

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання самостійних робіт та до підготовки модульного
контролю

з дисципліни "Пристрої інформаційно-вимірювальної техніки"

для студентів спеціальності

152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

денної та заочної форм навчання

Частина 1.

2020

Методичні вказівки до виконання самостійних робіт та до підготовки модульного контролю з дисципліни "Пристрої інформаційно-вимірювальної техніки" для студентів спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка» денної та заочної форм навчання Частина 1 / Укл.: О.В. Василенко, Н.А. Смирнова – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2020. – 90 с.

Укладачі: О.В. Василенко, канд. техн. наук, доц.
Н.А. Смирнова, ст. викл.

Рецензент: В.І. Рева доц., канд. фіз.-мат. наук

Відповідальний за випуск: А.В. Коротун, канд. фіз.-мат. наук, доц.

Затверджено
на засіданні кафедри
мікро- та наноелектроніки

Протокол №4
від "15" 09 2020 р.

Рекомендовано до видання
НМК ФРЕТ
Протокол № 2
від "24" 09 2020 р.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ФУНКЦІОНУВАННЯ ПРИБОРІВ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ	8
1.1 Роль інформаційних процесів	8
1.2 Вимірювання	9
1.2.1 Процедура вимірювання та вимірювальні операції	13
1.2.2 Критерії якості вимірювань	14
1.2.3 Класифікація вимірювань	15
1.3 Засоби вимірювання	18
1.3.1 Класифікація засобів вимірювань	18
1.3.2 Технічні засоби вимірювання	20
2 ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИМІРЮВАНЬ	23
2.1 Похибка вимірювання	23
2.2 Принципи, засоби та методи вимірювання	23
2.3 Збіжність вимірювань	25
2.4 Статистична обробка результатів вимірювань	26
3 ОСНОВИ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ	29
3.1 Види сигналів, модуляція	29
3.2 Принципи побудови інформаційних мереж	33
3.3 Стандартні послідовні інтерфейси	37
3.3.1 Інтерфейс RS–232	37
3.3.2 Інтерфейс RS–422	39
3.3.3 Інтерфейс RS–485	40
3.3.4 Порівняльна характеристика послідовних інтерфейсів ..	41
3.5 Сучасні інтерфейси для розподілених систем	42
3.6 Розподілена система на базі CAN інтерфейсу	43
3.7 Мережі Modbus	45
4 ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ ЯК ЧАСТИНА АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ВИРОБНИЦТВОМ	47
4.1 Структура АСУТП	47
4.2 Контролери	48
4.3 Периферійні засоби	51

5 ПРОГРАМОВАНІ ЛОГІЧНІ КОНТРОЛЕРИ В ІВС	53
5.1 Програмований логічний контролер	53
5.2 Типи ПЛК	57
5.3 Апаратне забезпечення ПЛК та його конфігурування	59
5.4 Основи програмування ПЛК	62
5.4.1 Змінні ПЛК	62
5.4.2 Розроблення програми користувача ПЛК	69
5.5 Основні принципи розробки програми для ПЛК	71
5.5.1 Використання основних елементів мови LD	71
6 ВИКОРИСТАННЯ SCADA ДЛЯ ІВС	74
6.1 Розвиток SCADA	74
6.2 Людино-машинний інтерфейс (HMI)	76
6.3 Можливості SCADA	78
6.4 Елементи моделі відображення процесу	80
6.5 Завдання значень змінних	83
6.6 Підсистема тривоги та подій	84
6.6.1 Події та журнал подій	85
6.6.2 Тренди	85
6.7 Додаткові підсистеми SCADA	87
ПИТАННЯ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ДЛЯ МОДУЛЬНОГО КОНТРОЛЮ	88
ТЕМИ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ	89
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА	90

ВСТУП

Ускладнення сучасних об'єктів досліджень, зростання числа і діапазонів вимірюваних параметрів, підвищення вимог до точності вимірювань і їх швидкодії (при обмежених можливостях оператора в сприйнятті і обробці великих обсягів інформації) призводять до необхідності автоматизації вимірювань.

Природна фізіологічна обмеженість можливостей людини в сприйнятті і обробці великих обсягів вимірювальної інформації стала однією з основних причин появи таких засобів вимірювань, як інформаційно-вимірювальні прилади (віртуальні прилади) і вимірювальні системи (ВС).

Розробка нових інформаційно-вимірювальних систем (ІВС) з використанням сучасних технологій, широкий розвиток наукових досліджень, а також підвищення вимог до точності вимірювань і їх швидкодії призвели до необхідності одночасно вимірювати і контролювати безліч різних фізичних величин.

Структура сучасних ВС різноманітна, швидко розвивається і суттєво залежить від вирішуваних завдань. Автоматизованими засобами вимірювань вважають автономні непрограмовані прилади та гнучкі вимірювальні системи, побудовані на базі мікропроцесорів та мікроконтролерів.

Автономні непрограмовані прилади працюють за жорсткою програмою і призначені для вимірювань певних параметрів сигналів і характеристик ланцюгів. Гнучкі інтегральні системи дозволяють програмним способом перебудовувати систему для вимірювання різних фізичних величин і міняти режим вимірювань. При цьому апаратна частина вимірювальної системи не змінюється. По структурній побудові вони поділяються на інтерфейсні, мікропроцесорні та комп'ютерно-вимірювальні.

Найбільш потужні – вимірювально-обчислювальні комплекси (ВОК) – створюються шляхом об'єднання за допомогою розподілених мереж в одну вимірювальну систему (в них – комп'ютери, вимірювальні прилади, пристрої відображення інформації тощо). Зв'язок між комп'ютером і всіма іншими вузлами і їх сумісність забезпечується за допомогою сукупності апаратних, програмних і конструктивних засобів.

Функціональні можливості традиційних вимірювальних

приладів задаються при виробництві і перебудувати їх або змінити число каналів вимірювання та аналізу досить проблематично. І оскільки виробник не в змозі охопити все різноманіття реальних дослідницьких завдань, це в значній мірі ускладнює підбір оптимального комплексу обладнання з необхідними параметрами і його налаштування. Вимірювальні системи і віртуальні прилади знімають дане обмеження. Інколи для вирішення нового метрологічного завдання досить замінити частину модулів, які використовуються в якості джерела або приймача інформації, і програмне забезпечення.

В ІВС мікропроцесори здійснюють сервісні операції, забезпечують різні режими вимірювань і визначають ряд параметрів сигналу або ланцюга. Робота таких приладів виконується за програмами. Пристрій сполучення комп'ютера із засобами вимірювань або будь-якими іншими зовнішніми системами називають *інтерфейсом*.

Інформаційні технології вивели вимірювальну техніку на новий рівень, що дозволяє швидше і з меншими витратами розробляти інформаційно-вимірювальні прилади і системи різної складності: від вимірювання параметрів до введення та обробки відеозображень з передачею результатів через зовнішню мережу на будь-які відстані.

Контрольно-вимірювальні пристрої автоматизації класифікуються з низкою ознак:

- за родом вимірюваної величини (температури, тиску, відстані тощо);
- за способом отримання інформації (ті, що показують реєструють, сигналізують, порівнюють, регулюють тощо);
- за метрологічним призначенням (робочі, зразкові, еталонні);
- за розташуванням (локалізовані, дистанційні).

Поява вимірювальних інформаційних комплексів і систем, а також приладів із застосуванням спеціалізованих мікропроцесорних, комп'ютерних та віртуальних технологій викликано наступними аспектами:

- широким поширенням спеціалізованих багатофункціональних мікропроцесорів і персональних комп'ютерів, що мають високу швидкодію, великі обсяги пам'яті, стандартні інтерфейси, практично необмежені графічні можливості, що дозволяють створити функціонуючі в реальному масштабі часу

віртуальні вимірювальні пристрої, з високим ступенем подібності відтворюють поведінку тих чи інших фізичних приладів і систем;

- створенням автоматизованих інформаційно-вимірювальних систем різного призначення, таких як автоматизовані системи наукових досліджень і комплексних випробувань, фізичні і космічні об'єкти і ін.;

- можливістю реалізації в досить компактній формі вимірювальних приладів і модулів;

- появою вимірювального програмування, під яким розуміється програмування для інформаційно-вимірювальної техніки і систем, що дозволяє їй проводити вимірювання, контроль, діагностування або розпізнавання образів, включаючи функції збору, передачі, обробки, представлення вимірювальної інформації і управління вимірювальним експериментом.

У наукових дослідженнях, діагностичних, статистичних, інтелектуальних системах комп'ютери використовуються для вирішення завдань управління вимірювальними експериментами, збору, реєстрації, обробки і систематизації даних, подання та зберігання результатів спостережень. При цьому частина функцій і операцій здійснюється не апаратно, а програмно за допомогою персонального комп'ютера.

Даний навчально-методичний посібник має на меті надання інформації з принципів побудови та програмування ІВС, розробки людино-машинного інтерфейсу (HMI – Human-Machine Interface) на основі спільного використання програмованих логічних контролерів (ПЛК) та систем збору даних (SCADA). Містить контрольні питання, питання для самопідготовки до модульного контролю, теми самостійної роботи.

1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ФУНКЦІОНУВАННЯ ПРИСТРОЇВ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

1.1 Роль інформаційних процесів

Інформаційним називається процес, що виникає при встановленні зв'язку між джерелом і його приймачем. До основних процесів при цьому відносяться:

- виявлення і рахунок;
- вимір і контроль;
- збір і розподіл;
- розпізнавання і діагностика;
- передача і зберігання;
- узагальнення і відображення.

Інформаційні процеси займають значне місце в суспільному житті людини.

По-перше, це підвищення ефективності як в матеріальному виробництві, так і в невиробничій сфері; по-друге, задоволення матеріальних і духовних потреб, а також забезпечення всебічного розвитку людини шляхом їх використання як в побуті, так і для поліпшення умов праці, відпочинку, зміцнення здоров'я, поліпшення навколишнього середовища; по-третє, збагачення духовного життя.

Інформатизувати суспільство – це значить:

- створити правові, економічні, технологічні, соціальні та професійно-освітні умови для того, щоб будь-яка (крім обумовлених законом таємниць і секретів) інформація була доступна в будь-який час в будь-якій точці будь-якому потенційному користувачеві;
- створити технологічні умови, апаратні і програмні засоби, телекомунікаційні системи, що забезпечують доступність інформації;
- забезпечити індустріально-технологічну базу для виробництва в рамках міжнародного поділу праці конкурентоспроможних інформаційних технологій;
- забезпечити першочерговий розвиток структур, інститутів і механізмів, насамперед в науці та освіті;
- реалізувати принцип фундаментального впровадження інформації та інформаційних технологій в сферу виробництва,

управління, культури, науки, освіти, транспорту і енергетики і ін.

Коли в кінці 1960-х років в Японії в основному закінчився період післявоєнної відбудови та промислової реконструкції, перед країною постало питання про вибір її історичної перспективи. Існували дві реальні альтернативи: 1) розвиток індустрії, добробуту, будівництво комфортних доріг, житла і т.д.; 2) розвиток наукоємних та інформаційних технологій, інформатизація суспільства, що включає автоматизацію і роботизацію суспільства. Японія вибрала другий шлях і через чверть століття виявилася однією з найбільш процвітаючих країн світу. Японський досвід в тій чи іншій модифікації був врахований при виробленні інформаційної політики у Франції (кінець 1970-х років), Великобританії (початок 1980-х років), ФРН (кінець 1980-х років) і т. д. Але жодна з цих країн прямо не копіювала японський досвід і японську ідеологію, так як кожна виходила зі своїх інтересів, можливостей, ресурсів, традицій, економічних і політичних цілей.

1.2 Вимірювання

Вимірювання – пізнавальний процес визначення числового значення вимірюваної величини; дія, спрямована на знаходження значення фізичної величини дослідним шляхом, порівнюючи її з одиницею вимірювання за допомогою засобів вимірювальної техніки (рис. 1.1).

Числове значення вимірюваної величини – число, яке виражає відношення між двома величинами однакової природи – вимірюваною та одиницею вимірювання.



Рисунок 1.1 – Типова вимірювальна стрічка з метричними та британськими одиницями вимірювання і дві центові монетки для порівняння

Згідно із ДСТУ 2681-94:

Вимірювання – відображення фізичних величин їх значеннями, за допомогою експерименту та обчислень із застосуванням спеціальних технічних засобів (рис. 1.2 і 1.3)
<https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B8%D0%BC%D1%96%D1%80%D1%8E%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F> - cite note-2681-94-1.

У цьому визначенні закладені такі головні ознаки поняття «вимірювання»:

- вимірювати можна властивості реально існуючих об'єктів пізнання – фізичні величини;
- вимірювання вимагає проведення дослідів, тобто теоретичні міркування чи розрахунки не замінюють експеримент;
- результатом вимірювання є фізична величина, котра відбиває значення вимірюваної величини.

Згідно із Законом України «Про метрологію та метрологічну діяльність», що набрав чинності з 01.01.2016 року, вимірюванням вважається процес експериментального визначення одного або декількох значень величини, які можуть бути обґрунтовано приписані величині
<https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B8%D0%BC%D1%96%D1%80%D1%8E%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F> - cite note-2.



Рисунок 1.2 – Прилад для вимірювання відхилень від круглості



Рисунок 1.3 – Лабораторні ваги

Вимірювання – це єдиний спосіб отримання достовірної

інформації. Вимірювання здійснюються в усіх сферах людської діяльності.

Проблеми розвитку науки, техніки і промисловості, питання енерго- і ресурсозбереження, атомної енергетики, екологічної безпеки не можуть вирішуватися без залучення вимірювальної техніки. Роль вимірювань в житті суспільства безперервно підвищується, тому інтерес до вимірювальної техніки в усьому світі постійно зростає.

Питанням вимірювання технологічних параметрів, розробки нових методів і засобів вимірювання, підвищенню точності вимірювань у всіх країнах світу приділяється велика увага.

За останні десятиліття в десятки разів зросли швидкості протікання технологічних процесів і число вимірюваних параметрів, яке в даний час обчислюється тисячами.

Тому надійність засобів вимірювання та інформаційно-вимірювальних систем у багатьох випадках визначає надійність технологічного процесу в цілому.

Без достовірних значень параметрів і автоматичного контролю за цими значеннями в більшості випадків не можна управляти процесом, без засобів вимірювання неможлива автоматизація. Особливо великого значення набувають питання отримання достовірних значень вимірюваних параметрів в зв'язку з завданнями комплексної автоматизації технологічних процесів і більш ефективного використання виробничого потенціалу. Вирішення цих завдань вимагає аналізу процесів і їх техніко-економічних показників, а для цього потрібні надійні і точні засоби вимірювання (рис. 1.4).

Поява і швидке поширення обчислювальної техніки, мікроелектроніки привели до перегляду поглядів на області застосування і можливості вимірювальної апаратури.

Електричні вимірювання в сучасній вимірювальній техніці займають важливе місце. Причина широкого поширення електричних вимірювань – простота і зручність отримання, перетворення, передачі і зберігання інформації, представленої в електронній формі.



Рисунок 1.4 – Вимірювання різних фізичних величин

Фізична величина (ФВ) – це комплексна характеристика об'єкта або явища в фізиці, або результат вимірювання (має розмір, розмірність, рід, значення).

Вимірювання – визначення значення фізичної величини експериментальним шляхом.

Вимірювання – це інформаційний процес отримання дослідним шляхом чисельного відношення між даною фізичною величиною і деяким її значенням, прийнятим за одиницю порівняння.

Вимірювання – це пізнавальна процедура, яка включає визначення характеристик матеріальних об'єктів за допомогою відповідних вимірювальних пристроїв.

В науці вимірювання є одним з основних засобів пізнання навколишнього світу, в підсумку якого отримується вимірювальна інформація.

Сутність найпростішого вимірювання полягає в порівнянні розміру фізичної величини Q з розмірами вихідної величини регульованої багатозначної міри $q[Q]$.

У результаті порівняння встановлюють, що:

$$q[Q] < Q < (q+1)[Q].$$

Звідси виходить, що

$$q = \text{Int}(Q/[Q]), \quad (1.1)$$

де – функція, що виділяє цілу частину числа X .

Основне рівняння теорії вимірювань має вигляд:

$$Q = q[Q], \quad (1.2)$$

де Q – значення фізичної величини;

q – числове значення фізичної величини, тобто число, рівне відношенню розміру фізичної величини до розміру одиниці вимірювання.

$[Q]$ – одиниця вимірювання, тобто це фізична величина певного розміру, якій присвоєно числове значення, рівне одиниці.

Вимірювання можливе завдяки наявності кількісних характеристик в об'єктах матеріальної дійсності, здатності цих об'єктів

змінюватися в широких межах, не втрачаючи якісної своєрідності.

Вимірювання передбачає такі основні складові елементи:

- об'єкт вимірювання, тобто вимірювану величину;
- спостерігача або технічний пристрій, що сприймає результати вимірювання;
- прилади для вимірювання, умови навколишнього середовища, в яких проводяться вимірювання;
- одиницю вимірювання;
- метод вимірювання;
- остаточний результат вимірювання.

1.2.1 Процедура вимірювання та вимірювальні операції

Вимірювання виконуються за процедурою, яка називається *методикою вимірювання*.

Процедура вимірювання – це послідовність вимірювальних операцій, що забезпечує вимірювання згідно з обраним методом <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B8%D0%BC%D1%96%D1%80%D1%8E%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F> - cite_note-2681-94-1. Отже, процедура вимірювання складається з вимірювальних операцій.

Вимірювальна операція – це операція з фізичними величинами або їх значеннями під час вимірювання. До вимірювальних операцій належать: відтворення фізичної величини, порівняння фізичних величин і вимірювальне перетворення.

- Відтворення фізичної величини – вимірювальна операція, що полягає у створенні та (чи) зберіганні фізичної величини заданого значення.

- Порівняння фізичних величин – вимірювальна операція, що полягає у порівнянні двох розмірів (значень) однорідних фізичних величин.

- Вимірювальне перетворення фізичних величин – вимірювальна операція, під час якої одна фізична величина перетворюється в іншу, функціонально з нею зв'язану. Фізичний ефект, на якому ґрунтується вимірювальне перетворення, називають принципом вимірювального перетворення. Вимірювальні перетворення поділяють на перетворення без зміни роду та зі зміною

роду вихідної фізичної величини, а також на лінійні та нелінійні за видом функціональної залежності (лінійна чи нелінійна) між початковою величиною й тією величиною, що одержують після перетворення. Одним з поширених видів лінійного перетворення фізичної величини є масштабне вимірювальне перетворення, під яким розуміють лінійне вимірювальне перетворення фізичної величини без зміни її роду.

1.2.2 Критерії якості вимірювань

Успішне вирішення наукових і технічних задач, у тому числі забезпечення якості продукції у значній мірі залежить від ступеня досягнення єдності і вірогідності (точності) вимірювань.

Єдність вимірювань – стан вимірювань, за якого їхні результати виражені в узаконених одиницях, а похибки або невизначеності вимірювань відомі із заданою ймовірністю і не виходять за встановлені границі. Єдність вимірювань необхідна для забезпечення порівнюваності результатів вимірювань, проведених у різних місцях, в різний час з використанням різних методів і засобів вимірювання.

Точність вимірювань – характеристика ступеня наближення результату вимірювання до істинного значення вимірюваної величини. Для конкретних умов і цілей вимірювання існує свій раціональний рівень точності, котрий недоцільно перевищувати через зростання складності відповідних вимірювань.

Питання єдності і точності вимірювань вивчаються *метрологією* – наукою про вимірювання, методи і засоби забезпечення їхньої єдності і способи досягнення необхідної точності.

Забезпечення єдності і точності вимірювань в Україні покладено на Національну метрологічну службу. Ця служба відіграє особливу роль. У сучасній промисловості затрати праці на виконання вимірювань складають близько 10% загальних затрат праці на всіх стадіях створення і експлуатації продукції, а в окремих галузях промисловості досягають 50-60% (електронна, радіотехнічна тощо). Ефективність цих затрат визначається достовірністю і відтворюваністю вимірювань, які можуть бути досягнуті лише в умовах добре організованого метрологічного забезпечення господарства країни.

Забезпечення єдності вимірювань ґрунтується на п'яти основах:

- науковій;
- законодавчій;
- технічній;
- організаційній;
- нормативній.

Законодавчою основою вимірювань є Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» та нормативно-правові акти в

сфері метрології.

Технічну основу складають національні еталони, вторинні та робочі еталони, робочі **засоби вимірювальної техніки**, система стандартних зразків складу і властивостей речовин та матеріалів, а також система стандартних довідкових даних про фізичні сталі та властивості речовин і матеріалів.

Організаційною основою виступає *Національна метрологічна служба*. Нормативною основою є національні стандарти, настанови, правила, положення та рекомендації, направлені на забезпечення єдності вимірювань в Україні.

1.2.3 Класифікація вимірювань

За фізичною природою вимірюваних величин вимірювання розподіляють на області і види.

Під областю вимірювань фізичних величин розуміють фізичні величини, які властиві певній галузі науки та техніки й виділяються своєю специфікою. Вид вимірювань є частиною області вимірювань, що має свої особливості й відрізняється однорідністю вимірюваних величин. Поділ вимірювань на області та види не є сталим, він залежить від об'єктивних і суб'єктивних факторів.

Один із варіантів такого поділу вимірювань, прийнятий Держстандартом України розглядає вимірювання:

- геометричних величин (довжини, переміщення, кутів, плоских і складних геометричних форм, шорсткості, круглості та ін.);
- механічних величин (маси, густини, сили, крутного моменту, деформації та ін.);
- параметрів потоку, витрат, рівня й об'єму речовин;
- тиску, вакуумні вимірювання;
- оптичних і оптико-фізичних величин;
- теплофізичних величин і температури;
- часу і частоти;
- електричних і магнітних величин;
- в радіоелектроніці;
- акустичних величин;
- фізико-хімічного складу і властивостей речовин;
- характеристик іонізуючих випромінювань і ядерних констант.

Крім цього, *вимірювання класифікують за такими ознаками:*

- за характеристиками точності числових значень вимірюваної величини вимірювання поділяються на два види:

1. Метрологічні вимірювання, котрі поділяються на:

- вимірювання з максимально можливою точністю відповідно до наявного технічного рівня (за допомогою еталонів і спрямовані насамперед на відтворення встановлених одиниць фізичних величин або ж фізичних констант);

- контрольні-повірочні вимірювання, похибки вимірювання яких не перевищують деяких наперед заданих значень (до них належать лабораторні вимірювання фізичних величин за допомогою зразкових засобів вимірювання високої точності).

2. Технічні вимірювання – вимірювання що проводяться у промислових умовах і визначаються зазвичай нижчим класом точності засобів вимірювання:

- за числом вимірювань у ряді вимірювань – на разові та багаторазові. Найпоширенішими є одноразові вимірювання, тобто вимірювання фізичної величини виконані один раз. Проте в цілій низці практичних випадків, зокрема при використанні результатів вимірювань для прийняття рішень про стан якогось об'єкта або при виконанні вимірювань з підвищеною точністю, вимірювання одного і того самого розміру фізичної величини здійснюються декілька разів, тобто багаторазово. Отже, до багаторазових вимірювань слід віднести ті вимірювання, результат яких отримують шляхом обробки результатів повторних вимірювань фізичної величини одного і того самого розміру, виконаних більше трьох разів. Це пояснюється тим, що саме за таких умов для обробки результатів вимірювань можуть бути використані методи математичної статистики. Вимірювання одного і того самого розміру фізичної величини, які повторюються два або три рази, допускається називати дво- або триразовими;

- за характером зміни вимірюваної величини в часі – на статичні та динамічні:

- статичні вимірювання – це вимірювання, при яких протягом певного проміжку часу вимірювана величина майже не змінюється або ж її значення змінюється поступово згідно з технологічним процесом;

- динамічні вимірювання – вимірювання, які показують зміну вимірюваної величини в часі при різних збуреннях, що впливають на об'єкт дослідження або ж на спосіб вимірювання. Динамічні

вимірювання дають можливість вивчати динамічні властивості об'єкта і засобів вимірювальної техніки, особливо давачів (первинних вимірювальних перетворювачів).

- за відображенням результатів вимірювання – абсолютні та відносні:

- **абсолютними** називаються вимірювання, значення яких подані у абсолютних одиницях фізичних величин (тиск у паскалях, довжина у метрах, час у секундах і т. д.);

- **відносними** називаються вимірювання, значення яких подані як відношення вимірюваної величини до однойменної, умовно прийнятої за одиницю, або ж у відсотках (наприклад, швидкість руху виражена числом Маха, вологість повітря у відсотках від повного насичення).

- за способом одержання числового значення вимірюваної величини – прямі; непрямі (опосередковані, сумісні та сукупні):

при **пряму** вимірюванні результат одержують безпосередньо за експериментальними даними (вимірювання довжини лінійкою, вимірювання температури термометром, вимірювання тиску манометром). Вони є найпоширенішими;

при **непряму** вимірюванні числове значення величини відшуковують не безпосередньо, а на основі вимірювання інших величин, пов'язаних з вимірюваною величиною відомою математичною залежністю. Непрямі вимірювання, в свою чергу, поділяються на види:

опосередковане вимірювання – непряме вимірювання однієї величини з перетворенням її роду чи обчисленнями за результатами вимірювань інших величин, з якими вимірювана величина пов'язана явною

залежністю <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B8%D0%BC%D1%96%D1%80%D1%8E%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F> - cite note-2681-94-1. Характерним для опосередкованих вимірювань є функціональне вимірювальне перетворення, яке здійснюється або шляхом фізичного вимірювального перетворення, або шляхом числового вимірювального перетворення.

при *сумісних* вимірюваннях значення декількох одночасно вимірюваних різнорідних величин отримують розв'язанням рівнянь,

які пов'язують їх з іншими величинами, що вимірюються прямо чи опосередковано. Переважно, результати таких вимірювань використовують у наукових дослідженнях.

при *сукупних* вимірюваннях значення декількох одночасно вимірюваних однорідних величин отримують розв'язанням рівнянь, що пов'язують їх різні сполучення, що вимірюються прямо чи опосередковано <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B8%D0%BC%D1%96%D1%80%D1%8E%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F> - cite_note-2681-94-1 (наприклад, визначення коефіцієнта лінійного теплового розширення).

1.3 Засоби вимірювання

1.3.1 Класифікація засобів вимірювань

Засіб вимірювань (ЗВ) – технічний засіб, призначений для вимірювань, має нормовані метрологічні характеристики, що відтворює і (або) зберігає одиницю фізичної величини. Класифікацію ЗВ наведено на рис. 1.5.

За кількістю вимірювальної інформації ЗВ бувають:
 однократні – один раз (наприклад, час за годинником);
 багатократні – ряд однократних вимірів ($n > 4$).

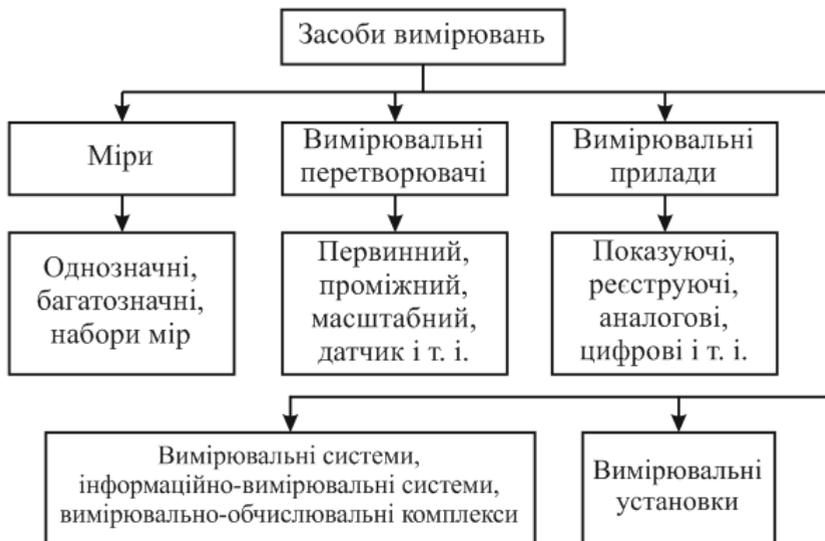


Рисунок 1.5 – Класифікація засобів вимірювань

За способом отримання інформації:

- **прямий вимір** – шукане значення величини отримується безпосередньо (наприклад, довжина за допомогою штангенциркуля);
- **непрямий вимір** – визначення результату за формулою на основі прямого виміру інших величин (наприклад, густина циліндра при вимірюванні його маси та розмірів);
- **спільні виміри** – вимірюються дві різні величини для знаходження розрахунковим шляхом залежності між ними);
- **сукупні виміри** – вимірюються декілька однойменних величин для знаходження залежності між ними (наприклад, визначення маси різних важелів (гирь) за допомогою одного важеля відомої маси).

За *ступенем автоматизації* вони діляться на:

- автоматичні – автоматично виконують всі вимірювальні операції;
- автоматизовані – автоматично виконують одну або частина цих операцій;
- неавтоматичні – не вимірюються і не обробляють результати вимірювань автоматично (рулетка, теодоліт і т. д.).

По *виду вихідного сигналу* – аналогові (вихідний сигнал - безперервна функція вимірюваної величини (наприклад, ртутний термометр)) і цифрові (вихідний сигнал – результат дискретного перетворення аналогового сигналу).

За *способом подання* вимірювального сигналу – показують (тільки зчитування показань вимірюваної величини (наприклад, стрілочний або цифровий вольтметр)) і реєструють (запис свідчень у вигляді діаграми або графіка (самописні або в числовий формі (друкує))).

За *родом вимірюваної величини* – вольтметри, амперметри та ін.

За *характером застосування* – стаціонарні і переносні.

За *конструктивним виконанням* засоби вимірювання ділять на:

- **заходи (мери (рос.))** (заходи – відтворюють фізичну величину заданого розміру. Приклад заходів: нормальний елемент – міра Е.Р.С. з номінальною напругою 1 В);
- **вимірювальні перетворювачі** (ВП – виробляє сигнал вимірювальної інформації (СВІ) в формі, зручній для передачі, перетворення, обробки і зберігання, але не спостерігається людиною

безпосередньо. ВП можуть бути енергетичними (з джерелом енергії) і параметричними (без нього). ВП називають датчиком.

Електричний датчик – перетворює вимірювану неелектричну величину в електричну (наприклад, датчик тиску, датчик температури, датчик швидкості і т. д.);

– вимірювальні прилади (ВП – виробляє СВІ в формі, доступній для безпосереднього сприйняття людиною (оператором));

– вимірювальні установки (ВУ – сукупність функціонально об'єднаних СІ виробляє СВІ в формі, зручній для безпосереднього спостереження людиною і розташована в одному місці. Вона може включати в себе заходи, вимірювальні прилади і перетворювачі, допоміжні пристрої);

– вимірювально-інформаційні системи (ВІС – сукупність СІ, з'єднаних між собою каналами зв'язку, і виробляє СВІ в формі, зручній для автоматичної обробки, передачі, використання в АСУ (автоматичних системах управління)).

1.3.2 Технічні засоби вимірювання

Засіб вимірювальної техніки – технічний засіб, який застосовується під час вимірювань фізичних величин і має *нормовані метрологічні*

характеристики https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B8%D0%BC%D1%96%D1%80%D1%8E%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F - cite_note-2681-94-1.

Характеристики засобів вимірювальної техніки

Діапазон показань – область значень шкали, обмежена її кінцевим і початковим значеннями.

Діапазон вимірювань – область значень вимірюваної величини на шкалі приладу, в межах якої нормовані допустимі похибки засобів вимірювальної техніки (тобто це робоча частина шкали).

Верхня межа вимірювань – це найбільше значення діапазону вимірювань, а *нижня межа вимірювань* – найменше.

Є 4 види шкал: одностороння (нуль розташований на початку), двостороння (нуль розташований не на початку), симетрична (нуль розташований в центрі), безнульова.

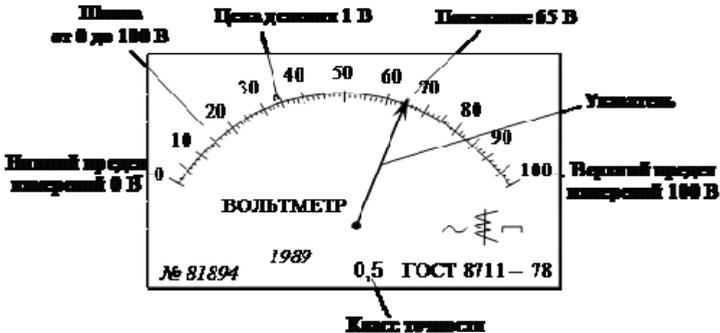


Рисунок 1.6 – Зовнішній вигляд відлікового пристрою вольтметра

Ціна поділки – різниця значення величини між двома сусідніми відмітками шкали або найменша границя вимірювання приладу. Величина, зворотна ціні поділки називається чутливістю приладу S .

Показання – значення вимірюваної величини за відліковим пристроєм.

Поріг чутливості – це найменше значення зміни величини, при якому даний засіб починає її вимірювати. Приклад: спостерігач впевнено спостерігає зміщення стрілки на половину ціни поділки шкали, що і є порогом чутливості. Варто шуканій величині змінитися трохи менше, і ми вже не знайдемо цієї зміни за вказівником приладу, тобто він для нас нерухомий. Ця нерухомість може бути уявною (людське око також має поріг чутливості), або дійсною (сили не можуть подолати протидіючі сили (сили тертя).

Область робочих частот – смуга частот, в межах якої похибка приладу, викликана зміною частоти, не перевищує допустимої межі.

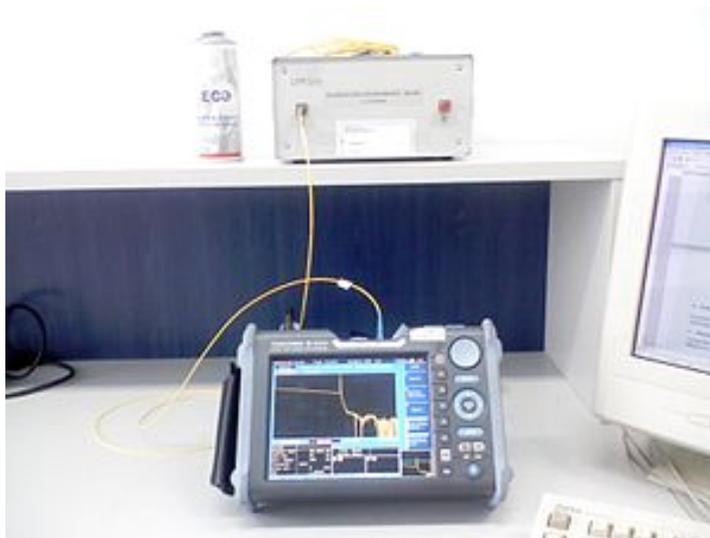


Рисунок 1.7 – Калібрування оптичного рефлектометру реального часу
Yokogawa AQ7270

Вимірювальне устаткування – сукупність функціонально об'єднаних засобів вимірювань (вимірювальних приладів, вимірювальних перетворювачів) та допоміжних пристроїв; призначена для вироблення сигналів вимірювальної інформації у формі, зручній для сприйняття спостерігачем, й розташована в одному місці.

При проведенні випробувань на випробувальних стендах необхідно дотримуватись наступних умов:

- чинники, які діють на випробовуваний об'єкт при випробуванні на лабораторному стенді, а також режими його функціонування, мають бути максимально наближені до реальних;
- вимірювальне устаткування випробувального стенду має гарантувати точність одержуваних параметрів та мати відповідну документацію (повірка обладнання);
- експлуатація випробувального стенду має відповідати нормам техніки безпеки.

2 ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИМІРЮВАНЬ

2.1 Похибка вимірювання

Важлива ознака вимірювання – **точність**. Ступінь точності змінюється залежно від вимог, які ставлять до результату вимірювання. На практиці не тільки неминучі, а й допустимі різні похибки вимірювання. Розроблено спеціальні методи оцінки й компенсації цих похибок.

Якість результатів – вимірювання характеризується надійністю, правильністю і точністю.

Відсутність надмірних похибок (промахів) характеризує надійність результатів і досягається організацією вимірювання. Вилучення систематичних похибок характеризує правильність результатів і досягається за допомогою введення спеціальних коефіцієнтів або поправок. Випадкові похибки є неминучими, а їхні величини і закон розподілу характеризують точність результатів вимірювання.

2.2 Принципи, засоби та методи вимірювання

З метою забезпечення точності вимірювань фізичних величин у метрології розроблені способи використання принципів і засобів вимірювальної техніки, дотримання яких дозволяє уникнути при отриманні результатів вимірювань низки систематичних і випадкових похибок.

Принцип вимірювання – фізичне явище або сукупність фізичних явищ, які покладені в основу вимірювання певної фізичної величини. Наприклад, вимірювання температури за допомогою використання термоелектричного явища, зміни електричного опору терморезистора чи зміни тиску термометричної речовини манометричного термометра та ін.

Метод вимірювання – сукупність способів використання засобів вимірювальної техніки та принципів вимірювань для створення вимірювальної

інформації <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B8%D0%BC%D1%96%D1%80%D1%8E%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F> - cite_note-2681-94-1.

У виробництві та повсякденному житті у процесі вимірювань переважно застосовують прямі методи, що забезпечують визначення шуканої величини безпосередньо за експериментальними даними.

До прямих методів вимірювання належать (перелік не є вичерпним):

- метод безпосередньої оцінки – вимірювана величина зчитується безпосередньо з шкали, табло чи екрану показувального пристрою вимірювального приладу (наприклад, вимірювання зусилля пружинним динамометром, визначення маси зважуванням на циферблатній вазі, вимірювання електричного струму амперметром). Вимірювання цим методом не є складним, проте точність невисока, але простота методу, швидкість процесу вимірювання визначив його широке застосування на практиці;

- метод порівняння з мірою полягає в тому, що вимірювана величина порівнюється з величиною, що відтворена мірою (міра – це засіб вимірювань, що реалізує відтворення та (або) збереження фізичної величини заданого значення). Він відрізняється постійною участю міри в процесі вимірювань (причому за показниками вимірювального приладу оцінюється лише частина вимірюваної величини). Результат вимірювання визначається як сума значень порівняльної міри (наприклад, зважування на аналітичній вазі) і показу вимірювального приладу. Точність методу порівняння значно вища за точність методу безпосередньої оцінки, але складність застосування приладів і самого процесу вимірювання інколи обмежує його застосування.

Цей метод за технічними особливостями може бути реалізований як:

- метод зіставлення – це метод порівняння з мірою, коли вимірювана і відтворена мірою величини одночасно діють на пристрій порівняння. Значення шуканої величини визначається після досягнення рівноваги (наприклад, визначення маси на вазі важільного типу, як суми мас гирь, що її зрівноважують);

- компенсаційний метод вимірювання полягає у порівнянні величини з мірою, а результат впливу величин на прилад зводиться до нуля. Цей метод використовується в автоматичних вимірювальних приладах: вимірювальних мостах, потенціометрах, аналізаторах рідин та газів та ін.;

- диференціальний (різницевий) метод полягає у визначенні

вимірювальним приладом різниці між вимірювальною величиною та відомої (відтвореної) величини (наприклад, вимірювання надлишкового тиску диференціальним манометром). Точність диференціального методу зростає зі зменшенням різниці між порівнюваними величинами;

- метод одного збігу (ноніусний) полягає у тому, що збігання між вимірюваною величиною і величиною відтвореною мірою визначається за збігом міток шкал або періодичних сигналів. Цей метод використовують при вимірюванні точних сигналів часу, частоти обертання з використанням стробоскопа, розмірів штангенциркулем тощо;

- метод подвійного збігу (метод коінциденції) полягає в одноразовому порівнянні n зістиківаних вимірюваних величин X одного і того самого розміру із зразковою величиною X_0 , що відтворюється багатозначною нерегульованою мірою зі ступенем ΔX_0 . Результат вимірювання визначається за формулою

$$X = N \frac{\Delta X_0}{n}. \quad (2.1)$$

- метод заміщення – це метод порівняння, в якому вимірювана величина X заміщується величиною X_0 , що відтворюється регульованою мірою. Точність методу заміщення залежить тільки від похибки міри і практично не залежить від систематичної похибки вимірювального приладу, що є суттєвою перевагою методу заміщення. Метод використовується у засобах вимірювальної техніки високої точності, в тому числі в еталонах.

2.3 Збіжність вимірювань

У більшості випадків вимірювання – це багаторазове спостереження величини, що вимірюється. При цьому одержують сукупність результатів вимірювання, які необхідно сумісно обробити для одержання результату. Уточнений результат вимірювання одержують шляхом вилучення систематичних і випадкових похибок.

Збіжність вимірювань – характеристика якості вимірювань, що відображає близькість повторних результатів вимірювань однієї і тієї ж величини в однакових умовах.

Відтворюваність вимірювань – характеристика якості вимірювань, що відображає близькість результатів вимірювань однієї й тієї самої величини, виконаних у різних умовах (у різний час, у різних місцях, різними методами і засобами) але приведені до однакових умов вимірювання (температура, тиск, вологість та ін.).

2.4 Статистична обробка результатів вимірювань

Прямі вимірювання

Визначення фізичної величини x за результатами проведених вимірювань проводиться в такій послідовності:

- проводять n вимірювань фізичної величини x , внаслідок яких отримують ряд значень $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$;
- обчислюють найімовірніше значення вимірюваної величини, яким є середнє арифметичне з результатів окремих вимірювань:

$$\tilde{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i . \quad (2.2)$$

Середнє значення вимірюваної величини \tilde{x} наближається до істинного x при дуже великому числі вимірювань. При кінцевому числі вимірювань n це виконується з похибкою, і результат вимірювань подається у вигляді довірчого інтервалу $(\tilde{x} - \Delta x) \leq x \leq (\tilde{x} + \Delta x)$, в якому буде знаходитись шукана величина x з імовірністю α , що називається довірчою ймовірністю, або надійністю. Довірча ймовірність показує, яка частина вимірювань при великому їх числі потрапляє в довірчий інтервал.

Для розрахунку абсолютної похибки Δx , що визначає нижню і верхню межі довірчого інтервалу, необхідно виконати такі дії:

- знаходять відхилення результатів кожного вимірювання від середнього значення:

$$\Delta x_1 = \tilde{x} - x_1; \quad \Delta x_2 = \tilde{x} - x_2; \quad \dots; \quad \Delta x_n = \tilde{x} - x_n$$

і обчислюють суму квадратів відхилень від середнього:

$$\sum_{i=1}^n (\Delta x_i)^2 = (\Delta x_1)^2 + (\Delta x_2)^2 + \dots + (\Delta x_n)^2 .$$

- задаються довірчою ймовірністю вимірюваної величини α ;
- за значенням довірчої ймовірності α і числа вимірювань n з таблиць знаходять значення коефіцієнта Ст'юдента $t_{\alpha,n}$;
- визначають абсолютну похибку за формулою розподілу Ст'юдента

$$\Delta x = t_{\alpha,n} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta x_i)^2}{n(n-1)}} .$$

Абсолютна похибка Δx (а також і довірчий інтервал) тим менша, чим менший коефіцієнт Ст'юдента, який у свою чергу можна змінити збільшенням числа вимірювань n , заданням меншої довірчої ймовірності α чи зменшенням похибок окремих вимірювань.

- Наступним кроком розраховують відносну похибку, що також характеризує точність вимірювань:

$$\delta = \frac{\Delta x}{\tilde{x}} .$$

- Остаточний результат подається у вигляді значень величини з довірчим інтервалом та відносної похибки:

$$x = (\tilde{x} \pm \Delta x)_{\alpha} ; \quad \delta \% = \frac{\Delta x}{\tilde{x}} \cdot 100 \% .$$

Непрямі вимірювання

При визначенні похибки непрямих вимірювань, коли фізична величина розраховується за робочою формулою, насамперед необхідно одержати формули для обчислення похибок у кожному конкретному випадку. Похибки непрямих вимірювань знаходять за відомими похибками прямих вимірювань

Для простого випадку, коли шукана величина обчислюється сумою (різницею) $x = a + b$, і при цьому величини a і b визначаються прямими вимірюваннями у вигляді довірчих інтервалів:

$$a = (\tilde{a} \pm \Delta a)_{\alpha} \quad \text{і} \quad b = (\tilde{b} \pm \Delta b)_{\alpha} .$$

Тоді середнє значення величини знаходиться як сума (або

різниця) середніх значень величин, отриманих прямими вимірюваннями, що додаються, а абсолютна похибка дорівнює сумі абсолютних похибок відповідних доданків:

$$\tilde{x} = \tilde{a} + \tilde{b},$$

$$\Delta x = (\Delta a + \Delta b)_\alpha.$$

Якщо ж вимірювана величина обчислюється як функція декількох співмножників, то середнє значення знаходять за робочою формулою через середні значення вимірюваних складових, а формулу для отримання абсолютної похибки можна отримати таким чином:

1. Задану робочу формулу спочатку логарифмують за основою натурального логарифма.

2. Отриманий вираз диференціюють.

3. Вважаючи, що похибки малі, переходять на кінцеві прирости, замінюючи знак диференціала d на Δ , а істинні значення -- середніми.

4. Статично незалежні величини додаються геометрично, тому відносна похибка шуканої величини визначається як геометрична сума окремих похибок.

5. За відносною похибкою знаходять абсолютну, з врахуванням раніше обчисленого за робочою формулою, середнього значення вимірюваної величини.

6. Остаточний результат записують у вигляді довірчого інтервалу та відносної похибки.

3 ОСНОВИ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

3.1 Види сигналів, модуляція

Сигнали поділяються на аналогові та цифрові, або як ще можна сказати – безперервні та дискретні.

Аналогова величина – величина, значення якої в заданому інтервалі змінюються безперервно (рис. 3.1, унизу). Її конкретне значення залежить тільки від точності приладу, що проводить вимірювання. Це, наприклад, температура.

Дискретна величина – величина, значення якої змінюються стрибкоподібно (рис. 3.1, угорі). Наприклад, число студентів в аудиторії. Вимірювальний сигнал – сигнал, що містить кількісну інформацію про вимірювану фізичну величину. Наприклад, напруга на виході термоелектричного перетворювача, що вимірює температуру.

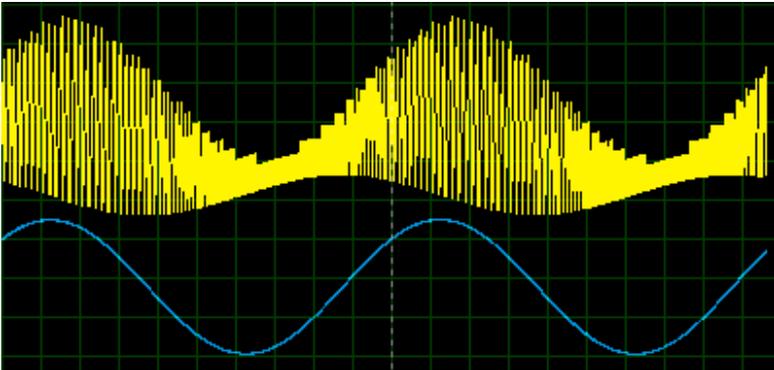


Рисунок 3.1 – Дискретний та аналоговий сигнали

Сигнал даних – форма подання повідомлення даних за допомогою фізичної величини, зміни одного або декількох параметрів якої, відображає його зміна.

У мікропроцесорній техніці сигналами є електричні величини (струм, напруга). Представляє параметр сигналу даних – параметр сигналу даних, зміна якого відображає зміну повідомлення даних (амплітуда, частота, фаза, тривалість імпульсу, тривалість паузи).

Аналоговий сигнал даних – сигнал даних, у якого кожен з представлених параметрів описується функцією часу і безперервною

безліччю можливих значень, тобто аналогові сигнали описуються безперервної (або кусково-безперервною) функцією $x_a(t)$, причому сама функція і аргумент t можуть приймати будь-які значення на деяких інтервалах

$$x'_a(t) \leq x \leq x''_a(t), \quad t' \leq t \leq t'' . \quad (3.1)$$

Аналоговий сигнал $f(t)$ називається періодичним, якщо існує дійсне число T , таке, що $f(t+T) = f(t)$ для будь-яких t , при цьому T називається *періодом* сигналу.

Дискретний сигнал даних – відрізняється від аналогових тим, що його значення відомі лише в дискретні моменти часу. Дискретні сигнали описуються гратчастими функціями – послідовностями – $x_o(nT)$, де $T = const$ – інтервал (період) дискретизації, $n = 0, 1, 2, \dots$.

Сама функція $x_o(nT)$ може в дискретні моменти приймати довільні значення на деякому інтервалі. Ці значення функції називаються вибірками або відліками функції. Іншим позначенням гратчастої функції $x(nT)$ є $x(n)$ або xn . Послідовність $x(n)$ може бути кінцевою або нескінченною, залежно від інтервалу визначення функції.

Квантований сигнал даних – відрізняється від аналогових або дискретних розбивкою діапазону значень неперервної або дискретної величини на кінцеве число інтервалів. Найпростішим видом квантування є поділ цілочисельного значення на натуральне число, зване коефіцієнтом квантування.

Цифровий сигнал даних – сигнал, у якого кожен з представлених параметрів описується функцією дискретного часу і кінцевим безліччю можливих значень. Цифрові сигнали описуються квантовими гратчастими функціями $x_u(nT)$. При отриманні цифрового сигналу з аналогового відбуваються дискретизація і квантування.

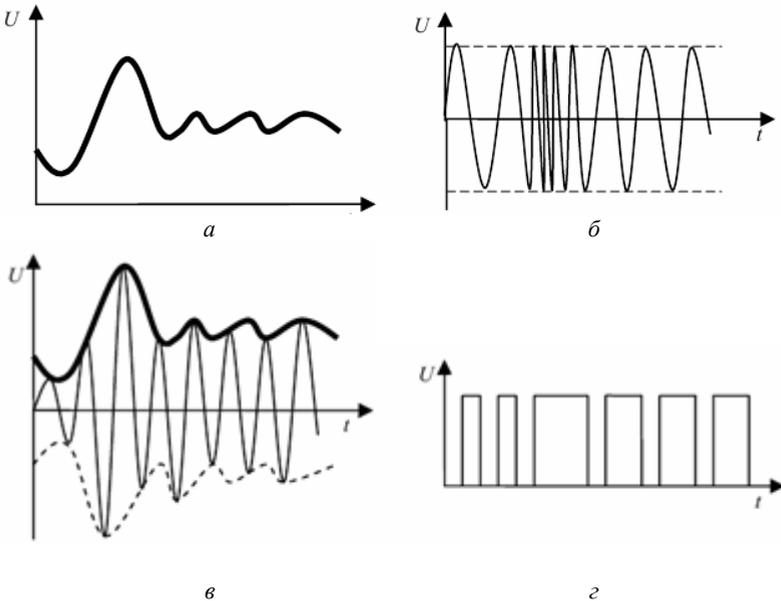
Двійковий цифровий сигнал – сигнал даних, в якому використовується спосіб представлення інформації про величину параметра у вигляді многоразрядної комбінації двох величин – нуля і одиниці – і званий зазвичай двійковим кодом.

Модуляція – процес зміни одного або декількох параметрів

високочастотного несучого коливання за законом низькочастотного інформаційного сигналу (повідомлення).

У наш час виконавчі цифрові сигнали в зв'язку з простотою кодування та обробки використовуються в цифрових електронних пристроях. Для передачі цифрового сигналу по каналах зв'язку (наприклад, електричним або радіоканалах) використовуються різні види модуляції.

Розглянемо приклади представляючих параметрів сигналів даних на прикладі різних видів модуляції (див. рис. 3.2). Крім розглянутих видів модуляції, також існують фазова (ФМ), час-імпульсна (ЧІМ), широтно-імпульсна (ШІМ) та інші модуляції.



a – вихідний аналоговий сигнал; *б* – частотна модуляція (FM, може мінятися і фаза);
в – амплітудна модуляція (AM); *г* – широтно-імпульсна модуляція (ШІМ/PWM)

Рисунок 3.2 – Різні види модуляції сигналів

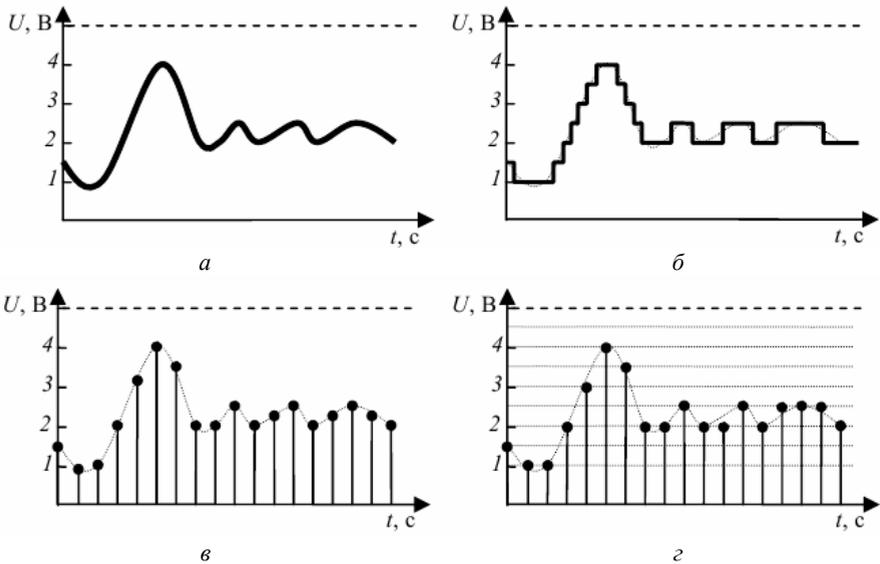
Для розуміння сутності цифрового сигналу розглянемо наступну класифікацію. У цифровій техніці виділяють сигнали (рис. 3.3):

- довільні за величиною і безперервні в часі (аналогові);
- довільні за величиною і дискретні за часом (дискретні);

- квантовані за величиною і безперервні за часом (квантовані);
- квантовані за величиною і дискретні за часом (цифрові).

Аналогові сигнали часто використовують для подання фізичних величин, що безперервно змінюються. Наприклад, аналоговий електричний сигнал, що знімається з терморпарі, несе інформацію про зміну температури, сигнал з мікрофона – про швидкі зміни тиску в звуковій хвилі і т. п. В області цифрової та імпульсної техніки термінологія не є сталою. Так, дискретний сигнал – це сигнал, значення представляючого параметра якого відомі тільки в певні моменти часу, а також це сигнал, на відміну від аналогового, представляючий параметр якого може приймати тільки фіксовані значення (зазвичай два: логічний «нуль» або логічну «одиницю»).

У другому випадку було б правильно називати сигнал квантованим, але промислові модулі називаються «модулями введення дискретних сигналів». Крім використання для передачі інформації різних фізичних величин, сигнали розрізняються також параметрами.



a – вихідний аналоговий сигнал; *б* – квантований за рівнем сигнал;
в – дискретний сигнал; *г* – цифровий сигнал

Рисунок 3.3 – Типи перетворення сигналів

3.2 Принципи побудови інформаційних мереж

Пристрої, які об'єднані в єдину мережі прийнято називати вузлами.

1. *Фізичний рівень* мережі має забезпечити достовірну доставку бітів від передавача одного вузла в мережі до приймача іншого. Перетворенням логічних бітів у фізичний сигнал забезпечує передавач (*трансмiттер*) а перетворенням фізичного сигналу в біт – приймач (*ресивер*). Враховуючи що кожний пристрій в мережі як правило повинен і передавати і приймати дані, то він повинен мати як передавач так приймач. Практично завжди ці функціональні частини поєднують в єдиній мікросхемі, яку прийнято називати трансивером.

Логічні сигнали, що поступають всередині пристрою на його трансивер прийнято позначати як TD (*Transmit Data*), а ті, які на виході ресивера – RD (*Receive Data*). Це сигнали всередині пристрою, які можуть приймати значення логічного «0» або «1». Трансивери і ресивери зображаються трикутниками, електрично вони являються підсилювачами сигналів. Трансивери можуть позначатися однією з літерою G (*Generator*), D (*Driver*) або T (*Transmitter*). Ресивери позначаються літерою R (*Receiver*).

Фізично трансмітери та ресивери вузлів можуть з'єднуватися лініями зв'язку (ЛЗ) різним чином. На рис. 3.4 показані три типи зв'язку.

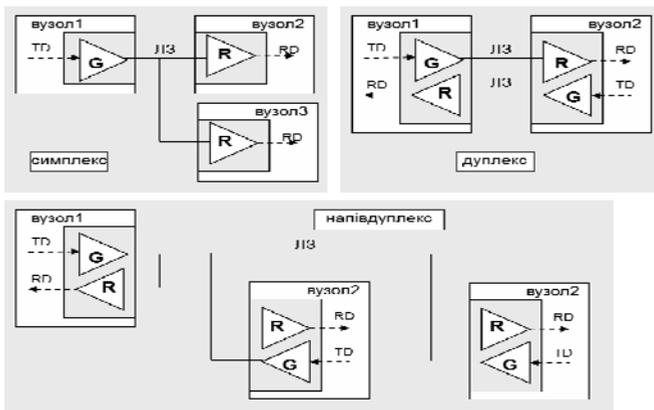


Рисунок 3.4 – Типи зв'язку

– симплекс, при якому один вузол передає дані, а інші можуть тільки приймати;

– дуплекс, при якому вузли можуть передавати та приймати дані одночасно;

– напівдуплекс, при якому дані вузол може приймати, або передавати але не одночасно з іншими, оскільки використовується одна і та сама лінія зв'язку.

2. *Канальний рівень* передачі даних (Data Link Layer) забезпечує можливість та надійність передачі даних на фізичному рівні. Всі дані, які передаються з верхнього (наприклад мережного) рівня, передаються у вигляді кадрів – бітового набору. За допомогою спеціальних алгоритмів проводиться контроль передавання на фізичному рівні з подальшою реакцією на помилки. Окрім підтримки каналу зв'язку та контролю за помилками, у мережах з загальним доступом фізичного каналу, на цьому рівні регламентується алгоритми та процедури доступу.

Канальний рівень повинен забезпечити достовірну доставку даних від одного вузла до іншого в одній і тій самій мережі. Функції, які забезпечує протокол канального рівня:

- доставка корисних даних за місцем призначення: кожен вузол може мати спеціальну адресу, побачивши яку вузол зможе визначити, що дані призначені йому;
- визначення порядку доступу до середовища передачі, якщо воно використовується спільно декількома передавачами (напівдуплексний зв'язок); в промислових мережах великої популярності набув метод Master–Slave, при якому один вузол визначає порядок доступу до шини іншими вузлами;
- контроль достовірності доставки даних: біти можуть бути доставлені або розпізнані фізичним рівнем невірно, тому необхідно забезпечити контроль цілісності;
- формування та інтерпретація кадру: до корисних даних, що треба передавати додаються додаткові бітові поля, які забезпечують виконання всіх вищезазначених функцій.

3. *Задача мережного рівня* (Network Layer) – визначення маршруту пересилки пакетів від джерела до приймача.

Мережа може являти собою об'єднання підмереж, між якими

виникає необхідність в обміні даними. Оскільки підмережі можуть бути різнорідними по природі, задачею мережного рівня є забезпечення прозорості між ними. Таким чином, мережний рівень повинен забезпечити достовірну доставку даних від одного вузла до іншого в різних мережах, об'єднаних в одну інтермережу.

4. Функція *транспортного рівня* (Transport Layer) – прийняти дані від прикладного рівня, розбити їх на частини, передати їх мережному рівню і гарантувати прибуття їх в правильному порядку до місця призначення. Цей рівень забезпечує передачу даних безпосередньо між прикладними програмами. Тобто транспортний рівень повинен забезпечити достовірну доставку даних від однієї програми (прикладного Процесу) до іншої, які функціонують на одному вузлі або на різних вузлах в мережі.

5. *Прикладний рівень* (Application Layer) містить набір протоколів для доступу до даних *прикладного процесу*, має повинен забезпечити одній прикладній програмі доступ до об'єктів іншої прикладної програми через систему *домовленостей*.

Найбільш популярним типом обміну між програмами (прикладними процесами) є обмін по моделі клієнт – сервер. Для цього одна програма – клієнт може формувати запит до іншої програми – сервера, в якому попросити виконати якусь операцію, наприклад прочитати дані.

Пакети, які отримує каналний рівень, вставляються у кадри (frame). Кадри мають заголовок, у якому міститься інформація про адресу вузла отримувача та/або відправника в локальній мережі та/або допоміжні службові коди. Отримувач може бути у свою чергу тільки допоміжним пристроєм для забезпечення передачі даних в іншу підмережу, тому може і не бути кінцевим вузлом призначення. Але для каналного рівня це не важливо, тому що функції маршрутизації належать мережному рівню. Окрім заголовка, у кінці до пакету може добавлятися кінцевик (terminator) з службовою інформацією, наприклад даними контролю за правильною передачею. Безпосередня передача кадру по бітам забезпечується обладнанням та ПЗ фізичного рівня.

Для реалізації мережі не завжди потрібні функції усіх рівнів. Більшість промислових мереж не потребує маршрутизації. Оскільки в

засобах автоматизації (як правило) виконується тільки один прикладний процес, послуги транспортного рівня також не потребуються. *Більшість промислових мереж обходяться функціями 3–х рівнів: фізичного (для передачі/прийому бітів), каналного (для забезпечення гарантованої доставки за місцем призначення) і прикладного (для спілкування між програмами).*

При *синхронній* передачі приймач і передавач постійно синхронізуються під час передачі. Синхронізація проходить через певні проміжки часу або бітів за допомогою синхронізуючої посилки, яка представляє собою імпульсний сигнал (набір імпульсів) певної частоти. Синхронізуючий сигнал як правило передається разом з цифровими даними, або перед ними.

При *асинхронній* передачі, обмін даними може проходити і без визначеного джерела часу. Передача починається в будь який момент часу з сигналу початку передачі – стартового біта. В цей час приймач синхронізується з передавачем. Обмін проходить короткими наборами бітів (символами), що дозволяє не робити додаткову синхронізацію під час передачі.

Асинхронну передачу ще називають *символьною*. При такому способі, дані які передаються діляться на *символи* по декілька біт (як правило по 8 або 7) і обрамляються службовими бітами. Приймач перевіряє суму прийнятих бітів даних та паритету, якщо не вона не збігається з типом наперед визначеного біта паритету, сигналізує про це верхнім рівням, які вирішують можливість повторного запиту. За бітом паритету, йдуть *стопові біти*, призначення яких витримати мінімальну паузу між символами. За стоповими бітами може відразу йти наступний символ, тобто стартовий біт наступного символу.

Символьну передачу реалізують спеціальною мікросхемою – універсального асинхронного приймача–передавача UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter), яка застосовується в багатьох пристроях. UART являється частиною інтерфейсу між шиною мікропроцесора і трансивером каналу зв'язку. Тобто вихід UART безпосередньо не підключається до каналу зв'язку, а видає біти на рівні ТТЛ на вхід трансивера. UART призначений для забезпечення послідовного обміну даними. Інтерфейс UART являє собою повнодуплексний інтерфейс, тобто приймач і передавач можуть працювати одночасно, незалежно друг від друга.

До складу UART входять:

- тактовий генератор зв'язку (бодрейт-генератор);
- керуючі регістри;
- статусні регістри;
- буфери;
- регістри зсуву приймача й передавача.

Бодрейт-генератор задає тактову частоту прийомопередавача для даної швидкості зв'язку. Керуючі регістри задають режим роботи послідовного порту і його переривань. У статусному регістрі встановлюються прапори за різними подіями. У буфер приймача потрапляє прийнятий символ, у буфер передавача поміщають переданий. Регістр зсуву передавача видає біти переданого символу (кадру). Регістр зсуву приймача накопичує прийняті з порту біти.

3.3 Стандартні послідовні інтерфейси

Багато промислових мереж в якості фізичного рівня використовують вже реалізовані стандартні промислові інтерфейси. Це з одного боку спрощує реалізацію мережі, так як не приходится виробляти додаткове обладнання, так і спрощує апаратну сумісність між пристроями. Присутній на комп'ютері інтерфейс RS-232 (COM-порт) робить його апаратно сумісним з будь-якою мережею, що використовує цей інтерфейс. Можна також використовувати адаптер-перетворювач USB- RS232 для підключення мереж з зовсім різним набором протоколів різних рівнів моделі OSI, однак які базуються на цьому інтерфейсі. Те саме стосується і інших стандартних інтерфейсів, які розглянуті в наступних пунктах.

3.3.1 Інтерфейс RS-232

Інтерфейс RS-232C був призначений для підключення ПК або іншого пристрою (DTE — Data Terminal Equipment) до модему (DCE — Data Communication Equipment). Найпростіший приклад системи, коли в ролі DTE виступає комп'ютер, в якому RS-232 реалізований в якості COM-портів (рис. 3.5), а в ролі DCE — модем (рис. 3.6, а).

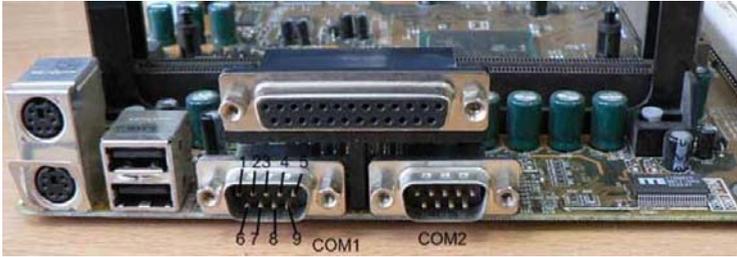


Рисунок 3.5 – Реалізація RS-232 у вигляді COM-порта

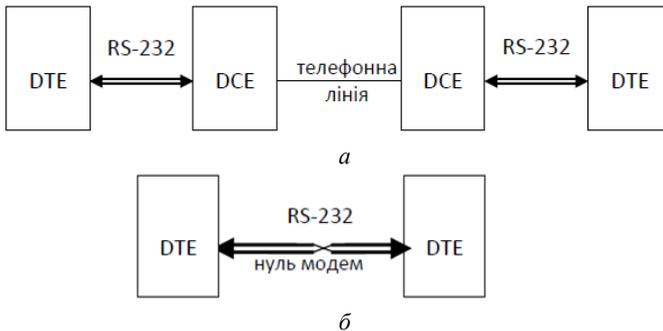


Рисунок 3.6 – З'єднання за допомогою RS-232: а – схема з'єднання DTE з використанням DCE; б – схема з'єднання двох DTE без DCE (нуль-модемний зв'язок)

Спосіб з'єднання з використанням RS-232 двох DTE без модема (рис. 3.5, б) – *нуль-модемне з'єднання* (Zero-modem або Z-mode Стандарт RS-232C) описує управляючі сигнали інтерфейсу, обмін даними, електричний інтерфейс і типи роз'ємів (рис. 3.7).

Стандарт RS-232C описує несиметричні (незбалансовані) передавачі та приймачі, тобто сигнал передається відносно загального проводу – схемної землі за допомогою напруги. Для передачі використовується сигнальна лінія TD – Transmit Data (інколи позначається TxD), а для прийому – RD – Receive Data (інколи позначається RxD), загальний провід SG (Signal Ground).

Логічний «1» на вході відповідає діапазону напруги від -12 В до -3 В ; логічному «0» – від $+3\text{ В}$ до $+12\text{ В}$. Діапазон від -3 В до $+3\text{ В}$ – зона нечутливості.

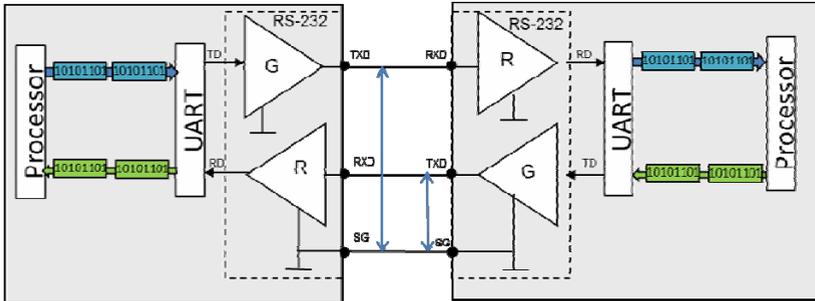


Рисунок 3.7 – Схематичне зображення нуля-модемного з'єднання

У системах автоматизації використовується нуля-модемне з'єднання, для якого використовується нуля-модемні кабелі. Інтерфейс RS-232 використовується як правило в асинхронному режимі та дозволяє об'єднати між собою тільки два пристрої з одним передавачем і одним приймачем на максимальній відстані 20 м. Інші недоліки: чутливість до електромагнітного впливу, відсутність гальванічної розв'язки пристроїв, мала довжина кабелю з'єднання і мала бітова швидкість (до 115200 біт/с на відстані до 20 м).

3.3.2 Інтерфейс RS-422

Стандарт RS-422A описує (рекомендує) тільки електричні характеристики інтерфейсу, тобто вимоги до передавачів (драйверів – *drivers*) та приймачів і не визначає параметри сигналів, типи роз'ємів, тип та довжину кабелів та ін. Інтерфейс базується на збалансованих (*симетричних*) лініях передавачів та приймачів, тобто напруга передається по трьом проводам – два сигнальних та сигнальна земля.

На рис. 4.8 показаний принцип функціонування збалансованого передавача (а) та приймача (б) лінії. Збалансований передавач лінії при передачі на TD логічної «1», формує напругу між сигнальним проводом «А» і землею «С» – U_A та між проводами «В» і «C2» – U_B (на рис. 3.8 показаний знак інверсії). При передачі логічного «0» передавач інвертує знак сигналу. Приймач вимірює напругу між «А» і «В» і якщо різниця буде більше ніж +200 мВ то приймач буде розпізнавати його як певний логічний стан лінії. Якщо різниця змінить свій знак і стане менше ніж –200 мВ, приймач змінить логічний стан на протилежний.

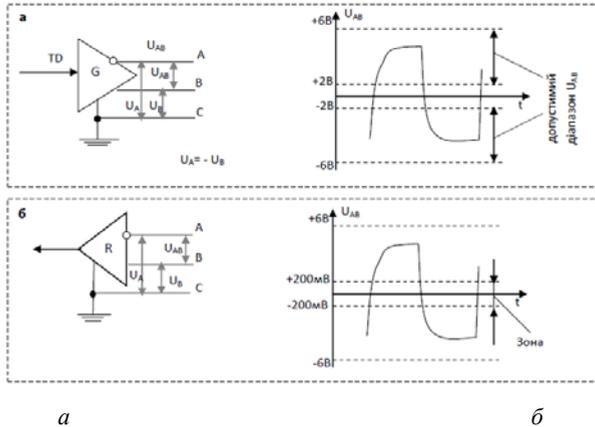


Рисунок 3.8 – Функціональна схема передавача (а) та приймача (б) в RS-422A

Якщо на проводі «А» передавача в інтерфейсі RS-422A по відношенню до проводу «В» від'ємна напруга, лінія перебуває в стані логічної «1», якщо додатна – логічного «0». Позначення проводу «А» може бути еквівалентне «—» а позначення «В» – «+». При підключенні треба звертати увагу на прийняту в пристрої полярність. Диференційний спосіб передачі зменшує вплив синфазної завади, оскільки вимірюється не сигнал між сигнальним проводом і землею, а різниця потенціалів між двома сигнальними лініями.

Стандарт також описує електричні вимоги до передавачів та приймачів. Зокрема, один передавач повинен бути розрахований на 10 приймачів. Інтерфейс працює в дуплексному режимі. Максимальна бітова швидкість становить біля 10 Мбіт/с, максимальна відстань (при невеликих швидкостях) – біля 1200 м. При передачі на великі відстані рекомендують використовувати виту пару, бажано екрановану. Інтерфейс RS-422A має недолік – на ньому не можна побудувати мережі з шинною топологією, тому він не знайшов такого широкого застосування як RS-485.

3.3.3 Інтерфейс RS-485

Стандарт RS-485 (офіційна назва EIA/TIA-485) електрично сумісний з RS-422A: використовується збалансована система зв'язку з тими ж рівнями сигналу, за винятком синфазної напруги, яку витримує інтерфейс – від +12 В до -7 В.

На відміну від RS-422A, інтерфейс RS-485 розрахований на

багатоточкове з'єднання, тобто на побудову *шнуркових топологій*. Один трансмітер розрахований на 32 вузли. На трансиверах (крім інформаційних сигналів RD та TD) є сигнал управління передачі/прийому. При закінченні передачі, пристрій може відключити свій передавач, і надати можливість іншим трансмітерам підключатися для передачі. При відсутності бітів для передачі трансмітер переходить у високоімпедансний стан.

3.3.4 Порівняльна характеристика послідовних інтерфейсів

Характеристики інтерфейсів для порівняння зведені в Табл. 3.1.

При використанні RS-485 кількість приймачів вказана рівною 32, це при опорі приймачів 12 кОм.

В інтерфейсі «струмова петля» 20 мА кількість передавачів/приймачів залежить від конкретної реалізації. Для всіх інтерфейсів (окрім RS-232C) максимальна бітова швидкість залежить від багатьох факторів: довжина лінії зв'язку, тип кабелю, рівень завод, способи узгодження ліній і т. ін.

Вибір інтерфейсу для реалізації мережі залежить від багатьох факторів. В більшості випадків пристрій може підтримувати тільки один визначений інтерфейс. Для зв'язку з іншими пристроями дуже ймовірно використання адаптерів-перетворювачів інтерфейсів.

Таблиця 3.1 – Порівняльні характеристики інтерфейсів

Назва, стандарт	EIA RS-232C	EIA RS-422A	EIA/TIA-485, RS-485	20 мА «струмова петля», CL, ИРПС
Тип сигналу	Напруга, асиметричний	Напруга, диференційний симетричний	Напруга, диференційний симетричний	Струм
Режим з'єднання	дуплекс	дуплекс	напівдуплекс, дуплекс	дуплекс
Максимальна кількість передавачів /приймачів	1/1	1/10	32/32 (при опорі приймачів 12 кОм)	1/1, у багатоточкових схемах залежно від реалізації

Максимальна відстань (приблизно)	20 м	1200 м	1200 м	декілька км
Максимальна бітова швидкість (приблизно)	115200 біт/с	10 Мбіт/с	10 Мбіт/с	1 Мбіт/с

При побудові шинних топологій як правило користуються RS-485. Інколи використовують також багатоточкове з'єднання по інтерфейсу «струмова петля». Якщо необхідне з'єднання точка–точка – вибирають дуплексний зв'язок.

Для вирішення задач несумісності інтерфейсів існують *адаптери–перетворювачі (конвертери) інтерфейсів*. Адаптер можна представити у вигляді пристрою, що має два різні інтерфейси. Задача даного пристрою електрично перетворити вхідні сигнали RD одного інтерфейсу у вихідні TD іншого.

3.5 Сучасні інтерфейси для розподілених систем

Поряд з розглянутими інтерфейсами існує ряд інших. Один з найбільш популярних інтерфейсів являється *USB*, який практично витіснив COM–порт (RS-232) та паралельний порт з персональних комп'ютерів.

Аналіз мікроконтролерів фірм Silicon Laboratories Corp., Atmel Corp., MAXIM-Dallas Corp. показав, що сучасні мікроконтролери оснащені одним і 25% – двома послідовними портами UART. Приблизно 85% мікроконтролерів мають в своєму складі послідовний периферійний інтерфейс SPI (Serial Peripheral Interface). Приблизно 40% оснащуються інтерфейсом системної шини SMBus, сумісним з I2C. Менше 20% мікроконтролерів оснащуються всіма іншими типами інтерфейсів, такими як: універсальна послідовна шина – USB (Universal Serial Bus); інтерфейс мережі мікроконтролерів – CAN (Controller Area Network), однопровідний двонаправлений інтерфейс MICROLAN.

В даний час інтерфейс UART втрачає свої лідируючі позиції. Для зв'язку з персональним комп'ютером все частіше використовується універсальна послідовна шина – USB, оскільки має вищі швидкості передачі і забезпечує цілий ряд інших додаткових

функціональних можливостей. Для організації мікроконтролерних мереж використовуються інтерфейси: CAN, SPI, SMBus і MICROLAN. Для внутрісистемних (внутрішньооплатних) зв'язків в сучасних контроллерах найчастіше використовуються інтерфейси SPI і SMBus.

Розрізняють кілька рівнів моделей розподілених систем. На першому рівні моделі застосовуються інтерфейси:

- повнодуплексний послідовний інтерфейс RS-232, RS-485;
- послідовний інтерфейс USB (Universal Serial Bus);
- універсальний асинхронний приймач-передавач UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter);
- синхронний послідовний інтерфейс SPI (Serial Peripheral Interface);
- інтерфейс мережі мікроконтролерів інтерфейс системної керуючої шини SMBus, сумісним з I2C;
- CAN (Controller Area Network);
- однопровідний двоспрямований інтерфейс MicroLAN;
- двопровідний інтерфейс TWI (Two wire Interface);
- однопровідний інтерфейс OWI (One wire Interface);
- безпровідний інтерфейс ZigBee.

3.6 Розподілена система на базі CAN інтерфейсу

Мережевий інтерфейс CAN (Controller Area Network) був розроблений фірмами BOSCH і INTEL для створення бортових мультипроцесорних систем реального часу. У міжнародній організації по стандартизації зареєстровано два стандарти: ISO 11898 (для високошвидкісних застосувань) і ISO 11519-2 (для низькошвидкісних застосувань).

CAN інтерфейс являє собою послідовну магістраль та призначений для організації високонадійних недорогих каналів зв'язку в розподілених системах управління. Інтерфейс широко застосовується в промисловості, енергетиці і на транспорті. Дозволяє будувати як дешеві мультиплексні канали, так і високошвидкісні, забезпечує ув'язку в мережу інтелектуальних пристроїв input/output, датчиків і виконавчих пристроїв. Характеризується протоколом, що забезпечує можливість знаходження на магістралі декількох ведучих пристроїв, забезпечує передачу даних в реальному масштабі часу і корекцію помилок, високою завадостійкістю.

У відповідності до моделі ISO/OSI CAN підрозділяється на:

- рівень передачі даних (Data Link Layer);
- фізичний рівень (Physical Layer).

Рівень передачі даних інакше *канальний* рівень, призначений для забезпечення взаємодії мереж на фізичному рівні й контролю за помилками, які можуть виникнути. Отримані з фізичного рівня дані він упаковує в кадри, перевіряє на цілісність, якщо потрібно, виправляє помилки (формує повторний запит пошкодженого кадру) і відправляє на мережний рівень. Канальний рівень може взаємодіяти з одним або декількома фізичними рівнями, контролюючи й управляючи цією взаємодією.

Специфікація IEEE 802 розділяє цей рівень на два підрівня:

- логічного керування лінією (LLC logical link control);
- керування доступом до середовища передачі (MAC media access control).

MAC підрівень являє собою ядро протоколу CAN. Він передає повідомлення, отримані від LLC підрівня, і приймає повідомлення, які будуть передані до LLC підрівня. MAC підрівень відповідальний за арбітраж, підтвердження, виявлення помилок і їх сигналізацію. LLC підрівень має відношення до фільтрації повідомлень, повідомленню про перевантаження та управлінню відновленням.

Фізичний рівень визначає, як сигнали фактично передаються і, отже, має справу з описом бітової синхронізації і кодування бітів. У середині цієї специфікації характеристики передавача / приймача фізичного рівня не визначені, щоб дозволити середовищі передачі та реалізації рівня сигналу бути оптимізованими для конкретних систем.

Стандарт CAN від Bosch може бути яким завгодно, наприклад, радіоканалом або оптоволоконном. Але на практиці під CAN-мережею зазвичай мається на увазі мережу топології «шина» з фізичним рівнем у вигляді диференціальної пари (стандарт ISO 11898). Передача ведеться кадрами, які приймаються усіма вузлами мережі.

Характеристики CAN інтерфейсу зведено в Табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Характеристики CAN інтерфейсу

Стандарт	ISO 11898
Швидкість передачі	1 Мбіт/с (максимум)
Відстань передачі	1000 м (максимум)

Характер сигналу, лінія передачі	диференціальна напруга, скручена пара
Кількість драйверів	64
Кількість приймачів	64
Схема з'єднання	напівдуплекс, багатоточкова

3.7 Мережі Modbus

Протокол Modbus спочатку був розроблений для зв'язування контролерів Modicon, але на сьогоднішній день є одним з найбільш популярних протоколів. Основна причина такої популярності – це простота в реалізації. На сьогоднішній день Modbus підтримує і розвиває організація *Modbus.org*, вона забезпечує відкритість даного протоколу та розробляє готові компоненти для спрощення реалізації, згідно її стандартів – Modbus являється протоколом прикладного рівня для зв'язку типу Клієнт–Сервер між прикладними Процесами пристроїв, які під'єднані до Modbus–мереж. В контексті OSI–моделі, ці мережі мають архітектуру, наведену на рис. 3.9.

Modbus на сьогоднішній день представлений 4–ма мережами: Modbus RTU та ASCII (Modbus over Serial Line), Modbus Plus і Modbus TCP/IP. Ці мережі використовуються для різних цілей, зокрема:

- обмін даними процесу SCADA/HMI з ПЛК, чи іншими інтелектуальними засобами (електроприводами, лічильниками, засобами розподіленого вводу/виводу, тощо);
- обмін даними процесу між ПЛК;
- обмін даними процесу ПЛК з іншими інтелектуальними засобами;
- обмін параметричними даними конфігураторів з ПЛК а також іншими інтелектуальними засобами.

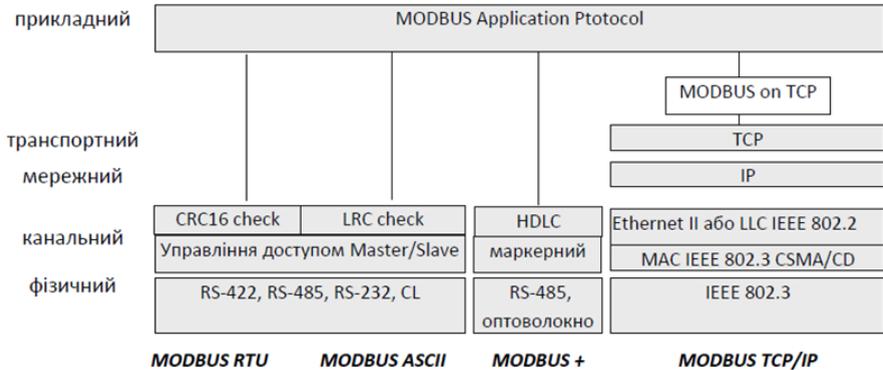


Рисунок 3.9 – Архітектура мережі MODBUS

Основна ідея функціонування обміну даними по мережах Modbus в тому, що усі вузли мережі, вірніше їх прикладні процеси (програми) діляться на дві категорії: ті, які мають дані і ті, яким ці дані потрібно прочитати або змінити. Ті процеси які мають дані, звуться Modbus Клієнтами, а ті, які ці дані хочуть прочитати чи записати – Modbus Серверами.

Не дивлячись на цілком логічну архітектуру пам'яті ПЛК Modicon, на практиці нерідко необхідно обмінюватися іншими даними. По перше протокол Modbus використовується зараз для зв'язку не тільки з ПЛК Modicon. По друге, в якості Modbus Серверів, як ми вже зазначали вище, може бути взагалі не контролер, а наприклад перетворювач частоти. Тому для обміну внутрішніми змінними, параметрами регуляторів, тощо потрібні інші типи комірок пам'яті. Тому виробники пристроїв самі вирішують як на самому ділі організована пам'ять пристрою і як вона зв'язується з комірками згідно Modbus.

4 ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ ЯК ЧАСТИНА АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ВИРОБНИЦТВОМ

4.1 Структура АСУТП

Сучасні системи автоматизації є інтегрованими, оскільки включають у себе взаємопов'язані різні за функціями та рівнями управління підсистеми (рис. 4.1). Функції перших трьох рівнів реалізуються системами АСУТП (Автоматизовані системи управління технологічними процесами) і забезпечують оптимальне протікання технологічного процесу.



Рисунок 4.1 – Приклад архітектури сучасної інтегрованої автоматизованої системи управління підприємством (IACS)

На сучасних підприємствах на рівні АСУВ впроваджують системи *MES* (Manufacturing Execution System), де збираються і обробляються дані всього виробництва, проводиться їх аналітичний аналіз з використанням статистичних методів, проводиться аналіз якості продуктів та напівпродуктів відповідно до лабораторних

показників, готуються виробничі звіти, виконується оперативне планування виробництва, відповідно до чого формуються завдання для технологічних процесів. Грамотна побудова таких систем дає колосальні економічні ефекти.

Сучасні АСУТП як правило реалізуються одним з двох підходів:

- з використанням систем DCS (Distributed Control Systems), в яких функції управління розподілені між усіма технічними засобами;
- з використанням систем на базі ПЛК (PLC) та SCADA/НМІ, де функції автоматичного управління реалізуються в промислових контролерах, а збір даних операторське управління, архівування та тривоги в операторських панелях або АРМах оператора.

На вітчизняних підприємствах більшість АСУТП впроваджені на базі систем SCADA/НМІ+ПЛК, тому надалі будемо розглядати саме їх.

Структура таких систем (рис. 4.1), вона включає три рівні:

- 0-й – рівень взаємодії з технологічними процесом, або рівень датчиків та виконавчих механізмів;
- 1-й – рівень контролерів, де на основі вимірювальної інформації з датчиків розраховуються керуючі дії;
- 2-й – рівень людино-машинного інтерфейсу, або рівень SCADA/НМІ.

Зв'язок засобів SCADA/НМІ з іншими підсистемами здійснюється з використанням промислових мереж, а з іншими програмними засобами з використанням технологій міжпрограмної інтеграції, зокрема OPC.

4.2 Контролери

Пристрої з функціями управління будемо називати *контролерами*. Саме в них реалізуються алгоритми управління. До цих пристроїв можна віднести (рис. 4.2):

- *ПЛК* – програмовані логічні контролери (*PLC* – Programming Logical Controller);
- *ІВМ РС-сумісні (PC-base)* контролери;
- *ОПЛК* – ПЛК з вбудованою операторською панеллю ОП (*OPLC*);

– контролери–регулятори з мережним інтерфейсом.



Рисунок 4.2 – Реалізація системи управління з використанням центрального мікропроцесорного управляючого пристрою

До ПЛК також будемо відносити програмовані реле. До IBM PC – сумісних контролерів будемо відносити промислові IBM PC – сумісні ПК, які використовуються для задач автоматичного управління. ПЛК з вбудованими функціями ОП та регулятори з наявним мережним інтерфейсом також будемо відносити до даних засобів.

Особливістю апаратно–програмних засобів «контролерного» рівня управління є пред'явлення жорстких вимог до часу їх реакції на зміну даних процесу які поступають від датчиків та видачі управляючих дій на виконавчі механізми. Тобто вони повинні функціонувати в реальному для процесу часі. У системах управління контролери повинні обмінюватись даними процесу з периферійними пристроями

вводу/виводу, іншими контролерами, програматорами, засобами людино-машинного інтерфейсу (рис. 4.3), а в деяких випадках і з ПТЗ рівня АСУТП (рис. 4.4).

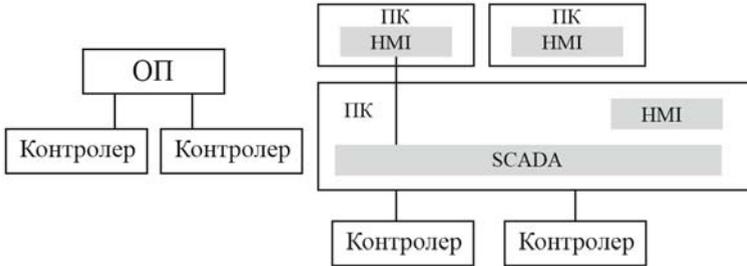


Рисунок 4.3 – Реалізація засобів людино-машинного інтерфейсу

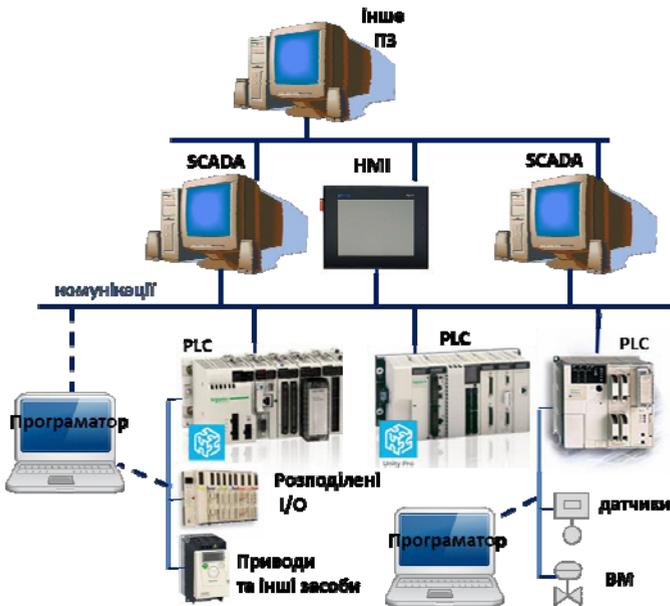


Рисунок 4.4 – Типи пристроїв АСУТП

4.3 Периферійні засоби

До цих засобів можна віднести різного роду інтелектуальні (intelligent) датчики та виконавчі механізми, які мають цифровий інтерфейс зв'язку, або засоби розподіленого/віддаленого вводу/виводу (*Distributed I/O, Remote I/O*). Останні забезпечують перетворення сигналів пристроїв зв'язку з об'єктом (ПЗО) в цифровий вигляд і в зворотному напрямку, обмінюються даними процесу з процесорним вузлом (контролером). У зв'язку з подорожчанням кабельної продукції, здешевленням мікропроцесорної техніки, гнучкістю та зручністю експлуатації, живучості кінцевої системи, надійністю та точністю передачі даних – пристрої розподіленого вводу/виводу набувають великої популярності.

На рис. 4.5 наведені різні методи підключення периферійних пристроїв до контролерів.

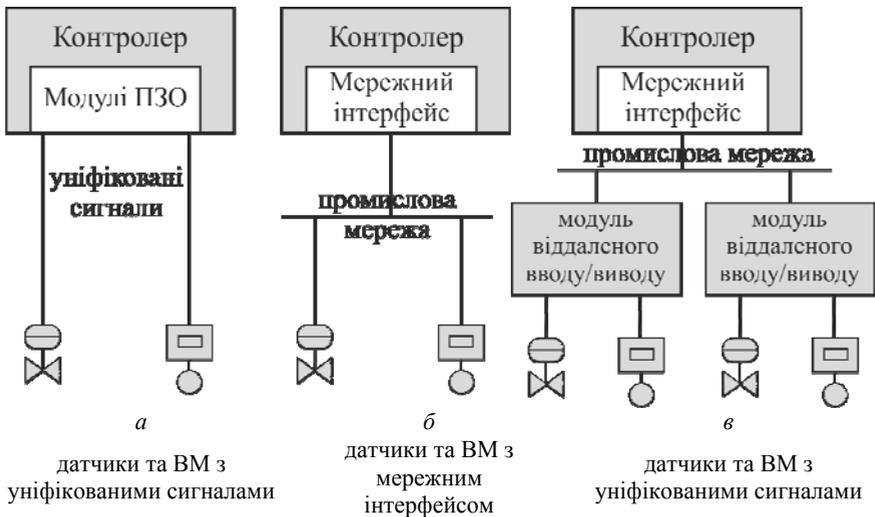


Рисунок 4.5 – Різні методи підключення периферійних пристроїв до ПЛК

На сьогоднішній день існує велика гама пристроїв віддаленого вводу/виводу. Порівняно з технологією передачі уніфікованого сигналу (0–10 В, 4–20 мА) цифровий зв'язок дає наступні переваги:

- менш чутливий до зовнішніх перешкод;
- дає можливість розширеної діагностики пристрою;

– дає можливість змінювати конфігурацію у реальному часі без зупинки роботи управляючої програми;

– дає можливість будувати системи з мережею без виділеного ведучого вузла.

Конфігурування польових периферійних пристроїв може проводитись за допомогою спеціальних засобів – конфігураторів, або безпосередньо самим контролером.

Окремо необхідно виділити засоби управління приводами (POWER DRIVE SYSTEMS – *PDS*). До них відносяться частотні перетворювачі, сервоприводи та приводи з позиціонуванням. Ці засоби, крім своїх основних функцій – управління двигунами, нерідко включають також функції контролера, людино–машинного інтерфейсу та функції вводу/виводу. Все що стосується особливостей обміну даними для вище наведених типів периферійних засобів, може бути актуальними і для *PDS*.

З'єднання по цифровому зв'язку з *PDS* дає такі переваги:

- отримання всієї інформації про стан привода та двигуна;
- повне управління приводом та двигуном;
- віддалене та швидке конфігурування системи приводу;
- менша витрата інформаційного кабелю порівняно зі зв'язком за уніфікованим сигналом 4–20 мА/24 В;
- віддалена діагностика привода;
- можливість безпосереднього обміну між приводами.

У електроенергетичних системах також використовуються різні електророзмикачі, аналізатори фаз, інтелектуальні контактори, розмикачі, автоматичні вимикачі з дистанційним контролем та керуванням. Ці засоби в даній дисципліні не розглядаються, але інтеграція їх в єдину систему проводиться з використанням промислових мереж.

Програматори (конфігуратори):

В якості програматорів можуть використовуватись або комп'ютери з встановленим спеціальним програмним забезпеченням, або спеціалізовані пристрої. Програматори мають інтерфейс для підключення до мережі, який використовується тільки при необхідності перепрограмування або переконфігурування.

5 ПРОГРАМОВАНІ ЛОГІЧНІ КОНТРОЛЕРИ В ІВС

5.1 Програмований логічний контролер

Програмований логічний контролер (*ПЛК*), який у міжнародних документах позначається як *PLC* (Programmable Logic Controller) – це мікропроцесорний пристрій, призначений для керування виробничими процесами в умовах промислового середовища в реальному масштабі часу, що програмується з використанням спеціалізованих мов програмування. Окрім ПЛК в промисловості використовуються й інші типи контролерів, наприклад РС–сумісні. У даній дисципліні розглядаються тільки програмовані логічні контролери, тому надалі в тексті терміни «контролер» та «ПЛК» вважаються синонімами, якщо інше не буде вказане явно.

Можна виділити декілька основних рис ПЛК:

- Наявність спеціалізованих мов програмування, що максимально наближені до потреб управління в реальному часі, спрощують розробку, налагодження та модифікацію прикладних програм, можливість оперативної зміни алгоритму керування програмним шляхом. Ці мови стандартизовані в міжнародному стандарті МЕК 61131.

- Блочно–модульний принцип побудови ПЛК (крім моноблочних контролерів), що дає можливість за рахунок використання різноманітних модулів входу–виходу оптимізувати його компонування для керування конкретним об’єктом. Тобто конфігурація ПЛК (перелік модулів, які входять до складу контролера) залежить від конкретного об’єкта управління і алгоритму управління ним. Це не тільки зменшує витрати на впровадження систем автоматизації, а й підвищує ремонтоздатність ПЛК.

- Призначення ПЛК для використання в промислових умовах ставить досить жорсткі вимоги до надійності ПЛК та захищеності його від впливу різноманітних електромагнітних, вібраційних, кліматичних та інших перешкод. Це досягається за рахунок використання надійної елементної бази, стійких і надійних схемних рішень, спеціальних гальванічних розподільників, резервування, дублювання та інших заходів, а також високого технологічного рівня виробництва ПЛК.

- Наявність широко розвинутої системи самодіагностики та тестування, за допомогою яких можна швидко визначити несправність та усунути її. Це є дуже важливою функцією, оскільки ПЛК – досить складний технічний засіб і визначення причини відмови ПЛК потребує досить високої кваліфікації обслуговуючого персоналу. Тому в разі виникнення технічної несправності ПЛК система діагностики допомагає швидко визначити модуль, у якому виникла несправність. Цей модуль повинен бути швидко замінений технічним персоналом і працездатність системи управління буде поновлена. А несправний модуль повинен бути переданий на ремонт у сервісну службу виробника ПЛК.

- Для забезпечення роботи ПЛК у складі ІВС передбачена можливість організації обміну інформацією між окремими ПЛК та передачі технологічної інформації в системи організаційно-економічного управління за рахунок широкого використання промислових мереж, польових шин та комп'ютерних мереж.

На рис. 5.1 показано узагальнену структуру програмованого логічного контролера. Центральною частиною ПЛК є мікропроцесорний пристрій (МП, *CPU*), який керує операціями збору і оброблення даних від зовнішніх пристроїв і вироблення керуючих дій відповідно до розробленої програми користувача.

Пам'ять контролера використовується для декількох цілей. Частина призначена для зберігання та виконання операційної системи, якою керується мікропроцесорний модуль, а також для розміщення системної інформації про оперативний стан апаратного і програмного забезпечення. Саме ця інформація використовується для функціонування системи самодіагностики і тестування контролера. Інша частина ресурсів пам'яті використовується для зберігання розробленої програми користувача, яка й визначає виконання алгоритму керування об'єктом. Ємність пам'яті, яка використовується для зберігання програми користувача, визначає можливості даного ПЛК для створення прикладного програмного забезпечення.

У ПЛК використовуються всі види пам'яті – ОЗП (оперативна, тобто енергозалежна), ПЗП (постійна, енергонезалежна) і ППЗП (перепрограмована, енергонезалежна з можливістю запису). Вони можуть вбудовуватись у процесорний модуль, і/або входити до складу

контролера у вигляді окремих модулів або карт пам'яті. Останнє дає можливість так сформувати пам'ять контролера, щоб за характеристиками і ємністю вона найбільш відповідала прикладній задачі керування.

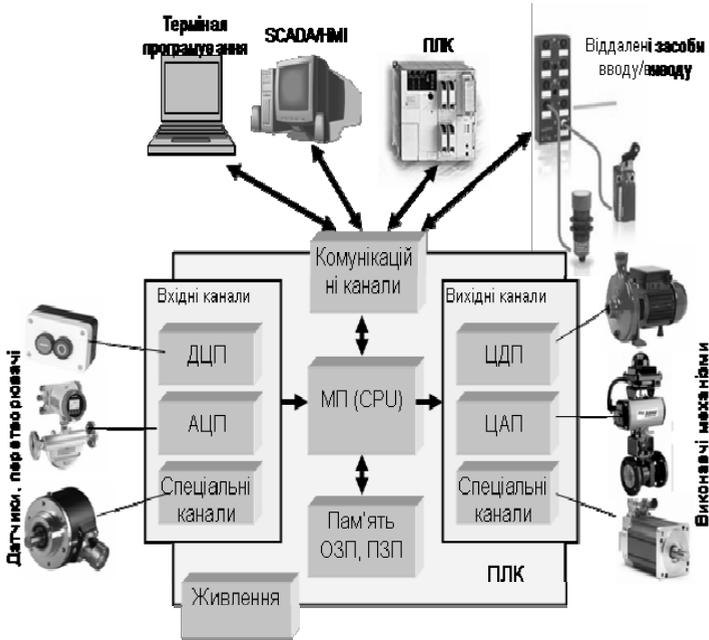


Рисунок 5.1 – Фізична структура промислового контролера

Функціональні і технічні можливості мікропроцесорного модуля і модулів пам'яті визначають одну з основних характеристик ПЛК – його швидкодію, яка, як правило, вимірюється в швидкості оброблення 1 кілобайта (або кілослова) програми користувача або/і як час одноразового обслуговування всіх входів–виходів контролера, тобто робочого циклу ПЛК.

Промисловий контролер по своїй суті являється спеціалізованим комп'ютером. Однак він має спеціалізоване призначення – управління об'єктом автоматизації в реальному часі, що відображається на його програмній та технічній структурі.

Для постійного слідкування за процесом та керування ним він повинен отримувати інформацію від різноманітних датчиків і, згідно

із заданим алгоритмом, виробляти сигнали для управління виконавчими механізмами. Для реалізації цього завдання до складу ПЛК входять різноманітні *канали* (часто в складі *модулів* або *блоків*), які забезпечують його зв'язок з датчиками і виконавчими механізмами. Враховуючи що ПЛК працює з цифровою формою сигналу, ряд каналів забезпечують можливість його роботи з іншими формами сигналів.

Основними завданнями каналів є:

- *вхідних*: перетворення фізичних сигналів від датчиків в цифрову форму, зрозумілу для мікропроцесорного модуля;
- *вихідних*: перетворення цифрової форми управляючих сигналів, вироблених мікропроцесорним модулем, на фізичні сигнали, що можуть керувати виконавчими механізмами;
- *комунікаційних*: забезпечити зв'язок з іншими мікропроцесорними (інтелектуальними) засобами;

Конструктивно контролери мають блоково–модульний принцип (крім моноблочних контролерів), тобто вони є проектно–компонованими виробами. Це значить, що типи модулів і їхня кількість залежать від особливості об'єкта автоматизації і алгоритму керування ним. До складу сучасних ПЛК може входити велика кількість різноманітних каналів, як правило, в складі модулів або блоків. Ці модулі умовно можна поділити на декілька основних груп, в залежності від того, які типи датчиків і виконавчих механізмів можуть бути підключені до нього. Нижче коротко перерахуємо їх властивості.

Вхідні канали (модулі) – це канали, які забезпечують контролер необхідною інформацією з об'єкту, тобто до них підключаються різноманітні датчики (напряму або через перетворювач), контакти кнопок, контакторів тощо. До вхідних каналів відносять:

- канали (модулі) дискретно–цифрового перетворення (*ДЦП*), до яких підключаються датчики з дискретним виходом (сигналізатори рівня, електроконтактні манометри та ін.) та управляючі технічні засоби (кнопки, перемикачі, датчики положення та ін.);
- канали (модулі) аналогового–цифрового перетворення (*АЦП*), до яких підключаються датчики з аналоговим уніфікованим електричним виходом, термометри опору, термопари;
- *спеціалізовані вхідні канали* (модулі), до яких підключаються

специфічні не уніфіковані вхідні сигнали, наприклад, модулі для підключення тензOMETричних датчиків вимірювання ваги; модулі лічильників; модулі безпеки; кодери і енкодери тощо.

Вихідні канали (модулі) – це канали, які забезпечують перетворення керуючого сигналу цифрової форми, що формується програмою, в необхідний рівень сигналу для виконавчого механізму. До вихідних каналів відносять:

- канали (модулі) цифро–дискретного перетворення (ЦДП), до яких підключаються дискретні виконавчі механізми і засоби комутації (магнітні пускачі, сигнальні лампи та ін.), а також електричні виконавчі механізми з постійною швидкістю обертання (типу МЕО, МЕК та ін.);

- канали (модулі) цифро–аналогового перетворення (ЦАП), до яких підключаються аналогові виконавчі механізми, для управління якими використовуються уніфіковані електричні сигнали;

- спеціалізовані вихідні канали (модулі), до яких підключаються специфічні вихідні сигнали, наприклад, модулі для керування кроковими двигунами, модулі безпеки та ін.

При модульній або блочній побудові, до одного модуля можуть входити канали різного типу. Такі модулі (або блоки) прийнято називати змішаними (*mixed*).

Крім вхідних та вихідних каналів ПЛК має *комунікаційні канали* (модулі), які забезпечують підключення ПЛК до різноманітних промислових мереж. Сучасний контролер завжди має як мінімум один комунікаційний канал, щоб мати можливість підключити до ПЛК термінал програмування. На сьогоднішній день в якості терміналів програмування використовуються комп'ютери зі встановленим спеціальним програмним забезпеченням – середовищем програмування ПЛК.

5.2 Типи ПЛК

У світі випускається велика кількість промислових мікропроцесорних контролерів серед яких особливої популярності в системах автоматизації харчових виробництв України набули ПЛК фірм Siemens, Schneider Electric, Mitsubishi Electric, VIPA та ін. За конструктивним виконанням всі ПЛК можна поділити на декілька груп. Для завдань автоматичного управління з невеликою кількістю

входів– виходів випускаються моноблочні ПЛК, які також називають *компактними*.

Для систем із середньою кількістю каналів (порядку десятків) можливою альтернативою моноблочним контролерам можуть бути компактні контролери з можливістю нарощення додатковими модулями.

Для систем автоматизації технологічними процесами та великими енергетичними об'єктами частіше використовуються модульні ПЛК, кількість і типи модулів у яких вибираються залежно від кількості і типів вхідних–вихідних сигналів. Такі контролери призначені для побудови систем управління, кількість датчиків та виконавчих механізмів у яких вимірюється десятками та сотнями. Для ПЛК такого типу базовими складовими для забезпечення їхньої працездатності є модуль живлення та процесорний модуль (їх інколи суміщують в єдиному корпусі). Всі інші модулі набираються залежно від поставленого завдання. До складу модульного ПЛК може входити велика кількість модулів (порядку ста), з одним процесорним модулем у якості керуючого пристрою. Інший підхід – це створення *розподіленої системи*, в якій на кожній технологічній ділянці (відділенні) встановлюється свій окремий ПЛК для управління технологічними процесами цієї частини. Для координації роботи ПЛК їх об'єднують промисловими мережами в єдину інтегровану систему управління. Використання розподіленого принципу управління та модульної структури дозволяє мінімізувати показник функціональні можливості/вартість ПЛК.

Останнім часом великої популярності набули структури систем управління на базі контролерів з *розподіленими (віддаленими) засобами вводу/виводу* (рисунок 2.5). У таких системах до промислової мережі ПЛК можуть підключатися:

- віддалені модулі вводу/виводу (модулі I/O);
- перетворювачі частоти (ПЧ), які призначені для управління частотою обертів асинхронного двигуна;
- сервоприводи;
- інтелектуальні контактори (магнітні пускачі);
- інтелектуальні датчики та виконавчі механізми.

З точки зору функціональності, всі засоби польового рівня, які підключені по промисловій мережі до ПЛК, являються його модулями

вводу/виводу. На відміну від локальних модулів вводу/виводу модульного ПЛК (тобто які розміщені на його шасі), віддалені модулі I/O можуть знаходитись у місці розташування датчиків, тобто на порівняно великій відстані від базового ПЛК, що значно зменшує кількість кабелів і спрощує монтаж обладнання. Крім того, застосування стандартних промислових мереж дає можливість використовувати віддалені модулі вводу/виводу та периферію розроблених різними виробниками, що неможливо для локальних модулів ПЛК.

На рис. 5.2 показано структуру розподіленої системи управління, в якій до ПЛК за допомогою промислової мережі (CANopen) під'єднуються віддалені модулі входів-виходів (I/O). До них в свою чергу підключаються датчики і виконавчі механізми, перетворювачі частоти (ПЧ) та інтелектуальні контактори. Ці віддалені модулі I/O можуть знаходитись на відстані в декілька сотень метрів від ПЛК, до якого вони підключені.

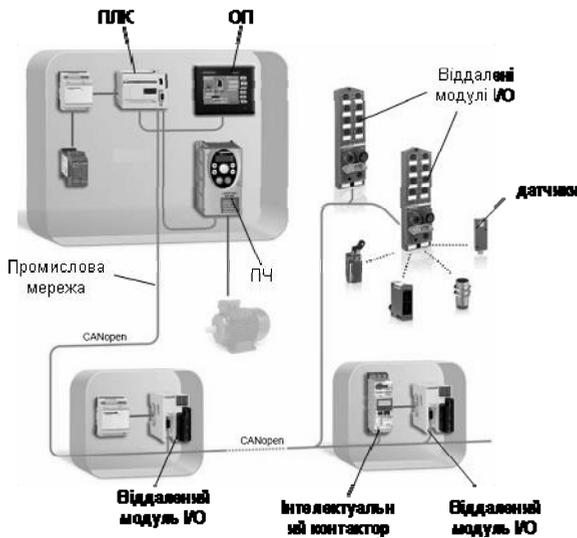


Рисунок 5.2 – Структура ПЛК з віддаленими модулями

5.3 Апаратне забезпечення ПЛК та його конфігурування

Контролер забезпечує оброблення вхідної інформації з об'єкта

управління та формування управляючих дій відповідно до реалізованого в ПЛК алгоритму управління. Вибір і конфігурування конкретного ПЛК як правило виконується після етапів:

- визначення типів і кількості датчиків та виконавчих механізмів а також необхідних перетворювачів;
- розроблення алгоритму управління, функціональної структури системи, визначення необхідних контурів регулювання;
- визначення технічної структури системи управління в цілому: вибрані мікропроцесорні засоби автоматизації та їх способи інтеграції.

Першочерговим завданням розроблення системи управління на базі промислового контролера є вибір його типу і конфігурації, тобто вибір переліку каналів (модулів), які повинні бути використані для системи управління конкретним об'єктом. Розробниками пропонується велика номенклатура модулів входів/виходів, які як правило розрізняються наступними технічними характеристиками.

Модулі дискретних входів:

- за кількістю каналів;
- за типом вхідних сигналів, наприклад: 24, 48 В постійного струму (VDC) чи 48В, 110В, 220В змінного струму (VAC).

Модулі дискретних виходів:

- за кількістю каналів;
- за типом вхідних каналів, наприклад: транзисторні з можливістю комутувати сигнали 24 В постійного струму зі струмом комутації до 0,5 А; релейні з можливістю комутувати сигнали зі струмом комутації до 3 А.

Модулі аналогових входів:

- за кількістю каналів;
- за типом вхідних сигналів, наприклад: уніфіковані сигнали з напругою 0–5 В, 0–10 В, – 10/+10 та ін.; уніфіковані сигнали зі струмом 0–20 мА, 4–20 мА та ін.; сигнали від термометрів опору; сигнали від термопар;
- за наявністю гальванічного розділення між каналами та з загальною шиною ПЛК;
- за розрядністю АЦП, яка впливає на точність аналогово–цифрового перетворення (наприклад 8–, 10, і 16–розрядні).

Модулі аналогових виходів:

- за кількістю каналів;
- за типом вихідних сигналів, наприклад: уніфіковані сигнали з напругою 0–5 В, 0– 10В, –10/+10 та ін.; уніфіковані сигнали зі струмом 0–20 мА, 4–20 мА та ін.;
- за наявністю гальванічного розділення між каналами та з загальною шиною ПЛК;
- за розрядністю ЦАП, яка впливає на точність цифро–аналогового перетворення.

Якщо функції управління об'єктом передбачають необхідність використання модулів, які використовують не уніфіковані електричні сигнали, розглядається доцільність і типи цих модулів з урахуванням кількості каналів і технічних характеристик.

При необхідності інтеграції ПЛК з іншими інтелектуальними засобами визначаються з типом промислової мережі та вимогами до мережних вузлів системи. При цьому може бути декілька варіантів вибору промислової мережі. Для кожного з цих варіантів визначається необхідний комунікаційний модуль або опція для даного ПЛК, а також особливості обмеження його використання. Останні сильно залежать від типу промислової мережі, що сильно ускладнює формалізацію процесу вибору.

Для більшості ПЛК характерна можливість додаткового налаштування каналів. Для окремих каналів вхідних модулів можна вибирати і встановлювати різні діапазони вимірювання, контроль обриву чи перевантаження, а для модулів дискретних виходів задавати значення або стан вихідних сигналів, які будуть устанавлюватися в разі зупинки контролера. Ці налаштування проводяться шляхом *конфігурування контролера*, під час якого також може вказуватися розміщення модулів, та усі їх налаштування. Конфігурування це зміна параметрів без написання програми користувача («апаратне конфігурування»).

Як правило, для зміни апаратної конфігурації ПЛК, його попередньо необхідно зупинити, що необхідно враховувати при налагодженні працюючої системи.

5.4 Основи програмування ПЛК

5.4.1 Змінні ПЛК

У ІВС, що базуються на базі промислових контролерів, алгоритм управління об'єктом реалізується програмним шляхом. Як відомо, кожна програма включає дані та код (алгоритм), який оперує цими даними. Код програми ПЛК оперує даними, які пов'язані з об'єктом управління і постійно змінюються, що накладає певні особливості на функціонування контролера.

Дані з об'єкта управління поступають через вхідні канали. На основі цих даних код програми формує керуючі дії, що по суті являється даними, які через вихідні канали поступають на об'єкт у вигляді сигналів управління. Оскільки стан об'єкту постійно змінюється, задача ПЛК відслідковувати цю зміну і забезпечувати протікання процесу в заданих межах. Тобто контролер повинен циклічно, в реальному масштабі часу, відновлювати дані з вхідних каналів, після чого формувати дані для вихідних каналів. Для того, щоб оперувати такими даними, для них виділяються певні комірки оперативної пам'яті, до яких доступується код програми. Ці комірки називаються *змінними*, так як в процесі виконання програми вони постійно змінюють свої значення. На відміну від змінних, *константи* – це комірки пам'яті в яких знаходяться значення, що змінюються тільки в процесі конфігурації контролера.

Наведені вище змінні, що пов'язуються з технологічним процесом умовно діляться на вхідні та вихідні. Змінні, які пов'язані із сигналами від датчиків, прийнято називати *вхідними змінними* (Input Variables), вихідних каналів – *вихідними змінними* (Output Variables). Таким чином, якщо в програмі треба оперувати значенням з певного датчика, необхідно просто звернутися до потрібної вхідної змінної, тобто використовувати її значення. Якщо ж необхідно змінити положення виконавчого механізму, треба записати певне значення у вихідну змінну. А ПЛК повинен забезпечити своєчасне оновлення вхідних змінних та видачу керуючих дій з вихідних.

При програмуванні контролера інженер–програміст повинен чітко знати до якої змінної треба звернутися, щоб отримати значення з конкретного вхідного каналу. Тому змінні повинні мати *адресу* або/та *ім'я*, яке однозначно пов'язане з місцем реального підключення

датчиків або виконавчих механізмів до каналів ПЛК. Якщо контролеру відоме місце розміщення своїх каналів, розподіл адрес (імен) вхідних та вихідних змінних може бути зроблено автоматично. У більшості ж випадків, особливо в модульних контролерах, для ПЛК треба вказати місце розміщення модулів, а інколи і виділити каналам конкретні адреси чи імена. Такого типу налаштування входить до процесу конфігурування контролеру, який описано вище. Після конфігурування в пам'яті ПЛК виділяється область комірок пам'яті, куди буде записуватись інформація про стан фізичних вхідних та вихідних каналів.

Існує декілька варіантів адресації змінних та їх прив'язки до вхідних та вихідних каналів. Розглянемо один з них, так званий «топографічний», який використовується в модульних контролерах фірми Schneider Electric. У основу цієї системи покладений принцип, що адреса змінної чітко пов'язана з порядком розміщення модуля та каналу в ньому. Адреса змінної складається з послідовності позначень:

% (Службовий символ); Тип модуля (I – входи, Q – виходи); Тип сигналу (X – дискретний, W – аналоговий); n – Місце розташування модуля в ПЛК; (Службовий символ); i (№ каналу на модулі).

У даному підході, адреса кожної змінної починається зі знаку «%», що дає змогу редактору програми ідентифікувати її саме як адресу. Далі вказується за який тип каналу відповідає ця змінна: I (Input) – за входи, Q (Quit) – за виходи.

Адреса також вказує на тип змінної, яка буде використовуватися для збереження значення. Для дискретних каналів використовується символ «X», що вказує на змінну типу *BOOL*, яка може вміщувати два стани: логічний «0» (FALSE) або логічну «1» (TRUE). Символ «W» вказує на те, що змінна використовує для збереження ціле слово (*WORD*, займає 2 байти), оскільки для аналогового каналу необхідно мати числове значення сигналу. Таке 16-бітне слово може вміщувати ціле беззнакове значення від 0–65535, або знакове від –32768 до 32767.

Отже, такі змінні можуть використовуватися для роботи з АЦП розрядністю 16 біт та менше. Тим не менше, для зручності обробки в програмі, цей діапазон може бути змінений. Так, в деяких ПЛК Schneider Electric, за замовченням він є 0–10000.

Враховуючи цілочисельний формат змінних «W», часто вони

мають тип не WORD а INT (Integer). Наявність типів змінних та особливості їх використання залежить від типу ПЛК.

Останні позиції запису адреси, вказаного, вказують на місце розташування каналу, за яку відповідає змінна.

Розглянемо даний принцип на прикладах. На рис. 5.3 показано приклад підключення до каналів умовного ПЛК датчиків і виконавчих механізмів. До складу ПЛК входять:

- модуль живлення, встановлений на спеціальному місці, яке позначено PS; процесорний модуль, який встановлений на місці за номером 00;

- модулі дискретних входів, дискретних виходів, аналогових входів і аналогових виходів, які встановлені відповідно на місцях за номерами 01, 02, 03 і 04.

На рис. 5.3 зображена схема підключення датчиків і виконавчих механізмів до каналів ПЛК.

На кожному модулі для прикладу показано по 5 каналів, кожен із яких також має свій номер.

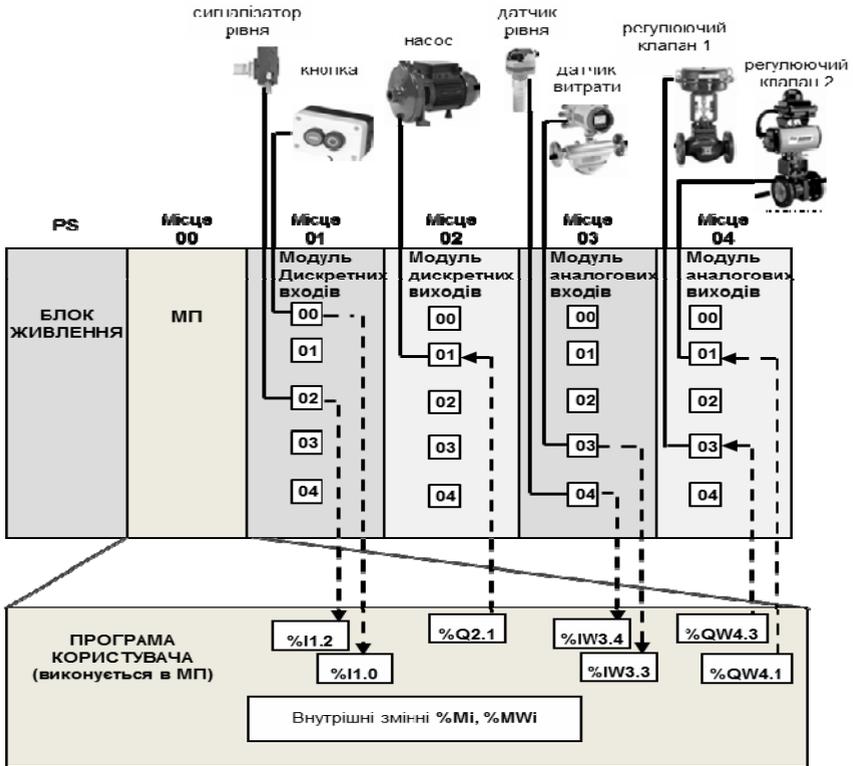
Нижче наведено детальний опис підключення засобів автоматизації до ПЛК і визначення адрес та значень змінних, що відповідають за них.

На рис. 5.4, *a* показано приклад адресації змінних для дискретних входів. Сигнали від кнопочної станції SB і сигналізатора рівня LA відповідно підключаються до каналів 00 (через контакти «0+» та «0-») і 02 (через контакти «2+» та «2-») модуля дискретних входів розташованого на місці 01 у ПЛК.

Згідно з розглянутими вище правилами «топографічної» адресації, вони мають адреси: %I1.0 і %I1.2. Символ «X» для дискретних змінних можна не вказувати. Отже, якщо буде натиснута кнопка SB або спрацює сигналізатор рівня LA (коли рівень стане більше допустимого значення), на вхід відповідного каналу буде поданий електричний сигнал + 24 В. У цьому випадку вхідна зовнішня змінна з відповідною адресою перейде в стан логічної «1».

На рис. 5.4, *б* показано приклад адресації змінних для дискретних виходів. До 1-го каналу модуля, розташованого на місці 02 у ПЛК, підключене реле KV1, контакти якого включають і відключають насос. Цей дискретний вихід пов'язаний зі змінною, яка, згідно з правилами, має адресу %Q2.1. Це значить, що якщо в процесі

виконання програми користувача вихідна змінна %Q2.1 прийме значення логічної «1», на виході цього каналу замкнеться контакт реле або спрацює транзисторний ключ, через який на обмотку реле KV1 буде подана напруга 24 В, що спричинить спрацювання реле KV1, через контакти якого буде включений двигун насоса.



Рисунку 5.3 – Схема підключення датчиків і виконавчих механізмів до каналів ПЛК

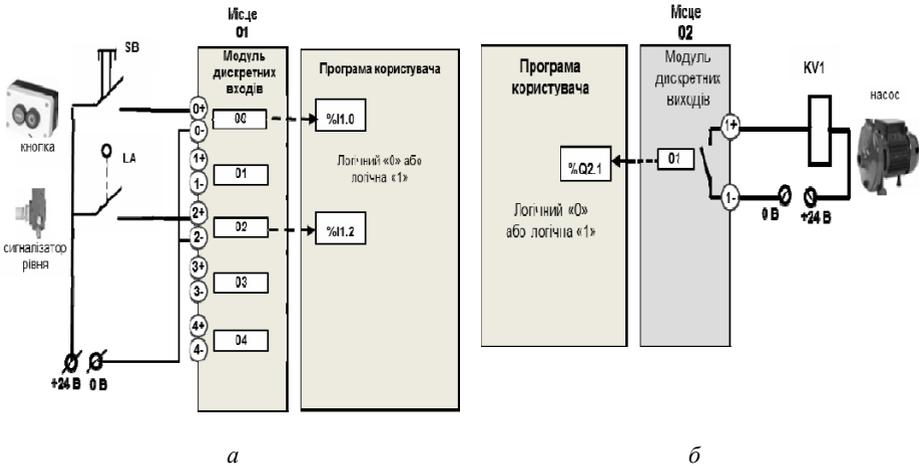


Рисунок 5.4 – Підключення дискретних входних (а) та вихідних (б) сигналів

На рис. 5.5 показаний приклад адресації змінних для аналогових входів ПЛК, розташованого на місці 03. До каналу 03 підключений датчик витрати, а до каналу 04 – датчик рівня. Відповідно адреси цих сигналів будуть мати вигляд: %IW3.3 і %IW3.4.

На даному прикладі розглянемо, що буде зі значенням даних змінних. Припустимо, що вказані датчики мають різні уніфіковані електричні сигнали: струмовий 0–20 мА і по напрузі – 0–10 В. Тобто вибрано такий модуль аналогових входів, у якому можливо налаштувати кожний аналоговий канал на той чи інший уніфікований електричний сигнал. Кожний датчик має діапазон вимірювання, який вибирається залежно від робочого значення вимірювального параметра.

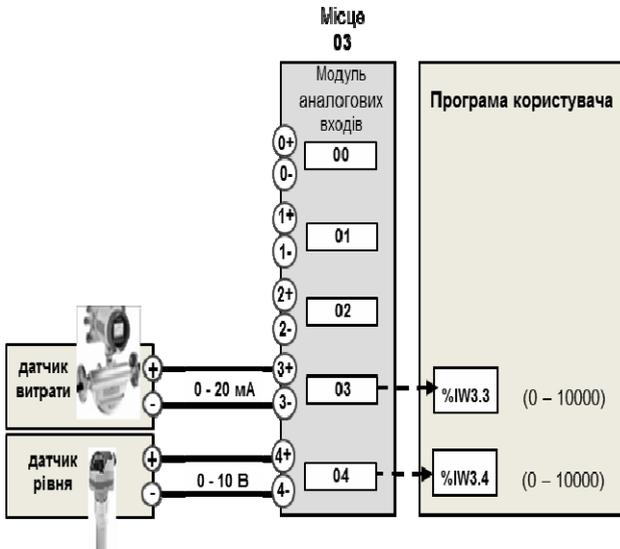


Рисунок 5.5 – Підключення аналогових вхідних сигналів

Наприклад датчик витрат $0-120 \text{ м}^3/\text{год}$, а датчик рівня від 0 до 2 метрів. Вибраному діапазону вимірювання відповідає повний діапазон аналогового уніфікованого сигналу, що йде від датчика: $0-20 \text{ мА}$ для витрати і $0-10 \text{ В}$ для рівня. У модулі аналого-цифрового перетворення ПЛК фізичний сигнал від датчика перетворюється на ціле числове значення. У вказаному прикладі це значення становить від 0 до 10000. Тобто відбувається перетворення, представлене на рис. 5.6.

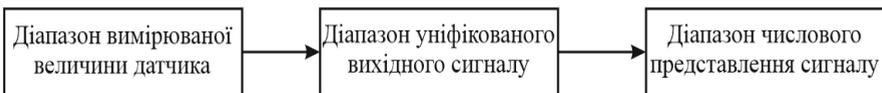


Рисунок 5.6 – Робочий цикл виконання програми користувача

Контролер повинен весь час стежити за станом та значеннями вхідних каналів і виробляти керуючі дії відповідно до реалізованого алгоритму керування. Тому процес роботи ПЛК представляє собою циклічну послідовність виконання кількох етапів (рис. 5.7):



Рисунок 5.7– Робочий цикл роботи ПЛК

результаті виконання програми розраховуються нові значення вихідних змінних;

– встановлення виходів, у процесі якого вихідні змінні пересилаються на вихідні канали.

Слід зазначити, що при такому робочому циклі, значення виходів ПЛК оновлюються тільки на етапі встановлення виходів. Тобто вихідна змінна може змінюватися протягом одного циклу декілька раз, але тільки останнє значення буде записане на реальний дискретний чи аналоговий вихід контролера. Крім того, в процесі кожного циклу виконуються процедури, пов'язані не стільки з обробленням прикладної програми, як із задачами аналізу стану апаратних засобів, самодіагностики, оброблення запитів, які прийшли з панелі ПЛК або по мережі тощо. Тобто відбувається внутрішня обробка, яка виконується на системному рівні контролера. Після виконання цього етапу починається новий робочий цикл знову з опитування входів.

Циклічність виконання програми користувача ПЛК є дуже важливою особливістю роботи мікропроцесорного контролера, яка повинна бути врахована при розробленні прикладної програми

– опитування входів, у процесі якого в оперативну пам'ять контролера записується інформація про стан входних каналів, підключених до ПЛК; таким чином на початку робочого циклу формується так званий *образ процесу*;

– виконання прикладної програми, записаної користувачем згідно із заданим алгоритмом керування; програма користувача оперує значеннями входних сигналів, які були отримані на стадії опитування входів; в

користувача. Є декілька форм організації робочого циклу: циклічне, періодичне виконання та виконання по події. Самі ж цикли зветься *задачами* (Task). Деякі ПЛК дозволяють будувати програми користувача з декількома задачами, кожна з яких може викликатися періодично або по виникненню подій, і тільки одна з них – циклічно. Кожна задача контролюється *сторожовим таймером* (WatchDog), який унеможлиблює «зависання» контролера при невірному виконанні програми користувача. Так, якщо тривалість циклу буде більше вказаного у сторожовому таймеру значення, контролер перейде в режим аварійної зупинки. Організація задач сильно залежить від типу ПЛК.

5.4.2 Розроблення програми користувача ПЛК

У загальному вигляді порядок розроблення мікропроцесорної системи автоматизації з використанням промислових логічних контролерів включає в себе декілька етапів:

- формування переліку функцій та задач ПЛК в складі системи управління;
- вибір апаратного забезпечення мікропроцесорного контролера, тобто визначення кількості та типів каналів (модулів), які повинні забезпечити підключення до контролера датчиків і виконавчих механізмів;
- розроблення алгоритму та програми користувача для реалізації заданого алгоритму управління, а також його налагодження.

Послідовність розроблення прикладного програмного забезпечення також залежить від середовища програмування.

Усі функції та задачі (задача – сукупність дій що приводить до заданого результату) які покладені на ПЛК, умовно можна віднести до одного з двох типів: задачі логіко–командного управління і функції неперервного регулювання. Для кожного з цих типів можна вибрати більш зручну для програмування мову. Основною особливістю програмованих логічних контролів є наявність «технологічних» мов програмування, добре зрозумілих спеціалістам у галузі автоматизації, електроніки, електротехніки та технології виробництва. Ці мови розроблялися з урахуванням особливостей різних типів задач і функцій та кваліфікації спеціалістів. На сьогоднішній день 5 найбільш популярних мов програмування промислових контролерів закріплені в

міжнародному стандарті MEK 61131-3 (IEC 61131-3), це:

- LD (Ladder Diagram);
- FBD (Function Block Diagram);
- ST (Structured Text);
- SFC (Sequential Function Chart);
- IL (Instruction List).

Мова *IL* (Instruction List) являє собою список інструкцій, подібних до мови Асемблера, які виконуються послідовно. Це мова низького рівня, тому нею користуються в основному програмісти, які залучаються для розроблення програми користувача для ПЛК. У деяких ПЛК є дещо схожа на неї мова STL.

Мова *LD* (Ladder Diagram) – це графічна мова програмування, яка використовує графічні елементи, подібні до тих, які рисуються в релейно-контактних схемах. Саме тому у вітчизняній практиці ця мова носить назву – Мова релейно-контактних схем (РКС). Ця мова найбільш підходить для вирішення задач логіко-командного управління.

Мова *FBD* (Function Block Diagram) – графічна мова програмування, яка дає змогу створювати програми у вигляді взаємопов'язаних функціональних блоків, які виконують стандартні для систем автоматизації функції. Вони нагадують графічну схему, на якій були б показані стандартні взаємопов'язані фізичні функціональні блоки, що використовуються в системах автоматизації (регулятори, задавачі, таймери, лічильники, суматори, блоки вилучення кореня, різноманітні логічні елементи та ін.). У деяких ПЛК є також дещо схожа на неї мова CFC.

Мова *ST* (Structured Text, структурований текст) – це текстова мова, подібна до PASCAL, C, BASIC і т.п. Ця мова програмування найбільш зручна для спеціалістів з автоматизації та програмістів.

Мова *SFC* (Sequential Function Charts) – графічна мова програмування, в якій поведінка системи задається послідовністю кроків з діями що виконуються, та переходами між кроками що задаються умовами, при яких ці переходи спрацьовують. Ця мова програмування найбільш зручна для об'єктів, які мають чітко визначену послідовність дій. У деяких ПЛК є схожа на неї мова, яка має назву Grafset.

У багатьох ПЛК ці мови програмування мають однакові

функціональні можливості, однак нерідко зустрічаються принципові розбіжності. Вибір мови також залежить від уподобання розробників програмного забезпечення. У деяких ПЛК дозволяється в одній прикладній програмі, в різних її блоках, використовувати різні мови програмування.

5.5 Основні принципи розробки програми для ПЛК

Для прикладу розроблення програми користувача покажемо в середовищі програмування TwidoSuite, яке використовується для програмування контролерів Twido фірми Schneider Electric. Для програмування на технологічній мові LD у середовищі TwidoSuite використовується спеціальний графічний редактор, у якому за допомогою графічних елементів розробляється програма користувача. При вході в режим програмування на екран дисплею виводиться розбита на клітинки сторінка програми. Програма складається з окремих сторінок із написаною програмою, які послідовно виконуються одна за одною. Кожна сторінка має зони для мітки і коментаря, а також робочу зону.

У зоні мітки може бути записана мітка сторінки у вигляді %Li, де і – номер мітки. Сторінка не обов'язково повинна мати мітку. За її наявності можна у програмі організувати умовний або безумовний перехід на сторінку з відповідною міткою.

Робоча зона редактора умовно ділиться на дві зони: тестування і виконавчу. Зона тестування прилягає до лівої умовної шини живлення і в цій зоні розміщуються елементи, стан і значення яких зумовлює логіку виконання програми користувача. У виконавчій зоні, яка прилягає до правої умовної шини, розміщуються елементи, які призначені для виконання керуючих дій. Робоча зона сторінки має сітку, в клітинках якої розміщуються елементи.

5.5.1 Використання основних елементів мови LD

Мова релейних діаграм LD (Ladder Diagram) або релейно-контактних схем (РКС) □ графічна мова, який реалізує структури електричних ланцюгів. На початку 70-х рр. XX ст. релейні автомати складальних конвеєрів почали поступово витіснятися програмованими контролерами. Деякий час ті і інші працювали одночасно і обслуговувалися тими самими людьми. Так з'явилася задача

перенесення релейних схем в ПЛК. Різні варіанти програмної реалізації релейних схем створювалися практично всіма провідними виробниками ПЛК. Завдяки простоті уявлення РКС знайшов заслужену популярність, яка і стало основною причиною включення його в стандарт МЕК.

Графічно LD-діаграма представлена у вигляді двох вертикальних шин живлення. Між ними розташовані ланцюги, утворені сполученням контактів. Навантаженням кожного ланцюга служить реле. Програмування полягає у виборі графічних елементів, що відповідають тим чи іншим логічним елементам або функціональним блокам, розміщенні їх у робочих зонах сторінок і показі зв'язків між ними у вигляді традиційних електричних ланцюгів (рис. 5.8).

У Табл. 5.1 наведено графічні зображення елементів, які використовуються в мові Ladder Diagram, а також інтерпретація цього елемента в алгоритмі керування.



Рисунок 5.8 – Фрагмент програми на мові Ladder Diagram

Вибір і нанесення графічних елементів у полі графічного редактора відбувається за допомогою активних кнопок, на яких нанесено графічне зображення вибраного елемента, розташованих у нижній частині вікна редактора.

Таблиця 5.1 – Зображення графічних елементів

Назва елемента	Зображення	Кнопка	Пояснення
Елементи, що розміщуються в тестовій зоні			
Нормально відкритий контакт	— —		як вираз логічної умови : «якщо подія відбулася», «якщо умова виконалася», «якщо спрацював ...» або «якщо ввімкнувся ...», або «якщо змінна перейшла в стан логічної 1» і т. ін.
Нормально закритий контакт	— /—		як вираз логічної умови: «якщо подія не відбулася», «якщо умова не виконалася», «якщо не спрацював ...» або «якщо вимкнувся ...», або «якщо змінна перейшла в стан логічної 0» і т. ін.
Контакт, що закривається по передньому фронту	— P—		як логічний вираз: «у момент виникнення події», «у момент виконання умови», «у момент ввімкнення» або «у момент зміни стану дискретної змінної з 0 на 1»
Виконавчі елементи			
Контакт, що закривається по задньому фронту	— N—		як логічний вираз: «у момент зникнення події», «у момент, коли умова перестає виконуватись», «у момент вимкнення» або «в момент зміни стану дискретної змінної з 1 на 0»
Котушка на ввімкнення	—()—		як виконавча частина логічного виразу: «тоді виконати дію», «тоді ввімкнути ...» або «тоді змінній присвоїти значення логічної 1 ...» і т.ін.
Виконавчі елементи			
Котушка на вимкнення	—(/)—		як виконавча частина логічного виразу: «тоді не виконувати дію», «тоді вимкнути ...» або «тоді змінній присвоїти значення логічної 0...» і т. ін.
Котушка на ввімкнення з замиканням	—(S)—		як виконавча частина логічного виразу: «тоді виконати дію» або «тоді ввімкнути.... і зберегти стан змінної, навіть коли перестає діяти умова ввімкнення»
Котушка на вимкнення з замиканням	—(R)—		як виконавча частина логічного виразу – «тоді перестати виконувати дію» або «тоді вимкнути.... і зберегти стан змінної, навіть коли перестає діяти умова вимкнення»

Наприклад, для того щоб розмістити графічне зображення того чи іншого елемента в полі графічного редактора в середовищі TwidoSuite необхідно:

- підвести курсор миші до відповідної кнопки в нижній частині екрана редактора і клацнути правою клавішею миші;

- підвести курсор до того місця, де ми бажаємо розмістити вибраний елемент у полі графічного редактора і знову клацнути правою кнопкою миші і зображення елемента з'явиться в полі графічного редактора;

- над зображенням елемента відкриється вікно, в якому треба ввести адресу або ім'я змінної, з якою воно пов'язане.

Крім простих елементів, у програмі використовуються блоки, які виконують різноманітні функції. До них належать блоки порівняння, операційні блоки, таймери, лічильники та ін.

6 ВИКОРИСТАННЯ SCADA ДЛЯ ІВС

6.1 Розвиток SCADA

SCADA Supervisory Control And Data Acquisition (диспетчерське управління і збір даних) – програми, призначені для розробки або забезпечення роботи в реальному часі систем збору, обробки, відображення та архівування інформації про об'єкт моніторингу або управління. SCADA може бути частиною АСУ ТП, ІВС, системи екологічного моніторингу, наукового експерименту, автоматизації будівлі тощо. Це програмне забезпечення встановлюється на комп'ютери і, для зв'язку з об'єктом, використовує драйвери введення-виведення або OPC / DDE сервери. Програмний код може бути як написаний на одній з мов програмування, так і згенерований в середовищі проектування.

Іноді SCADA-системи комплектуються додатковим ПО для програмування промислових контролерів. Такі SCADA-системи називаються інтегрованими і до них додають термін SoftLogic.

SCADA зазвичай відноситься до централізованих систем контролю і управління всією системою, або комплексами систем, здійснюваного за участю людини. Цикл управління зі зворотним зв'язком проходить через RTU (віддалений термінал, Remote terminal

Unit), або ПЛК (PLC), в той час як SCADA система контролює повне виконання циклу.

Найбільш широко поширене розуміння SCADA як програмного комплексу, що забезпечує виконання зазначених функцій, а також інструментальних засобів для розробки цього програмного забезпечення. Однак часто під SCADA-системою мають на увазі програмно-апаратний комплекс. Подібне розуміння терміна SCADA більш характерно для ІВС.

Значення терміна SCADA зазнало змін разом з розвитком технологій автоматизації і управління технологічними процесами. У 80-ті роки під SCADA-системами частіше розуміли програмно-апаратні комплекси збору даних в реальному часі. З 90-х років термін SCADA більше використовується для позначення тільки програмної частини людино-машинного інтерфейсу автоматизованих систем.

Багаторівнева система автоматизації процесів на основі SCADA та PLC представлена на рис. 6.1.

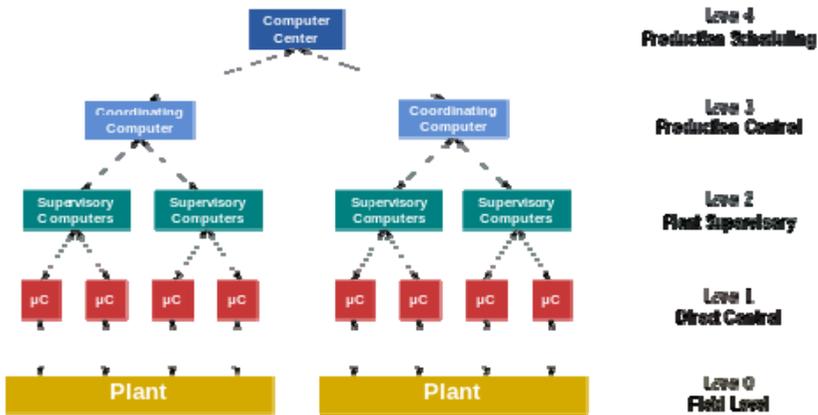


Рисунок 6.1 – Багаторівнева система автоматизації процесів на основі SCADA та PLC

Збір даних починається в RTU або на рівні PLC і включає покази вимірювального приладу. Далі дані збираються і форматуються таким способом, щоб оператор диспетчерської, використовуючи НМІ, міг прийняти контролюючі рішення – коригувати або перервати стандартне управління засобами RTU / PLC. Дані також можуть бути

записані в архів для побудови трендів та іншої аналітичної обробки накопичених даних.

На ринку пропонується велика кількість різних SCADA систем: WinCC, MasterScada, Wonderware InTouch, Trace Mode, OpenScada, Genesis32, iFIX, Citect, Movicon, CX-Supervisor — це тільки деякі з них. Вони відрізняються за своїм функціоналом, комунікаційним можливостям, інструментів для розробників і вартості.

Впровадження SCADA системи складається з декількох етапів робіт:

- настройка обміну даними з ПЛК;
- відображення процесу за допомогою мнемосхем та створення анімації;
- прив'язка змінних, отриманих від ПЛК до графічних елементів;
- написання скриптів/кодів/програм і математичних операцій;
- настройка алармов, подій і необхідних архівів.

Приклад апаратного забезпечення для функціонування подібних систем (автоматизоване робоче місце – АРМ) зображений на рис. 6.2.



Рисунок 6.2 –АРМ ля АСУ ТП

6.2 Людино-машинний інтерфейс (НМІ)

Більшість систем управління є автоматизованими, тобто такими, що потребують участі людини в процесі керування. Необхідно налагодити зв'язок, який би, з одного боку, давав можливість контролювати людині стан процесу та системи, а з іншого –

забезпечував можливість втрутитися в процес управління. Тобто необхідно в системі управління передбачити людино-машинний інтерфейс (НМІ – Human-Machine Interface).

Для реалізації людино-машинного інтерфейсу можна використовувати операторські панелі: мікропроцесорні засоби з текстовим або графічним дисплеєм для відображення інформації та елементами управління – кнопками або/та сенсорним екраном. Передня частина таких панелей захищена від пилу, бруду, вологи, що дає змогу оператору управляти процесом безпосередньо біля об'єкта. Для захисту іншої частини панелі її розміщують у спеціальному щиті.

Для реалізації нормальної роботи людино-машинного інтерфейсу необхідно забезпечити для нього двосторонній обмін даними: збирати інформацію про стан технологічного обладнання і значень технологічних параметрів; передавати команди оператора в зворотному напрямку.

При побудові АСУТП на базі програмованих контролерів, цими процесами займаються SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition – супервізорне управління і збирання даних). Тобто організація роботи АРМ складається, як мінімум, з двох складових: SCADA – для збирання даних та управління; НМІ – для реалізації людино-машинного інтерфейсу.

У АСУТП, побудованих на базі DCS (Distributed control system – системи розподіленого управління), база даних процесу єдина як для управління процесом у реальному часі так і для візуалізації. Тому окремо функція SCADA не виділяється, але процес створення людино-машинного інтерфейсу практично не відрізняється. Надалі будемо розглядати тільки системи, побудовані за принципом: контролери+SCADA+НМІ.

Основний принцип розроблення з використанням SCADA/НМІ інструментів – *«Конфігурування замість програмування»*, що різко зменшує витрачений час та вірогідність помилок, адже функціональність АРМів у своїй базовій частині мало залежить від особливостей виробництва. Програмні пакети для розроблення АРМів на базі комп'ютерів прийнято називати «SCADA-програмами», або просто «SCADA», а для панелей оператора – «НМІ-програмами», або просто «НМІ». Надалі ми будемо використовувати загальний термін, який об'єднує ці поняття – програми SCADA/НМІ.

У світі налічуються сотні компаній, що активно займаються

розробленням і розповсюдженням програм SCADA/HMI. Деякі популярні SCADA в Україні:

InTouch	(Wonderware, США)
Genesis	(Iconics, США)
WinCC	(Siemens, Німеччина)
Vijeo Citect	(Schneider Electric, Франція)
Zenon	(Copa Data, Австрія)
Visual Intellect	(Мікрол, Україна)

Необхідно розрізнити програмне забезпечення SCADA/HMI, яке функціонує на автоматизованому робочому місці оператора і набір інструментальних програмних засобів, призначених для розроблення такого прикладного програмного забезпечення (рис.11.2). Середовище розроблення (Design-Time) використовується на стадії створення системи і містить набір різних редакторів. Як правило, ця програма виконується тільки на комп'ютері розробника. Результат розроблення – набір пов'язаних файлів, які називають проектом. Середовище виконання (Run-Time) містить усі виконавчі підсистеми для реалізації функцій, розроблених виробником SCADA/HMI. Воно слугує для запуску і виконання створеного проекту на комп'ютері автоматизованого робочого місця в режимі м'якого реального часу.

6.3 Можливості SCADA

Більшість програм SCADA/HMI має типовий набір функціональних можливостей:

- збирання інформації про контрольовані технологічні параметри (даних реального часу) з контролерів та засобів віддаленого вводу/виводу;
- графічне представлення стану технологічного процесу і обладнання в зручній для сприйняття формі у вигляді мнемосхем;
- вторинна обробка інформації (масштабування, обмеження вводу, перевірка коректності тощо);
- приймання команд оператора і передача їх на контролер або засіб віддаленого виводу;
- збереження даних реального часу в архівах даних і графічне представлення історичної інформації в зручній для сприйняття формі

у вигляді графіків, гістограмтощо;

- сповіщення експлуатаційного і обслуговуючого персоналу про виявлені аварійні події в технологічному процесі і програмно–апаратних засобах;

- фіксація в електронних журналах виникнення аварійних подій у контрольованому технологічному процесі та дій експлуатаційного персоналу;

- формування звітів на основі архівної інформації, тривог та даних реального часу;

- обмін інформацією з автоматизованими системами управління виробництвом у складі інтегрованих систем управління;

- підтримка мов програмування високого рівня, наприклад, VBA;

- захист від несанкціонованого доступу до компонент і файлів.

На рис. 6.3 показаний приклад загального вигляду екрана SCADA, де мнемосхема процесу займає більшу його частину.

Такий спрощений вигляд установки з відображенням значень технологічних параметрів у плинний момент часу дає оператору інформацію про стан цієї частини процесу. Однак для перегляду інших частин процесу оператор повинен відкрити іншу сторінку, наприклад за допомогою панелі керування, меню або інших елементів управління. Таким чином, використовуючи меню або панель навігації, оператор може переглянути детально будь-яку частину процесу.

Для введення дій, перегляду уточнюючої інформації чи тимчасового відображення ряду параметрів також використовують спливаючі вікна. Вони відкриваються поверх основного вікна і не заважають перегляду його вмісту. Хоча кількість сторінок процесу, як правило, не обмежується системою, оператор не може вчасно зреагувати на зміни в системі, постійно їх перемикаючи. Тому в більшості випадків в графічній підсистемі є головна мнемосхема, де відображається найбільш загальна інформація про весь процес. Крім того, всі технологічні параметри, що потребують підвищеного контролю з боку оператора, повинні відслідковуватися підсистемою тривог (наприклад, вихід значення змінної за аварійні межі). Графічна підсистема повинна бути розроблена таким чином, щоб тривоги, які з'явилися, відразу привертали увагу оператора.

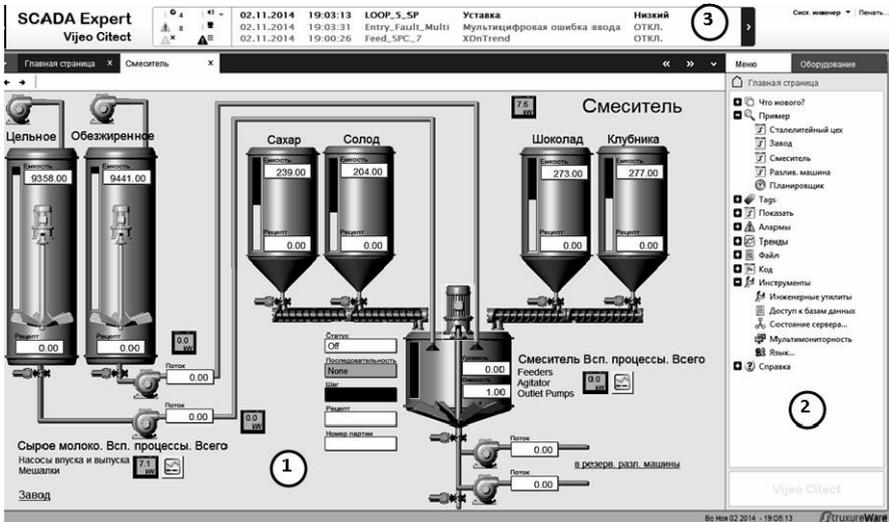


Рисунок 6.3 – Приклад загального вигляду екрана людино-машинного інтерфейсу (SCADA Vijeo Citect): 1 – сторінка (мнемосхема) процесу; 2 – панель(меню) доступу до інших сторінок та команд; 3 – вікно відображення активних триггерів та подій

Графічний людино-машинний інтерфейс реалізується через елементи відображення, які надають оператору інформацію про стан змінних процесу та елементи введення, що надають можливість впливати на процес, шляхом зміни значень змінних або відправки команд. Часто функції відображення та введення комбінуються в одному елементі.

6.4 Елементи моделі відображення процесу

Інформація про значення технологічних параметрів повинна бути надана в такому вигляді, щоб оператор швидко визначив загальний стан процесу. Для цього окрім відображення значення величини у вигляді тексту, можна використовувати різного типу зміни властивостей графічного об'єкта, зокрема:

- кольору;
- тексту;
- видимості;
- вигляду зображення;

- геометричних розмірів;
- заповнення;
- позиції на екрані;
- кута повороту.

Зміна якоїсь властивості графічного елемента залежно від значення змінної часто називають *анімацією*.

Анімація кольором використовується для показу стану змінної процесу або обладнання / агрегату. Для уточнення діапазону нормального стану, як правило, використовують відтінки сірого (показано на рис. 6.4). Інші кольори рекомендуються використовувати для виділення станів елементів, на які особливо треба звернути увагу, графіки на трендах тощо.

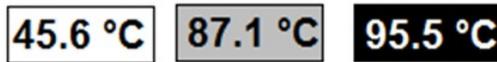


Рисунок 6.4 – Приклад призначення кольорів відображення стану дискретної змінної

Стан аналогової змінної теж можна показати у вигляді зміни кольору елемента або його частини. У цьому випадку колір може вказувати на діапазон, у якому знаходиться значення змінної (рис. 6.5). У такий спосіб оператор швидко може зорієнтуватися, чи знаходиться змінна в нормі, або в якому технологічному режимі знаходиться установка. Зміна кольору елемента часто використовується для сигналізації.

Поряд з кольором та текстом нерідко використовується миготіння. Цей тип анімації в основному призначений для привертання уваги оператора до події, що виникла та потребує його реакції. Найчастіше миготіння використовується в підсистемі тривоги, де оператор повинен підтвердити факт, що він побачив тривогу.

На рис. 6.5 показано приклади стовпчикових діаграм, на яких, окрім самого стовпчика, показано вимірювальну шкалу, а також відображено аварійні та попереджувальні межі, щоб оператор бачив, у якому діапазоні зараз знаходиться величина. Стовпчикові діаграми також можуть змінювати колір заповнення стовпчика залежно від значення та показувати бажане значення величини. Крім стовпчикових діаграм, для відображення значення аналогових

величин можна використовувати кругові діаграми.

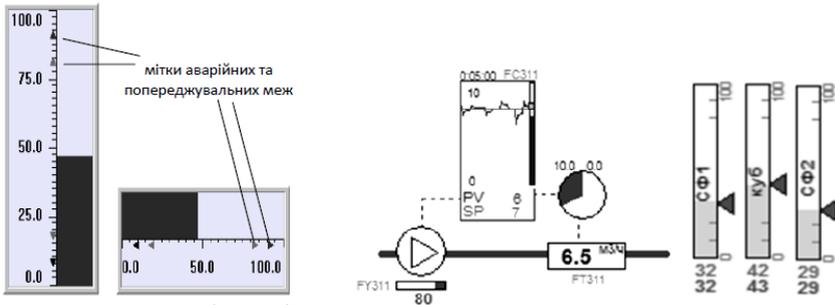


Рисунок 6.5 – Приклад призначення кольорів відображення стану аналогової змінної

За допомогою анімації руху по вертикалі чи по горизонталі можна показувати як значення вимірюваної величини, так і значення уставки (заданого або бажаного значення). Так, на рис. 6.5 (праворуч) показано стовпчикові діаграми з відміткою заданих значень (вказані трикутними стрілками).

Анімація обертання (зміна кута повороту), як правило, використовується в стрілочних індикаторах (рис. 6.6).

Цей тип графічних елементів інтуїтивно зрозумілий оператору, а інформація з нього швидко сприймається. Комбінація з анімацією кольору поліпшує процес сприйняття.

Для відображення тенденції зміни значення технологічних змінних використовуються самописці, які також називають трендами реального часу. Їх використовують, коли більш важливо спостерігати саме зміну параметра процесу в часі.

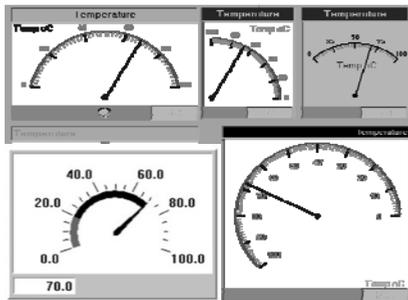


Рисунок 6.6 – Стрілочні індикатори

Як видно з рис. 6.7, самописець часто використовується у вікнах налаштування регулятора, оскільки саме вигляд перехідного процесу дає наладчику інформацію про вдалий підбір його налаштувань.

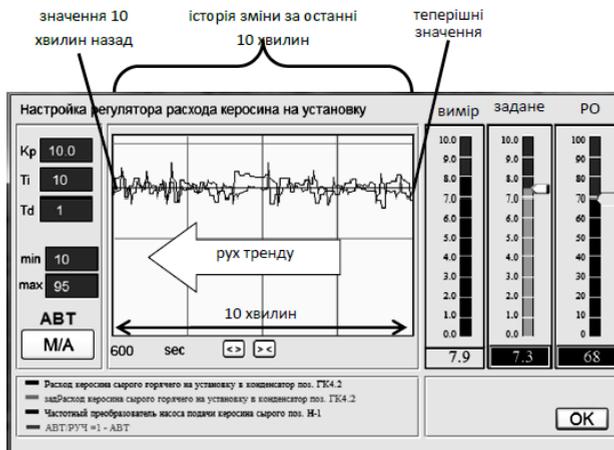


Рисунок 6.7 – Приклад використання самописця

Сучасні програми SCADA/HMI дають можливість залежно від значення змінних включати або відключати мультимедійний контент, наприклад фільми, аудіо або різного типу анімацію GIF, Flash і т. д. Однак не слід зловживати цими засобами, тому що їхнє надмірне використання тільки погіршує процес сприйняття інформації та адекватну оцінку стану процесу.

6.5 Завдання значень змінних

Графічні елементи, які використовуються для зміни значення змінних або відправки команд, називають елементами управління. Впливати на ці елементи можна використовуючи один з доступних елементів введення:

- маніпулятор «миша»;
- сенсорний екран;
- клавіатура.

Для виконання команд для зміни значення дискретних змінних типу «включити»/«відключити» використовуються кнопки,

перемикачі або графічні елементи з цими функціями.

Повзунки призначені для зміни значення змінної шляхом пересування повзунка по шкалі від мінімального до максимального значення. Повзунки можуть бути вертикальними, горизонтальними та круговими.

6.6 Підсистема тривог та подій

Кількість параметрів, які контролює один оператор, може вимірюватися сотнями, при цьому кількість мнемосхем може перевищувати десяток. При таких обставинах навіть найуважніший і досвідчений оператор не зможе вчасно зреагувати на вихід за регламентні межі значення однієї з контрольованих величин. Тому для кращого моніторингу процесу в SCADA/HMI використовуються підсистеми контролю тривог (Alarms Management). Основна ідея її функціонування – відслідковування виходу змінної процесу за нормовані межі. Найперша функція підсистеми тривог – *виявити тривожну подію та сповістити про неї оператора*. Сама нештатна подія називається тривоною.

Для перегляду включених (активних) та непідтверджених тривог, а також архівного журналу засоби SCADA/HMI надають спеціальні інструменти, які називають «переглядачами тривог» (alarm viewer). Тривоги можуть виникати за різних причин. Більшість SCADA надають можливість генерувати тривоги за такими подіями:

- зміна значення дискретної змінної (дискретні тривоги);
- зміна значення аналогової змінної (аналогові тривоги);
- збій роботи зв'язку середовища виконання SCADA/HMI з джерелом даних (наприклад, контролером) або неполадки в роботі самої системи (системні тривоги).

Умову виникнення дискретних тривог можна налаштувати як на ВКЛючення (ON, 1), так і на ВИКЛючення (OFF, 0). Яке саме значення є тривоною, визначається залежно від завдання.

Для аналогових тривог умовою спрацювання може бути:

- вихід значення за верхні межі (високо – англійською позначається як HI; дуже високо – англійською позначається як HINI);
- вихід значення за нижні межі (низько – англійською позначається як LO; дуже низько – англійською позначається як LOLO);

– відхилення величини від заданого значення (англійською позначається як *deviation*).

Для зручності фільтрації повідомлень у переглядачі тривог, а також групового налаштування можуть використовуватись додаткові властивості тривог, такі як номер групи, зона дії (наприклад, вказаний цех, відділення), категорія (наприклад, критичні, некритичні, системні) та ін.

6.6.1 Події та журнал подій

Подібно до фіксування тривог, засоби SCADA/HMI мають можливість вести журнал подій. На відміну від тривоги, подія – це штатна зміна значення змінної або виконання команди. Так, може бути необхідність у фіксуванні таких подій:

- включення насоса, установки, відкриття клапана;
- запуск програми приготування продукту, перехід до етапу, закінчення її;
- запуск та зупинка SCADA системи чи її частини;
- реєстрація користувача в системі (оператор зайшов під своїм іменем та паролем);
- введення оператором значення змінної.

Враховуючи схожість функцій оброблення подій та тривог, у деяких засобах SCADA/HMI вони поєднуються в єдиній підсистемі (Alarms and Events), яка також може бути реалізована як окремий сервер тривог та подій (Alarms and Events Server).

6.6.2 Тренди

Тренди реального часу призначені тільки для перегляду тенденції змінної в даний момент часу, для кращого оцінювання поведінки процесу саме зараз (рис. 6.8). Тим не менше, для таких трендів все одно необхідно зберігати (буферизувати) попередні значення. Буфер тренду розрахований тільки на певний час, а отже, старі значення завжди будуть зникати. Для можливості аналізу тенденції зміни значень змінних, що відбувалися в минулому, їх треба зберігати на постійному запам'ятовуючому пристрої (наприклад, жорсткому диску). Такі тренди прийнято називати історичними (Historical Trend).

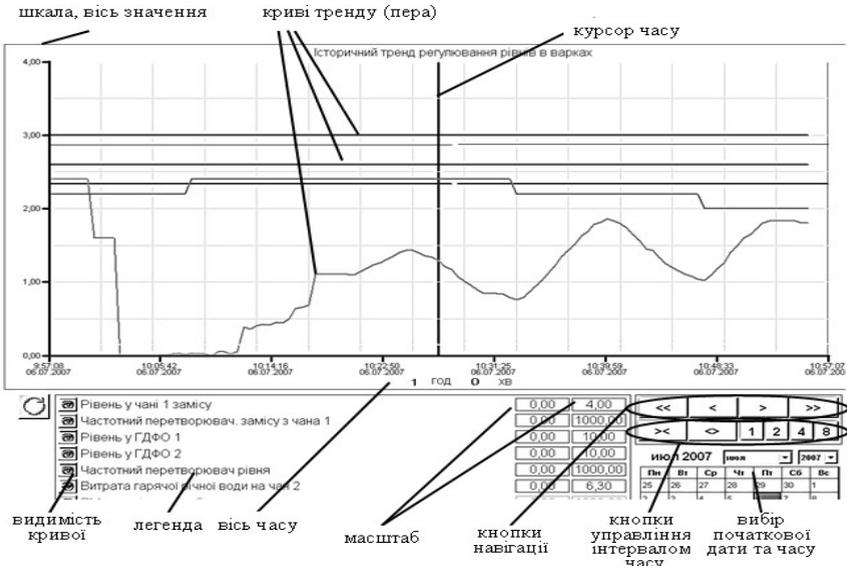


Рисунок 6.8 – Приклад перегляду трендів

На відміну від трендів реального часу, підсистема управління історичними трендами займається двома окремими задачами:

- запис даних в історію;
- вибірка даних з історії для відображення на елементах людино-машинного інтерфейсу або у звітах.

На відміну від трендів реального часу, в яких значення на самописці оновлюється разом з оновленням змінної, запис даних в історію, як правило, проводиться рідше, ніж їх зчитування з джерела даних (контролера). Слід розуміти, що надмірно часте записування даних призводить до значних затрат ресурсів комп'ютера.

Більшість SCADA/HMI, окрім періодичного способу запису, підтримують запис по зміні значення, тобто запис відбувається тільки тоді, коли параметр починає змінюватися. Цей спосіб дає можливість економити дисковий простір, оскільки в більшості часу технологічні параметри не змінюється. При цьому для аналогових змінних також треба визначити зону (поріг) нечутливості, переходячи через який буде відбуватися запис.

Деякі SCADA/HMI підтримують запис по тригеру. Це дає можливість записувати дані в архів тільки при спрацюванні певних

умов. Комбінація запису по тригеру з іншими типами дає можливість вести пакетні архіви (batch archive), коли дані пишуться тільки на певних етапах процесу.

6.7 Додаткові підсистеми SCADA

Для аналізу подій та тривог, тенденції зміни технологічних параметрів протягом певного часу можна скористатися відповідними переглядачами. Крім виведення на екран, вони дають змогу виводити тренди та журнали на принтер. Не дивлячись на те, що в цей спосіб можна вивести багато потрібної і детальної інформації, вона не достатньо оброблена для отримання загальних показників ефективності роботи процесу чи установки.

Для виведення загальних показників використовують звіти. Звіт (Report) – це документ, сформований на основі визначеної для нього форми та статистично оброблених активних чи історичних даних. У формі звіту визначається розміщення та призначення полів, а при генеруванні звіту ці поля заповнюються конкретними значеннями. Крім полів, вміст яких залежить від даних, форма звіту може вміщувати статичну графічну та текстову інформацію. Звіти можуть генеруватися автоматично (в разі виникнення події чи тривоги, або періодично в указаний астрономічний час) або за запитом оператора. Це може бути віддрукований документ, файл формату PDF, RTF, TXT, CSV, HTML сторінка, або таблиця Excel чи якоїсь бази даних. Звіти у вигляді текстових документів насамперед цікавлять керівний персонал, якому вони потрібні для аналізу технологічного процесу.

Для ряду об'єктів повинно бути передбачене управління установками згідно з календарним графіком та астрономічним часом. Наприклад, у ряді систем управління водо– та теплопостачання необхідно забезпечити вмикання та вимикання насосів згідно з встановленим графіком. У цьому випадку можна скористатися спеціальними підсистемами SCADA/HMI, які називаються планувальниками (Scheduler).

ПИТАННЯ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ДЛЯ МОДУЛЬНОГО КОНТРОЛЮ

1. Роль інформаційних процесів.
2. Поняття та показники вимірювання.
3. Процедура вимірювання та вимірювальні операції.
4. Критерії якості вимірювань.
5. Класифікація вимірювань.
6. Засоби вимірювання.
7. Класифікація засобів вимірювань.
8. Технічні засоби вимірювання.
9. Основні характеристики та похибка вимірювань.
10. Принципи, засоби та методи вимірювання.
11. Збіжність вимірювань.
12. Статистична обробка результатів вимірювань.
13. Основи інформаційних систем.
14. Види сигналів, модуляція
15. Принципи побудови інформаційних мереж
16. Стандартні послідовні інтерфейси.
17. Інтерфейси RS–232, RS–422, RS–485.
18. Порівняльна характеристика послідовних інтерфейсів.
19. Сучасні інтерфейси для розподілених систем.
20. Розподілена система на базі CAN інтерфейсу.
21. Мережі Modbus.
22. IBC як частина автоматизованих систем управління.
23. Структура АСУТП.
24. Контролери. Типи ПЛК.
25. Периферійні засоби.
26. Програмовані логічні контролери в IBC.
27. Апаратне забезпечення ПЛК та його конфігурування.
28. Основи програмування ПЛК.
29. Використання основних елементів мови LD.
30. Використання SCADA для IBC.
31. Розвиток SCADA.
32. Людино-машинний інтерфейс (HMI).
33. Можливості SCADA.
34. Елементи моделі відображення процесу.
35. Додаткові підсистеми SCADA.

ТЕМИ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

1. Класифікація датчиків.
2. Вимірювальні перетворювачі.
3. Датчики для інформаційно-вимірювальних систем.
4. Датчики для ІВС в автомобільній електроніці.
5. Датчики в системах SMART HOUSE / SMART CITY.
6. Метрологія: розвиток понять.
7. Пристрої ІВС в автоматизованих системах керування побутової техніки.
8. Пристрої ІВС в автоматизованих системах керування виробництвом.
9. Протоколи та інтерфейси: розвиток для АСУ ТП.
10. Протоколи в мультипроцесорних системах.
11. Промислові контролери: структура.
12. Промислові контролери: мови програмування.
13. Промислові контролери в автоматизованих системах керування виробництвом.
14. Огляд ринку SCADA.
15. Як організувати зв'язок SCADA із пристроями вимірювальної техніки (структура, протоколи, візуалізація тощо).

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. UART и USART. COM-порт. Часть 1. – [Електронний ресурс] режим доступу до ресурсу: http://www.rotr.info/electronics/mcu/arm_usart.htm
2. Описание шины CAN – [Електронний ресурс] режим доступу до ресурсу: http://itt-ltd.com/reference/ref_can.html
3. Розподілені мікропроцесорні системи: конспект лекцій [Електронний ресурс]: для підготовки докторів філософії в галузі знань 17 Електроніка та телекомунікація за спеціальністю 171 Електроніка за спеціалізацією «Електронні системи» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Т. О. Терещенко – Електронні текстові данні (1 файл:5544 кбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 192 с.
4. Universal serial bus [Електронний ресурс] – режим доступу до ресурсу: <http://www.usb.org>
5. Автоматизація виробничих процесів [Текст] : підручник / І. В. Ельперін, О. М. Пупена, В. М. Сідлецький, С. М. Швед ; Нац. ун-т харч. технол. – 2-ге вид., випр. – К. : Ліра-К, 2015. – 378 с.
6. Промислові мережі та інтеграційні технології в автоматизованих системах [Текст] : навч. посіб. / О. М. Пупена, І. В. Ельперін, Н. М. Луцька, А. П. Ладанюк. — К. : Ліра-К, 2011. – 552 с.
7. Промислові контролери [Текст] : навч. посіб. / І. В. Ельперін ; МОН України, НУХТ. – К. : НУХТ, 2003. – 320 с.
8. Boyer, Stuart A. (2010). SCADA Supervisory Control and Data Acquisition. USA: ISA – International Society of Automation. p. 179. ISBN 978-1-936007-09-7.
9. SCADA системи [Електронний ресурс] режим доступу до ресурсу:<http://www.scadasystems.net/>
10. Як вибрати SCADA систему [Електронний ресурс] режим доступу до ресурсу:<http://readonline.com.ua/items/47871-yak-vibrati-scada-sistemu/>