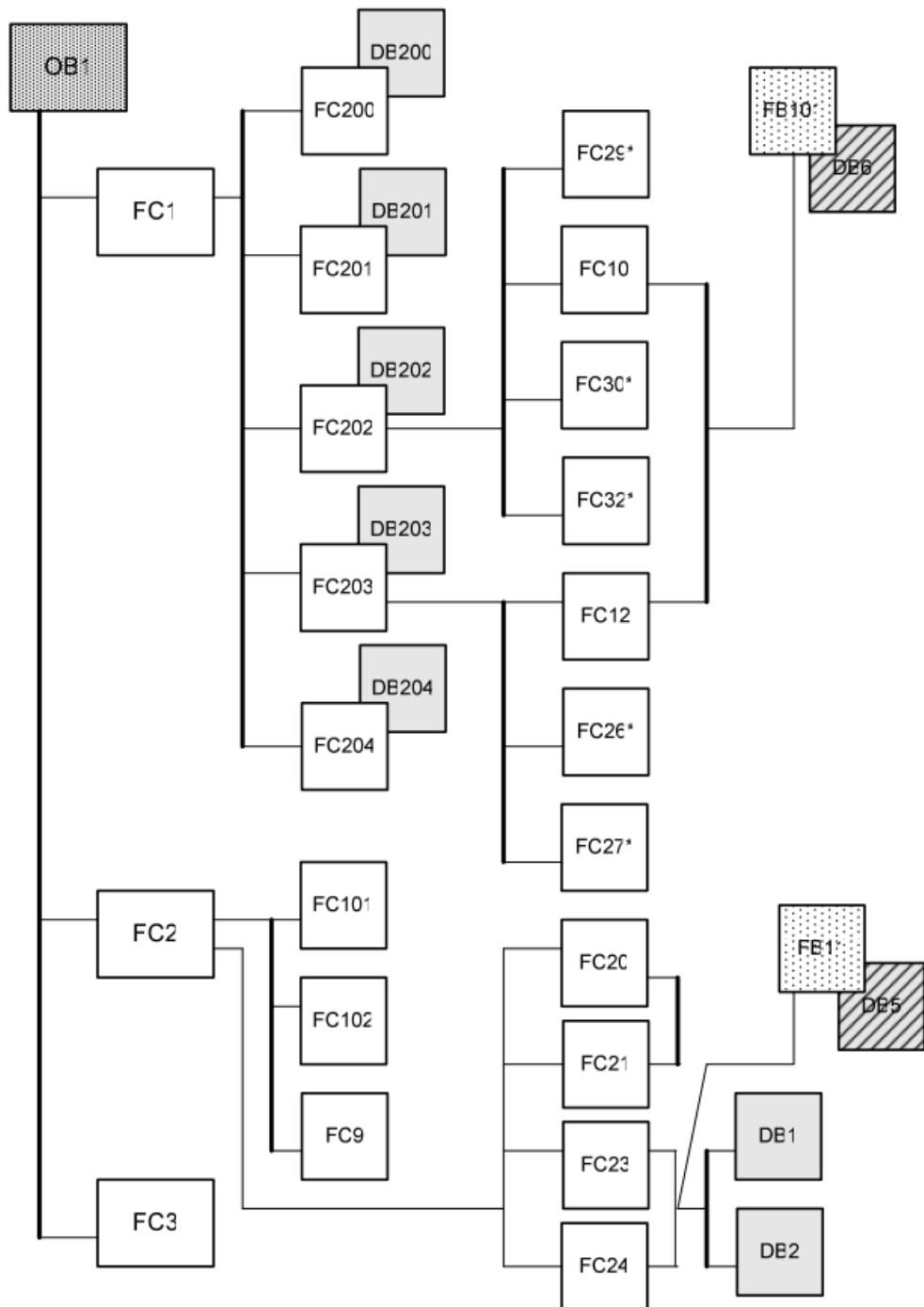


Рисунок 5.7 Основна структура програми.

Основна програма виконується в OB1. OB1 викликає функціональні блоки (FB), стандартні функціональні блоки (SFB), функції за допомогою

викликів функцій (FC) і викликів системних функцій (SFC). ОВ1 обробляється циклічно.

Наприкінці циклу ОВ1 операційна система передає вихідну таблицю зображення процесу до модулів виводу. ОВ1 перезапускається, операційна система оновлює вхідну таблицю образу процесу, зчитуючи поточні стани сигналу вхідного сигналу. Процедура безперервно повторюється. Це цикл обробки. ОВ1 викликає функції FC1, FC2, FC3.

FC1: Обробка даних з 10 резервуарів E1 – E10

FC2: Сигналізація

FC3: Керування всіма приводами

## **6 БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ, ОХОРОНА ПРАЦІ**

### **6.1 Організація охорони праці при роботі з системою управління**

Охорона праці розглядає проблеми забезпечення здорових і безпечних умов праці. Виявляє і вивчає можливі причини нещасних випадків, професійних захворювань, аварій, вибухів, пожеж і розробляє систему заходів і вимог з метою виключення цих причин і створення безпечних і сприятливих для людини умов праці.

Завдання охорони праці є зведення до мінімуму імовірності пошкодження або захворювання працівників з одночасним забезпеченням комфорту при максимальній продуктивності праці.

Навчання працівників безпеці праці проводять відповідно до вимог ГОСТ 12. 0.004 - 79, який встановлює порядок і види навчання. На всіх підприємствах і в організаціях незалежно від характеру і ступеню небезпеки виробництва навчання працівників проводять при підготовці нових робітників, проведенні різноманітних видів інструктажів і підвищенні кваліфікації.

Контроль за своєчасним і якісним навчанням виконує відділ охорони праці чи інженер з охорони праці, або ІТП, на якого наказом керівника підприємства покладено ці обов'язки. Ті, що вперше поступають на роботу, навчання проходять згідно з "Типовим положенням про підготовку і підвищення кваліфікації робітників". В журналі обліку навчальної роботи реєструють навчальну тему, за якою проводилось навчання.

Інструктаж працюючих поділяють на вступний, початковий, на робочому місці, повторний, позаплановий і початковий.

Вступний інструктаж з усіма, хто поступає на роботу незалежно від їх освіти і стажу роботи по даній професії, проводить інженер з охорони праці за програмою, затвердженою головним інженером підприємства, про

проведення вступного інструктажу з обов'язковим підписом того, хто проводив інструктаж і того, хто його отримував.

Початковий інструктаж на робочому місці, повторний, позаплановий і поточний проводить керівник робіт.

Початковий інструктаж на робочому місці проводять при прийомі на роботу нових робітників за інструкцією з охорони праці, розробленою для окремих професій або видів робіт. Всі робітники після цього інструктажу і перевірки знань 2-5 змін (залежно від навичок і стажу роботи) працюють під наглядом бригадира чи майстра, потім оформляється допуск до їх самостійної праці.

Повторний інструктаж проходять всі працівники незалежно від кваліфікації, освіти і стажу роботи через три місяці. Його проводять з метою перевірки знання робітниками правил і норм з охорони праці.

Позаплановий інструктаж проводять коли змінилися правила охорони праці або технологічний процес, обладнання, інструмент та інші фактори, що впливають на безпеку праці; коли працівники порушують правила охорони праці, що можуть призвести чи призвели до травм, аварій чи пожежі, вибуху. Його проводять індивідуально чи з групою робітників однієї професії за програмою початкового інструктажу на робочому місці. При його реєстрації вказують причину, яка спричинила його проведення.

Умови праці мають велике значення практично для всіх виробничих показників - продуктивності праці, якості робіт, безпеки працівників та інше.

Санітарно-гігієнічні умови праці характеризуються показниками виробничого середовища - рівнем освітлення, мікрокліматичними параметрами, загазованістю і запиленістю повітряного середовища, рівнем шуму і вібрації, наявністю іонізуючого випромінювання та інше.

## 6.2 Електробезпека

Електричні установки, з якими доводиться мати справу практично всім працюючим по встановленню та налагодженню засобів автоматизації, виявляють для людини велику потенційну небезпеку, яка збільшується у зв'язку з тим, що органи чуття людини не можуть на відстані виявити присутність електричної напруги на обладнанні.

Степінь ураження електричним струмом залежить від цілого ряду факторів: значення сили струму, електричного опору тіла людини та тривалості протікання через неї струму, виду та частоти струму, індивідуальних властивостей людини та умов навколишнього середовища.

Конструкція електроустановок має відповідати умовам їх експлуатації та забезпечувати захист персоналу від дотику з струмоведучими та рухомими частинами, а обладнання - від попадання всередину посторонніх твердих тіл та води.

Конструкція, вид виконання, спосіб встановлення, клас ізоляції застосовуваних провідників, кабелів, пристроїв та іншого електрообладнання відповідають вимогам електробезпеки. За ступенем ураження людей електричним струмом котельня відноситься згідно ПУЕ 1.1.13 до категорії приміщень з підвищеною небезпекою (висока температура, можливість одночасного дотику до металевих елементів технологічного обладнання або металоконструкцій будинку та металевих корпусів електрообладнання).

У нормальному режимі роботи обладнання - можливість ураження працівників електричним струмом виключена. Але на випадок аварії для запобігання ураження струмом людей передбачене захисне заземлення. Згідно ПУЕ 1.7.65 допустимий опір заземлення повинен бути не більшим 10 Ом.

При виконанні монтажних робіт використовуються переносні електроінструменти (електродрилі, електрошліфувальні установки, тощо). Для забезпечення безпечної праці корпуси однофазних електроприймачів повинні занулюватись.

Захист людини від ураження електричним струмом в мережах з зануленням здійснюється тим, що при замиканні одної з фаз на занулений корпус в ланці цієї фази виникає струм короткого замикання, що діє на струмовий захист (плавкий запобіжник, автомат), в результаті чого відбувається відключення аварійної ділянки від мережі. Крім того, ще до спрацювання захисту струм короткого викликає перерозподіл напруги в мережі, що приводить до зниження напруги корпусу відносно землі. Таким чином, занулення зменшує напругу дотику та обмежує час, на протязі якого людина, що доторкнулася до корпусу, може потрапити під дію напруги.

Для того, щоб забезпечити швидке (на протязі декількох секунд) відключення аварійної ділянки, струм короткого замикання повинен бути достатньо великим. Відповідно до вимог ПУЕ струм короткого замикання повинен не менше ніж в три рази перевищувати номінальний струм плавкої вставки найближчого запобіжника або номінальний струм нерегульованого розчеплювача автоматичного вимикача. При використанні автоматичних вимикачів, що мають тільки електромагнітний розчіплювач (відсічку), струм короткого замикання повинен перевищувати значення струму встановлення миттєвого спрацювання в 1,25-1,4 рази в залежності від номінального струму.

В однофазних електроприймачів, що включені між фазним та нульовим робочим проводами, занулення корпусів слід виконувати з допомогою окремого (третього) провідника, який повинен з'єднувати корпус електроприймача з нульовим захисним проводом. В таких випадках під'єднувати корпуси електроприймачів для забезпечення електробезпеки до нульового робочого проводу недопустимо, оскільки при його розриві

(перегоранні запобіжника) всі під'єднані до нього корпуси виявляться під фазною напругою відносно землі.

В мережі з зануленням недопустимо використовувати заземлення окремих електроприймачів, не під'єднавши їх перед цим до нульового захисного провідника. В цьому випадку при замиканні фази на заземлений, але не приєднаний до нульового захисного провідника корпус створюється коло струму через заземлення цього корпусу та заземлення нейтралі джерела струму. Такий випадок небезпечний, оскільки засоби захисту не зможуть відключити такий електроприймач через мале значення струму і тому небезпечна напруга на всіх корпусах може зберігатися тривалий період, поки заземлений приймач не буде відключений вручну.

Важливо відмітити, що якщо занулений корпус одночасно заземлений, то це тільки покращує умови безпеки, оскільки забезпечує додаткове заземлення нульового захисного проводу.

Для ізоляції людини від частин електроустановок, що знаходяться під напругою, використовуються основні та допоміжні ізолюючі засоби, а саме слюсарно-монтажний інструмент з ізольованими ручками, коврики, ізолюючі підставки, тощо.

У приміщеннях, де знаходяться вимірювальні прилади, необхідно забезпечити виконання заходів по боротьбі з статичною електрикою (тобто прилади повинні бути заземлені). Найпростішим засобом є підтримка відносної вологості повітря на рівні 50 - 60 % за допомогою побутового електрозволожувача.

Підлогу слід виконувати відповідно до ГОСТ 12.4.124-83, використовуючи антистатичне покриття на проходах і біля робочих місць.

Робітникам рекомендовано носити одягу з природних матеріалів або з комбінованих - природних і штучних волокон. Для зняття електростатичних зарядів з одягу слід використовувати антистатика побутового призначення.

Оскільки корпуси приладів виконані з металу, то для усунення небезпеки ураження людини електричним струмом (можливий пробій на корпус приладу) використовується захисне заземлення.

### 6.3 Розрахунок заземлення

Розрахуємо систему заземлення для електроустаткування, яке працює від напруги 220 В.

$$R_{\text{заз}} \leq \frac{U}{I_p} = \frac{220}{66} = 3.3 \leq 4 \text{ Ом}$$

Визначаємо опір ґрунту:  $\rho = k_n * \rho_n = 2 * 200 = 400 \text{ Ом м}$ ,

де  $k_n$  - коефіцієнт підсилення;

$\rho_n$  — питомий опір ґрунту (вибирається з довідкової літератури).

Визначаємо опір одиночного вертикального заземлювача:

$$R_B = \frac{\rho}{2\pi} \left( \ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} * \frac{4t+1}{4t-1} \right)$$

де  $t$  - відстань від середини заземлювача до поверхні ґрунту, м;

$l, d$  - довжина і діаметр стержня заземлювача, м;

$$R_B = 96 \text{ Ом.}$$

Визначаємо опір сталевій полосі, що з'єднує стержневі заземлювачі:

$$R_{II} = (\rho / 2\pi l) * \ln(l^2 / dt) = 61 \text{ Ом.}$$

Визначаємо орієнтовне число стержневих заземлювачів:

$$n = R_B / [r_B] \eta_B = 96 / 4 * 1 = 24 \text{ шт.};$$

$r_B$  - допустимий по нормам опір заземляючого пристрою,

$\eta_B$  - коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів (для орієнтовного розрахунку приймається рівним 1).



Приймаємо розміщення вертикальних заземлювачів по контуру з відстанню між сталевими заземлювачами рівним 21. З довідкової літератури визначаємо  $\eta_B = 0,66$  і  $\eta_r = 0,39$ .

Визначаємо необхідну кількість вертикальних заземлювачів

$$n = R_B / [r_B] \eta_B = 96 / (4 * 0.66) = 36$$

Розраховуємо загальний розрахунковий опір аземлюючого пристрою R з врахуванням з'єднувальної полоси

$$R = R_B R_{II} / (R_B \eta_r + R_{II} \eta_B n) = 3.9 \text{ Ом.}$$

Розрахунок проведено правильно, оскільки виконується умова  $R \leq [r_B]$ .

### Розрахунок штучного заземлення:

Приймаємо, що опір захисного заземлення не повинен перевищувати 4 Ом:

$$R_{33} = \frac{R_c R_n}{R_c + R_n} \leq 4 \text{ Ом}$$

де  $R_{33}$  – опір захисного заземлення;

$R_c$  – опір стержневих заземлювачів;

$R_{II}$  – опір поперечних заземлювачів.

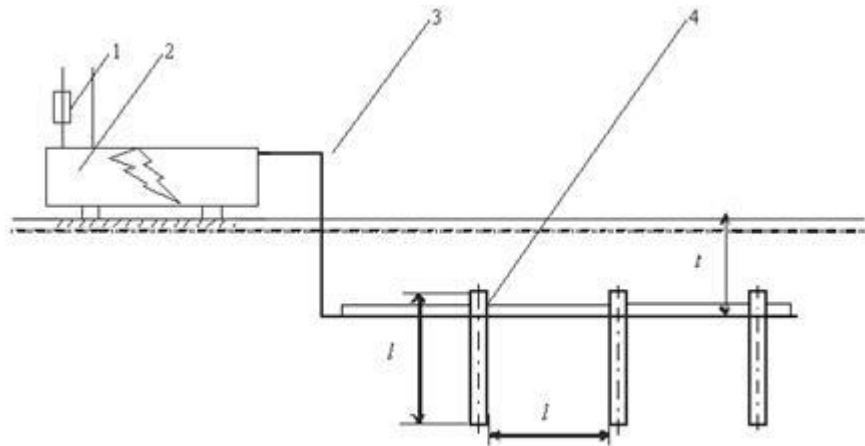


Рисунок 6.1 - Пристрій заземлення

4 – плавка вставка; 2 – електроустановка; 3 – з'єднувальна штаба; 4 – трубчатий заземлювач

Опір одиночного стержневого заземлювача розтіканню електричного струму:

$$R_{oc} = \frac{\rho_{\text{г}}}{2\pi l} \left( \ln \frac{2l}{d} + \ln \frac{4h' + l}{4h' - l} \right)$$

де  $h$  – відстань від поверхні ґрунту до заземлювача і становить 0,8 м;

$l$  – довжина стержневого заземлювача 3 м;

$d$  – діаметр стержневого заземлювача 50 мм.

$$R_{oc} = \frac{750}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \left( \ln \frac{2 \cdot 3}{0,05} + \ln \frac{4 \cdot 0,8 + 3}{4 \cdot 0,8 - 3} \right) = 39,8 \cdot (0,18 + 3,43) = 143,8 \text{ Ом}$$

Опір одиночного поперечного заземлювача:

$$R_{ок} = \frac{\rho_{\text{г}}}{2\pi l} \ln \frac{2l^2}{bh'}$$

де  $l$  – довжина поперечного заземлювача 2,5 м;

$b$  – ширина полоси заземлювача 30 мм;

$\rho_{\text{г}}$  – розрахунковий опір ґрунту: для поперечних електродів 1000 Ом·м, для стержневих електродів 750 Ом·м.

$$R_{ок} = \frac{1000}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,5} \ln \frac{2 \cdot 2,5^2}{0,03 \cdot 0,8} = 63,7 \cdot 6,25 = 398,1 \text{ Ом}$$

В наслідок взаємовпливу вводимо коефіцієнт використання заземлювачів:

$$\eta = \frac{R_0}{nR_{\text{д}}}$$

де  $R_{\text{д}}$  – допустимий опір заземлення, що становить 4 Ом;

$R_0$  – опір одиночного заземлювача.

З цієї формули методом ітерацій підбирають  $n$ , при якому  $\eta = 1$ :

<b>n</b>	<b>R<sub>n</sub></b>	<b>R<sub>c</sub></b>	<b>R<sub>o</sub></b>	<b>η</b>
1	398,1	143,8	105,6	26,1
5	398,1	143,8	105,6	5,2
10	398,1	143,8	105,6	2,6
15	398,1	143,8	105,6	1,7
20	398,1	143,8	105,6	1,3
25	398,1	143,8	105,6	1,1
26	398,1	143,8	105,6	1,0
27	398,1	143,8	105,6	0,9

Отже приймаємо кількість одиночних заземлюючих електродів рівною

26.

## ОСНОВНІ ВИСНОВКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

У роботі було проведено дослідження теоретичних і прикладних проблем цифрового управління безперервними процесами за допомогою програмованих логічних контролерів.

Аналіз був зосереджений на різних технічних і програмних можливостях ПЛК загальні операції ПЛК, програмування для системи на основі ПЛК, адресація вводу/виводу для проектування систем керування.

Наведено порядок побудови системи керування з її аналізом. Рішення для вимірювання різних параметрів при меншій енергії споживання підтверджено прикладами інноваційних технологій вимірювання.

Створено структуру програми керування парком резервуарів. Розроблено та апробовано алгоритми локального керування.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Advance, Magazine advance. April 2/2008/ URL : [http://www.automation.siemens.com/download/internet/cache/3/1468416/pub/de/AdvanceProdNews\\_E.pdf](http://www.automation.siemens.com/download/internet/cache/3/1468416/pub/de/AdvanceProdNews_E.pdf).
2. Åström K. J., Wittenmark B.: Computer Controlled Systems - Theory and Design (3rd ed.), Prentice-Hall, 1997. p. 412
3. Batison Robert N. Introduction to Control System Tehnology. 5-ed Prentice Hall, 1993. p. 670.
4. Berge, J. Fieldbus for Process Control: Engineering, Operation and Maintenance, ISA Press, 2002. p. 232.
5. Bolton W. Programmable Logic Controllers. Third Edition, Newnes, 2003. p. 240.
6. Berger Hans. Automating with SIMATIC. 3rd edition, , I SBN-13:978-3-89578-276-3, 2006. p. 220.
7. Buckbee George. The Six Myths of Process Control. <http://www.expertune.com/>, May–October, 2006. 20 p.
8. Chienskey, F. Greg. Process Control System – Application, Design, and Tuning. 4th edition, New York McGraw-Hill, 1996. p. 382.
9. Clements-Jewery K., W. Jeffcoat The PLC workbook. Prentice Hall, 1996. p.195.
10. Connel Bob Process Instrumentation Applications Manual. McGraw-Hill Book Co., 1996. p. 212-213.
11. Dorf Richard, Bishop Robert. Modern Control Systems. 832 ISBN 5-93208-119-8, 2002. p. 831.
12. Electromagnetic Compatibility Qualification and Analysis of Microcontrollers. (100 kHz – 1 GHz) Test Methods and Procedures, URL : <http://freescale.com>.

13. Fiori, F.; Musolino, F. Analysis of EME produced by a microcontroller operation. Design, Automation and Test in Europe, 2001, Conference and Exhibition, 2001, Proceedings Volume, Issue, 2001. p. 341 – 345.
14. Hassapis G. Implementation of predictive control algorithms on networked control systems. American Control Conference 2006, JUN 14-16, 2006 American Control Conference, VOLS 1-12, 2006. p.1936-1941.
15. Jee E., Yoo J., Cha S. Control and data flow testing on function block diagrams. 24th International Conference on Computer Safety, Reliability and Security, SEP 28-30,. Computer Safety, Reliability and Security, Proceedings, 2005. p. 67-80.
16. Jiang JB, Kaigala GV, Backhouse CJ, et al. Modeling and controller design of a nonlinear time-varying thermal device in a microfluidic platform. American Control Conference 2006, JUN 14-16, 2006. 2006 American Control Conference, VOLS 1-12, 2006. p. 312-324.
17. Intelli+intelligent command. April, 2008. URL : [http://www.bernard-actuators.com/imgs/documentation/a116\\_03.pdf](http://www.bernard-actuators.com/imgs/documentation/a116_03.pdf).
18. Levant, J.-L., Ramdani, M., Perdriau, R., Drissi, M. EMC Assessment at Chip and PCB Level: Use of the ICEM Model for Jitter Analysis in an Integrated PLL. Electromagnetic Compatibility, IEEE Transactions on Volume 49, Issue 1, Feb. 2007. p. 182 – 191.
19. Luyben, William. Process Modeling, Simulation and Control for Chemical Engineers. 2nd edition, New York, McGraw-Hill, 1990. p. 360.
20. Mitsubishi FX2N Series Programmable Controllers hardware manual. 2001
21. Mueller J. Controlling with Simatic. ISBN 3-89578-255-6, 2005. p. 162.
22. А.Г. Микитишин, М.М. Митник, П.Д. Стухляк, В.В. Пасічник Комп'ютерні мережі. Книга 1. [навчальний посібник] (Лист МОНУ №1/11-8052 від 28.05.12р.) - Львів, "Магнолія 2006", 2013. – 256 с.

23. А.Г. Микитишин, М.М. Митник, П.Д. Стухляк, В.В. Пасічник Комп'ютерні мережі. Книга 2. [навчальний посібник] (Лист МОНУ №1/11-11650 від 16.07.12р.) - Львів, "Магнолія 2006", 2014. – 312 с.
24. Микитишин А.Г., Митник, П.Д. Стухляк. Комплексна безпека інформаційних мережевих систем: навчальний посібник – Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2016. – 256 с.
25. Микитишин А.Г., Митник М.М., Стухляк П.Д. Телекомунікаційні системи та мережі : навчальний посібник для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» – Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017 – 384 с.
26. Введення в компютерну графіку та дизайн: Навчальний посібник для студентів спеціальності 174 "Автоматизація, компютерно-інтегровані технології та робототехніка"/Укладачі: О.В. Тотосько, П.Д. Стухляк, А.Г. Микитишин, В.В. Левицький, Р.З. Золотий - Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2023 - 304с. <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/41166>.
27. Пилипець М. І. Правила заповнення основних форм технологічних документів : навч.-метод. посіб. / Уклад. Пилипець М. І., Ткаченко І. Г., Левкович М. Г., Васильків В. В., Радик Д. Л. Тернопіль : ТДТУ, 2009. 108 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/42995>.