

Ельперін І.В., Швед С.М. Автоматизовані системи управління технологічними процесами: Конспект лекцій до вивчення дисципліни для студентів спеціальності 6.08040 „Інформаційні управляючі системи та технології” напряму підготовки 0804 “Комп’ютерні науки” - К.:НУХТ, 2007. – 71 с.

Рецензент А.П.Ладанюк, доктор техн.наук.

І.В.Ельперін, кандидат технічних наук, доцент
С.М.Швед

Видання подається в авторській редакції

Навчальне видання

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

до вивчення дисципліни для студентів спеціальності 6.08040 „Інформаційні управляючі системи та технології” напряму підготовки 0804 “Комп’ютерні науки” денної та заочної форм навчання

Укладачі: **І.В.Ельперін**, кандидат технічних наук, доцент
С.М.Швед

© І.В.Ельперін, С.М.Швед, 2007
© НУХТ, 2007

ЗМІСТ

Вступ	5
Розділ 1. Автоматизований контроль технологічних параметрів	7
1.1. Загальні положення.....	7
1.2. Методи та засоби вимірювання температури.....	9
1.3. Методи та засоби вимірювання тиску.....	12
1.4. Методи та прилади вимірювання кількості та витрати.....	15
1.5. Методи та прилади вимірювання рівня.....	19
1.6. Контроль фізичних властивостей та складу речовин.....	22
Розділ 2. Автоматичні системи регулювання	22
2.1. Основні принципи регулювання.....	23
2.2. Стабілізуюче, програмне та слідкуюче регулювання.....	24
2.3. Якість процесу регулювання.....	25
2.4. Основні властивості об'єктів регулювання.....	25
2.5. Закони регулювання.....	26
Розділ 3. Виконавчі механізми і регулюючі органи	28
Розділ 4. Промислові мікропроцесорні контролери	31
4.1. Основні принципи побудови мікропроцесорних контролерів.....	31
4.2. Промисловий мікропроцесорний контролер TSX Premium.....	35
4.2.1. Загальна структура контролерів фірми Schneider Electric.....	35
4.2.2. Апаратне забезпечення Modicon TSX Premium.....	36
4.2.2.1. Архітектура контролера.....	36
4.2.2.2. Модулі процесорів.....	37
4.2.2.3. Блоки живлення.....	38
4.2.2.4. Модулі дискретних входів-виходів.....	39
4.2.2.5. Модулі аналогових входів-виходів.....	40
4.2.2.6. Модулі лічильників.....	42
4.2.2.7. Спеціальні модулі.....	42
4.2.2.8. Принципи розміщення й адресації модулів.....	43
4.2.2.9. Розподілені входи-виходи.....	44
4.3. Програмування контролерів MODICON TSX.....	45
4.3.1. Загальні положення.....	45
4.3.2. Структура програми користувача.....	46
4.3.3. Конфігурування контролера.....	46
4.3.4. Конфігурування модулів.....	47
4.3.4.1. Конфігурування дискретних модулів.....	47
4.3.4.2. Конфігурування аналогових модулів.....	48
4.3.4.3. Конфігурування модулів рахункових каналів.....	49
4.3.5. Розробка прикладної програми користувача.....	50
4.3.5.1. Загальні положення.....	50
4.3.5.2. Технологічна мова програмування Ladder Diagram.....	54
4.3.5.3. Мова структурованого тексту (Structured Text).....	61
4.3.6. Приклади виконання фрагментів програм на мовах Ladder Diagram, Instruction List та Structured Text.....	67

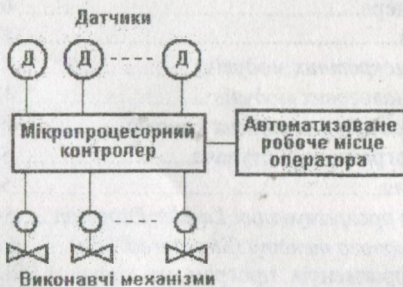
ВСТУП

Незважаючи на досить складну економічну ситуацію на Україні, в галузях харчової промисловості продовжується процес технічної модернізації технологічного обладнання й впровадження сучасних систем управління виробництвом. Це викликане, насамперед, необхідністю випуску продукції яка могла б бути конкурентноспроможною по відношенню до продукції, яка поступає в Україну із закордону. Свідомством того, що цей процес має деякі успіхи є полицки наших магазинів, на яких усе більше з'являється продукція українських виробників, якість якої відповідає сучасним вимогам.

Світовий досвід і аналіз роботи підприємств галузі показує, що неможливо підвищити якість продукції і знизити витрати на її виробництво без широкого впровадження сучасних систем управління обладнанням, технологічними комплексами та створення корпоративних систем управління виробництвом.

Сучасний стан розвитку систем управління характеризується широким впровадженням управляючої мікропроцесорної техніки та комп'ютерно-інтегрованих систем управління, які приходять на зміну традиційним локальним засобам автоматизації. Незважаючи на те, що технічне та програмне забезпечення таких систем розвивається досить швидко, в Україні накопичений досить багатий досвід їх впровадження. Процес широкого впровадження мікропроцесорної техніки в системи управління харчових виробництв розпочався у середині 80-х років. Це, насамперед, стосується цукрової промисловості, яка завжди була лідером у напрямку автоматизації виробництва. Сьогодні біля половини цукрових заводів України впровадили більш або менш розвинені сучасні мікропроцесорні системи управління основними технологічними процесами. Активно почалася ця робота у спиртовій промисловості. Починають активізуватись ці процеси в інших галузях харчової та переробної промисловості.

При побудові автоматизованих систем управління технологічними процесами (АСУТП) на базі мікропроцесорних промислових контролерів змінюється сама ідеологія побудови системи управління. Центральною частиною системи є мікропроцесорний управляючий пристрій до якого підключаються датчики та виконаючі механізми (рис. 1.).



Алгоритм управління об'єктом реалізується програмним шляхом, що створює можливості швидкої адаптації системи управління та його корегування у разі необхідності. Якщо раніше, при змінах в алгоритмі управління необхідно було змінювати технічну структуру системи, то при використанні мікропроцесорної техніки це

Рис. 1. Структура мікропроцесорної системи управління

зводиться до змін у програмі управління об'єктом.

При цьому значно змінюються умови роботи оператора-технолога. Працюючи на автоматизованому робочому місці (АРМ), створеному на базі ПЕОМ або операторської станції, оператор отримує інформацію про стан об'єкта та системи управління ним у зручному для сприйняття вигляді (як правило у вигляді кольорових мнемосхем), що сприяє прийняттю своєчасних та ефективних дій. Крім того, такі системи дають можливість аналізувати роботу обладнання або технологічного комплексу за певний час роботи тому, що ведеться й зберігається, за заданий час не тільки передісторія процесу, а і дії оператора, який ним керує. Це дає можливість не тільки мати об'єктивну й своєчасну інформацію, необхідну для прийняття своєчасних і обґрунтованих управляючих дій, а й дозволяє знаходити та своєчасно усувати фактори, які негативно впливають на ефективне функціонування об'єкта управління.

Використання всіх можливостей, які надають сучасна мікропроцесорна техніка та комп'ютерно-інтегровані технології, створює реальне підґрунтя для розробки потужних систем інтелектуальної підтримки прийняття рішень, практичної реалізації складних алгоритмів управління об'єктом, реалізація яких раніше була просто неможливою або вимагала застосовувати досить складні технічні рішення.

Крім того, впровадження мікропроцесорної техніки створює реальні умови для побудови корпоративних систем управління, які дозволяють, за рахунок широкого використання різноманітних польових шин, локальних та корпоративних мереж, вирішувати задачі координації як при управлінні технологічними комплексами так і виробництвом у цілому.

Виходячи з наведеної загальної структури мікропроцесорної системи управління, можна виділити чотири групи технічних засобів, на базі яких вони будуються: датчики, виконавчі механізми, мікропроцесорні контролери й АРМи оператора-технолога. Їх вивченню і присвячений курс "Автоматизовані системи управління технологічними процесами". Враховуючи напрямок майбутньої діяльності спеціалістів в галузі "управляючі системи та технології" основна увага при вивченні дисципліни приділяється: вивченню фізичних принципів датчиків, за допомогою яких отримується технологічна інформація про стан об'єкту управління; розгляду принципів побудови, законів і алгоритмів управління, які застосовуються в автоматизованих системах управління, а також особливостей використання різноманітних виконавчих механізмів і регулюючих органів. Особлива увага приділяється вивченню спеціального програмного забезпечення, яке використовується, як для програмування промислових мікропроцесорних контролерів, так і для створення автоматизованих робочих місць операторів-технологів.

1. АВТОМАТИЗОВАНИЙ КОНТРОЛЬ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

1.1. Загальні положення

Вимірюванням називається визначення значення фізичної величини дослідним шляхом за допомогою спеціальних технічних засобів.

Методи вимірювання. В основу будь-якого вимірювання фізичних величин покладено певний спосіб, принцип і засоби вимірювання. Загальні способи використання принципів і засобів вимірювання при вимірюванні багатьох фізичних величин називаються **методами** вимірювання.

Найбільш широке використання одержали прямі методи вимірювання: безпосередньої оцінки, порівняння з мірою, протиставлення, нульовий (компенсаційний), диференційний, заміщення та ін..

Найбільш простим методом є метод **безпосередньої** оцінки, який полягає в тому, що визначення вимірюваної величини проводиться по відрахунковому пристрою (шкалі) вимірювального приладу прямої дії, наприклад, зважування на циферблатних вагах, вимірювання тиску по шкалі манометра.

Нульовий (компенсаційний) метод полягає в тому, що на вимірювальний прилад одночасно подається вимірювана величина і зрівноважуюча однорідна величина, а результуючий ефект доводиться до нуля. Компенсаційний метод використовується в автоматичних потенціометрах та мостах. Метод дає високу точність вимірювання і не залежить від зовнішніх умов.

Диференційний метод полягає в тому, що на вимірювальний прилад подається безпосередньо різниця вимірювальної величини і величини відтвореної мірою. Цей метод використовується в тих випадках, коли просто й точно реалізується операція віднімання величин, наприклад, різниця тисків.

Принцип вимірювання – фізичне явище або ж сукупність фізичних явищ, які покладено в основу вимірювання. Наприклад, вимірювання температури за допомогою термоелектричного ефекту, зміни опору електричного термометру, вимірювання тиску за допомогою пружних деформацій та ін..

Засоби вимірювання являють собою сукупність технічних засобів, елементів, які використовуються при вимірюванні і мають нормовані метрологічні характеристики, властивості, тобто відповідають вимогам метрології по одиницям, точності вимірювання, надійності і відтворенню одержаних результатів, а також вимогам по розмірам, конструкції та якості.

Вимірювальним приладом - називається засіб вимірювання, призначений для формування інформації у формі, доступній для безпосереднього сприйняття спостерігачем. По формі видачі інформації прилади діляться на аналогові, покази яких є безперервна функція вимірюваної величини, та цифрові, покази яких дискретні, а інформація подається в цифровій формі. Крім того, прилади бувають: показуючі, самописні, сигналізуючі, регулюючі, з лічильниками, нормуючими перетворювачами та іншими додатковими функціями.

Вимірювальний перетворювач - засіб вимірювання, призначений для формування сигналу вимірюваної інформації у формі, зручній для передачі, подальшого перетворення, обробки та збереження, але безпосередньо не сприймається спостерігачем.

Вимірювальні перетворювачі досить різні як по принципу дії, так і по характеру вихідного сигналу. Вони класифікуються по виду вимірювальної величини (перетворювачі температури, тиску, рівня, густини та ін.), по принципу дії (пневматичні, електричні та ін.), по виду й характеру вихідного сигналу (неперервні, дискретні).

Основною класифікацією передбачається розподіл засобів вимірювання по роду вимірюваних величин: температура - термометри і пірометри; тиск - манометри, вакуметри, мановакуметри, тягоміри, напіроміри; витрата і кількість - витратоміри, лічильники; рівень - рівнеміри, показчики рівня, сигналізатори рівня; концентрація - концентратоміри; склад газів - газоаналізатори; якість води - кондуктометри, рН-метри, киснеміри та ін.

Додатково засоби вимірювання розподіляються на такі групи: за принципом дії - механічні, електричні, пневматичні і ін.; за характером показів - показуючі, самопишучі, реєструючі; за місцем розташування - місцеві, щитові, дистанційні та ін.

Промислові засоби вимірювання мають порівняно просту та надійну конструкцію, високу надійність і невисоку точність. Покази промислових приладів наглядні на досить великій віддалі. Крім того, промислові прилади мають сигналізуючі та регулюючі пристрої, перетворювачі стандартних сигналів, задатчики та ін..

Виготовлення приладів та засобів автоматизації проводиться у відповідності зі стандартними Державної системи приладів та засобів автоматизації (ДСП), які забезпечують єдину ідеологію системи і включають більше 200 стандартів.

За функціональними ознаками виробу ДСП розділяються на наступні групи: засоби одержання інформації від об'єкту; засоби прийому, перетворення та передачі інформації по каналах зв'язку; засоби перетворення, зберігання, опрацювання інформації й формування команд управління; засоби використання та відображення інформації.

По виду енергії живлення та носія сигналу ДСП розділяються на наступні гілки: електрична, пневматична, гідравлічна, комбінована та без використання зовнішньої енергії.

Електрична гілка ДСП - це ряд приладів та засобів автоматизації, в яких для живлення використовується електрична енергія, носієм інформації є електричний сигнал. Носієм інформації аналогової електричної гілки - є постійний струмовий сигнал. Стандартні діапазони зміни сигналів постійного струму : 0 - 5 мА; 0 - 20 мА; 4 - 20 мА; а по напрузі : 0 - 10 мВ; 0 - 10 В.

Пневматична гілка ДСП - це ряд приладів та пристроїв, джерелом енергії яких є стиснене повітря, а носієм інформації - пневматичний сигнал у межах від 20 до 100 кПа.

Гідравлічна гілка ДСП - це ряд приладів та пристроїв, джерелом живлення й енергетичним носієм є гідравлічні сигнали за рахунок стискання рідин. Робочий тиск енергетичних носіїв лежить у межах від 1 до 64 МПа.

Крім того, зв'язок між гілками ДСП проводиться за допомогою перетворювачів сигналів, що дозволяє при автоматизації виробничих процесів створити різні комбінації із приладів і засобів автоматизації різних гілок.

У зв'язку з тим, що у даному курсі нас насамперед буде цікавити системи автоматизації, які побудовані на основі мікропроцесорних промислових контролерів, то в якості джерел технологічної інформації ми будемо розглядати датчики з уніфікованими виходами, які безпосередньо можна підключати до промислових контролерів.

1.2. Методи та засоби вимірювання температури

Температура характеризує ступінь нагрітості тіла і визначається кількістю внутрішньої кінетичної енергії теплового руху молекул. При контакті двох тіл теплота від більш нагрітого переходить до менш нагрітого тіла і в результаті теплообміну проходить вирівнювання температури. Виміряти температуру безпосередньо неможливо, тому визначаються певні властивості **термометричного** тіла, якими можуть бути: об'єм, лінійні розміри, електричний опір, терморушійна сила та ін.

В залежності від принципу дії промислові засоби вимірювання температури розділяються на наступні групи з відповідними межами вимірювання: термометри розширення: - 200°C до 600°C; манометричні термометри: -200°C до 1000°C; термометри опору: - 260 до 1000°C, термоелектричні термометри: - 270°C до 2800 °C; пірометри: -50°C до 3500 °C.

Термометри розширення. Принцип дії скляних рідинних термометрів ґрунтується на тепловому розширенні термометричної рідини розміщеної у скляному резервуарі під впливом температури.

У скляних термометрах використовуються такі термометричні рідини: ртуть, етиловий спирт, толуол, пентан, газ і інші. По призначенню скляні термометри діляться на такі групи: зразкові, лабораторні та технічні.

Принцип дії **дилатометричних та біметалевих** термометрів ґрунтується на зміні своїх лінійних розмірів під впливом температури.

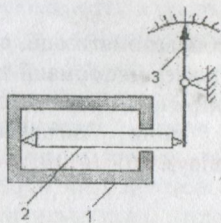


Рис. 1.1. Спрощена схема дилатометричного термометра

Спрощена схема дилатометричного термометра приведена, на рис. 1.1. Трубка 1 виготовляється з матеріалу з малим коефіцієнтом лінійного розширення (інвар, кварц), а стержень 2 - із великим (латунь, мідь, алюміній та ін.). Унаслідок різниці коефіцієнтів лінійного, розширення, при зміні температури стержень переміщується відносно трубки. Посування стержня передається на стрілку приладу 3.

Чутливий елемент біметалічного термометра (рис. 1.2.) являє собою пружину, яка складається з двох, металічних пластин із різним коефіцієнтом лінійного розширення. Так як внутрішня пластина 2 має більший коефіцієнт лінійного розширення, ніж зовнішня 1, при нагріванні така пластина буде випрямлятися. Її посування передається на стрілку 3.

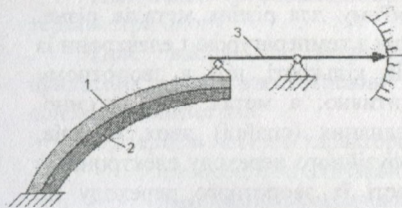


Рис.1.2. Спрощена схема біметалічного термометра

Переваги: простота, надійність.
Недоліки: неможливість передачі показань на відстань.

Принцип дії манометричних термометрів ґрунтується на залежності тиску в замкнутому об'ємі від температури.

Манометричний термометр (рис. 1.3) складається із термоблока 1, капілярної трубки 2, манометричної, трубчатої пружини 3, стрілки приладу 4, біметалевого повідка 8, зубчатого сектора 7, зубчатого колеса 6 та шкали приладу 5.

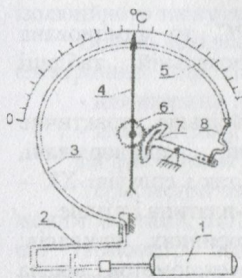


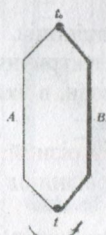
Рис.1.3 Манометричний термометр

Під впливом температури тиск робочої речовини в термобалоні збільшується і по капіляру 2 передається манометричній трубчатій пружині 3, яка під дією тиску розкручується, вільний її кінець через повідок 8, і зубчасту передачу 6 і 7 переміщує стрілку 4 чи перо приладу по його шкалі 5. Термобалон виготовляється з корозійностійкої сталі, а капіляр із сталльної чи мідної трубки $\varnothing$ 0,15-0,5 мм. Манометричні трубчаті пружини можуть бути одновиткові та багатовиткові (спіралеподібні та гелікоїдальні).

В залежності від термометричної речовини манометричні термометри розділяються на газові, рідинні та конденсаційні для різних меж вимірювання температури (табл. 2.2).

Манометричні термометри використовуються для вимірювання температури в інтервалі від -260 до 600°C при дистанційності капілярної трубки в межах слідуючого ряду: 1; 1,6; 2,5; 4; 6; 10; 16; 25 і 40 м.

Манометричні термометри прості, дешеві й надійні в роботі. Недоліки: велика інерційність (1,5 – 2 хвилини), обмежена дистанційність, великі розміри термобалона, мала ремонтоздатність.



1.4. Термопара

Термоелектричні термометри. В основу вимірювання температури термоелектричними перетворювачами (термопарами) покладено термоелектричний ефект, суть якого полягає в тому, що в замкнутому електричному колі, до складу якого входить два і більше різномірні метали (рис. 1.4) виникає електричний струм, якщо місця з'єднання цих провідників мають різні температури. З'єднання, яке має температуру t , називається робочим (гарячим), а з'єднання, що має постійну

температуру t_0 , називається вільними кінцями термоелектричного термометра. Провідники А і В називаються термоелектродами.

Термоелектричний ефект пояснюється наявністю вільних електронів в металах електродів, число яких в одиниці об'єму для різних металів різне. Допустимо, що в з'єднанні двох термоелектродів з температурою t електрони із металу А дифундують в метал В в більшій кількості, ніж в зворотному напрямку, тому метал А заряджується позитивно, а метал У - від'ємно. Електричне поле, яке виникає в місці з'єднання (спайні) двох металів, перешкоджає цій дифузії і коли швидкість дифузійного переходу електронів із металу А в метал В стане рівною швидкості їх зворотного переходу по замкненому колу під впливом сталого електричного поля, наступить стан рухомої динамічної рівноваги. При такому стані між провідниками А і В виникає різниця потенціалів, величина якої пропорційна температурі з'єднаних електродів. Ця різниця потенціалів називається контактною термоелектрорушійною силою (ТЕРС) термопари, яка залежить лише від різниці температур робочої та холодної спайок провідників термоелектричного термометра.

Якщо ж температура вільних кінців дорівнює 0°C , то вимірювана температура визначається безпосередньо по градувальній таблиці відповідного термоелектричного термометра.

В відповідності з державними стандартами найбільше практичне використання одержали стандартні термоелектричні перетворювачі, термоелектроди яких виготовлені як із чистих матеріалів, так і сплавів: ХК – хромель-копель, ХА- хромель- алюмель, ПП – платинородій-платина і т.інше.

Термопари під'єднуються до спеціалізованих вторинних приладів: магнітоелектричного мілівольтметра й автоматичного потенціометра, шкала яких проградуирована в $^{\circ}\text{C}$, або до нормуючих перетворювачів, які перетворюють величину ТЕРС в уніфікований електричний сигнал. Крім того, вони можуть під'єднуватись безпосередньо до спеціалізованих модулів промислових контролерів.

Термометри опору. Принцип дії ґрунтується на зміні електричного опору провідників або напівпровідників під впливом температури й описується рівняннями:

$$\text{для провідників: } R_t = R_0(1 + \alpha \cdot t)$$

$$\text{для напівпровідників: } R_t = R_0(1 + \beta \cdot t)$$

де α і β - коефіцієнти електричного опору провідників і напівпровідників.

Таким чином, знаючи цю залежність, можна, вимірюючи, електричний опір провідників або напівпровідників, судити про температурні умови, в яких вони знаходяться, тобто вимірювати температуру непрямим методом.

Характер залежності $R_t=f(t)$ у провідників та напівпровідників різний: у металів R_t із збільшенням температури зростає, а у напівпровідників - зменшується.

Незважаючи на те що чутливість напівпровідникових термометрів у 5-10 разів вища, ніж у металічних, вони застосовуються значно рідше. Це зумовлено

тим, що їх характеристики $R_t=f(t)$ істотно нелінійні та мають слабе, відтворення параметрів. Це утруднює їх взаємозамінність.

Найбільше розповсюдження в промисловості одержали металічні термометри опору.

При виборі з великого числа відомих металів, матеріалів, придатних для виготовлення термометрів опору, керуються такими основними вимогами.

Матеріали повинні характеризуватись:

- лінійною або близькою до неї залежністю $R_t=f(t)$;
- інертністю до середовища, в якому виконується вимірювання;
- добрим відтворенням властивостей.

Найповніше вказаним вимогам відповідає мідь і платина. Мідні термометри опору використовуються для вимірювання температур у межах від -50°C до $+100^{\circ}\text{C}$, платинові - від -250°C до $+650^{\circ}\text{C}$

Конструктивно термометри опору являють собою відповідно мідну (0,1 мм) або платинову (0,07*мм) проволоку, намотану на стержень або пластину з ізоляційного матеріалу й поміщену в захисну арматуру.

Відомо декілька градувань термометрів опору, в основу яких покладено електричний опір термометра при 0°C :

- для платини 50П, ІООП, ,...;
- для міді 50М, ІОМ, ...

Цифра означає опір термометра при 0°C , а літера - матеріал.

Термометри опору працюють у комплекті зі зрівноваженим і незрівноваженим мостами, логометрами та цифровими приладами. Необхідно пам'ятати, що термометр відповідного градування може бути підключений до вторинного приладу того ж градування, яке вказане на його шкалі.

Крім того, термометри опору можуть під'єднуватись до нормуючих перетворювачів, які перетворюють величину опору в уніфікований електричний сигнал. Крім того, вони можуть під'єднуватись безпосередньо до спеціалізованих модулів промислових контролерів.

Порівняно з манометричними термометрами термопарі й термометри опору точніші, менш інерційні, дають можливість передавати показання на далекі відстані.

1.3. Методи та засоби вимірювання тиску

Тиск є одним із важливих параметрів технологічних і теплових процесів, який характеризує внутрішню енергію середовища та стан обладнання. Він належить до найменш інерційних параметрів, а тиск насиченої пари чітко пов'язаний з її температурою.

Тиском називається сила, яка рівномірно й нормально діє на площу. Одиниця тиску – це відношення одиниці сили до одиниці площі. За одиницю тиску

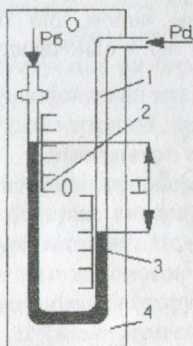


Рис. 1.5. Двотрубні прилади тиску

прийнято паскаль – тиск, з яким рівномірно й нормально діє сила в 1 ньютон на площу 1 м^2 .

Прилади для вимірювання тиску класифікують за видом вимірюваної величини: манометри, диференціальні манометри, вакуумметри, мановакуумметри. За принципом дії: рідинні, деформаційні, електричні. За точністю: зразкові, лабораторні, технічні та ін.

Рідинні прилади тиску. Принцип їхньої дії ґрунтується на зрівноваженні вимірюваного тиску або різниці тисків гідростатичним стовпом рідини. Залежно від величини вимірюваного тиску чи вакууму застосовують такі рідини, як вода, спирт, ртуть і мінеральні масла. Перевага рідинних приладів полягає у їхній простоті, низькій вартості, високій точності, надійності та наочності.

Рідинні прилади бувають двотрубними й однотрубними:

Двотрубні прилади тиску (рис. 1.5) складаються з U-подібної скляної трубки 1 діаметром 5-10 мм, заповненої до половини висоти робочою рідиною 3 і шкали 2. Система знаходиться в рівновазі, коли гідростатичний тиск відкритого коліна зрівноважить вимірюваний тиск P , який діє на друге коліно трубки приладу:

$$P_a = P_6 + \rho gH,$$

де H – різниця рівнів рідини в трубках, мм; ρ – густина рідини, кг/м^3 ;
 g – прискорення вільного падіння, м/с^2 .

Таким чином, надлишковий тиск пропорційний різниці висот гідростатичних стовпів рідини у двотрубному манометрі: $\Delta P = P_a - P_6 = \rho gH$.

Недоліком двотрубних приладів є подвійна похибка відрахунку за шкалою.

Деформаційні манометри. Принцип дії деформаційних манометрів полягає в тому, що тиск вимірюється по величині деформації пружних елементів або за силою, яку вони розвивають.

Розрізняють такі чутливі елементи (рис. 1.6): одновиткові (а) й багатовиткові трубчаті пружини (б), мембрани (в), сільфони (с).

Під впливом внутрішнього надлишкового тиску трубчаті пружини овального або еліптичного перетину деформуються таким чином, що їх, перетин прагне до збільшення малої й зменшення великої осі з одночасним розкрученням витка (рис. 1.6, б).

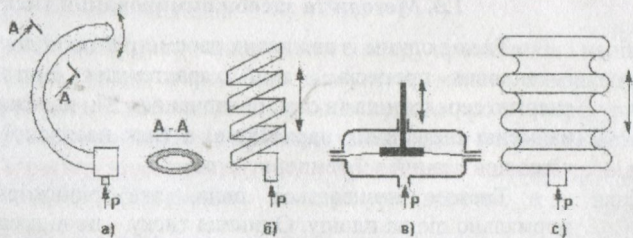


Рис. 1.6. Чутливі елементи деформаційних елементів

Багатовиткова (гелікоїдальна) трубчата пружина являє собою ніби сукупність великої кількості одновиткових і під дією тиску має сумарний кут розкручення.

З мембранних пружних чутливих елементів найбільше значення мають плоскі мембрани з центральним диском і штоком.

У сильфонних манометрах пружним чутливим елементом є сильфон, який являє собою циліндричну тонкостінну судину з кільцевими складками (гофрами).

Деформаційні прилади найбільш поширені при вимірюванні тиску в промисловості. Вони прості й компактні за конструкцією, надійні у роботі, мають широкий діапазон вимірювання тиску – від 0,1÷160 МПа при достатній точності. Чутливими елементами їх є прості й гофровані мембрани, сильфони, одновиткові та багатовиткові трубчасті пружини. Принцип дії деформаційних приладів ґрунтується на пружних деформаціях чутливих елементів під впливом тиску чи розрідження.

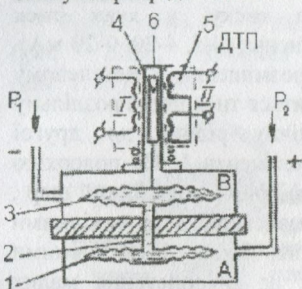


Рис. 1.7. Мембранний дифманометр

Чутливим елементом дифманометра рис. 1.7 є мембранний блок, який складається із двох мембранних коробок 1 і 3, з'єднаних між собою каналом 2 і розмішених у різних камерах. Мембранні коробки заповнені дистильованою водою. В нижню камеру підводиться вищий тиск P_1 , а у верхню – нижчий P_2 . З центром мембрани верхньої коробки 3 жорстко з'єднаний сердечник 4 дифтрансформаторного перетворювача 5. Сердечник, розмішений у середині роздільної трубки 6 із нержавіючої сталі. При підведенні до приладу перепаду тиску $\Delta P = P_1 - P_2$ рідина із

нижньої мембранної коробки 1 по каналу 2 проходить у верхню коробку 3, в результаті чого її об'єм збільшиться, верхня мембрана зміститься вгору і перемістить плунжер 4. ДТП формує електричний сигнал пропорційний перепаду тисків.

Електричні манометри. Принцип дії електричних манометрів ґрунтується на перетворенні тиску чи вакууму в електричний параметр, який функціонально пов'язаний з тиском. До цієї групи належать: манометри опору, п'єзоелектричні, тензоелектричні та ін.

Манометри опору. Принцип роботи таких приладів ґрунтується на зміні електричного опору провідників під дією зовнішнього надлишкового тиску. Найширше використовують манганін, температурний коефіцієнт опору якого дуже низький. Недоліком його є малий приріст опору на одиницю тиску. Тому за його допомогою вимірюють високий і надвисокий тиск (до 3000 МПа). Для вимірювання опору чутливого елемента використовують мостові схеми.

П'єзоелектричні манометри. Принцип дії ґрунтується на властивостях кристалічних речовин накопичувати електричні заряди на поверхні під дією механічної сили (тиску). Це явище називається п'єзо ефектом, яке характерне

для кристалів кварцу, турмаліну, сегнетової солі, титану барію та ін. П'єзоефект, безінерційний, заряди виникають у момент дії сили тиску.

Для виготовлення п'єзокристалічних датчиків найширше використовують кварц, який має безінерційний п'єзоефект, механічну міцність, добрі ізоляційні властивості і не гігроскопічний. Його п'єзоефект не залежить від температури до $+500^{\circ}\text{C}$.

Тензоелектричні прилади набули поширення при вивченні різних деформацій механічних конструкцій та елементів. Першими приладами для вимірювання тиску були манометри з

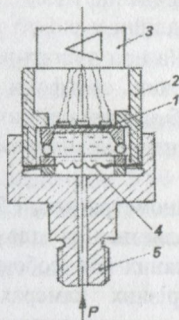


Рис. 1.8. Схема тензоперетворювача типу Сапфір-22

напівпровідниковими тензоперетворювачами типу "Кристал". Поява гетероепіксіальних структур "кремній на сапфірі" КНС дала можливість розробити й впровадити у серійне виробництво тензорезисторні перетворювачі з високими метрологічними властивостями. Промисловістю освоєно випуск приладів із тензоперетворювачами "Сапфір-22" для вимірювання тиску, у яких тиск перетворювався в електричний сигнал (0-5, 4-20, 0-20 мА). Чутливий елемент (рис. 1.8) 1 розміщений у металевому корпусі 2. Через ніпель 5 підводиться тиск через роздільну мембрану 6 та кремнійорганічну рідину до другої металевої мембрани чутливого елемента 1. На поверхню пружної мембрани нанесено сапфіровий ізоляційний шар, а на нього - кремнієві тензорезистори 3 із вихідними привідниками до вимірювального блока 4. Основними

позитивними якостями перетворювачів "Сапфір-22" є використання малих деформацій чутливих елементів, надійність, безінерційність, стабільність характеристик, компактність, вібро- та термостійкість. Похибку вимірювання можна знизити до 0,1%.

1.4. Методи та прилади вимірювання кількості та витрати

Вимірювання кількості та витраті рідин та газів у харчових виробництвах має важливе значення як для контролю результатів роботи виробництв, так і для управління технологічними процесами.

Кількістю речовини наливають сумарний об'єм або масу речовини, що проходить через поперечний перетин трубопроводу або іншого транспортного пристрою за певний проміжок часу. Кількість речовини виражають в одиницях об'єму (м^3) або маси (кг).

Для вимірювання кількості рідин і газів використовуються **об'ємні та швидкісні лічильники**.

Принцип дії швидкісних лічильників оснований на залежності швидкості обертання робочого органу від середньої швидкості потоку речовини, що рухається, а значить і кількості речовини, що протікає за певний проміжок часу.

По формі робочого органу лічильники діляться на прилади з крильчаткою (рис. 1.9а) й з винтовою вертушкою (рис.1.9б). Перші розміщуються паралельно вимірюваному потоку, другі - перпендикулярно йому.

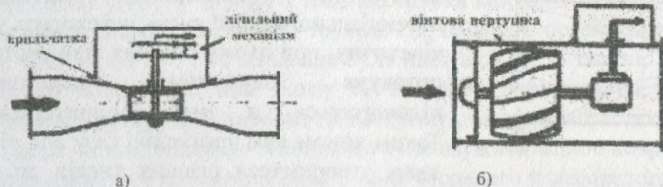


Рис.1.9. Швидкісний лічильник з крильчаткою (а) і винтовою вертушкою (б)

Принцип дії об'ємних лічильників оснований на періодичному або безперервному відліку постійних об'ємних порцій рідкої, газоподібної або сипучої речовини, що проходить через прилад та підсумовуванні результатів вимірювання.

Розрізняють об'ємні лічильники з овальними шестернями (рис. 1.10), ковшові лічильники, поршневі, дискові, ротаційні (рис. 1. 11) і т.ін.

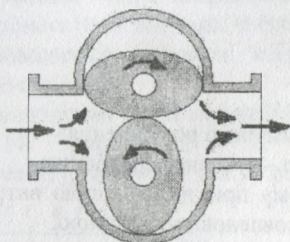


Рис.1.10. Лічильник з овальними шестернями

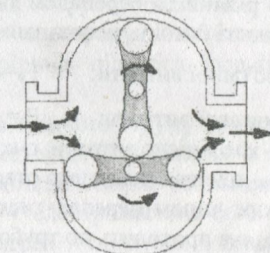


Рис.1.11. Ротаційний лічильник

Швидкісні та об'ємні лічильники, розраховані на робочий тиск рідини до 1 МПа і температуру до 40°C. Похибка лічильників становить $\pm 2,5-3\%$.

Крім лічильників для визначення кількості речовини досить часто використовуються дозатори та вагові пристрої: механічні, автоматичні, неперервної та періодичної дії.

Витрата - кількість речовини, яка проходить по каналу, трубопроводу в одиницю часу. Одиниці вимірювань витрати об'ємні (м/год; м/с; л/с), масові (т/год; кг/год; кг/с; г/с). Масові витрати з об'ємними пов'язані залежністю:

$$F_m = F_v \cdot \rho$$

де F_m і F_v - масова та об'ємна витрати; ρ - густина речовини, кг/м^3 .

Витратоміри змінного перепаду тиску є найбільш поширеним методом вимірювання витрати рідини, пари й газу. В основу методу покладено залежність перепаду тиску на звужуючому пристрої, установленому на трубопроводі, від витрати вимірюваного середовища. Звужуючими пристроями

можуть бути стандартні пристрої: діафрагми, сопла, подовжені та короткі сопла.

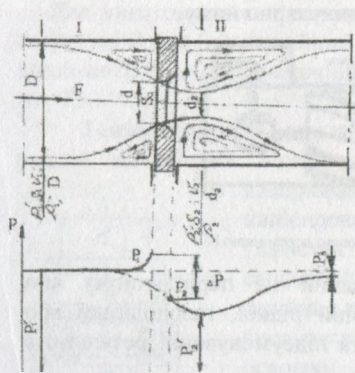


Рис. 1.12 Профіль руху потоку через діафрагму

При протіканні рідини або газу через звужуючий пристрій частина потенціальної енергії тиску переходить у кінетичну, при цьому середня швидкість потоку у звуженому перетині підвищується, а тиск зменшується. Таким чином при протіканні газу або рідини утворюється різниця тисків до і після звужуючого пристрою.

На рис. 1.12 показано профіль руху потоку через діафрагму, завихрення, а також розподіл тиску по довжині трубопроводу. Перепад тисків ($\Delta P = P_1 - P_2$) на діафрагмі залежить від швидкості потоку, який протікає по звужуючому пристрою, в свою чергу швидкість прямо пропорційна витраті. Залежність між витратою рідини та перепадом тиску, виходячи з закону збереження енергії й нерозривності потоку, можна записати:

для об'ємної витрати: $F_o = a \cdot \varepsilon \cdot S_o \sqrt{2(p_1 - p_2) / \rho}$;

для масової витрати: $F_o = a \cdot \varepsilon \cdot S_o \sqrt{2(p_1 - p_2) \cdot \rho}$;

де a - коефіцієнт витрати; ε - коефіцієнт адиабатичного розширення;

S_o - площа прохідного отвору діафрагми; ρ - густина середовища.

Таким чином перепад тиску на звужуючому пристрої є мірою витрати речовини, яка проходить по трубопроводу з встановленою діафрагмою.

Витратоміри постійного перепаду тиску (ротаметри) використовуються для вимірювання витрати однорідних і чистих рідин та газів.

Принцип дії ротаметрів оснований на вертикальному переміщенні поплавка, що знаходиться всередині конічної трубки, під дією потоку, який проходить знизу догори.

На поплавок, розміщений всередині конічної трубки (рис.1.13), по якій знизу догори протікає рідина або газ, діють дві результуючі сили F_1 і F_2 .

Сила ваги F_1 обумовлена дією поплавка й виштовхуючої сили, яку з врахуванням ряду припущень можна вважати величиною постійною. Сила F_2 обумовлена різницею тисків, що виникає до і після поплавка, бо в цьому місці відбувається звуження потоку. Як слідує з розглянутого в попередньому підрозділі матеріалу, величина перепаду тиску, а значить цієї сили, залежить як від швидкості струменя (тобто величини витрати), так і від величини звуження.



Рис. 1.13. Ротаметр

Якщо сили F_1 і F_2 рівні, поплавков знаходиться в нерухомому стані. Якщо, наприклад, витрата збільшилась, то збільшиться різниця тисків ΔP до і після поплавка, й за рахунок цього поплавок починає переміщуватися угору. Але при переміщенні угору, у зв'язку з тим, що трубка конусна, починає збільшуватися зазор між поплавком і стінкою трубки. Це, навпаки, призводить до зменшення ΔP й відповідно F_2 . Рух поплавка буде відбуватися до тих пір, поки поплавок не займе положення, при якому F_2 не стане дорівнювати F_1 , тобто, коли відновиться попередній перепад тисків (тому ці витратоміри так і називаються).

Таким чином, положення поплавка буде служити мірою витрати речовини.

Випускаються ротаметри скляні - для місцевого й лабораторного контролю, а також металічні з дистанційною передачею.

Ротаметри мають потребу в індивідуальному градуванні.

Промисловістю випускаються ротаметри скляні, типу РМ і РМФ та ротаметри із нержавіючої сталі, звичайні, з обігрівом і футеровані фторопластом з електро- та пневмоперетворювачами типів РЕТММ, РПММ. Клас точності ротаметрів 1.5 і 2.5. Максимальна витрата становить $63 \text{ м}^3/\text{год}$.

Індукційні витратоміри широко використовуються для вимірювання витрати *електропровідних* як звичайних, так і агресивних рідин.

Принцип дії індукційних витратомірів ґрунтується на явищі електромагнітної індукції, тобто на вимірюванні електрорушійної сили (ЕРС), яка наводиться в потоці електропровідної рідини під дією зовнішнього магнітного поля.

Принципова схема індукційних витратомірів змінного струму приведена на рис.1.14. Трубопровід 1 із немагнітного матеріалу (нержавіюча сталь, пластмаси, фторопласт і ін.) з рідиною 2, що протікає в ньому розміщений між полюсами 3 і 4 електромагніта 5. У стінки трубопроводу через ізолятори 6 заведенні з діаметрально протилежних боків два електроди 7. Внутрішня частина трубопроводу покрита ізоляційним матеріалом 8. Між електродами 7 утворюється рідинний провідник, в якому іони під дією магнітного поля переносять і віддають свої заряди електродам 7, утворюючи при цьому електрорушійну силу (ЕРС) пропорційну швидкості потоку, магнітній індукції та

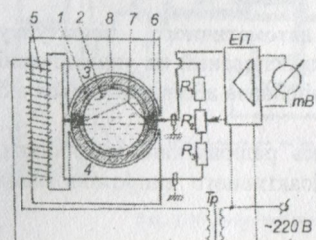


Рис.1.14 Схема індукційного витратоміра

довжині рідинного провідника:

$$E = L \cdot B \cdot v_{cp}$$

де: B - магнітна індукція; v_{cp} - швидкість потоку, м/с; L - довжина рідинного провідника (внутрішній діаметр труби D_y), м.

При постійному значенні B і D_y витрата рідини пропорційна наведеній електрорушійній силі E . Сигнал від електродів по екранованих провідниках, подається на електронний підсилювач до вимірювального приладу.

Крім проведених раніше витратомірів промисловістю випускаються

ультразвукові, теплові, вихрові та ін.

Автоматичні терези, дозатори, лічильники готової продукції.

Автоматичні терези використовуються для обліку сировини, допоміжних матеріалів і готової продукції.

Розрізняються автоматичні терези періодичної й безперервної дії. Принцип роботи терезів періодичної дії оснований на зважуванні заданих порцій речовини, яка поступає у спеціальний прийомний ковш з автоматичним його розвантаженням при досягненні заданої маси. Дозатор містить лічильник кількості порцій, що визначають зважену порцію.

Межі зважування терезів - від 40 до 80 кг. Клас точності 0,1.

Принцип роботи автоматичних терезів безперервної дії оснований на безперервному зважуванні матеріалу, який рухається на конвеєрній стрічці (на певній її ділянці). У процесі роботи товщина шару матеріалу, що рухається на стрічці конвеєра, регулюється.

При управлінні (керуванні) об'єктами харчової промисловості для стабілізації матеріальних струменів використовують різні дозувальні прилади, які вимірюють й видають задану кількість речовини. У залежності від роду дозуючих речовин розрізняють дозатори рідин, сипучих матеріалів та газів.

Для обліку штучної продукції, або продукції, яка міститься в стандартній тарі або упаковці, розроблені і використовуються різні системи обліку. З них найбільшу цікавість складають системи, в основі яких лежать безконтактні методи контролю, такі як електроіндуктивні, фотоелектричні та радіоактивні.

Електроіндуктивні лічильники використовуються для обліку продукції, упакованої у металеву тару або скляну з металевою кришкою. Принцип їх дії оснований на зміні індуктивності або зриву генерації контура коливання, в зону дії, котрого потрапляє метал.

Фотоелектролічильники призначені для автоматичного підрахунку непрозорої штучної продукції. Принцип їх роботи оснований на уловлюванні переривання струменя світла, який йде від випромінювача або відбивається від виробу, що рухається по транспортеру.

У деяких випадках можуть використовуватись радіоактивні лічильники, принцип дії яких оснований на поглинанні радіоактивного випромінювання предметом., що підлягає рахуванню.

1.5. Методи та прилади вимірювання рівня

Майже в усіх технологічних процесах харчових виробництв виникає необхідність в вимірюванні рівня рідин та сипучих матеріалів, а також сигналізації мінімально- чи максимально- припустимих рівнів у резервуарах, апаратах. Сучасні прилади рівня можна розділити на дві основні групи: рівнеміри та сигналізатори рівня. За принципом дії рівнеміри розділяються на: механічні, гідростатичні, кондуктометричні, ємнісні, радіоізотопні, акустичні, ультразвукові й ін.

Поплавкові рівнеміри. Принцип дії поплавкових рівнемірів оснований на законі Архімеда (на занурене в рідину тіло діє виштовхуюча сила, яка чисельно

дорівнює вазі рідини, витісненої тілом, й прикладена в центрі ваги об'єму зануреної частини тіла).

Існує два типи поплавкових перетворювачів. У рівнемірі з плаваючим поплавком використовується поплавок, який плаває на поверхні рідини і має постійну глибину занурення. Рівень рідини визначається вимірюванням переміщення поплавка.

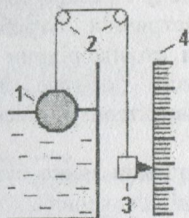


Рис. 1.15. Поплавковий рівнемір

На рис. 1.15. приведений простіший рівнемір із плаваючим поплавком: 1 - поплавок; 2 - ролик; 3 - противага з показником; 4 - шкала. При зміні рівня перевищується поплавок, що у свою чергу, приводить до зміни показника рівня. Переміщення поплавка може також передаватись на перетворювач для перетворення переміщення у вихідний сигнал.

Існує велика різноманітність типів й конструкцій. Застосовуються для неагресивних й некристалізуючих рідин. Прилади такого типу не можна застосовувати в резервуарах, що знаходяться під надлишковим тиском.

У рівнемірі із зануреним поплавком вимірюється виштовхуюча сила, діюча на поплавок, глибина занурення якого змінюється в залежності від рівня рідини.

Схема буйкового рівнеміра з пневмоперетворювачем показана на рис. 1.16.: 1 - поплавкова камера, 2 - циліндр, поплавок буйкового типу, 3 - важіль, 4 - пневмоперетворювач.

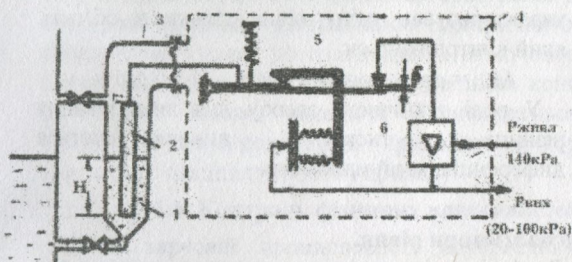


Рис. 1.16. Буйковий рівнемір

Маса буйка вибирається такою, щоб він не спливав при повному його зануренні. При зміні рівня в поплавковій камері змінюється виштовхуюча сила, що діє на буйок. Це, у свою чергу, приводить до переміщення заслінки пневмоперетворювача. Так, при збільшенні рівня

заслінка наближається до сопла, і тиск на виході пневмоперетворювача збільшується. Система важелів у пневмоперетворювачі підбирається таким чином, щоб залежність зміни вихідного тиску Рвих. була пропорційна зміні рівня.

Недоліком буйкових рівнемірів є залежність їх від показань від густини рідини.

Гідростатичні рівнеміри. Принцип дії гідростатичних приладів оснований на вимірюванні тиску, який створює стовп рідини:

$$P_{ст} = \rho g H,$$

де: ρ - густина рідини, g - прискорення вільного падіння.

За способом вимірювання цього тиску гідростатичні рівнеміри діляться на прилади з безперервним продуванням повітря або іншого газу (п'єзометричні рівнеміри) і з безпосереднім вимірюванням тиску стовпа рідини.

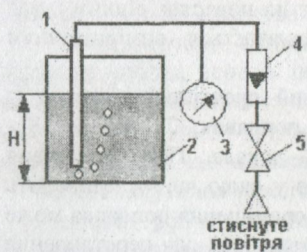


Рис. 1.17. П'єзометричний рівнемір

У п'єзометричному рівнемірі (рис. 1.17) стиснуте повітря або газ через дросель 5 та ротаметр 4 подається у відкриту з одного кінця п'єзометричну трубку 1, занурену в резервуар 2. Тиск повітря в п'єзометричній трубці зумовлюється протитиском стовпа рідини й дорівнює йому. Тому тиск повітря, що вимірюється манометром 3 характеризує рівень рідини в резервуарі.

При вимірюванні рівня рідини може бути використана схема підключення з використанням зрівнювальної посудини. На рис. 1.18 приведена схема вимірювання рідини у відкритих посудинах.

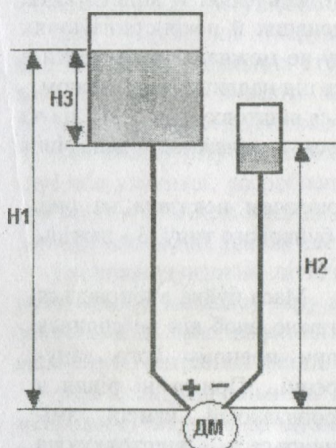


Рис. 1.18. Гідростатичний рівнемір

У розглянутому способі вимірювання про зміну рівня судять по величині різниці тисків, які створюються стовпами рідини в збірнику або резервуарі й зрівнювальній посудині. При цьому рівень рідини в зрівнювальній посудині вибирається таким чином, щоб перепад тиску характеризував зміну рівня тільки в об'єкті, який контролюється:

$$\Delta P_{ст} = \rho g H_1 - \rho g H_2 = \rho g (H_1 - H_2) = \rho g H_3$$

У ролі технічного засобу для вимірювання різниці тисків використовується диференціальний манометр.

Ємнісні вимірювачі та сигналізатори рівня.

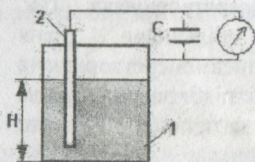


Рис. 1.19. Ємнісні рівнеміри

Ємнісні вимірювачі рівня використовуються для вимірювання рівня рідин та сипучих матеріалів. Принцип дії їх оснований на перетворенні величин рівня в електричну ємність датчика. Схема вимірювання рівня ємнісними рівнемірами показана на рис. 1.19.

У посудині 1, в якій необхідно вимірювати рівень, розміщується електрод 2. Якщо стінка посудини металева, то разом з електродом вона утворює циліндричний конденсатор, ємність якого змінюється пропорційно величині рівня рідини або сипучого матеріалу, яка знаходиться в посудині:

$$C = K \cdot H.$$

Електроди мають бути голими металічними стержнями (для середовищ діелектриків), пластинчастими (для сипучих матеріалів), а також покритими ізоляцією (для електропровідних середовищ).

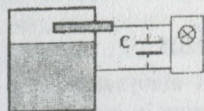


Рис. 1.20. Емнісні сигналізатори

Величина зміни ємності перетворюється спеціальними електронними схемами в показання приладу.

У випадку використання емнісних датчиків для сигналізації досягнення рівня в збірнику заданої величини металеві стержні встановлюються на відповідних рівнях. На рис. 1.20 відображена установка датчиків для сигналізації верхнього рівня.

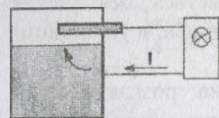


Рис. 1.21. Кондуктометричні сигналізатори

Кондуктометричні сигналізатори рівня. Принцип дії кондуктометричних сигналізаторів рівня оснований на вимірюванні опору між електродами, введеними в електропровідне середовище. По конструкції кондуктометричний датчик (рис. 1.21) подібний до емнісного. В його склад також входять два або більше електродів, один із яких може бути металева стінка посудини, а іншим – металеві стержні.

Як і для емнісних сигналізаторів, стержні встановлюються на відповідному рівні, досягнення якого потрібно сигналізувати. Однак, якщо в емнісних сигналізаторах рівня при дотику електрода поверхні рідини в посудині змінюється електрична ємність конденсатора, то в кондуктометричних сигналізаторах рівня дотик електропровідної рідини електрода приводить до замикання електричного поля між стінкою посудини та електродом, і отже, до спрацювання включеного в це коло реленого блоку. Сигналізатор простий, має високу точність контролю заданих положень рівня (± 2 мм). Однак, наявність безпосереднього електричного контакту з контролюючим середовищем приводить до корозії і забруднення електродів, що знижує надійність роботи приладу.

1.6. Контроль фізичних властивостей та складу речовин

В харчовій промисловості використовується контроль за великою кількістю технологічних параметрів, які характеризують фізико-хімічні властивості продуктів та складу речовин. Для їх вимірювання використовуються спеціальні автоматичні прилади.

Так для вимірювання окремих фізико-хімічних властивостей використовуються:

- для вимірювання вологості – психрометри, гігрометри, вагові вологоміри, кондуктометричні вологоміри, діелькондуктометричні вологоміри;
- для вимірювання рН – автоматичні рН-метри;
- для вимірювання густини – поплавкові густиноміри, вагові рівнеміри, гідростатичні густиноміри, радіоізотопні рівнеміри;
- для вимірювання концентрації – рефрактомери, концентратоміри, поляриметри, титриметри;

- для вимірювання в'язкості – капілярні, шарикові, ротаційні та вібраційні візкозиметри;
- для визначення складу газової суміші – хімічні, термокондуктометричні, оптико-акустичні та інші газоаналізатори.

2. АВТОМАТИЧНІ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ

Автоматика - технічна наука, що вивчає процеси, які відбуваються в автоматичних та автоматизованих системах управління, з метою їх аналізу та розробки (синтезу) нових систем.

Автоматизація - процес впровадження технічних засобів, що замінюють працю людини з управління.

В автоматичній системі процес управління відбувається без участі людини. В автоматизованій системі, поряд з технічними засобами, в управлінні бере участь людина.

Будь-яку систему управління, узагальнюючи можна розглядати як сукупність двох основних взаємодіючих елементів: об'єкта управління та управляючого пристрою.

Однією з найбільш розповсюджених систем управління є автоматизовані системи регулювання (АСР) призначенням яких є підтримання технологічних параметрів об'єкта на заданому рівні.

В об'єкті регулювання можна виділити три типи змінних: регульовані змінні, управляючі змінні та збурення.

Регульовані змінні (X), це змінні, значення яких треба підтримувати на заданому значенні (X^*) чи змінювати за відповідними алгоритмами.

Збурення (Z) це зовнішні дії, які спричиняють до небажаних змін в об'єкті регулювання, тобто сприяють відхиленню регульованих змінних від заданих значень.

Управляючі змінні (U) виробляються регулюючим пристроєм і подаються на об'єкт управління з метою компенсації впливу збурень і ліквідації відхилення регульованої змінної від заданого значення.

2.1. Основні принципи регулювання

Практично всі АСР галузі побудовані на базі використання двох основних принципів регулювання: по відхиленню та по збуренню, причому АСР по відхиленню є найбільш поширеною.

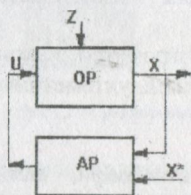


Рис.2.1. АСР по відхиленню

В АСР по відхиленню (рис.2.1) на автоматичний регулятор (АР) поступає сигнал регульованої змінної від об'єкта регулювання (X) і задане її значення (X^*). Тобто на вхід регулятора поступає "відхилення" ($\Delta X = X - X^*$) регульованої змінної від заданого значення. АР виробляє управляючу дію (U), яка поступає на вхід об'єкта регулювання (ОР) з метою ліквідації відхилення.

Перевага такої АСР у тому, що для регулювання не потрібно вимірювати жодного збурення, бо відхилення є

наслідком дії їх усіх. Дана система також має назву замкненої АСР або АСР із зворотнім зв'язком.

Недоліком системи є те, що процес регулювання починається лише після виникнення відхилення ΔX . Для інерційних об'єктів це може привести до неприпустимих для технології відхилень.

В ЛСР по збуренню (рис. 2.2) на АР передається інформація про збурення, що виникло на вході в ОР.

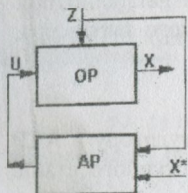


Рис.2.2. АСР по збуренню

Для більшості систем інерційністю АР можна знехтувати в порівнянні з інерційністю об'єкта. В такому випадку сигнал U з'являється практично в той самий момент, що і Z , тому управління може встигнути компенсувати дію збурення, тобто відхилення ΔX внаслідок дії даного збурення може дорівнювати нулю. Це, безумовно, є перевагою цієї системи. Але суттєвим недоліком такої АСР є те, що вона реагує лише на те збурення, сигнал якого подається на АР. На ОР в умовах виробництва діє значна кількість збурень, деякі з них неможливо контролювати. Під дією цих збурень вихідна змінна X відхиляється від заданого значення, а система не реагує на ці відхилення.

У галузі найбільш поширені АСР по відхиленню. Зважаючи на основний недолік, АСР по збуренню застосовується лише в тих випадках, коли відсутні автоматичні датчики регульованих змінних X або якщо ці датчики мають дуже велику інерційність, а з численних збурень на ОР можна виділити основне, дія якого буде компенсуватися АР. Наприклад, за такою схемою відбувається регулювання концентрації сухих речовин дифузійного соку цукрового виробництва. Основним збуренням на об'єкт є зміна витрат бурякової стружки в дифузійний апарат. Даний сигнал поступає на регулятор, співвідношення "стружка-вода". При зміні цього сигналу регулятор змінює приток води в апарат таким чином, щоб співвідношення двох витрат, а тим самим і концентрація сухих речовин, лишалися незмінними. Але дана система не реагує на інші збурення: зміну якості бурякової стружки, або температури екстракції, - дія яких також впливає на концентрацію.

У разі, якщо застосування найбільш поширеної системи по відхиленню приводить до неприпустимих відхилень розроблюють більш складні багатоконтурні АСР, наприклад, комбінованої системи, яка поєднує принципи побудови АСР по збуренню і відхиленню.

2.2. Стабілізуюче, програмне та слідкуjące регулювання

Розрізняється за законом зміни завдання під час регулювання. Для більшості апаратів безперервної дії потрібно підтримувати на постійному рівні значення регульованих змінних - вирішувати задачу стабілізації. З цієї метою при стабілізуючому регулюванні потрібно підтримувати постійно значення $X^* = \text{const}$. Це, наприклад, системи стабілізації рівня по корпусах випарної установки, стабілізації температури та тиску в спиртовій колоні і т.ін.

У багатьох апаратах періодичної дії потрібно змінювати регульовану величину за деякою наперед відомою залежністю (наприклад, температуру в суслварочному котлі або подачу субстрату в ферментер періодичної дії). Ця залежність і є програмою зміни завдання з плином часу $X^*=f(t)$. Такі системи називаються системи програмного управління.

У системах слідкуючого регулювання завдання також є змінним і залежить від зміни іншої змінної, тобто $X^*=f(X_1)$. До таких систем, наприклад, відносяться всі системи регулювання співвідношення двох витрат, коли при зміні значення однієї витрати повинна змінитись витрата іншого параметра, зберігаючи задане співвідношення між ними.

2.3. Якість процесу регулювання

Внаслідок зміни дії збурення на об'єкт або завдання, регулятору в АСР виникає перехідний процес - перехід під попереднього до наступного станів рівноваги.

Якість перехідних процесів, що виникають у найбільш поширених замкнених АСР стабілізації під впливом збурення, характеризується рядом показників. Розглянемо основні з них (рис. 2.3). Динамічна похибка X_d являє собою найбільше відхилення від заданого значення в процесі регулювання.

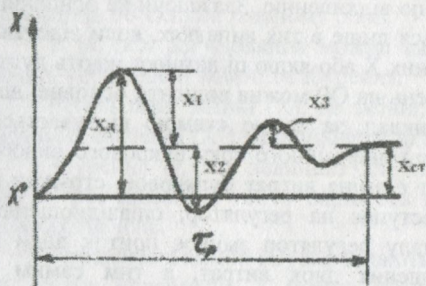


Рис.2.3. Показники якості перехідних процесів

Статична похибка $X_{ст}$ - відхилення від заданого значення після закінчення перехідного процесу (в статиці). Час регулювання t_p - тривалість процесу регулювання.

На основі вимірів амплітуд коливань X_1, X_2, X_3 відносно нового сталого значення X розраховуються показники, які характеризують стійкість АСР. Такими показниками є перерегулювання $(X_1/X_2)*100\%$ та ступінь затухання $\psi = (X_1 - X_3) / X_1$.

Наприклад, в найбільш стійкій АСР виникає аперіодичний (без коливань) процес. Якщо в системі виникли автоколивання $X_3 = X_1$, то $\psi = 0$. Такий перехідний процес характерний лише для систем з позиційними регуляторами. і неприпустимий для інших. Якщо кожна наступна амплітуда коливань перевищує попередню $\psi < 0$ система є нестійкою, що неприпустимо. Таким, чином, стійкою є АСР, що приходить до нового стану рівноваги. Перехідні процеси в ній бажано мати $0,8 < \psi < 1,0$.

2.4. Основні властивості об'єктів регулювання

Властивостями об'єкта, що опливають на якість регулювання, є самовирівнювання та ємність.

Самовирівнювання - здатність об'єкту самостійно надходити до нового стану рівноваги після нанесення на нього збурення. Розглянемо дану

властивість на прикладі резервуару, вхідними діями, на який є зміна потоку та стіку, а вихідною величиною зміна рівня (рис. 2.4).

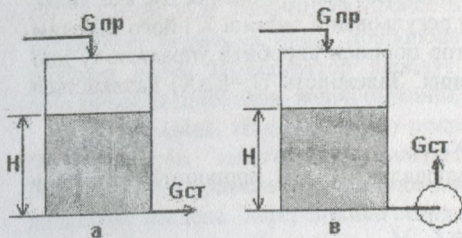


Рис. 2.4. Гідравлічні об'єкти

зрівнюється й настає новий стан рівноваги.

Збільшення притоку в об'єкт рис. 2.4.а спричиняє також зріст рівня та гідростатичного тиску. Але збільшення останнього не призводить до зменшення притоку і досягнення нового стану рівноваги, так як на стоці встановлений насос. Тому різниця між притоком і стоком залишається незмінною і рівень зростає з постійною швидкістю. Таким чином, об'єкт має самовирівнювання лише в тому випадку, коли зміна вихідної величини призводить до такої зміни вхідної дії, що ліквідує небаланс.

Об'єкти, які мають властивість самовирівнювання називаються статичними, а без самовирівнювання – астатичними.

Наявність самовирівнювання полегшує задачу автоматичного регулювання, збільшує стійкість АСР у цілому. Більше 95 % об'єктів галузі мають дану властивість.

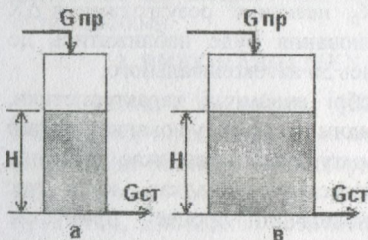


Рис.2.5. Об'єкти з меншою(а) і більшою (б) ємністю

Ємність об'єкта показує кількість речовини або енергії, що акумулюється в об'єкті при даному значенні вихідної величини. Наприклад, при однаковій температурі в різних об'єктах міститься різна кількість теплової енергії, що залежить від їх теплоємності. Вплив ємності на якість регулювання розглянемо також на прикладі гідравлічних об'єктів (рис. 2.5).

Очевидно при дії однакового збурення рівень буде змінюватися з більшою швидкістю в тому об'єкті, ємність якого є меншою.

Ще однією властивістю об'єкта регулювання є **запізнення**, показником якого є час запізнення. Під ним розуміють різницю часу між моментами нанесення збурення або зміною вхідної величини та початком зміни вихідної змінної.

Властивості об'єкту регулювання впливають на показники якості регулювання.

2.5. Закони регулювання

На вхід автоматичного регулятора поступає розузгодження ΔX яке являє собою різницю між поточним значенням регульованої змінної X і його заданим значенням X^* , тобто $\Delta X = X - X^*$. Регулятор повинен виробити управляючу дію U , яка повинна ліквідувати розузгодження. Залежність $U_p = f(\Delta X)$ називається законом регулювання.

Розглянемо властивості деяких з них.

У **пропорційних (П) регуляторах** управляюча дія пропорційна сигналу розузгодження:

$$U_p = K_p \Delta X$$

Для аналізу особливостей П-регулятора продиференціюємо рівняння:

$$dU_p/dt = K_p d(\Delta X)/dt$$

З чого слідує, що процес регулювання почнеться ($dU_p/dt=0$), коли починає змінюватись з якоюсь швидкістю сигнал розузгодження ($d(\Delta X)/dt \neq 0$), тобто регулювання почнеться практично одночасно з появою відхилення регульованої змінної від заданого значення. Завершиться процес регулювання ($dU_p/dt=0$), якщо величина розузгодження перестане змінюватись, тобто коли ($d(\Delta X)/dt=0$). Але при цьому величина ΔX може залишитись не рівній 0. Це обумовлює можливість виникнення статичної похибки, тобто різниці між заданим значенням регульованої змінної та її значенням, яке залишається в кінці процесу регулювання.

Величина статичної похибки залежить від коефіцієнту передачі регулятора K_p : чим більший коефіцієнт передачі, тим менша статична похибка. Але збільшення коефіцієнту передачі обмежене вимогами стійкості системи регулювання. Так як при значних K_p незначне розузгодження ΔX призводить до значних змін U_p і процес регулювання буде наближатись до позиційного, а його характер буде наближуватись до автоколебального.

Таким чином, П-регулятори мають добрі динамічні характеристики, тобто процес регулювання характеризується малим часом регулювання і погані статичні характеристики, так як у кінці регулювання виникає статична похибка. Тому П-регулятори використовуються у випадках, коли час регулювання має бути невеликим, а технологічний процес припускає наявність статичної похибки.

У **пропорційно-інтегральних (ПІ) регуляторах** управляюча дія пропорційна як розузгодженню, так і інтегралу від нього:

$$U_p = K_p \left(\Delta X + \frac{1}{T_i} \int_0^{t_p} \Delta X dt \right)$$

Для аналізу особливостей ПІ-регулятора скористаємось методикою, яку використовували для П-регулятора.

Якщо продиференціювати рівняння для ПІ-закону отримаємо:

$$dU_p/dt = K_p (d\Delta X/dt + 1/T_i \cdot \Delta X)$$

З його аналізу видно, що процес регулювання ($dU_p/dt=0$) починається, як і у системі з П-регулятором, коли почнеться змінюватись розузгодження ($d(\Delta X)/dt=0$). Але закінчиться процес регулювання ($dU_p/dt=0$) лише тоді, коли регулюєма величина стане дорівнювати заданій, тобто коли $\Delta X=0$. За рахунок цього ПІ-регулятор ліквідує статичну похибку, але має час регулювання приблизно вдвічі більший, ніж у П-регулятора

У випадках, коли необхідно покращити динамічні характеристики П- та ПІ-регуляторів, замість них використовуються пропорційно-диференційні ПД- та пропорційно-інтегрально-диференційні ПІД- регулятори, в які додатково введена диференційна складова. Наприклад, для ПІД-регулятора:

$$U_p = K_p(\Delta X + \frac{1}{T_i} \int_0^t \Delta X dt) + K_d T_d \frac{d(\Delta X)}{dt}$$

Аналіз цього рівняння після його диференціювання показує, що в цьому регуляторі процес регулювання починається вже при появі сигналу по прискоренню зміни розузгодження ($d^2(\Delta X)/dt^2$), тобто значно швидше, ніж у ПІ-регуляторів. Форсування початку регулювання призводить до того, що системи з цими регуляторами мають маленьку динамічну похибку. Але незважаючи на ці переваги, ПІД-регулятори використовують рідко, тому що вони більш складніші як у конструкції, так і у налагоді.

У виразах для законів регулювання є постійні коефіцієнти, так звані настройки регуляторів, змінюючи які, можна в досить широкому діапазоні змінювати дію регулятора, пристосовуючи його до конкретних умов роботи. При технічній реалізації законів регулювання постійні коефіцієнти, тобто настройки регулятора, виставляються на конкретних технічних засобах. Ті настройки, що забезпечують найкращі результати роботи АСР, називаються оптимальними.

3. ВИКОНАВЧІ МЕХАНІЗМИ І РЕГУЛЮЮЧІ ОРГАНИ

Виконавчі механізми (ВМ) призначені для переміщення регулюючого органу (РО) відповідно з командою автоматичного регулятора. Практично виконавчий механізм перетворює сигнал однієї природи, який поступає з автоматичного регулятора, в механічне переміщення регулюючого органу. Крім того, ВМ можна розглядати як підсилювач потужності, за допомогою якого слабкий сигнал регулятора, багаторазово підсилюючись за рахунок енергії живлення виконавчого механізму, подається на регулюючий орган.

В залежності від роду енергії, яка використовується виконавчим механізмом, вони поділяються на електричні, пневматичні та гідравлічні. В системах автоматизації процесів харчових виробництв використовуються, в основному, електричні та пневматичні виконавчі механізми.

Електричні виконавчі механізми, які використовують електричну енергію, поділяються на електромагнітні та електродвигунні. В електромагнітних виконавчих механізмах перестановка РО відбувається за рахунок дії електромагнітної котушки. За принципом своєї дії такі виконавчі механізми можуть використовуватись у випадках коли регулюючий орган

повинен займати фіксовані положення, наприклад, «Відкрито» та «Закрито» у релейних (позиційних) системах автоматичного регулювання.

Найпростіші електромагнітні виконавчі механізми (рис. 3.1) мають одну електромагнітну котушку (ЕК). Коли на неї подається управляючий сигнал у вигляді постійного або змінного струму, шток утягується в котушку соленоїда, і клапан повністю відкривається. Коли управляючий сигнал знімається, шток під дією зворотної пружини повертається у вихідний стан, і клапан закривається.

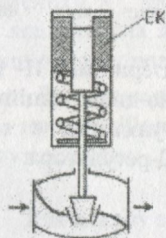


Рис. 3.1. Електромагнітний ВМ

Більш поширеними, ніж електромагнітні, є електродвигунні виконавчі механізми. В таких ВМ обертання валу електродвигуна перетворюється в переміщення РО. За характером руху вихідного елементу електродвигунні ВМ підрозділяються на однообертові, багатообертові та прямеходні.

В деяких електродвигунних ВМ використовуються електродвигуни з постійною швидкістю обертання вихідного елементу. Вони можуть обертатись у ту чи іншу сторону, або знаходитись у нерухомому стані. Ці виконавчі механізми реалізують типові закони регулювання в імпульсній формі, тобто, коли переміщення вихідного елементу ВМ відбувається за рахунок короткочасних включень електродвигуна в ту чи іншу сторону з певною відповідністю між тривалістю станів включення та відключення. Вони можуть мати контактне, або безконтактне управління.

Пневматичні виконавчі механізми відрізняються високою надійністю та простотою обслуговування. Розвивають досить великі перестановочні зусилля. Для пневматичних ВМ до мікропроцесорного контролера необхідно перетворити електричний управляючий сигнал від контролера в уніфікований пневматичний сигнал за допомогою спеціальних електропневмоперетворювачів.

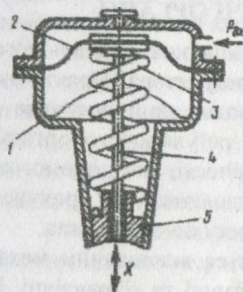


Рис.3.2. Мембранний виконавчий механізм

Найбільше розповсюдження отримали мембранні ВМ, в яких перестановочне зусилля хоча б в одному напрямку створюється тиском командного повітря, яке змінюється в межах 20-100 кПа. Основним елементом цих ВМ є мембрана 2 (рис. 3.2), яка герметично закріплена у корпусі 1. Жорсткий центр мембрани з'єднаний з вихідним штоком 3, який здійснює зворотно-поступовий рух. Перестановочне зусилля у одному напрямку створюється за рахунок тиску стисненого повітря у робочій порожнині на мембрану, у протилежному - за рахунок зусилля зворотної пружини 4.

Поршневі виконавчі механізми типу ПСП - це механізми, в яких зусилля для зміни положення регулюючого органу створюється за рахунок зміни тиску робочого середовища у поршневих порожнинах. Поршневі виконавчі

механізми відрізняються від мембранних більшою величиною переміщення регулюючого органу та більшим зусиллям, яке він передає.

Регулюючі органи призначені для зміни витрати речовини або енергії до об'єкту регулювання шляхом зміни його пропускної спроможності.

У системах автоматичного регулювання використовуються регулюючі органи таких типів: односідельні та двосідельні клапани, заслонки, засувки, шлангові та діафрагмові РО та інші.

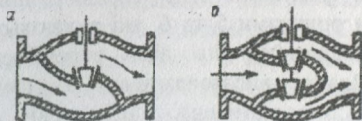


Рис.3.3 Односідельний (а) та двосідельний (б) регулюючі клапани

В односідельних регулюючих органах (рис.3.3а) зміна пропускної спроможності досягається за рахунок поступового руху затвора уздовж осі проходу одного сідла, а двосідельних - двох сідел (рис.3.3). Перші використовують для малих Ду та при

низькому тиску середовища. Двосідельні клапани використовують у виконавчих пристроях великого розміру при роботі з великими тисками середовища.

Заслонка - регулюючий орган, в якому зміна пропускної спроможності досягається за рахунок повороту заслонки.

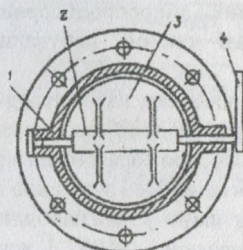


Рис.3.4 Регулююча заслонка

Заслонки у порівнянні з іншими регулюючими органами мають невеликі габарити та масу, у відкритому положенні мають невеликий гідравлічний опір, не створюють застійних зон. РО уявляє собою кільцевий корпус 1 (рис.4.10), у якому на валу 2, розташованому перпендикулярно потоку, обертається заслонка 3. Для того щоб забезпечити можливість щільного перекриття пропускного отвору при закритті заслонки з внутрішньої сторони корпуса, або на зовнішній поверхні (по краю) заслонки закріплюється ущільнювальне кільце з відповідних матеріалів 4.

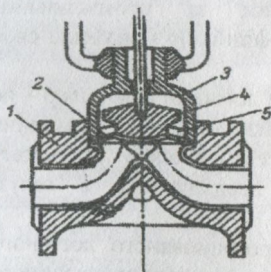


Рис.3.5 Діафрагмовий РО

Для регулювання потоків агресивних середовищ розроблений **діафрагмовий РО** (рис.3.5). Зсередини чувний корпус 1 покривається хімічно стійкими матеріалами (поліетилен, гумка, фторопласт) або покривається емаллю. Гнучкий затвор - еластична діафрагма 2, виготовляється з гумки або з фторопласта. Вона закріплена між корпусом 1 та кришкою 3, а у центрі прикріплена до хрестовини 4. Для

запобігання прогину діафрагми під тиском робочого середовища використовується телескопіч на опора 5.

Переміщення центру діафрагми викликає зміну прохідного перерізу РО. Ці регулюючі органи призначені для роботи при низьких тисках та нормальній температурі.

Для зміни витрати середовищ, які мають тверді частки, використовують

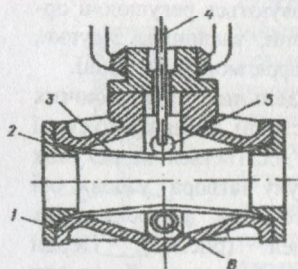


Рис.3.6 Шланговий РО

шлангові РО (рис.3.6). Роль затвора виконує еластичний шланг 3, який закріплений між корпусом 1 та фланцями 2. У середині шланг передавлюється роликками 5 та 6, які рухаються у протилежних напрямках під дією переміщення штока 4. Шланг виготовляється з гумки, фторопласту, поліетилену. Шлангові РО виключають застій продукту, забезпечують швидку зміну шлангу. Але їх можна використовувати при температурах до 100°C та невеликих тисках (до 980 кПа).

4. ПРОМИСЛОВІ МІКРОПРОЦЕСОРНІ КОНТРОЛЕРИ

4.1. Основні принципи побудови мікропроцесорних контролерів

Технічне та програмне забезпечення промислових мікропроцесорних контролерів оптимізовані для створення на їх базі систем керування обладнанням і технологічними процесами.

Поява промислових мікропроцесорних контролерів пов'язана насамперед з автоматизацією дискретних процесів і необхідністю заміни традиційних систем керування, які будувались на базі релейно-контактних або безконтактних логічних схем керування, що працювали за жорсткою логікою. Це і зумовило їх загальну назву – програмований логічний контролер, який у міжнародних документах позначається як PLC, а у вітчизняній літературі – ПЛК. І хоча функціональні можливості сучасних ПЛК давно вже вийшли за рамки розв'язання цих задач така назва закріпилася за промисловими мікропроцесорними контролерами всіх типів, стала офіційною і знайшла своє відображення у відповідних стандартах.

Можна дати таке визначення ПЛК: програмований логічний контролер – це спеціалізований мікропроцесорний пристрій, який призначений для керування виробничими процесами в умовах промислового середовища у реальному масштабі часу, програмування якого посильне неспеціалісту в галузі інформатики.

На рис. 4.1. наведена узагальнена структура програмованого логічного контролера. Центральною частиною ПЛК (як і будь-якого мікропроцесорного пристрою) є мікропроцесорний модуль, який керує операціями збору й обробки даних від зовнішніх пристроїв і вироблення керуючих дій відповідно до розробленої програми користувача.

Частина ресурсів пам'яті контролера використовується для зберігання операційної системи, під якою працює мікропроцесорний модуль, а також для зберігання системної інформації про оперативний стан апаратного й

програмного забезпечення. Саме ця інформація використовується для функціонування системи самодіагностики й тестування контролера.

Друга частина ресурсів пам'яті використовується для зберігання розробленої програми користувача, яка і визначає виконання алгоритму керування об'єктом. Ємність пам'яті, яка використовується для зберігання програми користувача, визначає можливості даного ПЛК для створення прикладного програмного забезпечення.

Але основною відмінністю ПЛК від інших мікропроцесорних пристроїв є те, що вони працюють з інформацією, яка поступає від реальних фізичних пристроїв (датчиків) і керує реальними фізичними виконавчими механізмами. Тому дуже важливими елементами ПЛК є модулі, які з одного боку забезпечують перетворення сигналів від датчиків у цифрову форму представлення інформації, яку може обробляти мікропроцесор (вхідні модулі), і модулі, які навпаки перетворюють цифрову інформацію у фізичні сигнали, які можуть безпосередньо керувати виконавчими механізмами (вихідні модулі).



Рис. 4.1. Узагальнена структура ПЛК

Сигнали від датчиків можна поділити на декілька груп: дискретні, аналогові, імпульсній і спеціальні.

Дискретні сигнали поступають від датчиків, які спрацьовують при досягненні технологічних параметрів заданого значення (сигналізатори тиску, рівня, температури і таке інше), а також від пристроїв, які мають фіксовані положення (кнопки, перемикачі, контакти реле, шляхові перемикачі і таке інше). Фізично, через

контакти цих пристроїв, на входи контролера поступає, або ні електричний сигнал. Для роботи з такими типами сигналів у ПЛК використовуються модулі дискретно-цифрового перетворення – ДЦП. Поява або відсутність електричного сигналу величини на вході цього модуля призводить до зміни стану відповідного біту в зоні даних пам'яті ПЛК.

Аналогові сигнали поступають від датчиків, які неперервно вимірюють технологічні параметри (температуру, тиск, витрату, рівень і таке інше) у межах свого вимірювального діапазону. При чому сигнали від датчиків (за рідкими виключеннями) на ПЛК поступають у вигляді уніфікованих сигналів (0-5 мА, 0-20 мА, 4-20 мА, 0-10 В), діапазон зміни яких відповідає вимірювальному діапазону датчика. Ці сигнали підключаються до модуля аналогово-цифрового перетворювача (АЦП), який перетворює фізичне значення рівня сигналу у цифровий вигляд. При цьому важливою характеристикою аналого-цифрового перетворення є його розрядність. Чим вище розрядність АЦП, тим із більшою точністю можна записати значення змінної. Це можна пояснити наступним чином. Наприклад, у 8-розрядному АЦП значення змінної записується у слово довжиною 8 бітів у двійковому форматі. Тобто максимально в нього можна

записати значення $2^8 = 256$. Відповідно для 10-розрядного АЦП – максимальне значення $2^{10} = 1024$. Таким чином, якщо до АЦП підключений датчик температури з діапазоном вимірювання $0 - 100^\circ\text{C}$, то для 8-розрядного АЦП значення температури можна записати з точністю $0,4^\circ\text{C}$, а для 10-розрядного – $0,1^\circ\text{C}$.

В деяких випадках сигналом датчиків може бути послідовність імпульсів. У цьому випадку використовуються спеціальні модулі, які реалізують імпульсно-цифрове перетворення (ІЦП).

Спеціальні модулі використовуються для підключення спеціальних датчиків, наприклад тензодатчиків.

Призначенням вихідних модулів є перетворення управляючих сигналів, які виробляє контролер в процесі виконання програми користувача і представлених у цифровій формі, у сигнали, які можуть безпосередньо керувати виконавчими механізмами.

Розрізняють:

- модулі цифро-дискретного перетворення (ЦДП), для управління дискретними виконавчими механізмами;
- модулі цифро-аналогового перетворення (ЦАП), для управління аналоговими виконавчими механізмами;
- модулі цифро-імпульсного перетворення (ЦІП), для управління імпульсними виконавчими механізмами.

Можна виділити кілька основних рис ПЛК:

1. Наявність так званих “технологічних” мов програмування, які максимально наближені до потреб кінцевого користувача і значно спростили програмування, налагодження та модифікацію прикладних програм. Це дало змогу підтримати основну властивість ПЛК – можливість оперативної зміни алгоритму керування програмним шляхом. Нині існує міжнародний стандарт МЕК 1131, у відповідності з яким рекомендовано п’ять мов програмування ПЛК.

2. Блочно-модульний принцип побудови ПЛК дає можливість за рахунок використання різноманітних модулів входу-виходу оптимізувати технічну структуру ПЛК для керування конкретним об’єктом. Це не тільки зменшує витрати на впровадження систем автоматизації, а й підвищує ремонтоздатність ПЛК. Взагалі треба пам’ятати, що ПЛК це проектно-компонуючий виріб, фізична структура якого вибирається в залежності від задачі управління.

3. Призначення ПЛК для використання у промислових умовах ставить досить жорсткі вимоги до надійності ПЛК та захищеності його від впливу різноманітних електромагнітних, температурних, 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.

4. Наявність широко розвинутої системи самодіагностики та тестування, за допомогою яких можна швидко визначити несправність та усунути її.

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



Рис. 4.2. Робочий цикл ПЛК

У зв'язку з тим, що основною задачею керуючої програми мікропроцесорного контролера є керування виконавчими механізмами залежно від значення сигналів, які характеризують стан об'єкта керування, контролер повинен весь час стежити за станом та значеннями входних сигналів і виробляти керуючі дії відповідно до реалізованого алгоритму керування. Тому процес роботи ПЛК складається у циклічній послідовності виконання кількох етапів (рис.4.2), що становлять **робочий цикл контролера**.

До них належать:

- **читання входів**, у процесі якого в оперативну пам'ять контролера записується інформація про стан фізичних входів;
- **виконання прикладної програми**, підготовленої користувачем у відповідності із заданим алгоритмом керування;
- **відновлення виходів**, у процесі якого вихідним каналам модулів встановлюються значення, отримані в результаті обробки прикладної програми. Крім того, у процесі кожного робочого циклу виконуються процедури, які пов'язані не стільки з обробкою прикладної програми, як із задачами аналізу стану апаратних засобів, самодіагностики, обробки запитів, які прийшли з пульта ПЛК або по мережі і т.ін. Тобто відбувається **внутрішня обробка**, яка записується у системну пам'ять контролера.

Можливі дві форми організації робочого циклу: циклічне чи періодичне виконання.

Для **циклічного** виконання характерно послідовне, один за одним, виконання етапів прикладної програми. Сумарне виконання окремих етапів програми визначає час робочого циклу.

У зв'язку з тим, що в процесі виконання прикладної програми час виконання окремих її етапів може змінюватись, буде змінюватись і тривалість робочого циклу ПЛК.

За **періодичного** режиму виконання робочого циклу його тривалість задається при програмуванні контролера. У цьому разі при виконанні програми ПЛК також послідовно виконує всі етапи обробки програми. Проте, якщо останній етап робочого циклу виконався, а заданий час періоду ще не вичерпався, процесор заповнює час операційного циклу, що залишився, системними чи фоновими задачами доти, поки не закінчиться період, і тільки після цього почнеться новий робочий цикл.

Процедурі програмування у ПЛК приділяється особлива увага. Саме відносна простота цієї процедури, її націленість на "технологічне"

програмування, для виконання якої не потрібен спеціаліст у галузі програмування, зумовило бурхливий розвиток ПЛК і широке впровадження їх у системах автоматизації. Тому поряд з розвитком “технологічних мов” програмування велика увага приділяється забезпеченню зручностей виконання процедури програмування й налагоджування програми користувача.

На першому етапі свого розвитку основним технічним засобом для програмування ПЛК були спеціалізовані пульти програмування. Вони використовувались як у вигляді вбудованих у ПЛК блоків, так і у вигляді окремих технічних засобів, які під’єднувались до ПЛК у процесі його програмування.

Сучасні термінали програмування, безумовно, мають суттєві переваги над пультами програмування за рахунок більш зручного інтерфейсу користувача. Для програмування контролера у цьому разі використовується спеціалізоване програмне забезпечення основним завданням якого є створення максимальних зручностей для програмування ПЛК, налагоджування програми користувача і виконання інших процедур. З використанням потужних можливостей сучасних ПЕОМ для програмування контролера процедури програмування замінюються на досить прості процедури конфігурування, для виконання яких використовуються графічні редактори, діалогові вікна та інші інтерфейси, які дають можливість користувачу, не вдаючись до тонкощів програмування, виконувати досить складні процедури.

Дуже цікавою й важливою функцією у налагоджуванні програми користувача є можливість внесення в неї змін для виконання контролером програми користувача, у так званому режимі “on-line”.

4.2. Промисловий мікропроцесорний контролер TSX MODICON PREMIUM

4.2.1. Загальна структура контролерів фірми Schneider Electric

Фірма Schneider Electric – це міжнародний концерн, який об’єднав провідних виробників засобів автоматизації США, Франції та Німеччини (Modicon, Telemecanique, Merlin Gerin, Square) і є одним із лідерів у галузі засобів промислової автоматизації.

Створення такого концерну не просто структурно об’єднало окремі фірми й заводи, а й дало можливість об’єднати інтелектуальні зусилля окремих фірм і започаткувати розробку та впровадження нового покоління управляючої мікропроцесорної техніки. Його технічне та програмне забезпечення відповідає міжнародному стандарту МЕК 1131. У зв’язку з цим на прикладі вивчення технічного та програмного забезпечення мікропроцесорних контролерів цієї фірми можна отримати знання для подальшого швидкого вивчення апаратних та програмних засобів ПЛК інших фірм, які підтримують стандарт МЕК 1131.

Концерном Schneider Automation випускається велика гама ПЛК. Гама контролерів SE починається з мініатюрного піко-контролера Zelio Logic, який являє собою інтелектуальне реле. Основне призначення цих реле: керування електронікою будов (освітлення, ескалатори, вентиляція, контроль доступу,

захисні бар'єри, температура у приміщеннях); керування простим обладнанням (насоси, компресори, маленькі преси); керування обладнанням теплиць, пекарень, змішувачів; попередня обробка сигналів для інших схем. Zelio Logic має: таймери; лічильники; аналогові компаратори; системний годинник для запуску або зупинки дій у визначений день і час; розташовані на лицьовій панелі невеличкий дисплей і кнопки для оперативного спостереження за виконанням програми й оперативного втручання в процес керування.

Modicon TSX Nano призначений для управління простими об'єктами, які мають невелику кількість (в основному, дискретних) входів-виходів, підходить для реалізації задач, які вимагають короткого часу робочого циклу (< 1 мс). Це моноблочний контролер, у якому зосереджені всі функції. Має пам'ять EEPROM, годинник реального часу, порти комунікацій, швидкі лічильники (10 кГц), імпульсні і ШІМ виходи, аналогові входи-виходи, таймери.

Програмований контролер Modicon TSX Twido, який фірма почала випускати у 2002 р., займає середню позицію між ПЛК TSX Nano і Micro і призначені для управління як зовсім простими об'єктами, так і об'єктами, які вимагають використання сотень дискретних і десятків аналогових входів-виходів. Контролер має дві моделі Compact і Modular, які розрізняються як конструктивно, так і функціональними можливостями. В основному, для ПЛК Modular пропонується велика гама модулів дискретних і аналогових входів-виходів, комунікаційних модулів, дисплеїв оператора, карт розширення пам'яті й годинника реального часу і т.ін.

Modicon TSX Micro призначений для управління об'єктами, для роботи з якими достатньо кілька сотень дискретних входів-виходів та до 40 аналогових входів-виходів у різних галузях промисловості. Компактний і модульний TSX Micro має невеликий час робочого циклу і велику ємність пам'яті. Він має широкий діапазон модулів входів-виходів, включаючи віддалені модулі входів-виходів, забезпечує високу швидкість роботи лічильників, високу точність реалізації задач позиціонування, високу точність вимірювання аналогових сигналів, має широкі комунікаційні можливості.

ПЛК Modicon TSX Premium – це потужний контролер, який може працювати з тисячами дискретних та сотнями аналогових входів-виходів. Він має розподілену фізичну структуру; широкий діапазон модулів входів-виходів; багатозадачну операційну систему і потужну систему обробки переривань; вбудовані функції контурів регулювання; широкий діапазон модулів управління позиціонуванням і рухом; швидкісні лічильники й модуль вимірювання ваги, вбудовану мережу Fipio, тепле резервування (Warm Standby).

ПЛК Modicon TSX Quantum оптимізований для розв'язання задач керування з централізованою структурою. Забезпечує зв'язок із верхнім рівнем для великих централізованих і розподілених структур, має високопродуктивні процесори для реалізації складних задач керування, захист пам'яті, високу експлуатаційну готовність, можливість нанесення захисного покриття для роботи у агресивних середовищах, забезпечує гаряче резервування (Hot Standby) – заміна модулів при працюючому контролері, має шину віддаленого

вводу-виводу. Для програмування контролера використовується потужне програмне забезпечення Concept із бібліотекою функцій керування процесами з пов'язаними з ними супервізорними графічними шаблонами.

Така гама різних за потужністю контролерів класична і для інших фірм, які випускають ПЛК, що дає можливість вибрати оптимальний варіант для створення системи управління різними за складністю об'єктами і забезпечити найкращі показники функціональні можливості – вартість.

Розглянемо апаратне та програмне забезпечення мікропроцесорного контролера Modicon TSX Premium.

4.2.2. Апаратне забезпечення Modicon TSX Premium

4.2.2.1. Архітектура контролера

Мікропроцесорні контролери TSX Premium призначені для керування складними технологічними або виробничими процесами, які вимагають обробки великої кількості інформації й керування великою кількістю виконавчих механізмів.

Архітектурно TSX Premium складається з одного або кількох з'єднаних між собою окремих шасі, на яких установлюються різноманітні модулі: процесора, блоків живлення, модулів дискретних і аналогових входів-виходів, лічильників, комунікаційних і інших. Загальна довжина такої розподіленої шини контролера не може перевищувати 100 метрів (рис. 4.3).

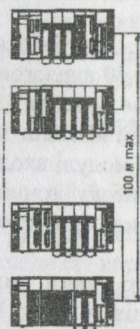


Рис. 4.3. Архітектура TSX Premium

До складу такого контролера входить один процесорний модуль, але кожне шасі повинно мати свій блок живлення, потужність якого вибирається залежно від кількості й характеристик модулів, встановлених у це шасі.

При конфігуруванні контролера насамперед враховуються типи й кількість модулів входів-виходів, які необхідно використовувати для під'єднання датчиків і виконавчих механізмів, а також інших спеціальних модулів (комунікаційних, безпеки, розширення і т.ін.). Після цього можна розпочинати вибір процесорного модуля й конфігурації контролера (вибір кількості та типів шасі, розташування модулів по окремих шасі, вибір типів блоків живлення для кожного шасі).

Для того щоб більш повно відповідати вимогам користувача, у контролері Premium використовуються два типи шасі, кожне з яких може бути мати 4, 6, 8 або 12 місць для встановлення модулів.

Стандартне шасі використовується у тому разі, коли контролер складається з одного шасі.

Шасі, яке може розширюватись, призначено для створення контролера, який може включати кілька (до 16) шасі, які у загальну X Bus шину, що дає змогу обмінюватись сигналами і даними між модулями, встановленими у різні шасі.

4.2.2.2. Модулі процесорів

Процесорні модулі умовно можна поділити на дві групи: TSX P57 хх3М та Т РСХ 57 хх3М.

Процесори TSX P57 хх3М встановлюються на шасі контролера, а Т РСХ 57 хх3М – на ISA шині промислового або офісного PC і працюють у середовищі Windows 2000 або Windows NT. Процесорний модуль, розташований у корпусі PC, під'єднується до шасі з установленими модулями входів-виходів за допомогою спеціального кабелю.

Модулі процесорів розрізняються функціональними можливостями, основними з яких є:

- кількість шасі, які можуть входити до складу ПЛК;
- кількість входів-виходів, які може обробити контролер;
- кількість спеціальних модулів (лічильники, модулі вимірювання ваги й ін.)
- кількість і типи мереж, до яких може під'єднуватись ПЛК;
- кількість конфігурованих контурів регулювання;
- види і ємність пам'яті.

У табл. 4.1 наведені основні характеристики різних типів процесорних модулів.

Таблиця 4.1

Основні характеристики процесорних модулів

Характеристики	Типи процесорних модулів					
	TSX P57				T PCX 57	
	103M (153M)	203M (253M)	303M (353M)	403M (453M)	203M	353M
Кількість шасі:						
- на 4,6,8 місць	4	16	16	16	16	16
- на 12 місць	2	8	8	8	8	8
Кількість входів/виходів у шасі:						
- дискретних	512	1024	1024	2048	1024	1024
- аналогових	24	80	128	256	80	128
Кількість спеціальних модулів:	8	24	32	64	24	32
Кількість мереж	1	1	3	4	1	3
Кількість конфігурованих контурів регулювання	-	10	15	20	10	15
Пам'ять:						
- вбудоване ОЗУ	32	48	64	128	48	96
- розширення ОЗУ	64	160	384	512	160	384

Процесорні модулі, типи яких вказані у дужках, відрізняються від аналогічних (наприклад, 103М і 153М) тим, що в ці модулі інтегрована польова шина FІРІО, до якої можна під'єднувати віддалені дискретні і аналогові сигнали.

За розміром процесорні модулі бувають двох форматів: стандартного і подвійного. Модуль подвійного формату займає на шасі два місця.

4.2.2.3. Блоки живлення

У кожному шасі повинен бути встановлений блок живлення. Пропонуються різні типи блоків живлення, які розрізняються живленням від змінного або постійного струму, потужністю, а також розмірами. У табл.4.2 наведені типи й основні технічні характеристики блоків живлення.

Таблиця 4.2

Загальні характеристики блоків живлення

Загальні характеристики	Типи блоків живлення					
	TSX PSY 1610M	TSX PSY 3610M	TSX PSY 5520M	TSX PSY 2600M	TSX PSY 5500M	TSX PSY 8500M
Напруга живлення, В	±24	±24	±24	~100...240	~100...240	~100...240
Потужність, Вт:						
загальна	30	50	50	26	50	77
по напрузі ±24 В	15	35	35	25	35	75
по напрузі ±5 В	15	19	19	15	19	-
зовнішньої напруги ±24 В	-	-	-	12	19	38
Формат	Стандартний	Подвійний	Подвійний	Стандартний	Подвійний	Подвійний

Блок живлення для кожного шасі вибирається виходячи з типів і кількості модулів, які плануються встановити у шасі.

4.2.2.4. Модулі дискретних входів-виходів

Для задоволення різноманітних потреб користувача випускається широкий діапазон дискретних модулів входів-виходів, які розрізняються:

- кількістю каналів – 8, 16, 28, 32 або 64;
- типами входів:
 - модулі із входами постійного струму (DC) – 24VDC, 48VDC;
 - модулі із входами змінного струму (AC) – 24VAC, 48VAC, 110VAC, 240VAC.
- типами виходів:
 - модулі з релейними виходами;
 - модулі з безконтактними виходами постійного струму (DC)
 - 24VDC/0,1A – 0,5A – 2A; 48VDC/0,25A – 1a;
 - модулі з безконтактними виходами змінного струму (AC) – 24VAC/1A; 130VAC/1A; 48VAC/2A; 240VAC/2A
- типами під'єднання: гвинтова клемна колодка або з'єднувачі HE10

У табл. 4.3 і 4.4 наведені основні технічні характеристики для різних типів дискретних модулів.

Основні технічні характеристики модулів дискретних входів

Позначення модуля	Кількість каналів	Характеристики каналів	Під'єднання
TSX DEY 08D2	8	24 VDC, ізолювані	Під гвинт
TSX DEY 16D2	8	24 VDC, ізолювані	Під гвинт
TSX DEY 16D3	16	48 VDC, ізолювані	Під гвинт
TSX DEY 16A2	16	24 VDC або 24VAC, ізолювані	Під гвинт
TSX DEY 16A3	16	48 VAC, ізолювані	Під гвинт
TSX DEY 16A4	16	100...120 VAC, ізолювані	Під гвинт
TSX DEY 16A5	16	200...240 VAC, ізолювані	Під гвинт
TSX DEY 16FK	16	24 VDC, ізолювані швидкі входи	НЕ 10
TSX DEY 32D2K	32	32 VDC, ізолювані	НЕ 10
TSX DEY 64D2K	64	64 VDC, ізолювані	НЕ 10
TSX DEY 32D3K	32	48 VDC, ізолювані	НЕ 10
TSX DMY 28FK	16 входів 12 виходів	24 VDC, ізолювані швидкі входи 24 VDC, ізолювані, 0,5 А	НЕ 10
TSX DMY 28RFK	16 входів 12 виходів	24 VDC, ізолювані швидкі входи 24 VDC, ізолювані, 0,5 А	НЕ 10

Таблиця 4.4

Основні технічні характеристики модулів дискретних виходів

Позначення модуля	Кількість каналів	Характеристики каналів	Під'єднання
TSX DSY 08T2	8	24 VDC/0,5A, захищені, транзисторні	Під гвинт
TSX DSY 08T22	8	24 VDC/2A, захищені, транзисторні	Під гвинт
TSX DSY 16T2	16	24 VDC/0,5A, захищені, транзисторні	Під гвинт
TSX DSY 08T31	8	48 VDC/1A, захищені, транзисторні	Під гвинт
TSX DSY 16T3	16	48 VDC/0,25A, захищені, транзисторні	Під гвинт
TSX DSY 08R5	8	24 VDC або 24...240 VAC, 3A, релейні, не захищені	Під гвинт
TSX DSY 16R5	16	24...48VDC або 24...240 VAC, 5A, релейні, захищені	Під гвинт
TSX DSY 08R5A	8	24 VDC або 24...240 VAC, 3A, релейні, не захищені	Під гвинт
TSX DSY 08R4D	8	24...120VDC, 5A, релейні, захищені	Під гвинт
TSX DSY 08S5	8	48...240 VAC, 2A, тиристорні, захищені	Під гвинт
TSX DSY 16S5	16	48...240 VAC, 1A, тиристорні, захищені	Під гвинт
TSX DSY 16S4	16	24...120 VAC, 1A, тиристорні, не захищені	Під гвинт
TSX DSY 32T2K	32	24 VDC/0,1A, захищені, транзисторні	НЕ 10
TSX DSY 64T2K	64	24 VDC/0,5A, захищені, транзисторні	НЕ 10

Клемні колодки на модулях входів-виходів можна знімати. Це полегшує заміну цих модулів.

Кількість конекторів, розташованих на лицьовій панелі модуля, залежить від кількості каналів, із якими працює цей модуль. Так, для модуля, розрахованого на 64 канали, кількість конекторів чотири, а для модуля, розрахованого на роботу з 16 каналами – один.

Зовнішні сигнали до таких типів модулів під'єднуються або за допомогою спеціальних блоків TELEFAST, або за допомогою спеціальних кабелів із розпушеними вільними кінцями.

Кожний модуль має дисплейний блок, на якому розташовані індикатори стану модуля: **RUN** (зелений), **ERR** і **I/O** (червоні), а також індикатори з позначенням номерів каналів входів-виходів. Кількість цих індикаторів

відповідає кількості каналів модуля. Індикатори каналів висвітлюються при спрацьовуванні відповідного вхідного або вихідного каналу.

У нормальному стані модуля повинен горіти тільки індикатор RUN. Висвітлення індикаторів ERR або I/O сигналізує про виявлення системою самодіагностики відмови модуля або окремих його каналів.

4.2.2.5. Модулі аналогових входів-виходів

Діапазон аналогових модулів задовольняє більшості вимогам користувача.

У табл. 4.5 наведені основні технічні характеристики аналогових модулів.

Таблиця 4.5

Основні технічні характеристики модулів аналогових входів

Позначення модуля	Кількість каналів	Діапазон вимірювання	Характеристики каналів	Під'єднання
Модулі аналогових входів				
TSX AEY 1600	16	± 10 В, 0...10 В, 0...5 В, 1...5 В, 0-20 мА, 4-20 мА	Входи з загальною точкою, розрядність АЦП 12 біт	2 SUB-D, конектора
TSX AEY 800	8	± 10 В, 0...10 В, 0...5 В, 1...5 В, 0-20 мА, 4-20 мА	Входи з загальною точкою, розрядність АЦП 12 біт	1 SUB-D, конектор
TSX AEY 810	8	± 10 В, 0...10 В, 0...5 В, 1...5 В, 0-20 мА, 4-20 мА	Ізоляція між каналами, розрядність АЦП 12 біт	1 SUB-D, конектор
TSX AEY 420	4	± 10 В, 0...10 В, 0...5 В, 1...5 В, 0-20 мА, 4-20 мА	Ізоляція між каналами, розрядність АЦП 16 біт, швидкозчитувач	1 SUB-D, конектор
TSX AEY 414	4	± 10 В, 0...10 В, 0...5 В, 1...5 В, 0-20 мА, 4-20 мА, термопари, термометри опору	Високий рівень ізоляції між каналами, розрядність АЦП 16 біт	Під гвинт
TSX AEY 1614	16	-80...+80 мВ; термопари В, Е, J, К, L, N, R, S, T, U	Ізоляція між каналами, розрядність АЦП 16 біт	2 SUB-D, конектора
Модулі аналогових виходів				
TSX ASY 410	4	± 10 В, 0-20 мА, 4-20 мА	Ізоляція між каналами, розрядність ЦАП 11 біт + знак	Під гвинт
TSX ASY 800	8	± 10 В, 0-20 мА, 4-20 мА	Виходи з загальною точкою, розрядність ЦАП 13 біт + знак для напруги, 13 біт для струму	1 SUB-D, конектор

Ці модулі розрізняються:

- кількістю каналів (4, 8, 16);
- характеристиками й діапазонами сигналів (напруга, струм, термопара, універсальні);
- наявністю гальванічного розподілення;
- типами під'єднання (25-штировий SUB D конектор або клемна колодка).

Модулі аналогових входів-виходів можна встановлювати у будь-який слот шасі, крім слота, призначеного для встановлення блока живлення. Ці модулі можна знімати при підключеному живленні контролера.

Максимальна кількість аналогових каналів залежить від модуля процесора, який встановлений у контролері (табл.4.9).

Аналогічно аналоговим модулям TSX Micro аналогові вхідні модулі TSX Premium виконують функції:

- сканування вхідних каналів за допомогою безконтактного мультіплексування і збір даних;
- аналого-цифрове перетворення вхідних вимірювань;

- фільтрація сигналів;
- перетворення вхідних вимірювань у формат користувача;
- моніторинг модуля: тестування ланок перетворення, вхідний контроль перевищування рівня сигналу, тест наявності клемної колодки.

Модулі аналогових виходів виконують функції:

- захист каналів модулів від перевантаження;
- адаптація до різноманітних виконавчих механізмів: вихідний сигнал у вигляді струму або напруги;
- цифроаналогове перетворення;
- перетворення даних прикладної програми у дані, які використовуються цифро-аналоговим перетворенням;
- моніторинг модуля: тест перетворення, тест виходу за межі, тест наявності клемної колодки.

Особливістю застосування модуля аналогового виходу TSX ASY 800 є те, що кількість таких модулів, встановлених в одне шасі, обмежено двома модулями. Це викликано тим, що цей модуль споживає велику потужність по напрузі 24 В. Тому в разі потреби використання більшої кількості таких модулів необхідно забезпечити їх додаткове живлення зовнішнім джерелом живлення. Для цього на лицьовій панелі модуля розташовані спеціальні клеми.

- Аналогові модулі мають дисплейний блок із розташованими на ньому трьома індикаторними лампами RUN, ERR і I/O, які відображають режим роботи модуля і можливі несправності.

4.2.2.6. Модулі лічильників

Для реалізації функцій підрахунку імпульсів у ПЛК TSX Premium використовуються три типи модулів лічильників: TSX CTY 2A, TSX CTY 4A та TSX CTY 2C.

Модулі CTY 2A/4A використовуються для підрахунку імпульсів із максимальною частотою 40 кГц у режимах прямого, зворотного і реверсивного лічильників. Вони відрізняються тільки кількістю каналів: 2 - для модуля TSX CTY 2A і 4 - для модуля TSX CTY 4A.

Модуль TSX CTY 2C використовується як реверсивний лічильник і для вимірювання імпульсів із частотою до 1 МГц.

Параметри лічильників встановлюються програмним шляхом у процесі конфігурування. До цих модулів можна під'єднувати датчики з безконтактними виходами (інкрементні декодери, фотоелектричні датчики, датчики положення та ін.) і датчики з механічними контактами (у цьому разі припустима частота імпульсів не повинна перевищувати 100 Гц).

4.2.2.7. Спеціальні модулі

До переліку модулів контролера TSX Premium входять модулі, які виконують спеціальні функції. Модулі TSX CAY 21/22, TSX CAY 41/42 та TSX CAY 33 використовуються для розв'язання задач керування серводвигунами з

метою досягнення ефективного керування складним рухом машин і агрегатів за допомогою мікропроцесорного контролера.

Для керування машинами, які застосовують крокові двигуни, використовуються модулі TSX CFY 11/21.

Для розв'язання задач автоматичного вимірювання ваги, дозування, регулювання подачі матеріалу на конвеєр тощо використовується інтегрована система вимірювання ваги IPS Plus, до складу якої входять: модуль вимірювання ваги TSX ISP Y100, індикатор ваги TSX XBT H100 і тензодатчики. Для роботи з операціями вимірювання ваги додатково поставляється спеціалізоване програмне забезпечення.

4.2.2.8. Принципи розміщення й адресації модулів у контролері

Кожне шасі, яке входить до складу контролера, має свою унікальну адресу. Якщо контролер складається з одного стандартного шасі, воно, по замовченню, має адресу 0.

Якщо контролер складається з кількох шасі, які розширюються, то адреса кожного шасі виставляється за допомогою мікроперемикачів, які розташовані на шасі. Для шасі, в якому розміщений процесорний модуль, встановлюється адреса 0 (рис. 4.4). Для інших шасі, за допомогою перших трьох мікроперемикачів, у двійковому коді виставляється адреса шасі. Порядок розташування шасі на шині X Bus не залежить від їхньої адресації.



Рис. 4.4. Адресація шасі за допомогою мікроперемикачів

У попередніх версіях PL7-Pro положення мікроперемикача №4 не використовується і він повинен перебувати у положенні ON.

В останніх версіях програмного забезпечення положення перемикача № 4 використовується для збільшення можливої кількості шасі, які використовуються при побудові контролера.

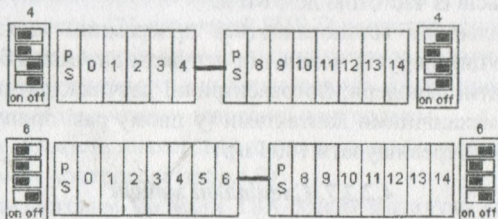


Рис. 4.5. Приклади адресації шасі і модулі при використанні перемикача № 4

У цьому разі два шасі можуть мати однакове положення перших трьох перемикачів, а положення перемикача № 4 буде визначати адресацію модулів,

встановлених у цих шасі. Так, якщо перемикач № 4 буде знаходитися у положенні ON, модулі можуть мати адресації від 00 до x , де x залежить від кількості модулів, на яку розраховане шасі. Якщо перемикач №4 знаходиться у положенні OFF, то модулі можуть мати адресацію від 08 до x , де x також залежить від кількості модулів на яку розраховане шасі. На рис. 4.5 показані приклади адресації шасі і модулів в контролері.

При цьому треба пам'ятати, що для такої комбінації не можна використовувати шасі, які розраховані на 12 місць.

У зв'язку з тим, що модулі живлення і процесорні модулі можуть бути як стандартного так і подвійного формату, то може змінюватись як кількість місць, які відводяться для встановлення інших модулів, так і адреси, які вони можуть мати.

Наприклад, якщо блок живлення має подвійний формат, то процесорний модуль може бути встановлений тільки на місце під номером 01. Тоді інші модулі можуть займати місця, починаючи з номера 02. Якщо ж і процесорний модуль має подвійний формат, то модулі можуть займати місця, починаючи з номера 03. Для контролерів TPCX 57... процесорний модуль встановлюється не в шасі, а на шині комп'ютера. Але місце, яке повинен був би займати цей модуль (стандартного формату) у шасі контролера, повинно залишатись вільним. Тому інші модулі контролера можуть займати місця у шасі, починаючи з місця, яке є наступним після вільного місця, яке залишається замість процесора.

4.2.2.9. Розподілені входи-виходи

У ПЛК TSX Premium використовується AS-і шина, яка дає можливість використовувати цей контролер як ведучий для управління цією шиною. Зв'язок із шиною відбувається через модуль TSX SAY 100.

Децентралізація входів-виходів відповідає вимогам користувачів. Це дає можливість скоротити довжину кабельної продукції та спростити монтаж, підвищити гнучкість системи. Для розв'язання цієї задачі пропонується велика гама розподілених модулів дискретних і аналогових входів-виходів типу TBX, які під'єднуються до контролера через мережу Fipio (рис.4.6) інтегровану у ряд процесорних модулів (табл.4.1).

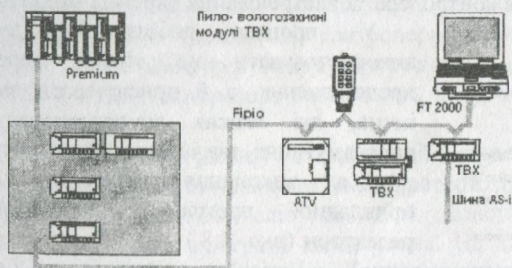


Рис. 4.6. Під'єднання модулів TBX розподілених входів-виходів

4.3. ПРОГРАМУВАННЯ КОНТРОЛЕРІВ MODICON TSX

4.3.1. Загальні положення

Для програмування ПЛК TSX Micro та TSX Premium використовується програмне забезпечення PL7 Micro, PL7 Junior, PL7 Pro. Вони мають єдину базову частину, але відрізняються функціональними можливостями.

Розробка прикладної програми включає в себе кілька етапів (рис. 4.7). На першому етапі розробки прикладного програмного забезпечення необхідно визначити структуру програми користувача, яка може бути однозадачною чи багатозадачною. Крім того, вона може включати в себе підпрограми та задачі обробки подій. Кожна з цих задач програмується окремо. Кожна задача може



Рис. 4.7. Етапи розроблення прикладного програмного забезпечення

програмуватися з використанням мов програмування, які підтримує ПЛК. У контролерах TSX Premium можуть використовуватись чотири мови програмування: Крокових діаграм – Ladder Diagram, Список інструкцій – Instruction List, Структурований текст – Structured Text та Графсет – Grafset. Окремі розділи програми користувача можуть бути написані на різних мовах програмування, але у процесі запису в контролер вони компілюються у єдиний машинний код.

Для розроблення прикладної програми необхідно виконати процедуру конфігурування контролера та налаштування окремих модулів.

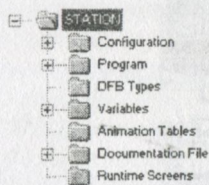


Рис. 4.8. Загальне меню

У процесі роботи зі змінними можна використовувати не тільки адресну форму їх представлення, а й присвоювати змінним символьні імена, які можна використовувати як під час програмування, так і під час налагоджування програми.

Для виконання окремих етапів створення прикладної програми використовуються окремі редактори (рис. 4.8.) – Configuration (Конфігурування), Program (Програмування), Variables (Змінні), Documentation File (Документування), але зберігається вона (і це дуже зручно) у одному файлі з розширенням . stx.

4.3.2. Структура програми користувача

Структура програми користувача може бути однозадачною чи багатозадачною. В однозадачній структурі є тільки одна основна задача (MAST), що може виконуватись у циклічному чи періодичному режимах. У багатозадачній структурі, крім задачі MAST (яка присутня завжди), може виконуватися так звана, швидка задача FAST і кілька задач обробки подій (EVT). Задача FAST може виконуватися тільки в періодичному режимі.

Кожна з цих типів задач має різний пріоритет виконання. Найвищий пріоритет мають задачі обробки подій, найнижчий – задача MAST (рис.4.9).

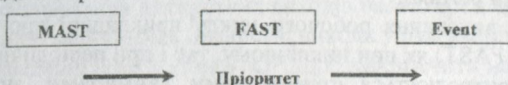


Рис.4.9. Схема пріоритетів виконання задач

На початку виконання задачі, що має більш високий пріоритет, виконання задачі з більш низьким пріоритетом припиняється, а після її закінчення продовжується виконання перерваної задачі.

Структура програми визначається користувачем залежно від властивостей об'єкта й задач системи керування.

Якщо система призначена для розв'язання приблизно однакових за значущістю й швидкодією задач керування, можна обмежитися однозадачною структурою і використовувати тільки задачу MAST.

Якщо серед задач керування можна виділити таку, що вимагає більш оперативного реагування системи керування, її розв'язання можна доручити задачі FAST, вибравши багатозадачну структуру програми.

Якщо ж деякі керуючі події вимагають практично миттєвого реагування на них, в системі керування необхідно використовувати задачі з обробки подій.

Кількість задач обробки подій EVTі залежить від моделі ПЛК.

Як керуючі події, що можуть запустити задачі обробки подій EVTі, можуть використовуватися:

- дискретні сигнали на швидких входах TSX Premium;
- момент досягнення заданих значень (уставок) для будь-яких лічильників;
- повідомлення, отримані по промисловій контролерній мережі.

4.3.3. Конфігурування контролера

У процесі конфігурування контролера розрізняють програмну й апаратну конфігурацію.

У процесі виконання програмної конфігурації задається кількість функціональних блоків (таймери, лічильники, одновібратори, драм-контролери та регістри), а також кількість бітів, слів пам'яті й констант, які будуть використовуватись у прикладній програмі користувача. Це дає змогу більш ефективно використовувати пам'ять контролера.

Апаратна конфігурація виконується за кілька етапів. Спочатку за допомогою спеціального редактора у графічному вигляді задається загальна структура ПЛК, а також розташування у окремих шасі модулів, яке повинно

відповідати реальному фізичному розташуванню модулів у ПЛК. Це дуже важливо, тому що у контролерах цього типу прийнята “географічна” адресація змінних. У разі зміни складу або розташування модулів у ПЛК необхідно буде зробити переадресацію змінних. У ПЛК TSX Premium ця процедура може виконуватись автоматично.

На другому етапі виконується конфігурування окремих модулів і залежно від типу модуля задаються його параметри.

Для конфігурування процесорного модуля, по-перше, задається структура програми користувача (MAST, FAST, Event) і режим її виконання (циклічний або періодичний режим).

Тривалість виконання робочого циклу прикладної програми (окремо для задачі MAST і FAST) як при циклічному, так і при періодичному режимах його виконання контролюється **сторожовими таймерами**, значення часу яких також встановлюється при конфігурації процесорного модуля. Якщо тривалість робочого циклу задачі перевершує час, встановлений у сторожовому таймері, контролер негайно зупиняється (індикаторні лампи ERR і RUN починають миготіти).

- Крім того, при конфігуруванні процесорного модуля задається ряд функцій, які зумовлюють поведінку ПЛК під час його запуску й зупинки.

Особливої уваги заслуговує питання структури пам'яті користувача ПЛК і використання додаткових карт пам'яті (для збільшення обсягу програми користувача), які встановлюються у спеціальний слот, розташований на процесорному модулі процесора, і які також вказуються при конфігуруванні процесорного модуля ПЛК.

4.3.4. Конфігурування модулів

4.3.4.1. Конфігурування дискретних модулів.

У процесі конфігурування модулів дискретних входів постійної напруги 24 VDC передбачено цифровий фільтр, значення якого встановлюються в процесі конфігурування модуля програмним шляхом із запропонованого ряду значень:

Метою введення цього фільтра є виключення впливу перешкод, що виникають під час спрацьовування контактів, що є джерелом дискретного сигналу. Наприклад, джерелом дискретного сигналу є механічні контакти. При цьому існує велика вірогідність виникнення “деренчання” контактів, що може призвести до помилок під час виконання програми користувача. Щоб уникнути цього, можна ввести фільтрацію цього сигналу, тобто встановити час, у межах якого ПЛК не буде реагувати на зміну дискретного сигналу.

Дискретні входи швидких модулів ПЛК TSX Premium мають ту особливість, що в процесі конфігурування їм можна задати різні режими роботи:

- нормальні дискретні входи (конфігурація задана за замовчуванням);
- замикальні входи;
- входи, пов'язані з обробкою подій;

• рахункові канали для прямого, зворотного і реверсивного лічильників (тільки для входів ПЛК TSX Міcro).

Замикальні входи використовуються для організації прийняття дуже коротких імпульсів, тривалість яких може бути менша, ніж час робочого циклу ПЛК, тобто, якщо дуже короткий імпульс надійшов у ПЛК у момент, коли процедура читання входів у робочому циклі вже закінчена. При використанні “нормальних” входів такий імпульс буде непоміченим ПЛК, а при використанні замикальних, цей імпульс запам’ятається й буде оброблений у наступному робочому циклі ПЛК.

У процесі конфігурування дискретних виходів насамперед визначається, в якому стані повинні залишитись дискретні виходи у разі аварійної зупинки ПЛК або при переведенні його у стан STOP, щоб забезпечити найбільш безпечний режим роботи об’єкта керування. При цьому можна вибрати два режими:

- установка вихідного каналу у 0 (“Fallback to 0”) - режим заданий по замовчуванню;
- утримання виходів у стані, що передував збою чи зупинці (“Maintain state”).

4.3.4.2. Конфігурування аналогових модулів

У процесі конфігурування модулів аналогових входів, залежно від типів контролера й аналогового модуля, встановлюються такі параметри:

- тип циклу опитування (Normal або Fast);
- діапазон (Range);
- масштаб (Scale);
- фільтрація (Filter);
- виявлення клемної колодки.

За **нормального циклу**, час опитування модуля не залежить від кількості під’єднаних каналів.

За **швидкого циклу** опитування переглядаються тільки під’єднані канали, якщо навіть вони під’єднані не один за одним. Тоді час перегляду модуля обчислюється за формулою:

У зв’язку з тим, що всі модулі аналогових входів можуть працювати з кількома діапазонами вимірювання, у процесі конфігурування користувач може вибрати бажаний **діапазон** з переліку можливих, з якими працює конкретний модуль. Так, для струмових модулів діапазон вимірювання може бути вибраний або 0...20, або 4...20 мА. А для модулів, які працюють з напругою можуть вибрані діапазони: 0...10, ± 10 , 0-5, 1-5 В.

Вимірювальна величина відображається у ПЛК у вигляді чисел, **масштаб** яких вибирається у процесі конфігурування. Під час вимірювання уніфікованих електричних сигналів для уніполярного діапазону (0...10, 0...5, 1...5 В, 0...20, 4-20 мА, стандартна форма запису (задана по замовчуванню) становить 0...10000 одиниць, а для біполярного (± 10 В) – від -10000 до +10000 одиниць. Але у процесі конфігурування користувач має можливість довільно задати

значення чисел, які будуть відповідати верхньому й нижньому діапазону. Ці числа можуть бути вибрані у діапазоні цілих чисел від -30000 до +30000.

Для роботи з модулями, що працюють з датчиками температури, користувач у процесі конфігурування може вибрати відображення температури:

- у десятих градусах Цельсія;
- у десятих градусах Фаренгейта;
- у стандартних одиницях від 0 до 10000 одиниць, точно визначаючи мінімальну й максимальну температуру, що відповідає 0 і 10000.

Для захисту вимірювань від впливу різноманітних електричних або електромагнітних перешкод у ПЛК, крім апаратних засобів захисту від перешкод, передбачена можливість використання цифрової фільтрації, настроювання якої виконується у процесі конфігурування кожного каналу..

Опція “Terminal block detection” – виявлення клемної колодки використовується у ПЛК “Premium” для сигналізації від’єднання гвинтової клемної колодки від модуля аналогового входу.

Можливості конфігурування модулів аналогових виходів для ПЛК TSX Micro і TSX Premium різні.

При конфігуруванні модулів аналогових виходів, насамперед, можна вибрати тільки, в якому стані повинні залишитись значення аналогових виходів у разі аварійної зупинки ПЛК або при переведенні його у стан STOP, щоб забезпечити найбільш безпечний режим роботи об’єкта керування. Можна вибрати два режими:

- установка вихідного каналу у 0 (“Fallback to 0”) –режим, заданий за замовчуванням;
- утримання виходів у стані, що передував збою чи зупинці (“Maintain state”).

При цьому необхідно пам’ятати, що вибір цього параметра одночасно встановлюється для всіх каналів модулів.

Ці уставки задаються для кожного каналу окремо. Крім того, для кожного каналу може бути заданий тип і діапазон електричного вихідного сигналу (± 10 В, 0...20, 4...20 мА).

4.3.4.3. Конфігурування модулів рахункових каналів

У процесі конфігурування модулів лічильників кожен канал конфігурується окремо.

Для конфігурування каналу:

- вибирається тип лічильника (прямий, зворотний або реверсивний);
- вказується тип джерела імпульсних сигналів – механічний контакт, сигнал від електронної схеми, кодуючий пристрій;
- для кожного входу вказується фронт імпульсного сигналу (передній або задній), за яким буде проводитись підрахунок імпульсів;
- задається поведінка лічильника при досягненні ним граничних значень або значень уставок (скидання у 0 або у передвстановлене значення, утримання досягнутого значення);

- вказується, у якій задачі (MAST або FAST) буде використовуватись даний лічильний канал;
- можна вказати, що момент досягнення лічильником уставки буде заданий як сигнал запуску задачі обробки події, номер якої вказується під час конфігурування.

4.3.5. Розробка прикладної програми користувача

4.3.5.1. Загальні положення

Розробка прикладного програмного забезпечення виконується в редакторі Program, структура якого показана на рис. 4.10.

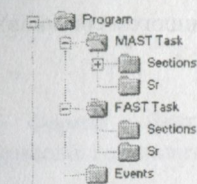


Рис. 4.10. Структура програми користувача

Як уже зазначалося у загальному вигляді програма користувача може складатись із трьох типів задач: MAST, FAST та Events. Кожна з цих задач може програмуватись незалежно одна від одної. В свою чергу задачі MAST та FAST можуть складатися з окремих секцій. Із секцією може бути пов'язаний внутрішній біт, зміна стану якого може вмикати або вимикати секцію. Для кожної секції необхідно задати ім'я, а також можна написати коментар. Для захисту програми користувача

від несанкціонованого доступу для кожної секції можна встановити функцію захисту від читання й запису. Задачі MAST та FAST можуть мати підпрограми, кількість яких залежить від типу ПЛК і може сягати 256. Кількість задач з обробки подій також залежить від типу ПЛК і може сягати до 64 для ПЛК TSX Premium.

Як уже зазначалося, програмне забезпечення PL7 Pro відповідає міжнародному стандарту IEC 1131.3 і дає можливість створювати прикладне програмне забезпечення з використанням чотирьох мов програмування: LD – крокових діаграм; IL – списку інструкцій; ST – структурованого тексту та Grafset – послідовних функціональних схем.

Особливістю розробки прикладного програмного забезпечення є те, що одночасно в програмі користувача можуть використовуватись всі перелічені технологічні мови програмування. Тобто при створенні окремої секції, підпрограми чи програми обробки події пропонується вибрати мову програмування для цього фрагмента програми. Винятком є мова Grafset, яку можна використати тільки в основній задачі MAST і тільки в одній із секцій.

У процесі програмування ПЛК використовуються змінні, які насамперед можна поділити на дві основні групи: зовнішні та внутрішні змінні.

Зовнішні змінні пов'язані з фізичними сигналами, які сприймаються вхідними модулями і позначаються %I або видаються вихідними модулями у вигляді керуючих електричних сигналів і позначаються %Q.

Внутрішні змінні – це об'єкти пам'яті ПЛК, які у свою чергу поділяються на:

- змінні для зберігання проміжної інформації при виконанні прикладної програми (%M);

- константи, інформація в яких на відміну від змінних типу %M не може змінюватися в процесі виконання програми користувача (% K);
- змінні, в яких міститься інформація, яка характеризує стан виконання ПрК та апаратних засобів ПЛК, які називаються системними і позначаються символами %S.

Для кожного з типів внутрішніх змінних у ПЛК зарезервована відповідна зона пам'яті.

Кожна зі змінних може представляти або дискретну, або аналогову інформацію, тому розрізняють такі формати змінних:

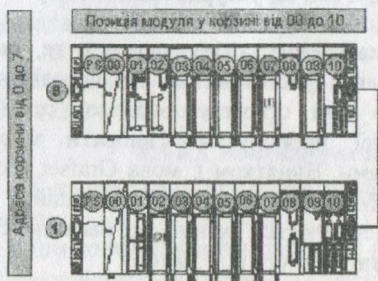
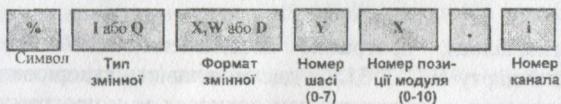
- X – біт;
- B – байт (формат, що використовується для роботи з ланцюгом символів);
- W – слово одинарної довжини (16 біт);
- D – слово подвійної довжини (32 біта);
- F – слово із плаваючою комою.

Кожен біт або слово має свою унікальну адресу.

Адресація змінних

При адресації зовнішніх змінних застосовується так звана географічна адресація каналів входів-виходів, коли його адреса містить у собі номер позиції, в якій установлений модуль і номер каналу на цьому модулі.

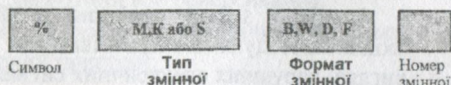
Так як контролери TSX Premium можуть складатися з кількох шасі синтаксис адресації зовнішніх змінних включає в себе і номер корзини:



Наприклад, адреса каналу 4 аналогового входного модуля, розташованого на п'ятому місці у шасі під номером 2, записується як %IW205.4.

Для модулів, розташованих у шасі під номером 0, номер корзини в адресі змінних може не вказуватися.

Внутрішні змінні мають такий синтаксис адресації:



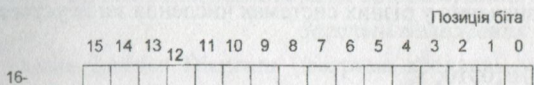
При адресації дискретних змінних %M і %S, формат змінної не вказується. Наприклад, %M10, %S50.

Номер змінної %M або %K лежить у межах визначеної при конфігурації контролера кількості того чи іншого типу змінної, яка у свою чергу залежить від моделі контролера.

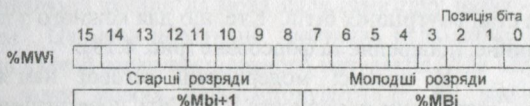
Зміст і призначення окремих системних бітів і слів визначаються системою діагностики та самотестування контролера.

Формати змінних

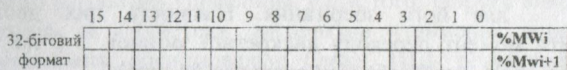
Формати аналогових змінних тісно пов'язані один з одним, оскільки усі вони використовують одну і ту саму зону пам'яті. Базовим форматом є 16-розрядне слово (W), у якому можна зберігати значення між -32768 і $+32767$.



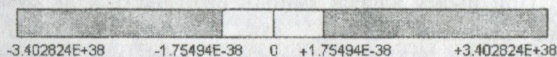
Формат – байт (B) використовується виключно для роботи з ланцюгами символів і становить половину базового слова.



Слово подвійного формату (D) складається із двох сусідніх одинарних слів і в ньому можна зберігати значення між -2147483648 та $+2147483647$.



Слово із плаваючою комою, також займає два сусідніх одинарних слова і його значення може перебувати у діапазоні $-3.402824E+38$ та $-1.75494E-38$ або $1.75494E-38$ та $3.402824E+38$.



Значення у формі із плаваючою комою можуть бути записані у вигляді: 1285.28, 1,28528E3.

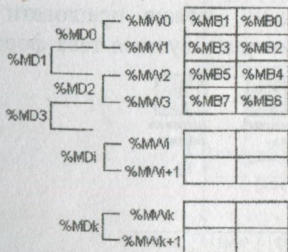


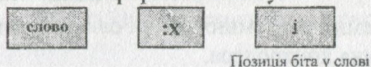
Рис.4.12. Структура подвійного слова

Із наведеної структури використання зони пам'яті (рис.4.12) видно, що подвійні слова і слова із плаваючою комою, можуть перекривати одне одне. Наприклад, до подвійного слова %MD0 входять одиниці слова %MW0 і %MW1, але до подвійного слова %MD1 також входить слово %MW1. Тобто при використанні слів подвійного формату і слів з плаваючою комою треба не враховувати й уважно стежити щоб не спотворити інформацію.

Це стосується також і інших типів змінних, а

саме констант і зовнішніх змінних.

Якщо необхідно звернутися до окремого біта в середині якогось слова, можемо скористатися такою формою запису:



Наприклад, `%MW10:X4` означає звертання до біта номер 4 у слові `%MW10`.

Значення у словах можуть бути записані у десятковому, двійковому або шістнадцятковому численні або у форматі із плаваючою комою.

Наприклад, одне й те саме значення у різних системах числення записується:

- десяткове – 1234;
- двійкове – 2#0000010011010010;
- шістнадцяткове – 16#04D2;
- у форматі із плаваючою комою (або у реальному вигляді) – 12,34E3.

Важливою особливістю бітової пам'яті ПЛК, у якій зберігається значення дискретних входів/виходів та стан внутрішніх бітів, є те, що для кожного з них зберігається три значення: плинне, попереднє та форсоване (рис. 4.13):

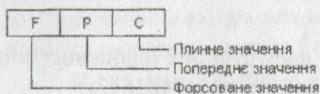


Рис. 4.13. Структура бітової пам'яті

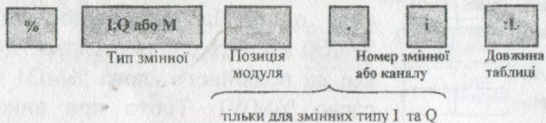
У процесі модернізації бітової пам'яті, перед тим як записати у пам'ять нове значення бітової змінної його попереднє значення переписується у комірки пам'яті призначеного для його зберігання. Наявність цих двох

значень дає змогу визначити момент переходу дискретної змінної з 0 на 1 (обробка переднього фронту) або з 1 на 0 (обробка заднього фронту).

Форсований стан дискретної змінної - це її особистий стан, за якого її значення встановлюється оператором з терміналу програмування.

У деяких випадках можна користуватися не прямою, а індексною адресацією змінних. При цьому адреса змінної визначається як сума прямої адреси змінної плюс значення змінної, яка вказана у вигляді індексу. Наприклад, запис `%MW 108 [%MW2]` відповідає адресі яка визначається як пряма адреса 108 + значення в слові `%MW2`. Тобто, якщо у слові `%MW2` записано значення 12, то вказана індексна адреса відповідає прямій адресі `%MW120` ($108+12=120$).

Крім перелічених типів змінних і їх адресації, можна працювати з таблицями бітів і слів. Для запису таблиці бітів використовується така форма запису:



Наприклад:

<code>%M10:6</code>	<code>%M15</code>	<code>%M14</code>	<code>%M13</code>	<code>%M12</code>	<code>%M11</code>	<code>%M10</code>
<code>%I1.0:4</code>	<code>%I1.3</code>	<code>%I1.2</code>	<code>%I1.1</code>	<code>%I1.0</code>		
<code>%Q3.3:3</code>	<code>%Q3.5</code>	<code>%Q3.4</code>	<code>%Q3.3</code>			

Для запису таблиці слів використовується така форма запису:

%	M,K або S	W, D, F	i	:L
	Тип змінної	Формат змінної	Номер (адреса змінної)	Довжина таблиці

Наприклад: %MW1:4

%MW1
%MW2
%MW3
%MW4

4.3.5.2. Технологічна мова програмування Ladder Diagram (LD)

Загальні положення

Мова **Ladder Diagram** (діаграма крокової логіки) у графічному вигляді представляє алгоритм розв'язання задач логіко-командного управління. Це одна з мов програмування мікропроцесорних контролерів, які вперше були використані для заміни релейно-контактних схем управління. Тому у вітчизняній техніці ця мова мала саме таку назву - "Мова релейно-контактних схем". Ця мова інтуїтивно зрозуміла будь-якому електрику і розрахована на розв'язання задач послідовного керування. Але неправильним є розуміння, що цю мову можна використовувати тільки при заміні відомого релейно-контактного варіанта схеми управління. Це графічна форма представлення логіко-командного управління, яке може використовуватись при описі будь-якого алгоритму управління. Крім того, широке використання функціональних блоків із бібліотеки алгоритмів (таймери, лічильники, регістри, блоки порівняння, обчислювальні блоки, ПІД- регулятори та ін.) дає можливість вирішувати й інші задачі.

Для програмування на технологічній мові LD використовується спеціальний графічний редактор, у якому за допомогою графічних елементів розробляється програма користувача.

Програма складається з окремих сторінок із написаною програмою, які послідовно виконуються одна за одною. Кожна сторінка має кілька зон: для мітки, для коментаря, робоча (рис. 4.14).



Рис. 4.14. Сторінка графічного редактора мови Ladder Diagram

У зоні мітки може бути записана мітка сторінки у вигляді %Li, де i – 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, у свою чергу, має умовно дві зони: тестування і виконавчу. Зона тестування прилягає до лівої умовної шини і в цій зоні розташовуються елементи, стан і значення яких обумовлює логіку виконання програми користувача. У виконавчій зоні, яка прилягає до правої умовної шини, розташовуються елементи, які обумовлюють виконання керуючих дій. Робоча зона сторінки має сітку з 11 стовпчиків і 16 рядків. Програмування полягає у виборі графічних елементів, що відповідають тим чи іншим логічним елементам або функціональним блокам, розташуванні їх у робочих зонах сторінок і показі зв'язків між ними у вигляді традиційних електричних ланцюгів. Вибір і нанесення графічних елементів у полі графічного редактора відбувається за допомогою активних кнопок, на яких нанесено графічне зображення вибраного елемента.

У табл. 4.6 наведені елементи і їх графічне зображення, які використовуються в мові Ladder Diagram.

Таблиця 4.6

Зображення графічних елементів

Назва елемента	Зображення	Кнопка	Назва елемента	Зображення	Кнопка
Елементи, що розташовуються в тестовій зоні					
Нормально відкритий контакт			Нормально закритий контакт		
Контакт, що закривається по передньому фронту			Контакт, що закривається по задньому фронту		
Виконавчі елементи					
Котушка на ввімкнення			Котушка на вимкнення		
Котушка на ввімкнення з замиканням			Котушка на вимкнення з замиканням		
З'єднувальні елементи					
Горизонтальна лінія коротка			Горизонтальна лінія довга		
Горизонтальна лінія ломана			Вертикальна лінія		
Елементи переходів					
Перейти на сторінку, яка має мітку %Li			Виклик підпрограми		
Вихід з підпрограми			Зупинити виконання програми		

Як видно з наведених зображень при програмуванні на мові LD використовуються елементи, які зазвичай використовуються при складанні релейно-контактних схем. Але ці зображення слід розуміти ширше, як

зображення логічних виразів. Наприклад, «нормально відкритий контакт» можна трактувати як вираз логічної умови – «якщо спрацював ...», або «якщо ввімкнувся ...», або «якщо змінна ... перейшла в стан логічної 1» і т.ін. Так само, елемент «котушка на ввімкнення» можна розглядати як виконавчу частину логічного виразу – «тоді ввімкнути ...» або «тоді змінній присвоїти значення логічної 1 ...» і т.ін.

В свою чергу елемент «контакт, що закривається по передньому фронту» можна інтерпретувати як логічний вираз: «у момент ввімкнення ...» або «у момент зміни стану дискретної змінної з 0 на 1. Тоді елемент «контакт, що закривається по задньому фронту» можна інтерпретувати як логічний вираз: «у момент вимкнення ...» або «у момент зміни стану дискретної змінної з 1 на 0.

Виконавчі елементи можна інтерпретувати так:

- «котушка на ввімкнення» - «тоді ввімкнути...»;
- «котушка на вимкнення» - «тоді вимкнути...»;
- «котушка на ввімкнення з замиканням» - «тоді ввімкнути і запам'ятати стан...»;
- «котушка на вимкнення з замиканням» - «тоді вимкнути й запам'ятати стан...».

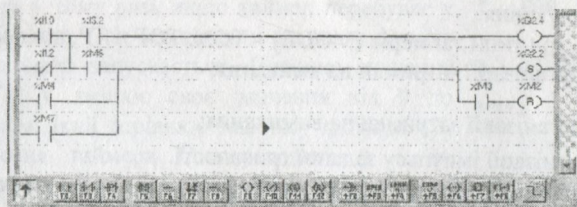
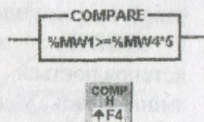


Рис. 4.15. Фрагмент програми з елементами «котушок із замиканням»

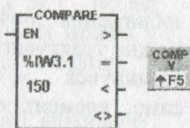
Крім простих елементів, у програмі використовуються блоки, які виконують різноманітні функції. До них належать блоки порівняння, операційні блоки, таймери, лічильники, одновібратори, регістри, драм-контролери.

Блоки порівняння (компаратори) бувають двох типів: горизонтальні і вертикальні.

Горизонтальний блок порівняння викликається за допомогою кнопки, показаної на рисунку, і має вигляд горизонтального прямокутника, в середині якого записується умова порівняння двох операторів. Блок займає дві клітини. Умови порівняння можуть бути простими й складними та можуть включати до 4096 знаків. Порівняння перевіряється з використанням умов: <, >, =, <=, >=, <>. Блок порівняння розташовується у тестовій зоні і займає дві клітини. Функціонально, на мові релейно-контактних схем, блок порівняння можна порівняти з нормально відкритим контактом, який замикається, коли умова, яка записана у блоку порівняння, виконується, і розмикається, коли умова не виконується.



Вертикальний блок порівняння відрізняється від горизонтального тим, що у ньому одночасно можна перевірити кілька умов. Операторами для порівняння можуть бути слова різних типів одинарного або подвійного формату, індексовані слова, а також числові значення. Для виконання арифметичних і логічних операцій над змінними й числовими значеннями використовується операційний блок, який займає чотири клітинки і в якому може бути записаний вираз з 4056 знаків. Операційний блок належить до виконавчих елементів і розміщується біля лівої шини. Якщо операційному блоку передують тестові елементи, то вираз, який записаний у операційному блоці, виконується за відповідних умов, а якщо операційний блок не має елементів у тестовій зоні, він виконується безумовно.



Таймери

Крім операційних блоків, у програмі користувача використовуються функціональні блоки, які виконують найбільш поширені функції: таймери, лічильники, одновібратори, регістри.

У програмі користувача можуть використовуватись різноманітні таймери, кількість яких залежить від типу контролера й замовлення, зробленого в процесі конфігурування.

Розрізняють три типи таймерів (MODE) – TON, TOF і TP, що призначені:

TON – для організації затримки на вмикання;

TOF – для організації затримки на вимикання;

TP – для організації імпульсу заданої тривалості.

Графічно таймер відображається на схемі у вигляді прямокутника, на якому можна побачити його вхід і вихід, а також налаштування (рис. 4.16):

%Tmi – номер таймера, де *i* може змінюватись від 0 до 63 для TSX Micro і від 0 до 255 для TSX Premium;

MODE: – тип таймера: TON, TOF або TP;

TB: – база часу, показує дискретність, із якою змінюється відлік часу в таймері. Базу часу можна вибирати з ряду: 1 хвилина (min), 1 s (секунда), 100 ms (мілісекунд), 10 ms;

MODIF: – можливість модифікації заданого значення таймера. Якщо встановлюється значення **Y**, задане значення таймера (%Tmi.P) може змінюватись у процесі виконання програми з терміналу або програмним шляхом. Якщо встановлюється значення **N**, задане значення може змінюватись тільки в режимі редагування програми.

Крім того, із таймером пов'язані слова:

%Tmi.V – слово, в якому зберігається поточне значення таймера, в якому можна спостерігати зміну часу у процесі роботи таймера. Змінюється від 0 до значення %Tmi.P. Може читатися програмою, але не може програмно змінюватися;

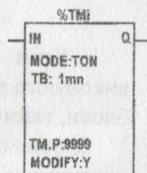


Рис. 4.16. Блок таймера

%TMI.P – слово, в якому зберігається задане значення (уставка) таймера. Може змінюватись у межах від 0 до 9999. Може читатись і змінюватись із терміналу або програмно, якщо це дозволено режимом модифікації MODIF:Y. Час, який буде витримувати таймер, розраховується як **%TMI.P • ТВ**.

Розглянемо діаграми роботи таймерів різних типів.

Таймер типу TON стартує по передньому фронту сигналу на вході таймера **IN**. Поточне значення таймера **%TMI.V** змінює своє значення від 0 до **%TMI.P** з кроком, який дорівнює базі часу таймера **ТВ**. Вихід таймера **Q** змінюється на 1, коли поточне значення таймера **%TMI.V** дорівнюватиме уставці таймера **%TMI.P** і зберігатиме це значення до моменту, поки на вході таймера **IN** зберігається стан 1. Як тільки на вході **IN** з'являється 0, таймер зупиняється, поточне значення **%TMI.V** скидається в значення 0 (навіть у тому разі, якщо значення **%TMI.V** не досягло значення **%TMI.P** (рис. 4.17).

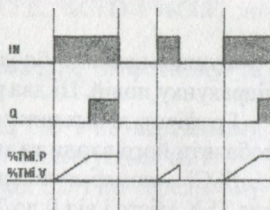


Рис. 4.17. Діаграма спрацювання таймера типу TON

Під час роботи таймера типу **TOF** плинне значення **%TMI.V** встановлюється в 0 по передньому фронту на вході **IN** (навіть у тому разі, якщо таймер перебуває у режимі відліку часу). При виникненні заднього фронту на вході **IN** таймер запускається. Поточне значення таймера **%TMI.V** змінює своє значення від 0 до **%TMI.P** з кроком, який дорівнює базі часу таймера **ТВ**. Вихідне значення таймера **Q** переходить у 1 по передньому фронту на вході **IN** і повертається у 0, коли плинне значення **%TMI.V** досягне значення **%TMI.P** (рис. 4.19).

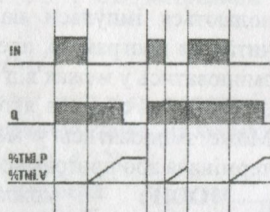


Рис. 4.18. Діаграма спрацювання таймера типу TOF

Таймер типу TP запускається по передньому фронту на вході **IN**. При цьому плинне значення **%TMI.V** встановлюється в 0, якщо таймер вже не перебуває у режимі відліку часу. Поточне значення таймера **%TMI.V** змінює своє значення від 0 до **%TMI.P** з кроком, який дорівнює базі часу таймера **ТВ**. Вихідне значення таймера переходить в 1, коли таймер запускається й повертається у 0, коли плинне значення досягне значення **%TMI.P** (рис. 5.22).

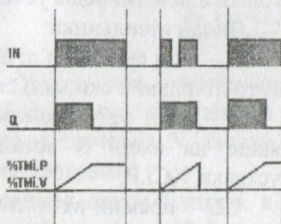


Рис. 4.19. Діаграма спрацювання таймера типу TP

Цей таймер не може бути скинутий. Одночасно, коли **%TMI.V** досягне значення **%TMI.P** і вхід **IN** перебуває у стані 0, слово **%TMI.V** встановлюється у 0.

До виходу таймеру можна звертатись у програмі користувача, як до біта з адресою **%TMI.Q**.

При використанні таймера у програмі користувача необхідно спочатку у редакторі змінних (Variables) задати для вибраного таймера (**%TMI**) його тип

(TON, TOF або TP), базу часу (TB) і уставку часу (%TMI.P), а також режим модифікації (рис. 4.20).

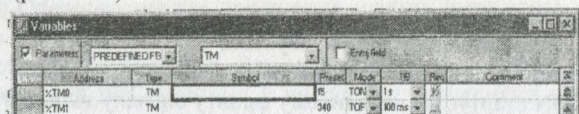


Рис. 4.20. Вікно конфігурації таймерів

Лічильники

Функціональний блок лічильника призначений для прямого, та зворотного підрахунку подій. Ці два режими можуть виконуватись одночасно.

Графічно лічильник зображується у вигляді прямокутника, на якому можна побачити його входи та виходи, а також налаштування (рис. 4.21):

%Ci – номер лічильника, де *i* може змінюватись від 0 до 31 для TSX Micro і від 0 до 255 для TSX Premium;

%Ci.V – слово, в якому зберігається поточне значення лічильника, яке збільшується або зменшується на 1, коли подаються імпульси на відповідні входи лічильника. Може читатись програмою, але не може програмно змінюватись. Може змінюватись у межах від 0 до 9999;

%Ci.P – слово, в якому зберігається задане значення (уставка) лічильника. Може змінюватись у межах від 0 до 9999. Може читатись і змінюватись з терміналу або програмно, якщо це дозволено режимом модифікації MODIF:Y;

MODIF: – можливість модифікації уставки лічильника. Якщо встановлюється значення **Y**, задане значення лічильника (%Ci.P) може змінюватись у процесі виконання програми з терміналу або програмним шляхом. Якщо встановлюється значення **N**, задане значення може змінюватись тільки в режимі редагування програми.

Входи лічильника:

R – вхід скидання лічильника. Тобто, якщо на вході R встановити значення 1, то лічильник скидається і значення в слові %Ci.V дорівнюватиме 0;

S – вхід установлення лічильника у передустановлене значення. Тобто, якщо на вході S встановити 1, то в слово %Ci.V запишеться значення уставки %Ci.P;

CU – прямий вхід лічильника. Якщо на вхід CU подається імпульс, то по його передньому фронту значення слова %Ci.V збільшиться на 1;

CD – зворотний вхід лічильника. Якщо на вхід CD подається імпульс, то по його передньому фронту значення слова %Ci.V зменшиться на 1.

Виходи лічильника:

E – вихід досягнення значення 0. Вихід установлюється в 1, коли при зворотному підрахунку імпульсів поточне значення %Ci.V досягне значення 0, і перейде у значення 9999, коли лічильник продовжує зворотний підрахунок імпульсів. Після цього вихід E знову встановлюється в 0;

D – вихід досягнення уставки. Вихід встановлюється в 1 в момент досягнення поточного значення %Ci.V величини уставки, записаної в слові %Ci.P;

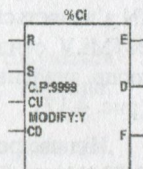


Рис. 4.21. Блок лічильника

F – вихід досягнення значення 9999 (переповнення). Вихід встановлюється в 1, коли при прямому підрахунку імпульсів поточне значення %Ci.V досягне значення 9999, і перейде у значення 0, коли лічильник продовжує прямий підрахунок імпульсів. Після цього вихід F знову встановлюється в 0.

Виходи E, D і F можуть використовуватись для керування процесом підрахунку імпульсів і створення каскадів із лічильників, коли кількість імпульсів, які необхідно підрахувати, більша ніж 9999.

З виходами E, D і F асоційовані відповідні біти %Ci.E, %Ci.D і %Ci.F, до яких можна звертатись у програмі користувача.

Лічильник може працювати у трьох режимах: прямому, зворотному та реверсивному підрахунках імпульсів.

За прямого підрахунку імпульси подаються на вхід CU і по передньому фронту кожного з цих імпульсів поточне значення %Ci.V збільшується на 1.

За зворотнього підрахунку імпульси подаються на вхід CD і по передньому фронту кожного з цих імпульсів поточне значення %Ci.V зменшується на 1.

У реверсивному лічильнику задіяні обидва входи CU і CD. Входи проглядаються послідовно. Якщо імпульси на входи CU і CD потрапили одночасно, поточне значення %Ci.V не зміниться.

Одновібратори (Monostable %MNI)

Одновібратори використовуються для створення імпульсу заданої тривалості. Графічно лічильник зображується у вигляді прямокутника, на якому можна побачити його вхід, вихід, а також налаштування (рис. 4.22).

Налаштування одновібратора подібні до налаштувань таймера:

%MNI – номер одновібратора, де і може змінюватись від 0 до 31 для TSX Micro і від 0 до 255 для TSX Premium;

TB: – база часу, показує дискретність, із якою змінюється відлік часу в одновібраторі. Базу часу можна вибирати з ряду: 1 хвилина (min), 1 s (секунда), 100 ms (мілісекунд), 10 ms;

MODIF: – можливість модифікації заданого значення одновібратора. Якщо встановлюється значення Y, задане значення одновібратора (%MNI.P) може змінюватись у процесі виконання програми з терміналу або програмним шляхом. Якщо встановлюється значення N, задане значення може змінюватись тільки в режимі редагування програми;

%MNI.V – слово, в якому зберігається плинне значення одновібратора, в якому можна спостерігати зміну часу у процесі роботи одновібратора. Змінюється від 0 до значення %MNI.P. Може читатися програмою, але не може програмно змінюватись;

%MNI.P – слово, в якому зберігається задане значення (уставка) одновібратора. Може змінюватись у межах від 0 до 9999. Може читатись і змінюватись із терміналу або програмно, якщо це дозволено режимом модифікації MODIF:Y. Час тривалості імпульсу, який буде витримувати одновібратор, розраховується як: **%MNI.P x TB**;

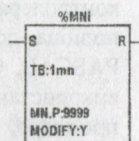


Рис. 4.22. Блок одновібратора

S – вхід запуску одновібратора. По передньому фронту імпульсу на даному вході поточне значення набуває значення уставки ($\%MNi.V = \%MNi.P$), яке потім зменшується до 0;

R – вихід одновібратора, який встановлюється в 1, коли працює одновібратор, і набуває значення 0, коли поточне значення $\%MNi.V$ дорівнюватиме 0.

Робота одновібратора показана на діаграмі (рис. 4.23).

Коли на вхід **S** ("Запуск") подається сигнал, то одновібратор починає працювати: поточне значення стає рівним уставці одновібратора ($\%MNi.V = \%MNi.P$) і вихід **R** встановлюється у значення 1.

Далі, протягом роботи одновібратора, його поточне значення зменшується до тих пір, поки не досягне значення 0. При цьому, вихід **R** також скидається у значення 0, тобто, після запуску одновібратора на його виході формується імпульс заданої тривалості.



Рис. 4.23. Діаграма роботи одновібратора

Процедури програмування регістрів і драм-контролерів описані у навчальному посібнику [1].

4.3.5.3. Мова структурованого тексту (Structured Text)

Загальні положення

Мова структурованого тексту (ST) – одна з можливих мов програмування на контролерах фірми SCHNEIDER. Програма на мові структурованого тексту подібна до правил написання на відомих алгоритмічних мовах, таких як PASCAL, C, BASIC і т.ін., і складається з програмних рядків, написаних із використанням відповідних правил побудови, інструкцій, стандартних процедур, зарезервованих слів і мнемонічних позначень, які визначають алгоритм обробки змінних різних типів.

Текст програми на мові структурованого тексту організовано в послідовності рядків, що починаються зі знаку оклику, який генерується автоматично і може включати наступні елементи: мітку, коментарі і одну або більшість інструкцій і команд, розподілених знаком “;” (рис. 4.24).

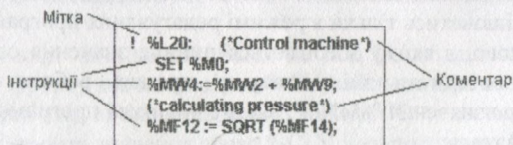


Рис. 4.24. Фрагмент програми на мові Structured Text

Мітка використовується для виділення послідовності інструкцій у програмі користувача (основна програма, підпрограма і т.ін.). Мітка має позначення $\%Li$, де i може приймати значення від 0 до 999 і розташовується на початку послідовності.

Коментар може бути вставлений у будь-яке місце програми й кількість їх необмежена. Він може включати до 256 символів, записуватись у кілька рядків і розташовується між знаками (* та *). Коментарі зберігаються у пам'яті програми користувача.

Програма користувача складається з послідовності **інструкцій**, що розділяються одна від одної знаком ";".

У структурованому тексті використовуються такі основні інструкції:

- над бітами;
- арифметичні й логічні операції над словами і подвійними словами;
- арифметичні, над словами у форматі із плаваючою комою;
- порівняння слів у різних форматах;
- перетворення форматів чисел;
- з таблицями бітів і слів різних форматів;
- з послідовностями символів;
- алфавітно-цифрове перетворення;
- програмні;
- управляючі;
- зі стандартними функціональними блоками;
- спеціальні, (зв'язку, ПІД-регулятори і т.ін.).

Для роботи над бітами використовуються такі інструкції:

:= – операція присвоєння;	RE – обробка переднього фронту;
OR – логічне "ИЛИ";	FE – обробка заднього фронту;
AND – логічне "И";	RESET – скидання в "0";
XOR – логічне "исключающее ИЛИ";	SET – встановлення в "1";
	NOT – інвертування.

В інструкціях порівняння значень слів у різних форматах використовуються такі знаки порівняння: >, <, =, <=, >=, <>.

Під час роботи з таблицями бітів можна в таблицю бітів записати значення іншої бітової таблиці, слова, подвійні слова і, навпаки, біти таблиці присвоїти слову або подвійному слову. Крім того, використовуються інструкції:

COPY_BIT – копіювати одну таблицю бітів в іншу;
AND_ARX – логічне И між двома таблицями;
OR_ARX – логічне ИЛИ між двома таблицями;
XOR_ARX – "исключающее ИЛИ" між двома таблицями;
NOT_ARX – інвертування таблиці;
BIT_W – копіювати таблицю бітів у таблицю слів;
BIT_D – копіювати таблицю бітів у таблицю подвійних слів;
W_BIT – копіювати таблицю слів у таблицю бітів;
D_BIT – копіювати таблицю подвійних слів у таблицю бітів.

За цілочислових арифметичних операцій зі словами й словами подвійної довжини використовуються арифметичні знаки: "+" – додавання, "–" – віднімання, "*" – множення, "/" – ділення, а також інструкції:

REM – залишок від цілочислового ділення;

SQRT — цілочисловий корінь квадратний;

ABS — абсолютне значення;

INC — інкрементування;

DEC — декрементування.

Для роботи зі словами у форматі з плаваючою комою використовуються ті самі інструкції (крім **REM**, **INC**, **DEC**), але в результаті отримаємо реальні числа.

Інструкції для роботи з таблицями слів і подвійних слів призначені для обміну словами між таблицями, арифметичних операцій між словами таблиць, операцій порівняння таблиць і операцій пошуку в таблицях рівних, максимальних і мінімальних значень.

До програмних інструкцій належать:

HALT — зупинка виконання програми;

JUMP — перехід на мітку;

SRI — виклик підпрограми за номером *i*;

RETURN — вихід із підпрограми;

MASKEVT — маскуванню подій у ПЛК;

UNMASKEVT — демаскуванню подій у ПЛК.

Керуючі структури

Використовують три керуючі структури:

- умовне виконання дії **IF**;
- умовний вираз повторних дій **WHILE** та **REPEAT**;
- повторювальні дії **FOR**

Кожна керуюча структура включена між ключовими словами на початку і в кінці інструкції. Це дає можливість відрізнити одну команду від іншої, незалежно від типу. Керуюча структура може передувати або слідувати за іншою командою.

Умове виконання дії IF

Умовний вираз IF ... THEN. В даному разі Дії виконуються лише за виконання **Умови**.



На мові структурованого тексту вираз має такий синтаксис:

IF Умова **THEN**

Дії;

END_IF;

Приклад.

IF %M0 **AND** %M5 **THEN**

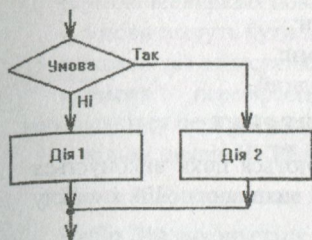
RESET %M0;

SET %Q2.0;

%MW:=0;

END IF;

Умовний вираз IF ... THEN...ELSE. У даному виразі, якщо виконується **Умова**, то виконуються Дії 2, в іншому разі виконуються Дії 1.



На мові структурованого тексту вираз має такий синтаксис:

```

IF Умова THEN
  Дії 2;
ELSE
  Дії 1;
END_IF;
  
```

Приклад.

```

IF %M0 AND %M5 THEN
  
```

```

    RESET %M0;
  
```

```

  SET %Q2.0;
  
```

```

  %MW1:=0;
  
```

```

ELSE
  
```

```

  SET %Q2.1;
  
```

```

  %MW1:=1;
  
```

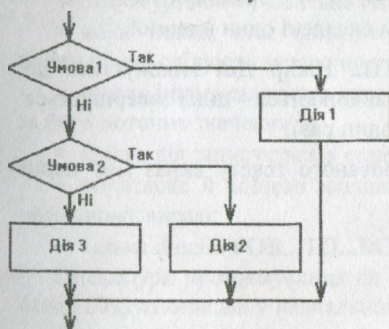
```

END_IF;
  
```

Умовний вираз IF ... THEN...ELSIF. У даному виразі існує ланцюг Умов і Дій, які повинні виконуватись. Перегляд Умов виконується послідовно. Якщо виконується перша **Умова i**, то виконуються **Дії i**, подальший перегляд **Умов** закінчується і програма переходить до виконання інструкцій, які записані після слова **END_IF**. В іншому разі перевіряється наступна умова **Умова (i+1)** і т.д.

Якщо ж не виконалась жодна умова, то виконуються команди, записані після інструкції **ELSE** (яка зовсім необов'язкова і за її відсутності нічого не виконується).

Необхідно пам'ятати, що на кількість **ELSIF** у виразі обмежень не має, а команда **ELSE** може бути лише одна.



На мові структурованого тексту вираз має такий синтаксис:

```

IF Умова1 THEN
  Дії 1;
ELSIF Умова 2 THEN
  Дії 2;
ELSE
  Дії 3;
END_IF;
  
```

Приклад.

```

IF %M0 AND %M5 THEN
  
```

```

  RESET %M5;
  
```

```

  RESET %QW2;
  
```

```

  %MW1:=%MW4+342;
  
```

```

ELSIF NOT %M0 AND %M5 THEN
  
```

```

  RESET %Q2.1;
  
```

```

  %MW1:=342;
  
```

```

ELSE
  
```

```

  SET %M4;
  
```

```

  %Q1.1:=%I1.1;
  
```

```

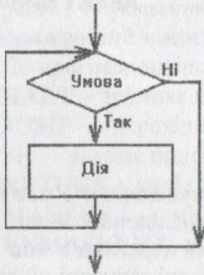
END_IF;
  
```


У всіх умовних виразах **IF** :

- умови можуть бути як простими, так і складними;
- кожна дія записується в окремому рядку програми;
- кілька виразів **IF** можуть бути вкладені один в один.

Умовний вираз повторювальних дій **WHILE** та **REPEAT**

Цикл з передумовою WHILE ... DO. Дії виконуються поки виконується **Умова**. Як тільки **Умова** перестає виконуватись, виконання **Дій** і циклу завершується.



На мові структурованого тексту вираз має такий синтаксис:

```
WHILE Умова DO  
    Дії;  
END_WHILE;
```

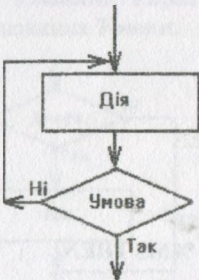
Приклад.

```
WHILE %MW10<50 DO  
    %MW100:=100;  
    SET %Q2.0;  
END_WHILE;
```

В умовних виразах повторювальних дій **WHILE**:

- умови можуть бути як простими, так і складними;
- кожна дія записується в окремому рядку програми;
- умова перевіряється до моменту виконання **Дії**. Якщо умова перевіряється перший раз і не виконується, **Дії** не виконуються;
- кілька циклів **WHILE ... DO** можуть бути вкладені один в один.

Цикл з післяумовою REPEAT ... UNTIL. Набір **Дій** виконується до моменту виконання **Умови**. Як тільки **Умова** виконається - цикл завершується (**Дії** в середині циклу виконуються принаймні один раз).



На мові структурованого тексту вираз має такий синтаксис:

```
REPEAT  
    Дії;  
UNTIL Умова  
END_REPEAT;
```

Приклад.

```
REPEAT  
    %M5:=FALSE;  
    SET %Q3.1;  
    %MW10:=125;  
UNTIL %MW1<100  
END_REPEAT;
```

В умовних виразах повторювальних дій **REPEAT**:

- умови можуть бути як простими, так і складними;
- кожна дія записується в окремому рядку програми;
- умова перевіряється після виконання Дії. Якщо умова перевіряється перший раз і не виконується, то Дії виконуються ще один раз;
- кілька циклів **REPEAT ... UNTIL** можуть бути вкладені один в один.

Цикл із повторенням заданої кількості разів **FOR...TO...DO**

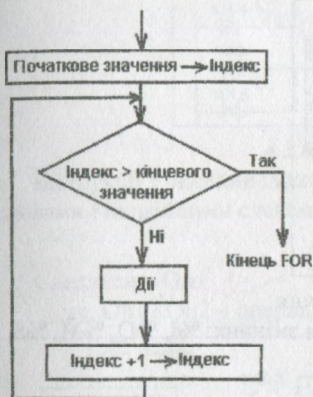
Набір Дій виконується до тих пір, поки індекс циклу не пройде значення від **I** до **J** (індексом може бути тільки слово).

На мові структурованого тексту вираз має такий синтаксис:

```
FOR Індекс:= I (початкове значення) TO J  
(кінцеве значення) DO  
Дії;  
END_FOR;
```

Приклад.

```
FOR %MW9:=0 TO 90 DO  
  %M1:=TRUE;  
  SET %Q4.1;  
END_FOR;
```



У структурі повторювальних дій **FOR**:

- коли індекс стає більшим, ніж його кінцеве значення, виконуються команди, які слідують за ключовим словом **END_FOR**;
- індекс інкрементується автоматично і програміст не несе відповідальності за його поточне значення;
- кожна дія записується в окремому рядку програми;
- початкове й кінцеве значення індексу повинно бути значенням слова у цифровому виразі;
- кілька циклів **FOR...TO...DO** можуть бути вкладені один в один.

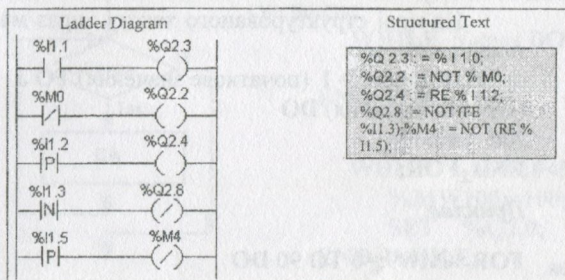
Процедури програмування на технологічних мовах *інструкцій (Instruction List) і Grafset* описані у навчальному посібнику [1].

4.3.6. Приклади виконання фрагментів програм на мовах Ladder Diagram, Instrastion List та Structured Text

4.3.6.1. Програмування логічних інструкцій з дискретними змінними Інструкції опитування

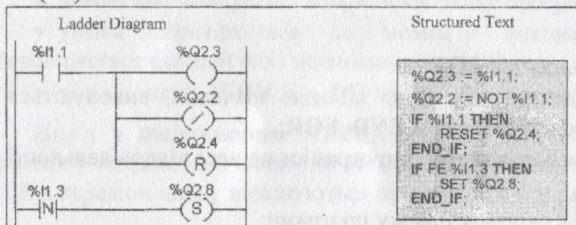
Передбачена можливість опитування дискретних змінних: %I, %Q, %M, %S, %BLK (біт функціонального блока, наприклад %T Mi.Q), %{W}..Xk (біт у слові, наприклад %MWi.Xk), %Xi (біт кроку Grafset).

Інструкції виявлення появи переднього чи заднього фронту дискретного сигналу можна використовувати тільки для змінних: %I, %Q та %M.

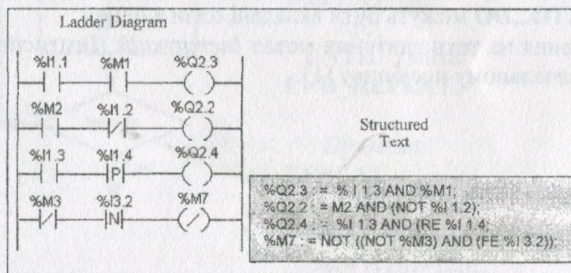


Інструкції присвоювання

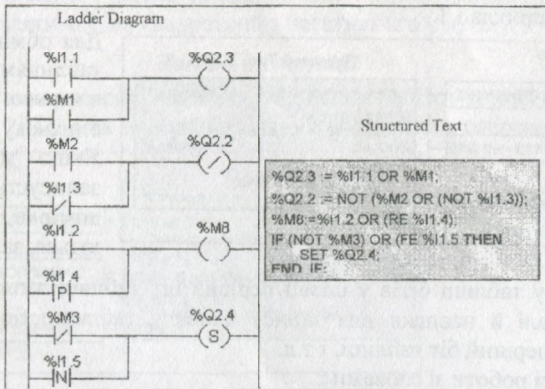
Інструкція присвоювання використовується для змінних: %I, %Q, %M, %S, %{W}..Xk та %Xi.



Логічне "И"



Логічне "ИЛИ"



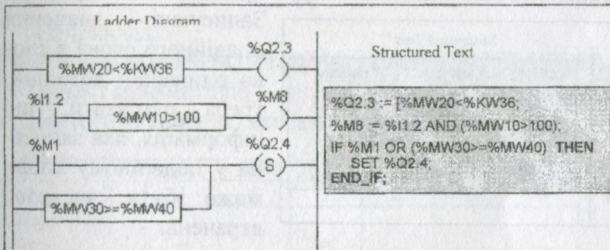
4.3.6.2. Інструкції з числами

Інструкції з числами використовуються для роботи з таблицями бітів, словами і подвійними словами.

Інструкції порівняння

Синтаксис: **Op1** (>, >=, <, <=, = <>) **Op2**,

де, Op1 і Op2 – операнд 1 і операнд 2



Як операнди можуть використовуватись індексовані прості й подвійні слова %MW, %KW, %MD, %KD, а також неіндексовані: безпосередні значення,

%IW, %ID, %QW, %QD, %SW, %SD, %NW (загальні слова, які використовуються за мережного обміну між ПЛК), %BLK (слова функціональних блоків), %XLT (час тривалості кроку Grafset).

Інструкції присвоювання

Ці інструкції використовуються, коли необхідно значення Операнда2 (Op2) присвоїти Операнду1 (Op1).

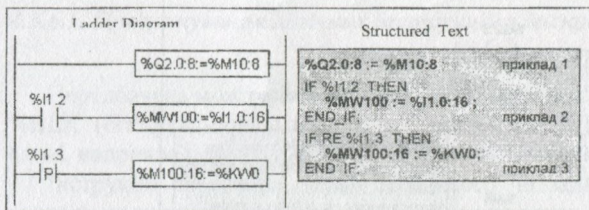
Синтаксис: **Op2 := Op1**

Як операнди можуть використовуватись таблиці бітів, слова і подвійні слова (прості й індексовані).

У процесі роботи з таблицями бітів:

- таблиця бітів може бути присвоєна іншій таблиці бітів – приклад 1;
- таблиця бітів може бути присвоєна слову або подвійному слову (простому або подвійному) – приклад 2;

• слово або подвійне слово (просте або подвійне) може бути присвоєне таблиці бітів – приклад 3.

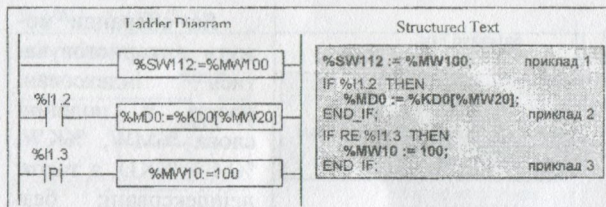


Для обміну даними між таблицями вони необов'язково повинні мати однакову довжину. Якщо менша таблиця записується у більшу, то комірки, які залишаються, заповнюються 0.

Для запису таблиці бітів у слово перший біт таблиці записується у 0 біт слова і так далі й навпаки для запису слова у таблицю бітів 0 біт слова записується у перший біт таблиці, і т.д.

У процесі роботи зі словами :

- значення слова може бути присвоєне іншому або подвійному слову (індексованому і не індексованому) – приклад 1;
- значення подвійного слова може бути присвоєне іншому подвійному слову або слову одинарної довжини (індексованому і не індексованому) – приклад 2;
- безпосереднє числове значення може бути присвоєне слову або подвійному слову (індексованому і не індексованому) – приклад 3.



Записуючі значення подвійного слова в слово одинарної довжини, треба пам'ятати, що інформація, яка записана у подвійному слові, може бути частково втрачена.

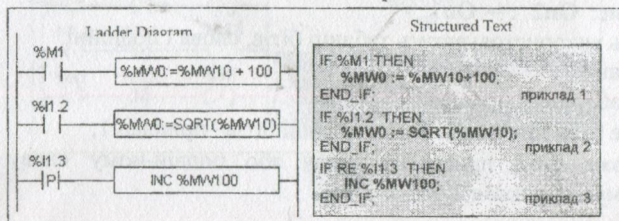
Арифметичні інструкції з цілими числами

Ця інструкція виконує арифметичні операції між двома операндами або з одним операндом.

Синтаксис:

- +, -, *, /, REM
- SQRT, ABS
- INC, DEC

`On1 := On2 Операція On3`
`On1 := Операція (On2)`
`Операція On1`



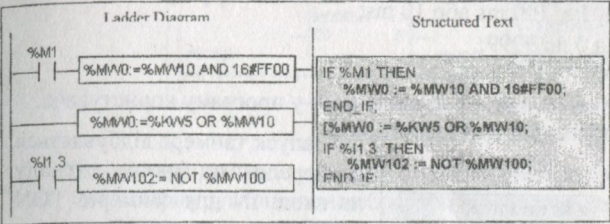
Як операнди у цій інструкції можуть використовуватись ті ж самі змінні, що й у попередній інструкції.

Системний біт

%S18 встановлюється в 1 також за спроби виконати операцію ділення на 0, а також за спроби взяти корінь квадратний з негативного числа.

Логічні інструкції

Ці інструкції використовуються для виконання побітових логічних операцій (AND, OR, XOR, NOT) між двома операндами або з одним операндом.



Правила виконання інструкцій з числами

Кількість числових операндів та арифметичних або логічних операцій, які входять до числового виразу, необмежена.

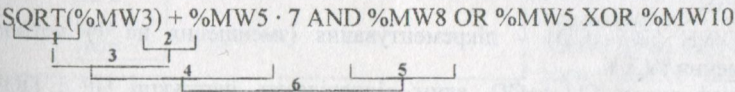
Наприклад,
%MW253 – SQRT(%MW10) + %KW8·(%MW15 + %MW18) AND 16#FF
В одному числовому виразі можуть використовуватись слова як одинарної так і подвійної довжини.

Наприклад,
%MW6-%MW15+SQRT(DM6) / (%MW149[%MW8]) + %KD29 AND 16#FA
Окремі арифметичні й логічні операції у числовому виразі мають різні пріоритети виконання, які показані нижче:

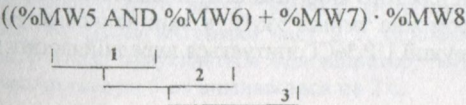
← пріоритет ←

1	2	3	4	5	6	7	8
Операція з операндами	· / REM	+ -	<> <= >=	= <	AND	XOR	OR

Наприклад, пріоритети виконання окремих операцій у виразі:



Використання круглих дужок також задає структуру, послідовність і пріоритет виконання окремих операцій у числовому виразі. Наприклад:



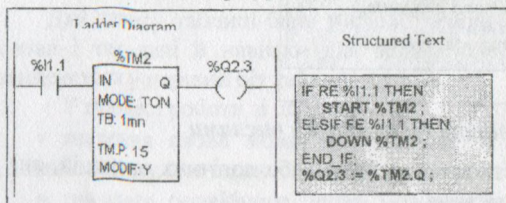
4.3.6.3. Програмування функціональних блоків

Програмування таймерів

Як зазначено у п. 5.6.2.2, у редакторі змінних для кожного таймера повинні бути сконфігуровані параметри:

- режим **MODE** – TON, TOF або TP;
- база часу **TB** – 1 min, 1 s, 100 ms або 10 ms;
- уставка **%Tmi.P** – від 0 до 9999;
- режим модифікації **MODIF** – Y або N.

Після цього сконфігурований таймер вставляється у програму користувача.



Запуск таймера відбувається по передньому фронту сигналу на вході IN для таймерів TON та TP і по задньому фронту – для таймера TOF.

Зупинка таймера відбувається по задньому

фронту сигналу на вході IN для таймерів TON та TP і по передньому фронту для таймера – TOF.

Це добре видно на мові Structured Text під часу запису умов спрацювання інструкцій **START** (запуск) і **DOWN** (зупинка).

Програмування лічильників

Для конфігурування лічильника у редакторі змінних виставляються параметри:

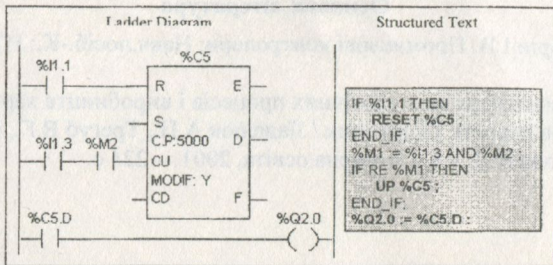
- уставка **%Ci.P**: від 0 до 9999;
- режим модифікації **MODIF**: Y або N.

Після цього сконфігурований лічильник вставляється у програму користувача.

На мові Structured Text для програмування реверсивного лічильника використовуються чотири інструкції:

- **RESET %Ci (R)** – скидання поточного значення **%Ci.V** у 0;
- **PRESET %Ci (S)** – запис значення уставки **%Ci.P** у поточне значення **%Ci.V**;
- **UP %Ci (CU)** – інкрементування (збільшення на 1) поточного значення **%Ci.V**;
- **DOWN %Ci (CD)** – дікрементування (зменшення на 1) поточного значення **%Ci.V**.

Лічильні входи CU і CD, яким відповідають інструкції UP і DOWN, спрацювають по передньому фронту сигналів, тому при їх використанні необхідно підготувати опитування саме переднього фронту сигналів для цих інструкцій. У наведеному прикладі для того щоб можна було виділити передній фронт на вході CU, вводиться проміжна змінна **%M1**, в якій записана умова спрацювання цього входу, і в інструкції UP **%Ci** опитується передній фронт цієї змінної.



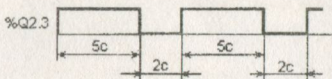
Програмування одновібраторів

Одновібратори призначені для створення імпульсів підвищеної точності.

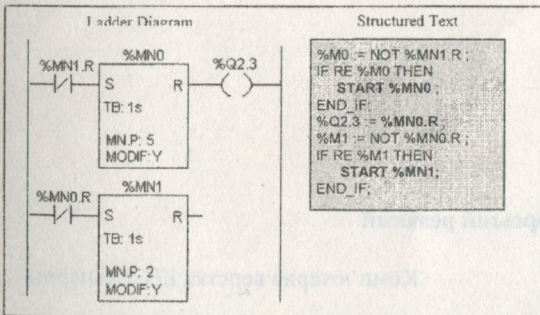
Для конфігурування одновібратора в редакторі змінних повинні бути задані параметри:

- база часу TB – 1 min, 1 s, 100 ms, 10 ms або 1 s;
- уставка %MNi.P – від 0 до 9999;
- режим модифікації MODIF – Y або N.

Нижче наведено приклад, в якому каскадно ввімкнені два одновібратори з витримкою часу 5с і 2с для реалізації послідовності імпульсів на дискретному виході %Q2.3:



На мові Structured Text для запуску одновібратора використовується інструкція START %MNi. Ця інструкція виконується по передньому фронту сигналу на вході S одновібратора. Для цього в прикладі введені дві проміжні змінні %M0 і %M1.



На початку виконання наведеного фрагмента програми на вхід S одновібратора %MN0 подається 1 і цей одновібратор запускається. При цьому спрацьовує його вихід %MN0.R і вмикається %Q2.3. При спрацюванні виходу %MN0.R на вхід одновібратора %MN1 подається 0.

Після витримки імпульсу 5 с одновібратор %MN0 вимикається, його вихід %MN0.R стає дорівнювати 0 і вихід %Q2.3 вимикається. При вимиканні виходу %MN0.R на вході S одновібратора %MN1 з'являється 1 і він запускається. Одночасно його вихід %MN1.R розриває ланцюг на вході S одновібратора %MN0. Після витримки часу 2 с, одновібратор %MN0 вимикається, а через його вихід запускається одновібратор %MN1 і т.д.. При цьому вихід %Q2.3 вмикається на 5 с і вимикається на 2 с.

Основна література

1. Ельперін І.В. Промислові контролери: Навч.посіб.-К.: НУХТ, 2003. – 320 с.
2. Автоматизація технологічних процесів і виробництв харчової промисловості: Підручник / Ладанюк А.П., Трегуб В.Г., Ельперін І.В., Цюцюра В.Д. – К.: Аграрна освіта, 2001. – 224 с.

Видання подається в авторській редакції

Комп'ютерна верстка І.В. Ельперіна

Підп. до друку 24.01.07 р. Обл.-вид.арк. 4,61. Наклад 100 пр.

Вид. 04/07. Зам. № 9-07

РВЦ НУХТ. 01033 Київ-33, вул. Володимирська, 68

www.book.nuft.edu.ua

Свідомство про реєстрацію серія ДК № 1786 від 18.05.04 р.