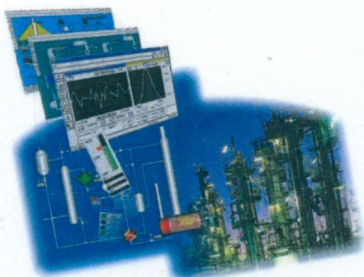


ЕЛЕМЕНТИ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ЕЛЕКТРОПРИВОДУ



Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

С. М. Левицький, М. П. Розводюк

ЕЛЕМЕНТИ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

Навчальний посібник

Вінниця
ВНТУ
2014

УДК [681.58+62.83](075)

ББК [32.965.3+31.291]я73

Л 37

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України (протокол № 3 від 27.10.2011 р.).

Рецензенти:

В. М. Кутін, доктор технічних наук, професор

О. В. Садовой, доктор технічних наук, професор

О. П. Чорний, доктор технічних наук, професор

Левицький, С. М.

Л37 Елементи систем автоматизації та електроприводу : навчальний посібник / С. М. Левицький, М. П. Розводюк. – Вінниця : ВНТУ, 2014. – 152 с.

В навчальному посібнику висвітлено елементну структуру сучасних систем автоматизації та електроприводу від засобів збору інформації та виконавчих механізмів до людино-машинного інтерфейсу. Розглянуто основні прикладні функції перетворювачів частоти як виконавчої ланки систем автоматизації.

Навчальний посібник доповнено практикумом. Рекомендований для студентів, що навчаються за фахом „Електромеханічні системи автоматизації та електропривод”, також може бути корисним фахівцям, що спеціалізуються на вдосконаленні типових схем регулювання технологічних параметрів та розробці людино-машинного інтерфейсу систем автоматизації.

УДК [681.58+62.83] (075)
ББК [32.965.3+31.291]я73

Зміст

| | |
|---|----|
| Вступ..... | 5 |
| 1. СТРУКТУРА СУЧАСНИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ | 6 |
| 1.1 Основні рівні та задачі систем автоматизації у виробництві | 6 |
| 1.2 Автоматичні системи регулювання | 8 |
| 2. ФУНКЦІОНАЛЬНІ СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ | 12 |
| 2.1 Загальні вимоги до функціональних схем автоматизації..... | 12 |
| 2.2 Зображення засобів автоматизації на функціональних схемах автоматизації..... | 13 |
| 3 ТИПОВІ КОНТУРИ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ 18 | |
| 3.1 Автоматичні системи стабілізації витрат матеріальних і енергетичних потоків..... | 18 |
| 3.2 Автоматичні системи регулювання рівня..... | 19 |
| 3.3 Автоматичні системи регулювання тиску | 22 |
| 3.4 Автоматичні системи регулювання температури | 23 |
| 3.5 Системи каскадно-зв'язаного регулювання | 24 |
| 4 ЗАСОБИ ЗБОРУ ІНФОРМАЦІЇ | 26 |
| 4.1 Державна система приладів і засобів автоматизації..... | 26 |
| 4.2 Системи дистанційної передачі сигналів..... | 27 |
| 4.3 Витратоміри | 29 |
| 4.4 Рівнеміри | 33 |
| 4.5 Засоби для вимірювання температури | 38 |
| 5 ЗАСОБИ ЗБОРУ ДИСКРЕТНОЇ ІНФОРМАЦІЇ | 42 |
| 5.1 Датчики наявності об'єкта..... | 42 |
| 5.2 Датчики руху..... | 45 |
| 5.3 Енкодери..... | 47 |
| 5.4 Оптична розв'язка дискретних входів цифрових пристроїв..... | 49 |
| 6 РЕГУЛЯТОРИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ | 50 |
| 6.1 Регулятори технологічних параметрів аналогові..... | 50 |
| 6.2 Регулятори технологічних параметрів цифрові | 52 |
| 7 ВИКОНАВЧІ МЕХАНІЗМИ ТА РЕГУЛЮВАЛЬНІ ОРГАНИ..... | 56 |
| 7.1 Виконавчі механізми | 56 |
| 7.2 Регулювальні органи..... | 61 |

| | |
|---|-----|
| 8 ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ЧАСТОТИ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗАЦІЇ..... | 64 |
| 9 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНЕ РЕЛЕ В СИСТЕМАХ МАЛОЇ АВТОМАТИКИ | 77 |
| 10 ПРОГРАМОВАНІ ЛОГІЧНІ КОНТРОЛЕРИ..... | 82 |
| 11 ЛЮДИНО-МАШИННИЙ ІНТЕРФЕЙС НА БУКВЕНО-ЦИФРОВИХ ПАНЕЛЯХ ОПЕРАТОРА..... | 91 |
| 12 ПРОЕКТУВАННЯ ЛЮДИНО-МАШИННОГО ІНТЕРФЕЙСУ З ГРАФІЧНИМИ ОПЕРАТОРСЬКИМИ ПАНЕЛЯМИ..... | 102 |
| 13 ПРАКТИЧНІ ЗАВДАННЯ | 112 |
| Практична робота № 1. Побудова функціональних схем автоматизації для типових контурів регулювання. Вибір технічних засобів автоматизації..... | 112 |
| Практична робота № 2. Розрахунок параметрів налаштування регуляторів | 118 |
| Практична робота № 3. Розробка системи регулювання технологіч- ного параметра з програмованим логічним модулем <i>Zelio Logic</i> . | 124 |
| Практична робота № 4. Розробка системи регулювання технологіч- ного параметра з програмованим логічним контролером <i>Twido</i> .. | 131 |
| Практична робота № 5. Розробка людино-машинного інтерфейсу системи регулювання з операторською панеллю <i>XBT-R</i> | 140 |
| Практична робота № 6. Розробка людино-машинного інтерфейсу системи регулювання з графічним терміналом <i>XBT-GT</i> | 145 |
| Література | 150 |
| СЛОВНИК ОСНОВНИХ ТЕРМІНІВ (GLOSSARY)..... | 151 |

Вступ

Сучасний рівень автоматизації (*automation*) виробництва визначається інтеграцією систем управління електроприводами (*electric drives*) технологічних установок в комплексні системи автоматики та автоматизації технологічних процесів, устаткувань та комплексів. При цьому існує тенденція до поєднання задач управління електроприводами та технологічним обладнанням за допомогою мікропроцесорних (*microprocessor*) систем управління та створення єдиних комплексів АСУ ТП з використанням складних взаємозв'язків між засобами вимірювання і аналізу інформації про стани об'єктів, стани електроприводів, їх автоматичного управління.

Багато з елементів систем автоматичного управління окремими технологічними процесами та окремими електроприводами мають спільну будову, однак відрізняються динамікою своєї роботи та параметрами налаштування. Тому вивчення елементарної структури систем автоматизації та електроприводів обов'язково повинно проводитись в комплексі.

Кваліфікованому фахівцеві з електромеханіки недостатньо знань з теорії та систем управління електроприводами як відокремленої ланки. З електроприводом завжди пов'язують задачі підтримання певного технологічного параметра, його програмну роботу і тому потрібно оволодівати знаннями та практичними навиками фахівця з автоматизації. У той же час для ефективної та економічної роботи сучасного електроприводу потрібно створювати такі режими роботи, які дають можливість заощаджувати електроенергію, збільшувати коефіцієнт використання електрообладнання, а вирішення такої задачі неможливо без глибокого розуміння електромеханічних процесів.

На сучасному рівні застосування цифрової техніки як в електроприводах, так і в системах автоматизації надійно і надовго зайняло пануюче місце. Це обумовлює необхідність: засвоєння хоча б однієї з мов програмування (*programming*) базових управляючих елементів систем автоматизації та електроприводів, що дозволить реалізовувати бажані проекти на виробництві; оволодіння методиками налаштування прикладних функцій сучасних електроприводів; опанування прийомів розробки людино-машинного інтерфейсу (*human-machine interface*). Такий багатогранний досвід потрібен не тільки на виробництві під час експлуатації електроприводів та систем автоматизації, він необхідний при розробці та проектуванні, при монтажних роботах та налагодженні устаткування.

1 СТРУКТУРА СУЧАСНИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1 Основні рівні та задачі систем автоматизації у виробництві

Головним напрямом автоматизації в агропромисловому комплексі на сучасному етапі є створення комп'ютерно-інтегрованих виробництв. За рубежом ця концепція одержала назву *CIMS (Computer Integrated Manufacturing System)*. Основою систем автоматизації нині стали функціональні можливості мікропроцесорних систем управління, при створенні яких вирішальну роль відіграють такі фактори, як використання принципів інтеграції, розподіленого управління, програмних комплексів. Слід додати, що при автоматизації виробництва об'єктом є не окремий технологічний процес чи агрегат, а технологічний комплекс (ТК) із складними взаємозв'язками між його підсистемами [1]. Сучасні системи автоматизації на базі мікропроцесорних пристроїв та ЕОМ мають широкі функціональні можливості й досконалі технічні характеристики, які забезпечують:

- підвищення надійності та живучості;
- швидкодію;
- візуалізацію та оперативність управління;
- збільшення кількості входів-виходів та продуктивності об'єкта;
- поліпшення комфортності праці оператора.

Якщо людина не бере участі у формуванні управляючої дії, управління називається **автоматичним**. У складних системах і ситуаціях прийняття остаточних рішень щодо управління залишається за людиною (оператором – особою, яка приймає рішення), тоді управління є **автоматизованим**. Відповідно до цього системи називаються *автоматичними* чи *автоматизованими*. В *першому* випадку за людиною залишаються лише функції із обслуговування системи і контролю за її функціонуванням. В *другому* – технічні засоби забезпечують людину оперативною інформацією, але остаточне рішення, тобто етапи оцінювання ситуації та формування управлінь, приймає вона сама. Автоматичне управління і відповідно автоматичні системи є більш досконаліми, вони знаходяться на вищому ступені розвитку. Але складні системи в комп'ютерно-інтегрованому виробництві часто не мають простих однозначних варіантів роботи, в них завжди є високий рівень невизначеності, тому вони і функціонують як автоматизовані. Орієнтовна структура таких систем має вигляд, наведений на рис. 1.1.

На рівні **ERP – Enterprise Resource Planning** (планування ресурсів підприємства) здійснюються розрахунок і аналіз фінансово-економічних показників, вирішуються стратегічні адміністративні і логістичні завдання.

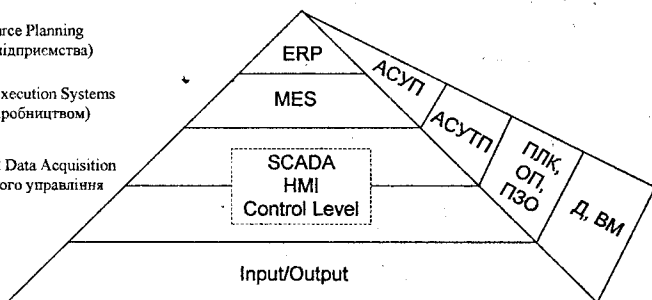


а)

ERP – Enterprise Resource Planning (планування ресурсів підприємства)

MES – Manufacturing Execution Systems (системи виконання виробництвом)

SCADA – Supervisory Control and Data Acquisition (система диспетчерського управління та збору даних)



ПЗО – пристрої зв'язку з об'єктом;
АСУП – автоматизована система управління підприємством;

б)

Рисунок 1.1 – Структура систем автоматизації (а – згідно з державною системою приладів (ДСП), б – за рівнем організації виробництвом)

На рівні **MES** – *Manufacturing Execution Systems* (системи виконання виробництвом) – завдання управління якістю продукції, планування і контролю послідовності операцій технологічного процесу, управління виробничими і людськими ресурсами в рамках технологічного процесу, технічного обслуговування виробничого устаткування.

Ці два рівні відносяться до завдань АСУП (автоматизованих систем управління підприємством) і технічних засобів, за допомогою яких ці завдання реалізуються, – це офісні персональні комп'ютери (ПК) і робочі станції на їх основі в службах головних фахівців підприємства.

На наступних трьох рівнях вирішуються завдання, які відносяться до класу АСУП (автоматизованих систем управління технологічними процесами).

SCADA – *Supervisory Control and Data Acquisition* (система збору даних і супервізорного (диспетчерського) управління) – це рівень тактичного оперативного управління, на якому вирішуються завдання оптимізації ведення процесу, діагностики апаратного забезпечення системи, адаптації уставок регуляторів і т. п.

Control-level – рівень безпосереднього (локального) управління, який реалізується на таких технічних засобах автоматизації (ТЗА) як: регулятори та інтелектуальні реле (*smart relay*), ПЛК – програмовані логічні контролери (*programmable logic controller*), ПЗО – пристрої зв'язку з об'єктом.

HMI – *Human-Machine Interface* (людино-машинний інтерфейс) – здійснює візуалізацію (відображення інформації) ходу технологічного процесу. Реалізується такий інтерфейс на базі ОП – операторських панелей (*operator's panel*).

Input/Output – Входи/Виходи об'єкта управління. Такими пристроями є датчики (*sensors*) і виконавчі механізми (ВМ) конкретних технологічних установок і робочих машин.

1.2 Автоматичні системи регулювання

При здійсненні процесу управління часто доводиться спочатку відшукувати потрібний режим роботи, а потім його підтримувати. В окремих випадках для простих об'єктів значення технологічних змінних (параметрів) задаються наперед, тоді системи називаються автоматичними системами регулювання (АСР).

Розглянемо більш детально структуру АСР як перший рівень ієрархічних систем управління (рис. 1.2).

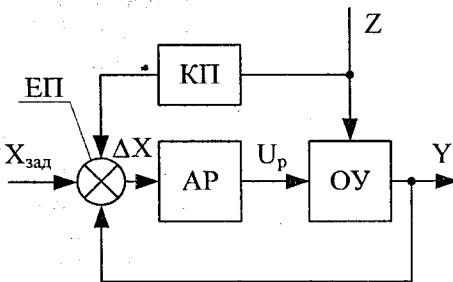


Рисунок 1.2 – Структура комбінованої автоматичної системи регулювання (з регулюванням за збуренням та за відхиленням)

Об'єкт управління (регулювання) ОУ – технологічний процес чи агрегат, в якому відбувається перетворення речовини, хімічні реакції, тепло- та масообмін, переміщення речовин тощо з метою одержання продукту або напівпродукту заданої якості в необхідній кількості. Стан об'єкта характеризується сукупністю технологічних параметрів (температура, тиск, рівень...), який позначимо вектором $Y = (Y_1, Y_2, \dots, Y_n)$. В окремому випадку $n=1$, а Y є скаляром. Усі ці параметри відносно об'єкта – вихідні, а для системи – регульовані. В реальних умовах на об'єкт завжди впливають збурення – дії, що порушують його режим роботи. Позначимо вектор збурень $Z = (Z_1, Z_2, \dots, Z_m)$. Зазначимо, що серед них є вимірювані й невимірювані величини. До *перших* належать значення витрати, температури потоків, вмісту певних речовин у потоці тощо, до *других* – зміна умов тепло-та масообміну, коефіцієнтів хімічних реакцій і т. д.

Природно, дію шкідливих збурень необхідно компенсувати (париувати) за рахунок спеціально створюваних управляючих дій, до яких відносять зміни потоків речовин, енергоносіїв та ін. Ці дії формуються спеціальним пристроєм. В АСР – це автоматичний регулятор (*regulator*) АР, яких може бути кілька – за кількістю регульованих величин Y . Тоді управління U являє собою вектор $U = (U_1, U_2, \dots, U_k)$. Автоматичний регулятор АР формує управління U_p як функцію сигналу, що залежить від Y , його заданого значення $X_{зад}$ та збурення Z , яке надходить через компенсуючий пристрій КП. Структуру АСР можна при потребі деталізувати відповідно до її апаратної бази, як наведено на рис. 1.3.

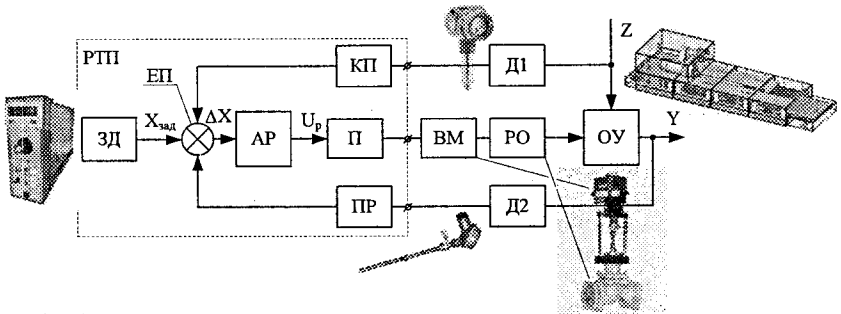


Рисунок 1.3 – Апаратна структура комбінованої автоматичної системи регулювання

На рис. 1.3 додатково показані датчики (пристрої для вимірювання) Д1 і Д2, за допомогою яких відповідно вноситься інформація про значення Z та Y , виконавчий механізм ВМ (*executive mechanism*) і регульовальний орган РО (*regulation armature*), що формують дії на об'єкт. Задане значення

$X_{зад}$ може вводитися на елемент порівняння ЕП за допомогою спеціального задавача ЗД, ПР – перетворювача. В сучасних регуляторах технологічних параметрів (РТП) поєднані перетворювач, компенсуючий пристрій, задавач ЗД, елемент порівняння, власне автоматичний регулятор та підсилювач П.

Процес функціонування АСР полягає в тому, що система повинна забезпечувати найкраще виконання двох умов: з максимальною точністю підтримувати X і повністю компенсувати (парувати) збурення Z . Але це "ідеальна" система, а у реальних наближення до ідеальної оцінюється рядом показників, серед яких основним є похибка (непогодження) $\Delta X = X_{зад} - Y$. Математична модель такої системи подається за двома каналами: задання – вихід та збурення – вихід [2].

Математична модель системи регулювання по каналу задання – вихід:

$$\begin{cases} Y(p) = \Delta X(p) \cdot W_{AP}(p) \cdot W_{II}(p) \cdot W_{BM}(p) \cdot W_{PO}(p) \cdot W_{OY}(p); \\ \Delta X(p) = X_{зад}(p) - Y(p) \cdot W_{Д2}(p) \cdot W_{IP}(p); \\ Z(p) = 0. \end{cases}, \quad (1.1)$$

де $W(p)$ – передавальна функція відповідного елемента структурної схеми.

Передавальна функція АСР після перетворень системи (1.1) матиме вигляд:

$$W_{АСР}(p) = \frac{Y(p)}{X_{зад}(p)}; \quad (1.2)$$

$$W_{АСР}(p) = \frac{W_{AP}(p) \cdot W_{II}(p) \cdot W_{BM}(p) \cdot W_{PO}(p) \cdot W_{OY}(p)}{1 + W_{AP}(p) \cdot W_{II}(p) \cdot W_{BM}(p) \cdot W_{PO}(p) \cdot W_{OY}(p) \cdot W_{Д2}(p) \cdot W_{IP}(p)}$$

Математична модель системи регулювання по каналу збурення – вихід:

$$\begin{cases} Y(p) = W_{OYz}(p) \cdot Z(p); \\ \Delta X(p) = Y(p) \cdot W_{Д2}(p) \cdot W_{IP}(p) + Z(p) \cdot W_{KP}(p); \\ X_{зад}(p) = 0. \end{cases}, \quad (1.3)$$

де $W_{OYz}(p)$ – передавальна функція об'єкта управління за каналом збурення – вихід.

Класи завдань (*reference*) систем управління:

1. Підтримання на заданому рівні технологічних параметрів або функцій від них (завдання стабілізації).

2. Змінювання технологічних параметрів за певною програмою чи відповідно до виконання деяких умов (програмно-логічне управління).

3. Компенсація збурень, що діють на технологічні змінні об'єкти (його координати). Компенсація небажаних змін властивостей об'єкта, що проявляються в процесі управління.

4. Координація взаємодії елементів об'єкта. Це завдання набуває особливого значення для технологічних комплексів, коли функціонування окремих агрегатів неможливе без взаємного врахування умов роботи інших.

Системи **стабілізації** повинні забезпечувати близькість поточного значення координат (параметрів) до її заданого значення та оцінювання точності такого наближення.

У системах **програмного управління** "близькість" поточного значення оцінюється при зміні завдання (програми). В системах стабілізації й програмного управління задані значення координат відомі, але у першому випадку вони постійні на тривалих інтервалах часу, в другому - змінюються за програмою.

У системах **слідкуючого управління** задані (потрібні) значення координат є випадковими величинами, а завдання – функцією довільного виду, яка наперед відома (наприклад, співвідношення двох параметрів).

Системи **екстремального управління** повинні забезпечувати пошук та утримання такого режиму роботи об'єкта, який відповідає екстремуму його статичної характеристики, наприклад, максимальному тепловиділенню для теплогенераторів.

Системи **оптимального управління** забезпечують найкращий режим роботи об'єкта в існуючих умовах (при певних ресурсах і обмеженнях), що оцінюється кількісно за допомогою комплексного показника якості (критерію оптимальності).

Контрольні запитання



- Назвіть рівні автоматизації виробництва згідно з державною системою приладів і засобів автоматизації, які задачі вирішуються на них?
- Назвіть рівні автоматизації виробництва згідно з організаційною структурою, які задачі вирішуються на них?
- Функціональна структура систем регулювання технологічних параметрів. Види регулювання.
- Математична модель систем регулювання технологічних параметрів за каналами вхід – вихід та збурення – вихід.
- Класифікація систем регулювання технологічних параметрів за способом задання. Наведіть приклади.

2 ФУНКЦІОНАЛЬНІ СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

2.1 Загальні вимоги до функціональних схем автоматизації

Функціональні схеми (*scheme*) автоматизації є *основним* технічним документом, що визначає функціонально-блокову структуру окремих вузлів автоматичного контролю, управління і регулювання технологічного процесу і оснащення об'єкта управління приладами і засобами автоматизації [3].

Об'єктом управління в системах автоматизації технологічних процесів є сукупність основного і допоміжного устаткування разом з вбудованими в нього запірними і регульовальними органами.

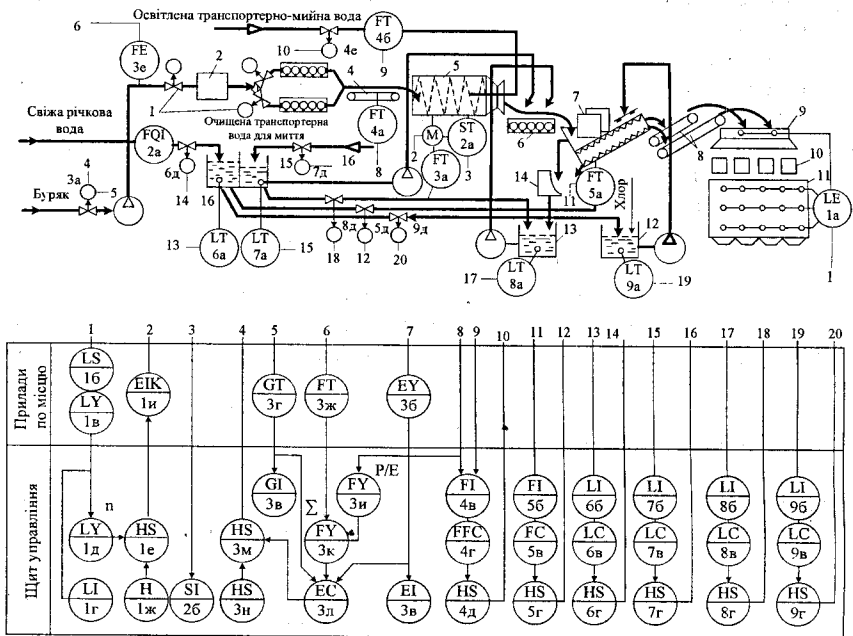


Рисунок 2.1 – Зразок функціональної схеми автоматизації

При розробці функціональних схем автоматизації необхідно вирішити такі задачі:

- отримання первинної інформації про стан технологічного процесу і устаткування;
- способи безпосередньої дії на технологічний процес для управління ним;

- стабілізація технологічних параметрів процесу;
- контроль і реєстрація технологічних параметрів процесів і стану технологічного устаткування;

Результатом складання функціональних схем є:

- вибір методів вимірювання технологічних параметрів;
- вибір основних технічних засобів автоматизації, що відповідають вимогам і умовам роботи об'єкта, що автоматизується;
- визначення приводів виконавчих механізмів регулювальних і запірних органів технологічного устаткування, керованого автоматично або дистанційно;
- розміщення засобів автоматизації на щитах, пультах, технологічному обладнанні, трубопроводах і под., визначення способів подання інформації про стан технологічного процесу і обладнання.

Технологічне устаткування і комунікації при розробці функціональних схем повинні зображатися в спрощеній формі, без зображення окремих технологічних апаратів і трубопроводів допоміжного призначення. Проте зображена таким чином технологічна схема повинна давати ясне уявлення про принцип її роботи і взаємодії із засобами автоматизації.

На технологічних трубопроводах показують ту регульовальну і запірну арматуру, яка безпосередньо бере участь в контролі і управлінні процесом.

Біля зображення технологічного обладнання, окремих його елементів і трубопроводів слід давати відповідні пояснювальні написи (найменування технологічного устаткування, його номер і ін.) а також вказувати стрілками напрям потоків. Окремі агрегати і установки технологічного обладнання можна зображати відірвано одні від одних з відповідними вказівками на їх взаємозв'язок.

2.2 Зображення засобів автоматизації на функціональних схемах автоматизації

В стандарті (ГОСТ 21.404–85) встановлено два способи побудови умовних позначень: спрощений і розгорнутий. Для спрощеного способу побудови достатньо основних умовних позначень, наведених в табл. 2.1, і буквених позначень, наведених в табл. 2.2. Розгорнутий спосіб побудови умовних графічних позначень може бути виконаний шляхом комбінованого застосування основних (табл. 2.1 і 2.2) і додаткових позначень. Складні прилади, що виконують декілька функцій, допускається зображати декількома колами, що примикають одне до одного.

Методика побудови графічних умовних позначень для спрощеного і розгорнутого способів є загальною. У верхній частині кола наносяться

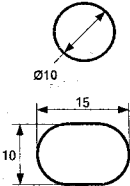



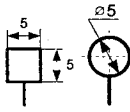



буквені позначення вимірювальної величини і функціональної ознаки приладу. В нижній частині кола наноситься позиційне позначення (цифрове або буквено-цифрове), що служить для нумерації комплексу вимірювання або регулювання.

Порядок розташування буквених позначень у верхній частині (зліва направо) повинен бути таким:

- позначення основної вимірювальної величини;
- позначення, що уточнює (якщо необхідно) основну величину, яка виміряється;
- позначення функціональної ознаки приладу.

Функціональні ознаки (якщо їх кілька в одному приладі) також розміщуються в певному порядку. Приклад побудови умовного позначення приладу для вимірювання, реєстрації і автоматичного регулювання перепаду тиску наведений на рис. 2.2.

Таблиця 2.1 – Графічні зображення засобів автоматизації за ГОСТ 21.404-85

| Найменування | Позначення | Найменування | Позначення |
|--|---|--|---|
| Первинний вимірювальний перетворювач (датчик), пристрій, що встановлюється по місцю |  | Виконавчий механізм, що закриває регулювальний орган при знятті сигналу управління |  |
| Пристрій, що встановлюється на щиті |  | Виконавчий механізм, який при знятті сигналу управління залишає регулювальний орган в незмінному положенні |  |
| Виконавчий механізм (положення регулювального органа при знятті сигналу управління не регламентується) |  | Виконавчий механізм з додатковим ручним приводом |  |
| Виконавчий механізм, що відкриває регулювальний орган при знятті сигналу управління |  | Регулювальний орган |  |

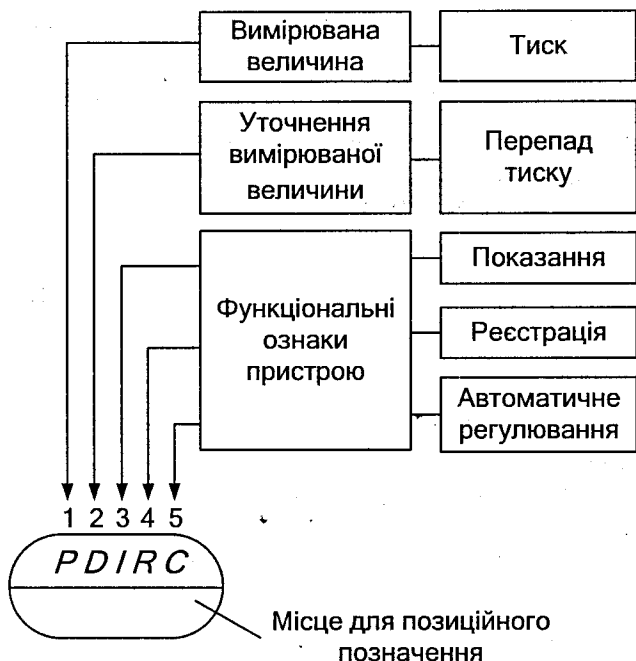


Рисунок 2.2 – Порядок присвоєння буквеного позначення засобам автоматизації на функціональних схемах автоматизації за ГОСТ 21.404-85

Всім приладам і засобам автоматизації, зображеним на функціональних схемах, присвоюються позиційні позначення (позиції). Позиційні позначення пристроїв і засобів автоматизації утворюються з двох частин: позначення арабськими цифрами номера функціональної групи і буквами українського алфавіту приладів і засобів автоматизації в даній функціональній групі. Буквені позначення присвоюються кожному елементу функціональної групи в порядку алфавіту залежно від послідовності проходження сигналу – від пристроїв отримання інформації до пристроїв дії на керований процес.

Таблиця 2.2 – Буквені позначення засобів автоматизації за ГОСТ 21.404-85

| Позначення | Вимірювальна величина | | Функції, що виконує пристрій | | |
|------------|--|--|------------------------------|-------------------------------------|---|
| | Основне призначення першої букви | Додаткове призначення, що уточнює призначення першої букви | Відобр. інформації | Формування вихідного сигналу | Додаткове призначення |
| <i>A</i> | – | – | Сигналізація | – | – |
| <i>B</i> | – | – | – | – | – |
| <i>C</i> | – | – | – | Регулювання, управління | – |
| <i>D</i> | Густина | Різниця, перепад | – | – | – |
| <i>E</i> | Електрична величина | – | – | – | Чутливий елемент (первинне перетвор.) |
| <i>F</i> | Витрати | Співвідношення, частка, дріб | – | – | – |
| <i>G</i> | Розмір, положення, переміщення | – | – | – | – |
| <i>H</i> | Ручна дія | – | – | – | Верх. межа вимірюваної величини |
| <i>I</i> | – | – | Показання | – | – |
| <i>J</i> | – | Автоматичне перемикання | – | – | – |
| <i>K</i> | Час, часова програма | – | – | – | Станція управління |
| <i>L</i> | Рівень | – | – | – | Нижня межа вимірюваної величини |
| <i>M</i> | Вологість | – | – | – | – |
| <i>N</i> | Резервна буква | – | – | – | – |
| <i>O</i> | Резервна буква | – | – | – | – |
| <i>P</i> | Тиск, вакуум | – | – | – | – |
| <i>Q</i> | Якість, склад, концентрація | Інтегрування, сумування по часу | – | – | – |
| <i>R</i> | Радіоактивність | – | Реєстрація | – | – |
| <i>S</i> | Швидкість, частота | – | – | Включення, виключення, переключення | – |
| <i>T</i> | Температура | – | – | – | Дистанційна передача (проміжне перетвор.) |
| <i>U</i> | Декілька різнорідних вимірюваних величин | – | – | – | – |
| <i>V</i> | В'язкість | – | – | – | – |
| <i>W</i> | Маса | – | – | – | – |
| <i>X</i> | Резервна буква | – | – | – | – |
| <i>Y</i> | – | – | – | – | Перетвор. |

Таблиця 2.3 – Приклади позначень засобів автоматизації за ГОСТ 21.404-85

| Назва | Позначення |
|---|---|
| Первинний вимірювальний перетворювач (чутливий елемент) для вимірювання температури, встановлений по місце (термометр термоелектричний, термометр опору, датчик пірометра і т. д.) |  |
| Прилад для вимірювання температури, показуючий, встановлений по місце (термометр ртутний, термометр манометричний і т. д.) |  |
| Прилад для вимірювання температури, показуючий, встановлений на щиті (мілівольтметр, логометр і т. д.) |  |
| Регулятор температури, показуючий, встановлений по місце |  |
| Прилад для вимірювання температури з контактним пристроєм, встановлений по місце (температурне реле) |  |
| Байпасна панель дистанційного управління, встановлена на щиті |  |
| Регулятор тиску, який працює без використання стороннього джерела енергії (регулятор тиску прямої дії) |  |
| Амперметр |  |
| Перетворювач сигналу встановлений на щиті (вхідний та вихідний сигнал перетворювача електричний, наприклад, вимірювальний перетворювач, для перетворення термо-ЕРС термоелектричного термометра в сигнал постійного струму) |  |
| Перетворювач сигналу, встановлений по місце (вхідний сигнал пневматичний, вихідний – електричний) |  |
| Пускова апаратура для управління електродвигуном (магнітний пускач, контактор і т.д.) |  |
| Апаратура, призначена для ручного дистанційного управління (кнопка, ключ управління, задавач) |  |
| Прилад для вимірювання концентрації сірчаної кислоти, реєструючий, регулювальний встановлений на щиті |  |

Контрольні запитання



- Поясніть основні вимоги до зображення технологічних об'єктів та допоміжного обладнання на функціональних схемах автоматизації.
- Графічні позначення засобів автоматизації на функціональних схемах автоматизації.
- Буквені та позиційні позначення засобів автоматизації на функціональних схемах автоматизації. Порядок їх присвоєння.

- Наведіть 5 довільних прикладів умовних позначень засобів автоматизації на функціональних схемах та поясніть їх.
- Яка мета переслідується при складанні функціональних схем автоматизації? Поясніть задачі, що вирішуються на етапі розробки схем автоматизації.

3 ТИПОВІ КОНТУРИ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ

3.1 Автоматичні системи стабілізації витрат матеріальних і енергетичних потоків

Функціональна та структурна схеми такої системи наведені на рис. 3.1. Мета такої системи регулювання – стабілізувати перепад тиску на діафрагмі, при зміні навантаження, тобто витрати F . Об'єктом управління (ОУ) є трубопровід від місця встановлення витратоміра (*flowmeter*) 1-1 (діафрагми, електромагнітного, вихрового, ультразвукового тощо) і до регульовального органу 1-4 (включаючи останній).

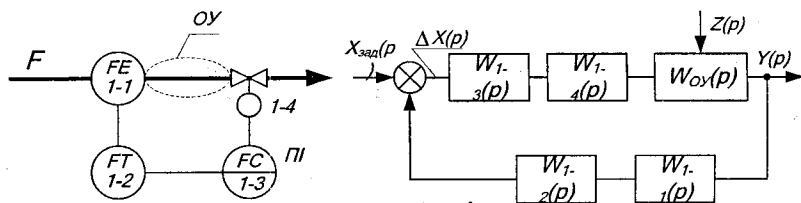


Рисунок 3.1 – Функціональна та структурна схеми АСР витрат

АСР, побудована на вимірюванні витрат через перепад тиску на діафрагмі, працює таким чином. Відхилення витрати F від усталеного значення спричинить зміну перепаду тиску на діафрагмі 1-1. Останній сприйметься диференціальним манометром (дифманометром) 1-2 і приведе до появи неузгодженості між завданням та поточним значенням регулятора 1-3, який відпрацює цю зміну згідно із законом регулювання і на вході виконавчого механізму 1-4 з'явиться сигнал, унаслідок якого зміниться прохідний отвір регульовального органу так, щоб витрата F стала дорівнювати заданому значенню.

Аналіз системи регулювання показує, що об'єкт управління має достатньо малу сталу часу і характеризується часом чистого запізнення. Для рідинного потоку такий об'єкт можна вважати об'єктом ідеального витіснення і його ланкою – ланку чистого запізнення. Крім ОУ до

динамічних ланок належать дифманометр і виконавчий механізм. Якщо використовують електронний витратомір, то його можна ідентифікувати підсилювальною ланкою. Пропорційні регулятори (П-регулятори) в таких системах, як правило, не використовують через залишкову похибку, можливість появи сильних коливальних перехідних процесів, і, як наслідок, вихід із ладу регульовального органу. Найчастіше використовуються пропорційно-інтегральні регулятори (ПІ-регулятори).

АСР витрати сипучих продуктів наведена на рис. 3.2. Об'єктом регулювання є стрічковий транспортер, що рухається із заданою швидкістю. На транспортері в кожен момент часу повинна знаходитися задана кількість продукту. Динамічна характеристика об'єкту регулювання по каналу «положення регульовального органу в бункері продукту — сигнал датчика ваги» описується в загальному випадку інтегруючою ланкою з чистим запізнюванням. Збурювальною дією є зміна витрати продукту, що поступає на стрічку з бункера.

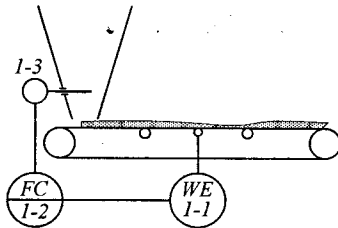


Рисунок 3.2 – Функціональна схеми АСР витрати сипучих продуктів

Відповідно до схеми регулювання датчик ваги 1-1, встановлений між опорними роликми транспортера, передає сигнал на регулятор продуктивності 1-2, з ПІ-законом регулювання. Регульовальна дія передається на виконавчий механізм 1-3, який змінює ступінь відкриття шиберного регульовального органу подачі продукту з бункера на транспортер. ПІ-закон регулювання забезпечує стійке регулювання об'єкта без статичної помилки.

3.2 Автоматичні системи регулювання рівня

Регулювання рівня (*level*) в апаратах і збірниках є стандартним завданням автоматизації в багатьох технологічних процесах. Збірник, в якому регулюється рівень, як об'єкт регулювання може визначатися статичною і астатичною ланкою. Це визначається організацією стоку. У разі вільного стоку він є статичною ланкою першого порядку. У разі фіксованого стоку, визначуваного продуктивністю вихідного насоса;

об'єкт буде астатичною ланкою першого порядку. У загальному випадку збурюючими діями збірника є приток і стік продукту. У більшості випадків рівень регулюється через зміну витрати стоку F_c (рис. 3.3, а). У цьому разі зміна витрати притоку F_n буде сильним збуренням. Зазначимо, що в багатьох випадках перетворювачі – первинний вимірювальний 1-1 і проміжний (для формування уніфікованого сигналу) 1-2 поєднані в одному корпусі (наприклад, рівнеміри буйкові, гідростатичні, п'єзометричні). У цьому разі їх розглядають як одну динамічну ланку.

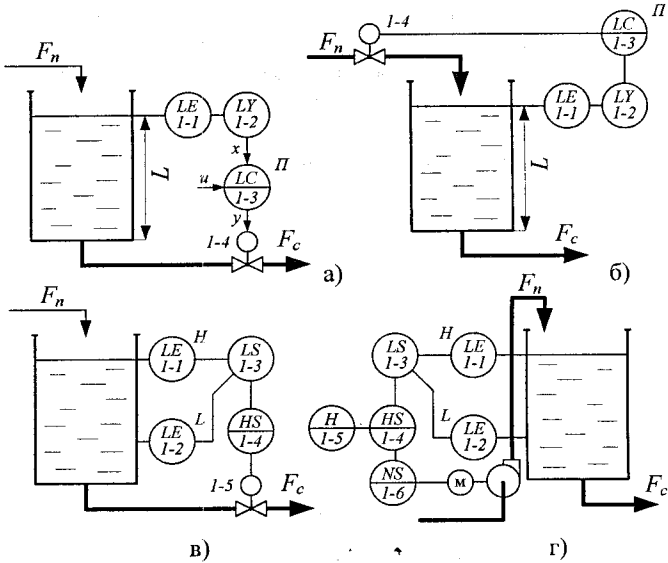


Рисунок 3.3 – Функціональні схеми АСР рівня

На рис. 3.3, а, б показана АСР статичного об'єкта. Сигнал від датчика рівня 1-1 та перетворювача сигналу в уніфікований 1-2 поступає на регулятор 1-3 із статичним (пропорційним) законом регулювання, який впливає на регульований орган виконавчим механізмом 1-4. При використанні статичного регулятора матиме місце залишкове відхилення. Для забезпечення вищої якості регулювання – без залишкового відхилення – слід застосувати ПІ або пропорційно-інтегрально-диференціальний (ПІД) закони регулювання. Принцип роботи АСР полягає в тому, що в усталеному режимі роботи сигнал, який надходить із перетворювача 1-2 x і задавальний сигнал u збігаються, тобто розбіжність $\varepsilon = 0$ і вихідний сигнал $y = \Delta l_0 / l_0 = 0$, (l_0 – номінальне значення рівня. У разі появи збурення або зміни завдання u на регулятор 1-3 створюється сигнал розбіжності $\varepsilon \neq 0$, який приведе до формування вихідного сигналу регулятора, додаткової дії на

виконавчий механізм 1-4 і регулювальний орган. Останній змінить прохідний отвір так, щоб витрати F_c зменшилися при зниженні рівня, або навпаки. Об'єкт управління при такому способі регулювання не має чистого запізнення.

На рис. 3.3, в, г наведені схеми АСР рівня астатичного об'єкта. У зв'язку з тим що в багатьох процесах харчових виробництв збірники відіграють роль демпферів, які компенсують нерівномірності в потоках продуктів, що транспортуються, то в них не потребується високої точності підтримки рівня. В наведених АСР використовується двопозиційне регулювання. В АСР на рис. 3.3, в датчики 1-1 та 1-2 видають сигнали при відхиленнях рівня від верхнього і нижнього заданих значень в збірнику, відповідно до яких позиційний регулятор 1-3 впливає на електромагнітний клапан 1-5, що управляє відбором продукту із збірника. Для ручного управління передбачений перемикач режиму роботи 1-4. Робота системи на рис. 3.3, г відрізняється тим, що управління здійснюється шляхом впливу на приток (при верхньому рівні насос вимикається, а при нижньому – вмикається), магнітний пускач приводу насоса має позиційне позначення 1-6, перемикач вибору режиму – 1-4, а кнопковий пост пуску/зупинки в ручному режимі управління – 1-5.

Однією з основних вимог до рідинних технологічних потоків є узгодження за продуктивністю суміжних дільниць виробництва і таким чином усунення або суттєве зменшення збурень за навантаженням, що є основними для більшості об'єктів. Для задоволення цієї вимоги в найпростішому випадку використовують системи автоматизації виробничого потоку (АВП) або системи поздовжньої стабілізації потоку. Технологічне забезпечення такої системи пов'язане з наявністю каскаду буферних збірників, які розташовують на вході та виході кожної технологічної дільниці. За рахунок запасів або вільних просторів цих збірників демпфується коливання технологічного потоку. Так, наприклад, якщо надходження рідини в один із збірників ступінчасто зменшилось, то за рахунок запасів, акумульованих у збірнику, зміна витоку рідини з нього буде розтягнута у часі і збурення на наступній за потоком дільниці буде легшим.

Система АВП створюється як система усередненого регулювання рівня (УРР) в каскаді збірників. Схема такої системи наведена на рис. 3.4. При недетектувальних властивостях каскаду, тобто коли збурення поширюються як за ходом технологічного потоку, так і проти нього, застосовують зв'язане регулювання рівня у двох суміжних збірниках. Пристрій для селектування LY пропускає на VM з PO , що знаходяться між збірниками, найбільший з вихідних сигналів двох регуляторів рівня LC , причому на виході регулятора першого збірника сигнал пропорційний заповненій частині збірника, а на виході регулятора другого збірника – порожній частині:

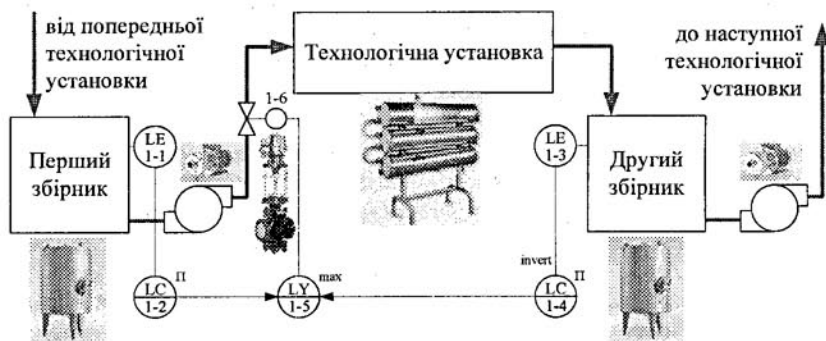


Рисунок 3.4 – АСР усередненого регулювання рівня

3.3 Автоматичні системи регулювання тиску

Такий об'єкт, як правило, має достатньо високу сталу часу і малий час чистого запізнення. Для регулювання можна використовувати як неперервні, так і позиційні регулятори. Найчастіше застосовують пропорційні (П) та ПІ-регулятори. Виконавчими механізмами є як пневматичні, так і електричні приводи: Функціональна схема типової АСР тиску (*pressure*) газу в ресивері наведена на рис. 3.5.

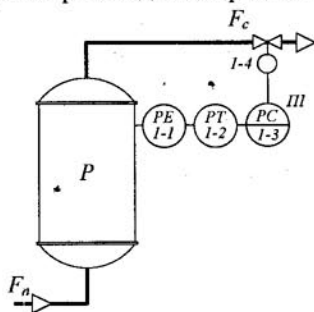


Рисунок 3.5 – Функціональна схема АСР тиску газу в ресивері

Якщо регулювання здійснюється за рахунок впливу на витрати стоку F_c , як показано на рис. 3.5, то витрати притоку F_n будуть сильним збуренням. До значного збурюючого фактора належить також температура газу. Система працює таким чином: зі збільшенням тиску P у резервуарі зростає сигнал на виході проміжного перетворювача 1-2 і з'явиться сигнал неузгодженості на виході регулятора 1-3. Вихідний сигнал останнього

почне діяти на виконавчий механізм 1-4 і відповідно на регулювальний орган, який збільшить прохідний отвір і витрати F_c , що приведе до зниження тиску до попереднього значення. Зазначимо, що датчик 1-1 і проміжний перетворювач 1-2, як правило, конструктивно об'єднані і являють собою одну динамічну ланку першого або другого порядку. Резервуар під тиском належить до динамічних ланок першого порядку.

3.4 Автоматичні системи регулювання температури

Найбільш поширеним та відносно простим тепловим об'єктом є поверхневий кожухотрубний теплообмінник, в який подають продукт, що нагрівається або охолоджується, та теплоносій. Мета управління цим об'єктом – стабілізація температури (*temperature*) продукту на виході теплообмінника. Основним збуренням тут є витрата продукту, а регулювальною дією – витрата або параметри теплоносія.

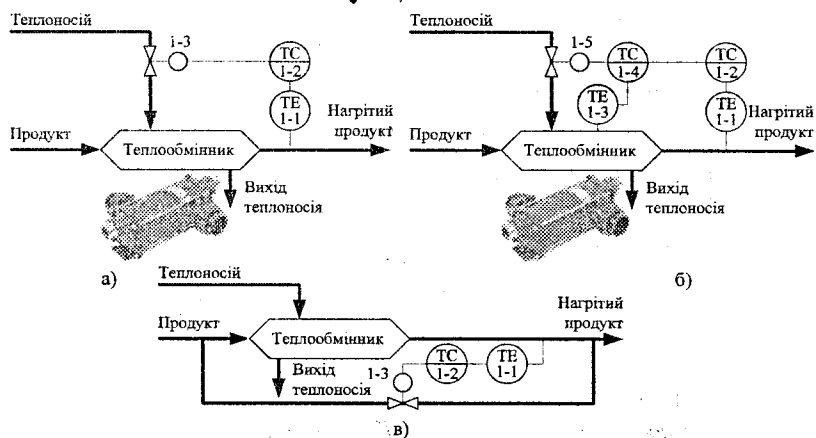


Рисунок 3.6 – АСР температури теплообмінника

На рис. 3.6, а наведена найпростіша одноконтурна схема регулювання температури, але при таких каналах вхідних дій об'єкт має несприятливі динамічні властивості, тому що інерційність каналу регулювальної дії перевищує інерційність каналу основного збурення. Для поліпшення якості регулювання в цьому випадку застосовують алгоритмічні або технологічні способи. До перших належить касадно-зв'язане регулювання з використанням як проміжної змінної витрати чи параметра теплоносія або температури (тиску) в ємності теплоносія теплообмінника (рис. 3.6, б);

до других – регулювальна дія зміною витрати продукту на обвідному трубопроводі при постійній витраті теплоносія (рис. 3.6, в).

3.5 Системи каскадно-зв'язаного регулювання

Якість роботи і умови експлуатації автоматичних систем регулювання, в яких використовуються проміжні регульовані величини, можна істотно поліпшити, якщо замість одного регулятора застосувати декілька регуляторів, що взаємодіють з регульованим об'єктом і між собою за схемою каскадно-зв'язаного регулювання [4].

Приклад реалізації такої системи наведений на рис. 3.7. Тут регульований об'єкт складається з двох регульованих ділянок і управляється двома регуляторами, утворюючи таким чином складну систему каскадно-зв'язаного регулювання.

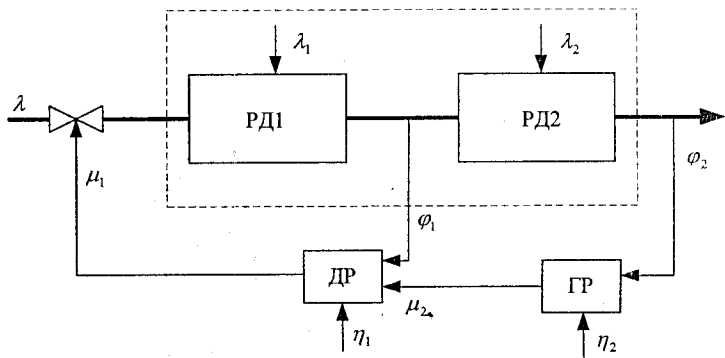


Рисунок 3.7 – Структурна схёма системи каскадно-зв'язаного регулювання
 РО — регулювальний орган; РД1, РД2 — регульовані ділянки; ДР — допоміжний регулятор; ГР — головний регулятор

Дана система утворює два контури регулювання: внутрішній (допоміжний), такий, що складається з регульованої ділянки РД1 і допоміжного регулятора ДР, і зовнішній (головний), такий, що складається з регульованих ділянок РД1, РД2, і допоміжного і головного регуляторів (ДР і ГР). Допоміжний регулятор, реагуючи на відхилення проміжної регульованої величини ϕ_1 , своєю регулювальною дією μ_1 підтримує цю величину на заданому значенні η_1 . Головний регулятор, реагуючи на відхилення головної (вихідної) регульованої величини ϕ_2 , своєю

регулювальною дією μ_2 коректує завдання допоміжного регулятора і змінює значення φ_1 до тих пір, поки φ_2 не досягне заданого значення η_2 .

Оскільки хід технологічного процесу в регульованому об'єкті характеризується однією вихідною і однією проміжною регульованими величинами і підтримується на заданому режимі одним допоміжним і одним головним регуляторами, система, наведена на рис. 3.7, є двоконтурною системою каскадно-зв'язаного регулювання.

У практиці зустрічаються складні регульовані об'єкти, хід технологічного процесу в яких характеризується не однією проміжною величиною (окрім вихідної, головної), а декількома (двома-трьома і більше) і підтримується на заданому режимі (двома-трьома і більше) допоміжними регуляторами (окрім головного). Такі системи каскадно-зв'язаного регулювання є відповідно три-, чотирьоконтурними (і більше). Серед систем каскадно-зв'язаного регулювання двоконтурна є простою і найбільш поширеною в різних галузях промисловості.

В порівнянні з системами, в яких складний регульований об'єкт управляється одним багатоімпульсним регулятором, системи каскадно-зв'язаного регулювання мають важливі переваги. У них можливе широке маневрування налаштувань регуляторів, що забезпечує істотне підвищення якості регулювання і розширює область застосування регуляторів; поетапне включення в роботу окремих контурів регулювання, що полегшує процес введення в роботу як регуляторів, так і регульованого об'єкта; безпечніша експлуатація системи в цілому.

Системи каскадно-зв'язаного регулювання є великою групою автоматичних систем регулювання. У їх числі є варіанти, що відрізняються один від одного функціональними можливостями, структурами, апаратурною реалізацією.

Комбінуючи закони регулювання допоміжного і головного регуляторів, можна утворювати системи каскадно-зв'язаного регулювання різної структурної складності. Їх зручно позначати символами законів регулювання, що відпрацьовуються регуляторами, які входять в дану систему. Так, двоконтурні системи каскадно-зв'язаного регулювання можуть утворювати такі структурні варіанти: П-ПІ, П-ПІД, ПІ-ПІ, ПІ-ПІД і т. д., триконтурні системи: П-ПІ-ПІ, ПІ-ПІ-ПІ, П-ПІ-ПІД і т. д. У символічному позначенні структури системи каскадно-зв'язаного регулювання першим символом позначається перший допоміжний регулятор, останнім — головний (коректуючий).

Контрольні запитання

- Наведіть функціональну схему системи регулювання витрат рідинного технологічного потоку за ГОСТ 21.404-85. Поясніть її

роботу, наведіть структурну схему системи з допомогою типових динамічних ланок.

- Наведіть функціональну схему системи регулювання витрат сипучих речовин. Поясніть її роботу, наведіть структурну схему системи з допомогою типових динамічних ланок.
- Дайте порівняльну характеристику способам побудови систем регулювання рівня.
- Системи автоматичного регулювання тиску: область застосування, типові функціональні схеми, характерні збурення.
- Порівняйте динамічні характеристики систем регулювання температури з регулювальним впливом на подачу теплоносія, продукту та з контролем температури в середній точці.
- Будова та принцип дії систем каскадно-зв'язаного регулювання. Область застосування.

4 ЗАСОБИ ЗБОРУ ІНФОРМАЦІЇ

4.1 Державна система приладів і засобів автоматизації

В Україні технічні засоби систем автоматизації повинні сертифікуватись згідно з державною системою приладів та засобів автоматизації (ДСП). ДСП – сукупність нормалізованих рядів, уніфікованих блоків, приладів і пристроїв для одержання, опрацювання та використання інформації, які відповідають єдиним технічним та метрологічним вимогам і мають єдині параметри вхідних та вихідних сигналів, нормалізовані габаритні та приєднувальні розміри, а також економічно обгрунтовану точність, надійність, довговічність і естетичність.

Сертифікація відповідно до ДСП забезпечує створення приладів і пристроїв систем автоматизації на принципах уніфікації, агрегування, сумісності. Уніфікація дозволяє скоротити номенклатуру приладів і пристроїв, що випускаються промисловістю, зменшити їх вартість, зменшити експлуатаційні витрати. Агрегування дозволяє компонувати різні прилади, регулятори, перетворювачі з типових уніфікованих деталей, вузлів, модулів і агрегатів, що мають функціональну і геометричну взаємозамінність, яка скорочує витрати на виготовлення та встановлення засобів автоматизації. Сумісність на основі уніфікації сигналів зв'язку, конструктивних приєднувальних розмірів, параметрів живлення, метрологічних характеристик, експлуатаційних вимог дозволяє скомпонувати прилади і пристрої різного призначення в автоматичні системи контролю, регулювання і управління технологічними процесами, а також надати засобам взаємозамінності.

За родом енергії живлення та носія сигналу вироби ДСП поділяються на такі типи: електричні, пневматичні, гідравлічні, комбіновані та без використання зовнішньої енергії.

Електричні – це ряд приладів та засобів автоматизації, у яких для живлення використовується електрична енергія і носієм інформації є електричний сигнал. Носієм інформації в аналогових (*analog*) засобах вимірювання є постійний струм із стандартними (уніфікованими) діапазонами зміни сигналів постійного струму; 0 – 5 мА; 0 – 20 мА; 4 – 20 мА; 0 – 100 мА, а напруги: 0 – 10 мВ; 0 – 10 В.

Пневматичні – це ряд приладів та пристроїв, джерелом енергії в яких є стиснене повітря, а носієм інформації – пневматичний сигнал у межах від 20 до 100 кПа.

Гідравлічні – це ряд приладів та пристроїв, у яких джерелом живлення і енергетичним носієм є гідравлічні сигнали за рахунок стиснення рідин (масла або гальмівної рідини з в'язкістю не більше 1800 мм²/с). Робочий тиск енергетичних носіїв лежить в межах від 1 до 6,4 МПа.

Крім того, зв'язок між різними типами ДСП ведеться за допомогою перетворювачів сигналів, що дозволяє при автоматизації виробничих процесів створювати комбінації із приладів і засобів автоматизації (наприклад, пневмоелектроперетворювач дозволяє перетворити уніфікований пневматичний сигнал 20 – 100 кПа в уніфікований сигнал постійного струму 0 – 5 мА, він використовується в тому випадку, коли регулятором є електронний або мікропроцесорний пристрій, а датчик з пневматичним вихідним сигналом, використання якого обумовлено вимогами безпечної експлуатації об'єктів вибухонебезпечної категорії).

4.2 Системи дистанційної передачі сигналів

Системи дистанційної передачі сигналів вимірюваної інформації призначені для передачі сигналів від передавального перетворювача до вимірювального пристрою або регулятора, розміщених на певній відстані один від одного. Системи дистанційної передачі розділяються на дві групи: системи з уніфікованими сигналами ДСП і з неуніфікованими, періодичними сигналами, які формуються безпосередньо перетворювачами – датчиками. Ширше застосування мають системи дистанційної передачі з уніфікованими сигналами (електричні, пневматичні, гідравлічні та ін.). До систем з неуніфікованими сигналами відносять: диференційно-трансформаторні, тензометричні та ін.

Диференційно-трансформаторна (differential-transformer) система дистанційної передачі використовується в датчиках з механічним переміщенням чутливого елемента (мембрани, сильфону, поплавка тощо).

Механічне переміщення перетворюється в електричний вихідний сигнал за допомогою спеціальної схеми, наведеної на рис. 4.1.

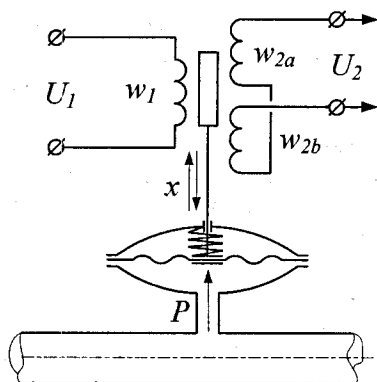


Рисунок 4.1 – Принцип дії датчика тиску з диференційно-трансформаторним перетворювачем

До обмотки w_1 прикладають напругу живлення змінного струму U_1 . Вторинну обмотку w_2 ділять на дві однакові секції w_{2a} та w_{2b} , включені зустрічно (диференційно). При симетричному розташуванні рухомої частини магнітопроводу відносно секцій вторинної обмотки сумарна напруга на них U_2 практично рівна нулю, при зсуві рухомої частини напруга змінюється пропорційно величині зсуву. Для диференційно-трансформаторного перетворювача характерні: висока чутливість, лінійність статичної характеристики, а отже, точність перетворення і вимірювання. Такі перетворювачі дозволяють, вимірювати переміщення чутливих елементів датчиків від 0,01 до 20 мм і більше.

При обмежених переміщеннях чутливого елемента (частіше – мембрани) використовують *тензометричні* перетворювачі (*tensometric converters*). Такі перетворювачі формують електричний сигнал, пропорційний ступеню деформації чутливого елемента. Область застосування – ваги та вагові пристрої, засоби для вимірювання тиску, розрідження, витрат, рівня (гідростатичним способом). Найбільше поширені тензометричні перетворювачі із застосуванням тензорезисторів, дія яких базується на властивості змінювати електричний опір під впливом деформації (стиску, розтягу). Основу тензорезистора складає чутливий елемент, виконаний зі спеціального сплаву (на основі нікелю Ni , молібдену Mo , платини Pt) або з кристала напівпровідника (наприклад кремнію Si). Чутливий елемент з металу виконається у вигляді решітки (рис. 4.2, а), зовнішній вигляд перетворювача наведений на рис. 4.2, б.

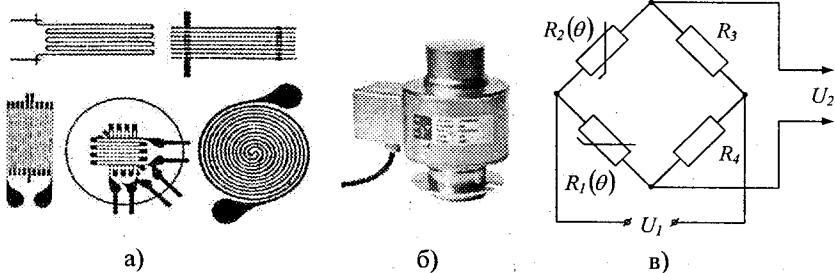


Рисунок 4.2 – Тензодатчики

а – форми чутливого елемента, б – зовнішній вигляд, в – схема вмикання

Для зменшення похибок слід використовувати температурну компенсацію, один з найбільш поширених способів «схемної» компенсації – мостова схема вимірювання з двома тензодатчиками (рис. 4.2, в), які одночасно сприймають деформацію пружного елемента, але опір одного із збільшенням деформації зменшується, а іншого – збільшується. Температурний вплив на датчики однаковий, тому така схема матиме рівновагу в тепловому відношенні, що виключатиме можливість розбалансу схеми через вплив температури (опір в обох плечах зміниться одночасно і рівновага не порушиться). Крім того, мостова схема з двома датчиками дозволяє збільшити чутливість перетворювача вдвічі, порівняно з одним датчиком за рахунок одночасного розбалансу обох плечей моста.

Розглянуті системи дистанційної передачі сигналів є спільними для датчиків ряду технологічних параметрів, при вимірюванні яких використовується переміщення або деформація чутливих елементів. Однак існує велика кількість датчиків технологічних параметрів, принцип дії яких ґрунтується на інших фізичних явищах.

4.3 Витратоміри

Вимірювання кількості та витрати рідин і газів в енергетиці, нафтогазових та харчових виробництвах має важливе значення як для контролю результатів роботи виробництв, так і для управління технологічними процесами.

Витрата – кількість речовини, яка проходить по каналу чи трубопроводу за одиницю часу. Одиниці вимірювань витрати: об'ємні ($\text{м}^3/\text{год}$; $\text{м}^3/\text{с}$; $\text{л}/\text{с}$), масові ($\text{т}/\text{год}$; $\text{кг}/\text{год}$; $\text{кг}/\text{с}$; $\text{г}/\text{с}$). Масові витрати з об'ємними пов'язані залежністю

$$F_m = F_o \cdot \rho, \quad (4.1)$$

де F_m – масова витрата речовини, кг/с;
 F_o – об'ємна витрата речовини, м³/с;
 ρ – густина речовини, кг/м³.

Основні показники, що обумовлюють вибір типу витратоміра: значення витрат, тип контролюваного середовища, його температура, тиск, в'язкість, густина, електрична провідність, рН, перепад тиску на первинному вимірювальному перетворювачі, діаметр трубопроводу, діапазон зміни витрат і похибка вимірювань.

Витратоміри змінного перепаду тиску складаються з діафрагми 2, встановленої в трубі 1 та диференціального манометра або дифманометра 3 (рис. 4.3). Дія їх основана на залежності перепаду тиску на гідравлічному опорі (діафрагми, сопла і труби Вентурі сопла Лаваля і ін.), розташованому в потоці контролюваного середовища, від її витрати Q .

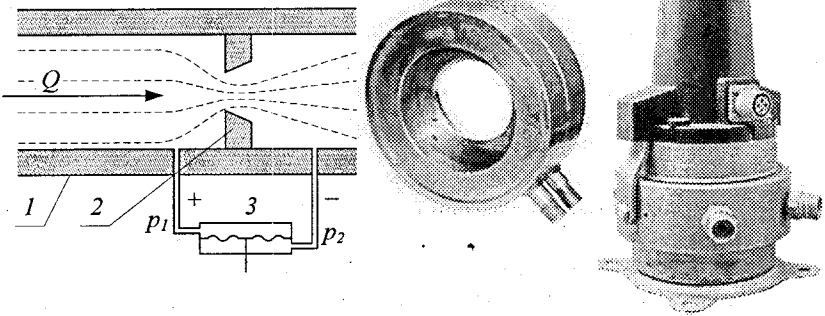


Рисунок 4.3 – Вимірювання витрат витратомірами змінного перепаду тиску (дифманометрами)

Вимірювання різниці тиску $D_p = p_1 - p_2$ здійснюється на прямолінійній ділянці трубопроводу (завдовжки до 10 і не менше 5 діаметрів труби до і після гідравлічного опору). Витратоміри даного типу особливо поширені завдяки їх перевагам: простоті конструкції і можливості вимірювань в широкому діапазоні значень витрати і діаметрів трубопроводів (від десятків до 3000 мм і більше); можливості застосування для різних за складом і агресивністю рідин і газів при температурах до 350-400 °С і тиску до 100 МПа. Недоліки: невеликий діапазон вимірювань через квадратичну залежності між витратою і перепадом тиску, втрати тиску на гідравлічному опорі і пов'язані з цим додаткові втрати енергії. Похибка 1,5-2,5% від максимальної витрати.

Витратоміри постійного перепаду тиску або ротаметри. У цих приладах вимірюється прямо пропорційна витраті величина переміщення h поплавка 2 всередині конічної трубки 1 під впливом вертикального потоку контрольованого середовища (рис. 4.4). Потік піднімає поплавок до тих пір, поки підйомна сила, що виникає завдяки наявності перепаду тиску $D_p = p_1 - p_2$, не врівноважиться вагою поплавка. Трубки ротаметрів можуть бути скляними (розраховані на тиск до 2,5 МПа) і металевими (до 70 МПа). Поплавки залежно від властивостей рідини або газу виготовляють з металів або пластмас. Прилади роботоздатні при температурах від -80 до 400 °С, переважно використовуються для трубопроводів діаметром до 150 мм, мають рівномірні шкали градуйовані в одиницях об'ємної витрати. Переваги: можливість вимірювань витрати рідин і газів від малих значень ($0,002$ л/год по воді, $0,03$ л/год по повітрю) до високих ($150-200$ і до 3000 м³/год); широкий діапазон вимірювань ($10:1$); малі втрати тиску (до $0,015$ МПа). Похибка $0,5-2,5\%$ від макс. витрати.

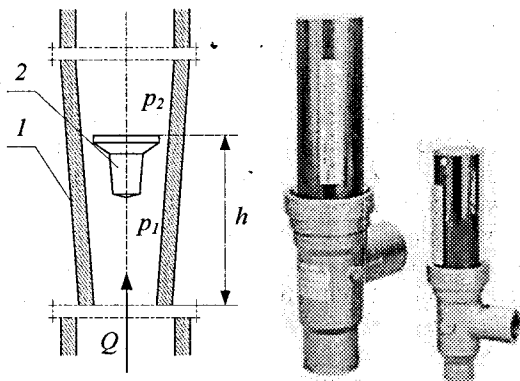


Рисунок 4.4 – Вимірювання витрат витратомірами постійного перепаду тиску (ротаметрами)

Дія *електромагнітних витратомірів* основана на прямо пропорційній залежності витрати від ЕРС, індукованій в потоці електропровідної рідини (мінімальна питома електрична провідність $10^{-3}-10^{-4}$ См/м). Рідина рухається в зовнішньому магнітному полі, яке направлене перпендикулярно до осі трубопроводу (рис. 4.5). ЕРС визначається за допомогою двох електродів (*electrodes*), що вводяться у вимірюване середовище діаметрально протилежно через електроізоляційне покриття внутрішньої поверхні трубопроводу. Матеріали покриття: різні види гуми, фторопласти, епоксидні компаунди, кераміка і ін.

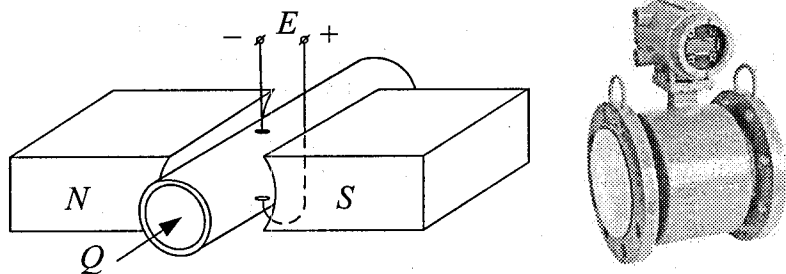


Рисунок 4.5 – Вимірювання витрат електромагнітними витратомірами

Прилади дозволяють вимірювати витрати різних пульп, сиропів, агресивних і радіоактивних рідин, при тиску до 2,5 МПа (іноді до 20 МПа); діаметр трубопроводів, як правило 2-3000 мм. Щоб уникнути поляризації електродів вимірювання проводять в змінному магнітному полі. Допустимі температури контрольованого середовища визначаються термостійкістю електроізоляційного покриття і можуть досягати 230 °С. Переваги: висока швидкодія; широкий діапазон вимірювань (100:1); відсутність втрат тиску (прилади не мають елементів, які виступають всередину трубопроводу); покази приладів не залежать від в'язкості і щільності рідин. Похибка 0,5-1,0% від вимірюваної величини.

В основу роботи *ультразвукових (ultrasonic) витратомірів* (рис. 4.6) покладено використання різниці у часі проходження ультразвукових коливань (більше 20 кГц) в напрямі потоку контрольованого середовища і проти нього.

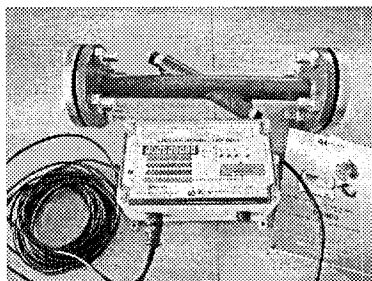
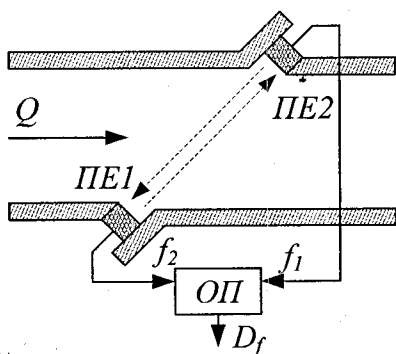


Рисунок 4.6 – Ультразвуковий витратомір

Обчислювальний пристрій ОП формує електричний імпульс, що поступає на п'єзоелемент (*piezoelement*) ПЕ1, який випромінює ультразвукові коливання в рухоме середовище. Ці коливання сприймаються через деякий час п'єзоелементом ПЕ2, перетворюються ним в електричний імпульс, що потрапляє в обчислювальний пристрій і знову направляється ним на п'єзоелемент ПЕ1 і так далі. Контур ПЕ1-ПЕ2 характеризується частотою f_1 повторень імпульсів, прямо пропорційною відстані між п'єзоелементами і обернено пропорційною різниці між швидкістю розповсюдження ультразвуку в контрольованому середовищі і швидкістю самого середовища. Аналогічно обчислювальний пристрій подає імпульси у зворотному напрямку, тобто від п'єзоелемента ПЕ2 до п'єзоелемента ПЕ1. Контур ПЕ2-ПЕ1 характеризується частотою f_2 повторень імпульсів, прямо пропорційною відстані між п'єзоелементами і обернено пропорційною сумі швидкостей розповсюдження звуку в середовищі і самого середовища. Далі обчислювальний пристрій визначає різницю $D_f = f_1 - f_2$ вказаних частот, яка пропорційна швидкості (витраті) середовища. Ці прилади не викликають витрат тиску, мають високу швидкодію і забезпечують вимірювання пульсуючих витрат (частота 5-10 кГц) рідин (в т. ч. в'язких і агресивних), а також газів і пари. Діаметр трубопроводів 10-3000 мм і більше; температура середовища від -40 до 200 °С (рідше - від -250 до 250 °С), тиск до 4 МПа; діапазон вимірювань 100:1. Похибка 1,0-2,5% від максимальної витрати.

4.4 Рівнеміри

Майже в усіх технологічних процесах харчових виробництв виникає потреба у вимірюванні рівня рідин та сипучих матеріалів, а також сигналізації мінімально чи максимально допустимих рівнів у резервуарах, апаратах. Особливо важливу роль відіграє вимірювання рівня води у барабанах парових котлів, рівня соків у випарних апаратах тощо.

Сучасні прилади рівня можна розділити на дві основні групи: рівнеміри та сигналізатори рівня. Залежно від умов вимірювання, характеру вимірюваного середовища використовуються різні методи вимірювання рівня. Крім того, рівнеміри можуть мати дистанційну передачу показів і візуальний відлік на місці їх розміщення.

За принципом дії рівнеміри розділяються на механічні, гідростатичні, кондуктометричні, ємнісні, радіоізотопні, акустичні, ультразвукові та ін.

До групи *механічних* рівнемірів відносять поплавкові, мембранні, контактнo-механічні та вібраційні прилади. Найширше використовують для вимірювання рівня поплавокoві рівнеміри та сигналізатори. Принцип їх дії ґрунтується на переміщенні поплавка (рис. 4.7), який плаває на поверхні вимірюваної рідини. Це переміщення механічно або ж за допомогою

системи дистанційної передачі (механічної, електричної, пневматичної чи іншої) передається на вимірювальний прилад.

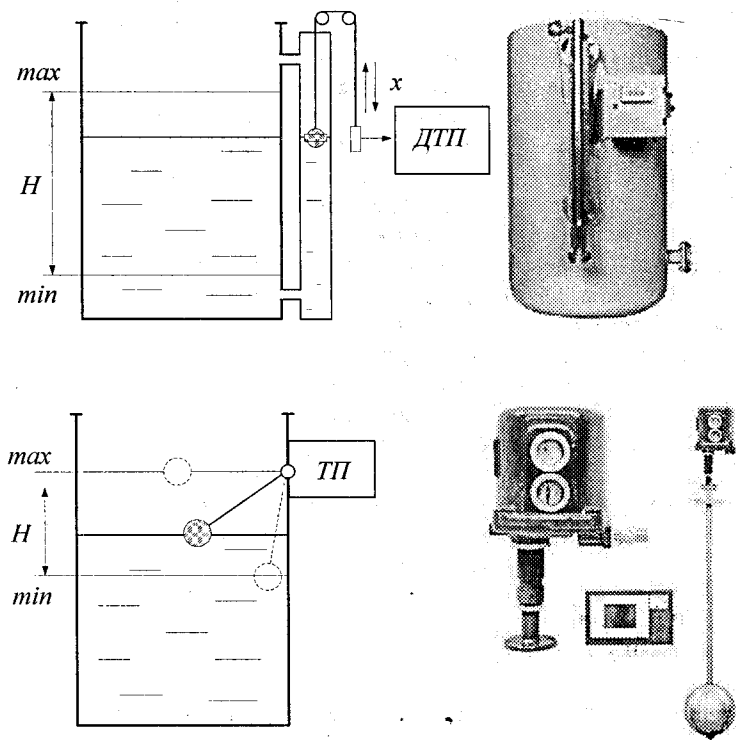


Рисунок 4.7 – Поплавкові рівнеміри

До цієї групи рівнемірів відносять також широко розповсюджені буйкові рівнеміри, чутливий елемент (буйок) яких не плаває на поверхні рідини, а знаходиться зануреним (рис. 4.8). При зміні рівня змінюється виштовхувальна сила, яка діє на буйок, вимірювання цієї сили за допомогою, наприклад, тензодачика дає можливість оцінити рівень рідини в резервуарі. Такі рівнеміри є більш надійними, чутливими, дають можливість вимірювати рівень в'язких рідин.

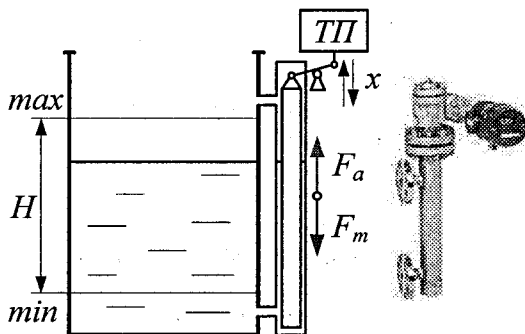


Рисунок 4.8 – Буйковий рівнемір

Широко використовуються в техніці *гідростатичні* рівнеміри, в основу роботи яких покладено вимірювання тиску стовпа рідини (рис. 4.9). При пропусканні через вимірчувальну трубку стиснутого повітря тиск у п'єзотрубі пропорційний висоті стовпа рідини. Вимірчувальним приладом може бути манометр або дифманометр.

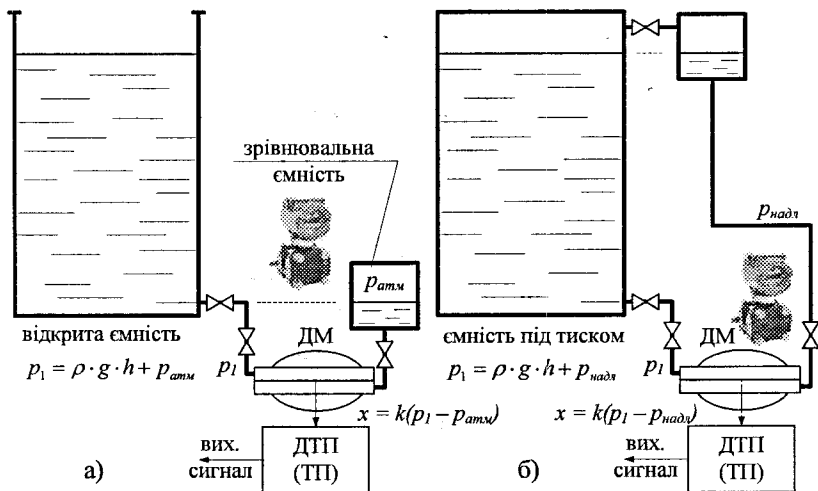


Рисунок 4.9 – Вимірювання рівня гідростатичним способом

Відносно постійний рівень рідини в одному з колін вимірчувального приладу (дифманометра) забезпечується зрівнювальною ємністю (наповненою до певного рівня тією ж рідиною, що і в апараті). Висота

стовпа рідини в іншому коліні дифманометра змінюється із зміною рівня в апараті. Кожному значенню рівня в ньому відповідає деякий перепад тиску, обумовлений відстанню по висоті між ємністю та приладом. Якщо ємність знаходиться при атмосферному тиску, зрівнювальну ємність розміщують на відмітці нульового рівня (рис. 4.9, а), якщо під тиском – на висоті максимального рівня (рис. 4.9, б).

Для вимірювання рівня струмопровідних та вибухобезпечних рідин використовують *електричні* рівнеміри. В таких рівнемірах висота рідини перетворюється чутливим елементом відразу в електричний сигнал без додаткового перетворювача, що суттєво зменшує інерційність приладів та збільшує надійність. З вказаних рівнемірів найбільш поширені ємнісні та кондуктометричні, структура яких наведена на рис. 4.10, а, б, відповідно.

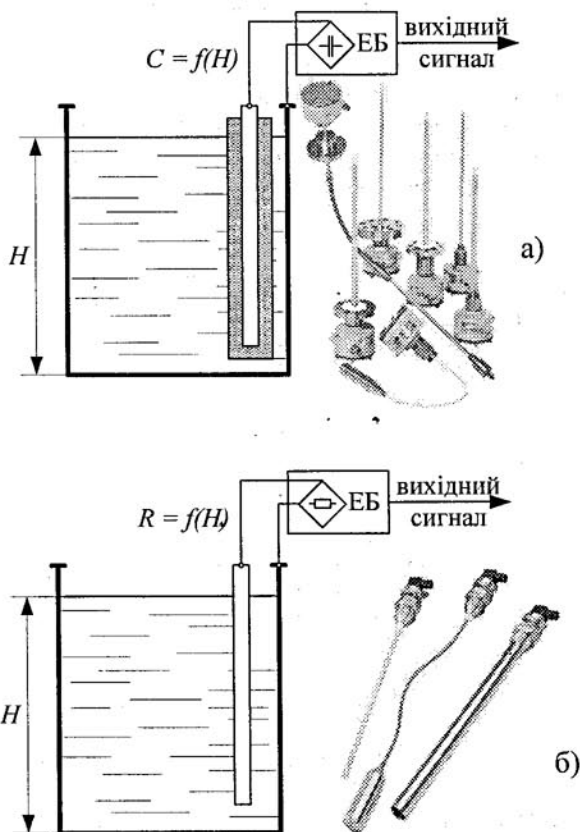


Рисунок 4.10 – Електричні ємнісні (а) та кондуктометричні (б) рівнеміри

У *ємнісних* рівнемірах (рис. 4.10, а) чутливим елементом є електрод, який разом зі стінками резервуара утворює циліндричний конденсатор, електрична ємність якого змінюється пропорційно рівню рідини, відповідно до залежності:

$$C = \frac{\epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot S}{\delta}, \quad (4.2)$$

де ϵ – відносна діелектрична стала матеріалу ізоляції електрода;

ϵ_0 – діелектрична стала, $8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м;

S – площа обкладок, м²;

δ – відстань між обкладками, м.

Ємність увімкнена в одне з плечей незрівноваженого індуктивно-ємнісного вимірювального моста, її зміна викликає розбаланс схеми та появу різниці потенціалів на вимірювальній діагоналі. Живлення моста для збільшення чутливості забезпечується генератором високої частоти. Різниця потенціалів вимірюється електронним блоком ЕБ, підсилюється до рівня стандартного уніфікованого сигналу, що може бути сприйнятий вторинним вимірювальним або регулювальним приладом.

Омічні (кондуктометричні) рівнеміри (рис. 4.10, б) базуються на вимірюванні опору при замиканні електричного кола струмопровідним середовищем. Чутливим елементом в таких рівнемірах, як і в попередньому випадку, є електрод (але неізольований). Опір вимірювального плеча мостової схеми електронного блока ЕБ лінійно залежить від площі контакту електрода та стінки резервуара з рідиною, що при однаковій площі перерізу електрода відповідає висоті рідини H . Вимірюване середовище повинно мати електропровідність не менше $2 \cdot 10^{-3}$ См.

Для вимірювання рівня агресивних середовищ, сипучих речовин найчастіше використовуються *ультразвукові* рівнеміри (рис. 4.11).

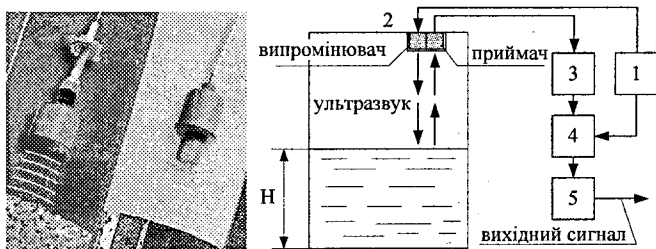


Рисунок 4.11 – Ультразвукові рівнеміри сипучих речовин та рідин
 1 – генератор високочастотних коливань, 2 – кварцовий резонатор, 3 – підсилювач, 4 – фазовий детектор, 5 – формувач сигналу

В них використовується явище віддзеркалення ультразвукових коливань (імпульсів) від площини поділу середовище-повітря (для рідин) або повітря-середовище (для сипучих речовин). Час між моментом подачі первинного імпульсу і моментом повернення відбитого імпульсу є функцією висоти вимірюваного рівня. Ці прилади дозволяють вимірювати рівень без контакту з контрольованим середовищем в труднодоступних місцях.

4.5 Засоби для вимірювання температури

У системах автоматизації температура (*temperature*) рідин і газів є одним з основних контрольованих параметрів. Її вимірювання ґрунтується, як правило, на вимірюванні фізичних властивостей тіл, функціонально пов'язаних з температурою в точці вимірювання.

Найчастіше в системах автоматизації використовуються датчики температури зі змінним електричним опором (*термоопори*) та змінною ЕРС (*термоелектроперетворювачі* або *термопари*).

Серед термоопорів розрізняють металеві (*терморезистори*) й напівпровідникові (*термістори*) термометри опору. Металеві термоопори виготовляють із чистих металів, здебільшого з міді або платини, рідше – з нікелю, вольфраму або заліза. Температурний коефіцієнт електричного опору (ТКО) для чистих металів становить приблизно $(4 - 6,5) \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, тобто, при зміні температури на $1 \text{ } ^\circ\text{C}$ опір металевого терморезистора зміниться на 0,4 – 0,65 %. Конструктивно чутливі елементи термоопорів із платини або міді (рис 4.12) виконані у формі спіралі, намотаної на керамічний каркас.

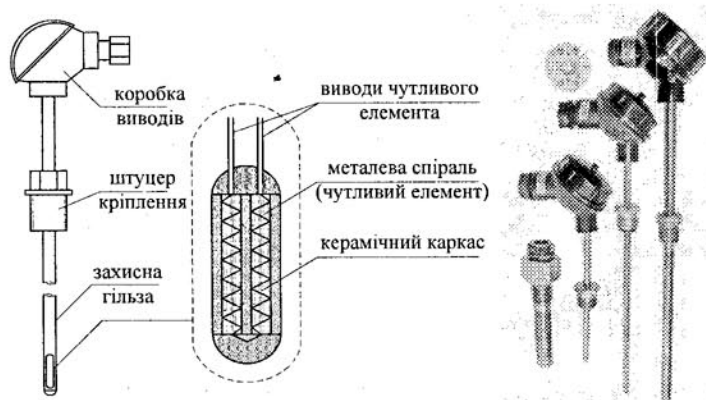


Рисунок 4.12 – Термометр опору

Чутливий елемент поміщають у корпус захисної гільзи, конструкція якого залежить від умов вимірювання і, як правило, виконана з нержавіючої сталі. До трубопроводів та корпусів технологічних установок термоопори приєднуються за допомогою штучера з монтажною різьбою через ущільнення.

Серійно випускаються мідні (ТСМ) і платинові (ТСП) термоперетворювачі. Порівняльні характеристики ТСМ і ТСП перетворювачів наведені в табл. 4.1. Позначення номінальних статичних характеристик (НСХ) платинових і мідних термоперетворювачів – 50М, 100М, 50П, 100П, де число означає опір при 0 °С, а літера – матеріал чутливого елемента (М – мідь, П – платина) Класи допуску $A = \pm 0,05 \%$; $B = \pm 0,1 \%$; $C = \pm 0,2 \%$.

Ряд закордонних фірм випускає платинові терморезистори Pt500 і Pt1000 з опором 500 і 1000 Ом при 0 °С, відповідно, що підвищує чутливість датчиків і знижує похибки від опорів з'єднувальних проводів.

Таблиця 4.1 – Технічні характеристики термоперетворювачів опору ТСП і ТСМ

| Тип перетворювача | Діапазон вимірювання, °С | НСХ | Клас допуску | Показник теплової інерції, с | $W_{100} = R_0/R_{100}$ |
|-------------------|--------------------------|------|--------------|------------------------------|-------------------------|
| ТСМ | -50 – 180 | 50М | А, В | 20, 40 | 1,428 |
| | | 100М | | | |
| ТСП | -196 – 600 | 50П | В, С | 8, 20, 30, 40 | 1,391 |
| | | 100П | | 8, 30 | |

Опір напівпровідникових термоопорів (термісторів) різко зменшується з ростом температури. Температурний коефіцієнт термісторів на порядок більший, ніж у металевих (понад $4 \cdot 10^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$), тому їхня чутливість значно вища. Основний недолік термісторів полягає в нелінійності їхньої характеристики (рис. 4.13) і поганій взаємозамінності через технологічний розкид параметрів.

На базі термісторів різні виробники випускають датчики температури для систем автоматизації як пасивні (резистивні), так і активні – з уніфікованим вихідним сигналом 0–10 В або 4–20 мА. Технічні характеристики датчиків температури на основі термісторів наведені в табл. 4.2.

Для вимірювання опору резистивних датчиків звичайно використовуються мостові схеми, вбудовані у вторинні прилади та вхідні кола регуляторів. Похибка вимірювання в таких схемах залежить від коливання напруги живлення мостової схеми, теплового впливу струму, який протікає через чутливий елемент датчика температури (струм, що проходить через R_b , не повинен перевищувати 5 мА) і значення опорів з'єднувальних проводів. Вплив останнього параметра суттєвий при

використанні низькоомних датчиків. Для компенсації опору з'єднувальних проводів між такими датчиками і вторинними вимірювальними приладами використовуються три- та чотирипровідні схеми підключення чутливого елемента.

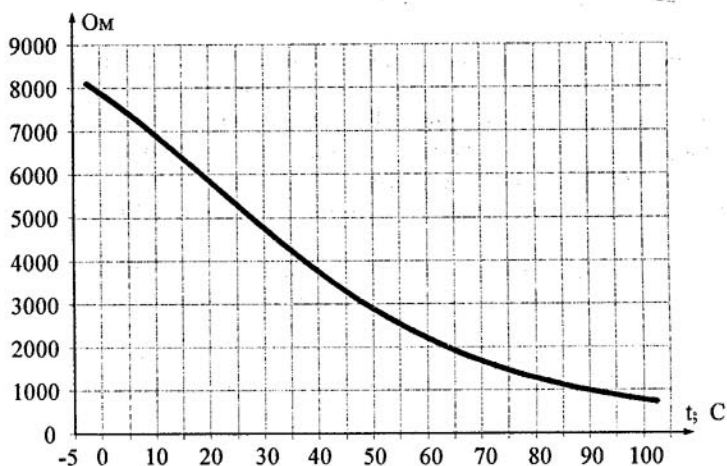


Рисунок 4.13 – Залежність опору термістора DOT0001 від температури

Таблиця 4.2 – Характеристики датчиків температури на основі термісторів

| Виконання | Фірма | Тип | Діапазон вимірювання, °C | Вихідний сигнал |
|-----------------------|-----------|--------|--------------------------|-----------------|
| Канальні | Satchwell | DDT | -5...+100 | $R_r = f(T)$ |
| | Honeywell | LF20 | -20... + 100 | $R_r = f(T)$ |
| | Regin | TLT | 0...50 | 0-10В, 4-20мА |
| Зовнішні | Satchwell | DOT | -40... +55 | $R_r = f(T)$ |
| | Honeywell | T7416A | -30... +70 | $R_r = f(T)$ |
| | Carel | ASET | -30... +90 | 4-20мА |
| Поверхневі (накладні) | Satchwell | DWT | -10... + 120 | $R_r = f(T)$ |
| | Honeywell | VF20A | 0... 110 | $R_r = f(T)$ |

Термоелектричні термометри (термопари) реалізують ефект Пельтьє. Термоелектрорушійна сила (термоЕРС) таких датчиків залежить від різниці температур, у які поміщені вільні та спаяні кінці перетворювача і від властивостей металів, з яких вони виготовлені. У промисловості в основному застосовують перетворювачі з таких сплавів: ХК – хромель-

копель (хром-нікель – кобальт-нікель), хромель-алюмель (ХА) і платинородій-платина (ПП).

Кожний тип перетворювача має свою градувальну характеристику – залежність термоЕРС від різниці температур гарячого й холодного кінців (табл. 4.3). Термопары ХК мають найвищу чутливість (6,95 мВ на 100 °С), однак діапазон вимірюваних температур (від -50 до 600 °С) нижчий, ніж термопар ХА. Найбільший діапазон вимірювання мають термопары ПП (від -20 до 1500 °С), вони ж найбільш стабільні по параметрах і часто використовуються як зразкові. Конструктивно термопары виконані аналогічно до термометрів опору (рис. 4.12).

Таблиця 4.3 – Залежність термоЕРС від температури для стандартних термопар (при температурі вільних кінців 0 °С)

| Температура, °С | ТермоЕРС, мВ | | |
|--------------------|---|---------------------------------------|--------------------------------------|
| | Термопара платинородій- платина, (ПП) | Термопара хромель-алюмель, (ХА) | Термопара хромель-копель, (ХК) |
| -50 | - | - | -03,11 |
| -20 | -0,109 | -0,77 | -1,27 |
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 50 | 0,301 | 2,02 | 3,35 |
| 100 | 0,640 | 4,10 | 6,95 |
| 200 | 1,421 | 0,13 | 14,66 |
| 300 | 2,311 | 12,21 | 22,91 |
| 400 | 3,244 | 16,40 | 31,49 |
| 600 | 5,214 | 24,91 | 49,02 |
| 800 | 7,323 | 33,32 | - |
| 1000 | 9,569 | 41,32 | - |
| 1100 | 10,745 | 45,16 | - |
| 1300 | 13,152 | - | - |
| 1500 | 15,563 | - | - |

Ускладнення вимірювання температури термопарами полягає в необхідності стабілізації температури вільних (холодних кінців). Найефективнішим способом виключення такого недоліку є спосіб, при якому сполучну лінію між перетворювачем і вторинним приладом монтують спеціальним термокомпенсаційним проводом. При цьому між виводами холодних кінців перетворювача й кінцями компенсаційних проводів утвориться додаткова термоЕРС. Однак матеріали проводів підбираються таким чином, щоб ці термоЕРС були рівні між собою й

включені зустрічно. У цьому випадку ЕРС буде залежати тільки від різниці температур гарячого спаю й вільних кінців компенсаційних проводів, що підключаються на вхід вторинного приладу.

Контрольні запитання



- Класифікація приладів ДСП. Вимоги ДСП до контрольно-вимірювальних приладів і пристроїв автоматизації.
- Поясніть будову та принцип дії диференційно-трансформаторної системи передачі сигналів. Проаналізуйте її переваги та недоліки.
- Поясніть будову та принцип дії тензометричної системи передачі сигналів. Проаналізуйте її переваги та недоліки.
- Поясніть будову та принцип дії електромагнітних та ультразвукових витратомірів. Вкажіть їх область застосування, переваги та недоліки.
- Поясніть будову та принцип дії витратомірів змінного та постійного перепаду тиску. Вкажіть їх область застосування, переваги та недоліки.
- Опишіть способи вимірювання рівня гідростатичним способом.
- Дайте характеристику механічних рівнемірів з точки зору їх використання в системах автоматизації. Який принцип дії в них закладений?
- Електричні рівнеміри: принцип дії, переваги та недоліки, різновиди.
- Поясніть принцип дії ультразвукових рівнемірів.
- Вимірювання температури з допомогою терморезисторів та термісторів.
- Номінальні статичні характеристики термоопорів та термопар.
- Вимірювання температури з допомогою термоелектричних перетворювачів.

5 ЗАСОБИ ЗБОРУ ДИСКРЕТНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

5.1 Датчики наявності об'єкта

В промисловій автоматизації використовуються *індуктивні* та *оптичні* (*optical*) датчики наявності об'єкта, все більшого поширення набувають датчики наявності на ефекті Холла (*датчики Холла*). Ці пристрої мають дискретний (*discrete*) вихідний сигнал, який свідчить про наявність об'єкта в зоні встановлення датчика. Така особливість обумовила застосування датчиків наявності як кінцевих та шляхових датчиків, сигналізаторів рівня, для обліку предметів на конвеєрах тощо.

Індуктивні датчики наявності (рис. 5.1) вимірюють параметри котушки індуктивності, в полі якої потрапляє реєстрований металевий об'єкт. Дальність реєстрації типового промислового датчика – від часток до одиниць сантиметрів. Характеризуються простотою, дешевизною і високою стабільністю параметрів. Принципова схема індуктивного датчика переміщення наведена на рис. 5.1.

На мікросхемі DA1 (КР140УД708) складений генератор синусоїдального сигналу частотою близько 20 кГц і амплітудою близько 2 В. Частота генератора задається елементами R1-C1, та R2-C2. У коло від'ємного зворотного зв'язку (*feedback*) для підтримки необхідного коефіцієнта підсилення увімкнений резистор R8.

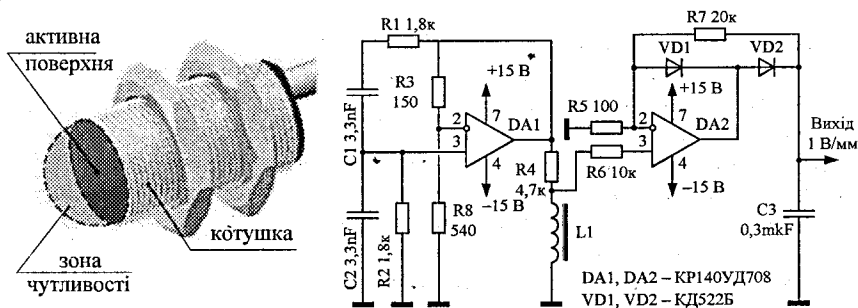


Рисунок 5.1 – Індуктивний безконтактний датчик наявності об'єкта

Напряга з генератора через резистор R4 подається на обмотку L1 чутливого елемента датчика. Напряга на цій обмотці відносно загального провідника залежить від індуктивності чутливого елемента, яка визначається відстанню від нього до рухомого феромагнітного об'єкта. На мікросхемі DA2 (КР140УД708) складений детектор змінної напруги, яка знімається з обмотки L1. Коефіцієнт підсилення детектора вибирається з умови отримання чутливості датчика близько 1 В/мм. Роль фільтрувального елемента виконує конденсатор C3. Напряга шумів на виході датчика не перевищує декількох мілівольт. За необхідності фіксації певного положення (наявності) рухомого об'єкта вихідний сигнал подається на компаратор (*comparator*), який формує сигнал логічної 1 при виконанні умови порівняння.

Оптичні пристрої працюють на принципі перекриття променя світла (включаючи інфрачервоний спектр) непрозорим об'єктом. Дальність типових промислових датчиків – від часток до одиниць метрів. Принцип дії оптичного датчика наявності відображується за допомогою схеми, наведеної на рис. 5.2.

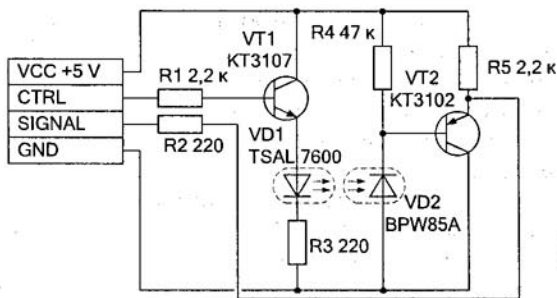


Рисунок 5.2 – Оптичний датчик наявності об'єкта

При подачі сигналу рівня логічної 1 на вхід CTRL (в неперервному або періодичному режимі) транзистор (*transistor*) VT1 відкривається і забезпечує протікання струму через світлодіод інфрачервоного спектру випромінювання VD1. Фотодіод VD2 при його освітленні вказаним спектром відкритий, що забезпечує протікання струму через резистор R4 та базу транзистора VT2. Транзистор VT2 у відкритому стані з'єднує вихід датчика SIGNAL із загальним провідником GND, що відповідає рівню логічного 0 на вказаному виході. При наявності об'єкта в зоні чутливості датчика, він перешкоджає освітленню фотодіода VD2. Струм через базу транзистора VT2 стає рівним 0, транзистор закривається і на виході SIGNAL встановлюється сигнал, рівний логічній 1.

Датчики наявності об'єкта на ефекті Холла. Ефект Холла лежить в основі однієї з найпрогресивніших технологій безконтактної реєстрації положення, переміщення, швидкості, обертання і присутності феромагнітних об'єктів. Ефект оснований на властивості напівпровідникової структури генерувати різницю потенціалів при дії зовнішнього магнітного поля (рис. 5.3). Лінійні датчики магнітного поля на ефекті Холла складаються з напівпровідникового елемента Холла, стабілізатора живлення, диференціального підсилювача і вихідного каскаду. Вихідним каскадом є підсилювач на біполярному транзисторі, включеному за схемою з відкритим колектором (PNP). Вихідна напруга таких датчиків знаходиться в лінійній залежності від величини магнітного поля, яке в робочій області може бути як позитивним (південний полюс магніту), так і негативним (північний полюс магніту). За межами робочої області датчик входить в насичення. У відсутності зовнішнього магнітного поля напруга на виході рівна половині напруги живлення. Розмах вихідної напруги і чутливість датчиків знаходяться також в лінійній залежності від напруги джерела живлення, яке лежить в діапазоні 4,5...16 В. Датчики характеризуються високою навантажувальною здатністю, лінійною характеристикою перетворення в робочому діапазоні магнітних полів,

широким діапазоном робочих температур, стабільністю параметрів і низькою споживаною потужністю.

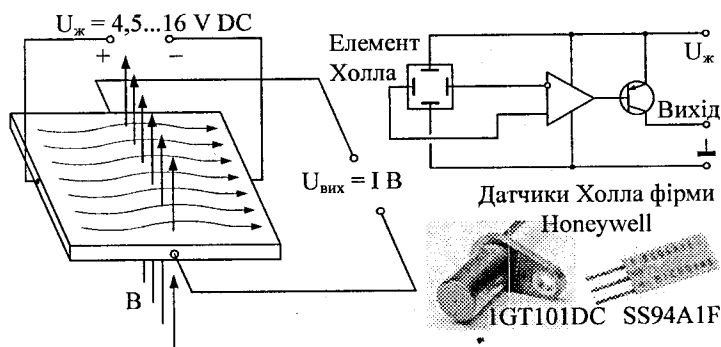


Рисунок 5.3 – Датчики положення на ефекті Холла

5.2 Датчики руху

Принцип роботи їх оснований на відстежуванні рівня інфрачервоного випромінювання у полі зору датчика (як правило, піроелектричного). Піроелектричний чутливий елемент (на основі кристалу *турмаліну*) поляризується під впливом перевищення температури на природному фоні в мірі, пропорційній перевищенню температури. Сигнал на виході датчика монотонно залежить від рівня інфрачервоного випромінювання, усередненого за полем зору датчика. При появі об'єкта з температурою більшою, ніж температура фону, на виході піроелектричного датчика підвищується напруга. Для того, щоб визначити, чи рухається об'єкт, в датчику використовується оптична система – лінза Френеля (рис. 5.4).

Сегменти лінзи фокусують інфрачервоне випромінювання на піроелементі, який видає при цьому електроімпульс. У міру переміщення джерела інфрачервоного випромінювання, воно уловлюється і фокусується різними сегментами оптичної системи, що формує декілька послідовних імпульсів. Залежно від установлення чутливості датчика, для видачі підсумкового сигналу на виході датчика, піроелемент повинен сформувати 2 або 3 імпульси.

Типова схема датчика руху, що використовується в системах сигналізації для запобігання проникненню сторонніх осіб наведена на рис. 5.4, г. Таку схему легко можна виготовити власноручно за наявності піромодуля. Каскад на транзисторі VT1 – стабілізатор. Робота реле (*relay*) K1 дає перенапруги по живленню, особливо якщо підведена лінія живлення має велику протяжність, конденсатор C1 згладжує ці

перенапруги. Коливання з піромодуля ПМ-4 поступають на фільтр С2-R4-R5-C3, який відсікає короточасні завади частотою вище 10 – 20 Гц.

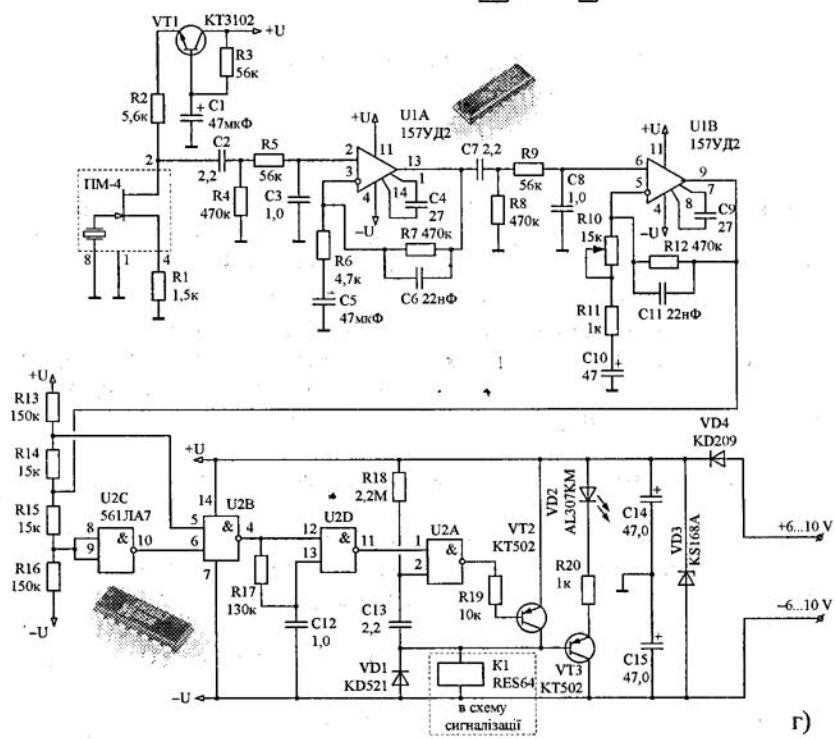
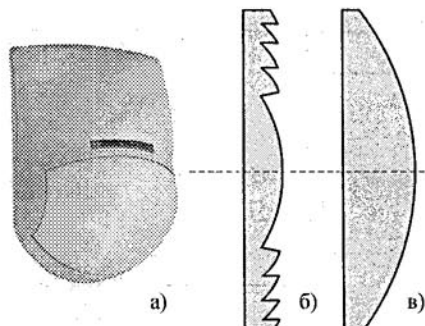


Рисунок 5.4 – Інфрочервоний датчик руху (а), лінза Френеля (б) та звичайна лінза (в), схема електрична принципова датчика руху в системі сигналізації (г)

Далі цей сигнал підсилюється операційним підсилювачем U1A і поступає на другий додатковий фільтр C7-R8-R9-C8, який працює аналогічно першому і фільтрує частоти пропущені ним та підсилені U1A. Остаточне підсилення забезпечує підсилювач U1B, на якому крім резистором R10 забезпечується регулювання чутливості. Вихідна напруга на виході U1B повинна мати величину близьку до рівнів переходів КМОП-логіки. Сигнал з виходу U1B подається на подільник напруги R13-R16, що забезпечує рівні напруги для аналізу сигналу на логічних елементах U2C і U2B. R17-C12 та U2D – формувач тривалості імпульсу в режимі очікування, U2A – формувач тривалості імпульсу роботи реле K1. Потрібно відзначити, що за нормами охорони імпульс тривоги (*alarm*) повинен бути не меншим 70 мс. Відповідно спрацювання реле повинно бути в межах 1,5–2 с, після чого прилад повинен повертатися в початковий стан.

5.3 Енкодери

Енкодери – це цифрові датчики кута повороту, лінійного переміщення. Енкодери призначені для вирішення завдань в області промислової автоматизації, пов'язаних з вимірюванням лінійних і кутових переміщень, швидкості і прискорення. Принцип фотоелектронного сканування оптичного коду дозволяє отримувати точність вимірювання в міліметрах для лінійних переміщень, і частки градуса – для кутових.

Інкрементні енкодери не мають «пам'яті», тобто при знятті живлення відлік починається з нуля. Абсолютні енкодери зберігають поточне значення незалежно від наявності живлення.

Як правило для простих технологічних завдань достатньо використання 2-х розрядів енкодера (А, В) для визначення величини і напрямку лінійного зсуву (повороту), в такому випадку диск енкодера (рис. 5.5) матиме дві шкали. Лічильники імпульсів дозволяють використовувати як датчики інкрементні енкодери, обмеження є по вихідній частоті сигналу. Контролери, як правило, мають в числі дискретних входів декілька високочастотних входів.

Енкодери використовуються, наприклад, для точної підтримки обертання асинхронного електродвигуна (*electric motor*) векторним частотним перетворювачем-інвертором (*variable frequency converter*). В цьому випадку енкодер підключається через плату розширення інвертора (живлення 5 V DC з інвертора).

Осі вала і енкодера сполучають механічно:

- за допомогою гнучкої перехідної муфти;
- за допомогою жорсткої втулки;

– енкодер насаджують безпосередньо на вал, якщо вісь енкодера порожниста (рис. 5.5).

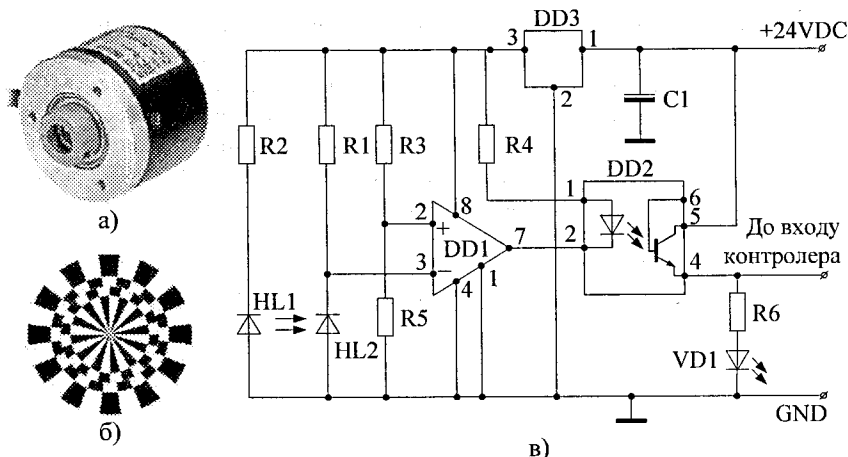


Рисунок 5.5 – Енкодери та схема їх чутливого елемента
*а – енкодер в корпусі, б – диск енкодера 4-розрядного,
 в – схема чутливого елемента*

У першому випадку корпус енкодера жорстко сполучають з корпусом механізму, а неспіввісність і биття компенсуються деформацією гнучкої втулки. У двох інших випадках за допомогою штифта корпус енкодера і механізму фіксують від провертання один відносно одного.

Схема чутливого елемента енкодера наведена на рис. 5.5, в. Схема працює таким чином. Світлодіод інфрачервоного спектра випромінювання HL1 працює постійно, в напрямку диска, що закріплений на валу електричної машини. Фотодіод BL2, вловлюючи імпульси світла, що відбилися від диска, виробляє електричний струм певної напруги. Компаратор напруги DD1 виділяє з цього сигналу імпульс, який достатній для загорання світлодіода оптопари DD2. Вихідний ключ оптопари на здвоєному транзисторі відкривається і надсилає сигнал високого рівня на вхід контролера (+24 VDC). Частота імпульсів, які відраховує контролер, буде прямо пропорційною швидкості обертання вала електричної машини. Світлодіод VD1 показує стан схеми, тобто, який сигнал присутній на виході чутливого елемента. Для обчислення швидкості обертання використовують цифрові методи визначення частоти імпульсів за вибіркового період.

5.4 Оптична розв'язка дискретних входів цифрових пристроїв

Оптична розв'язка дискретних сигналів досить широко розповсюджена і визнана фахівцями з мікросхемотехніки як точний, надійний, швидкодіючий елемент гальванічного розділення кола дискретного сигналу від вимірювального входу, наприклад, мікроконтролера. Приклад схеми підключення безконтактного індуктивного шляхового вимикача до безконтактної логічної схеми на TTL-мікросхемах наведений на рис. 5.6.

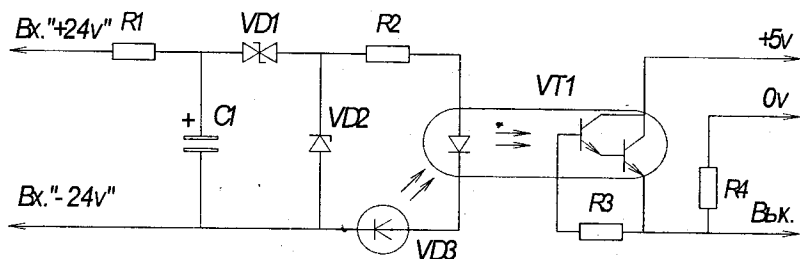


Рисунок 5.6 – Оптична розв'язка

У схемі резистор R1 задає величину вхідного струму, необхідну для забезпечення режиму стабілізації елементів VD1 і VD2, а також спільно з конденсатором C1 утворює RC-ланцюжок, що збільшує час реакції на передній фронт вхідного сигналу з метою усунення можливого «шуму» цього сигналу. Двоханодний стабілітрон VD1 підвищує поріг спрацьовування по вхідному колі, що необхідно при використанні безконтактних датчиків з високим рівнем залишкової напруги. Елементи R1, VD1 і VD2 утворюють параметричний стабілізатор напруги, призначений для живлення випромінювача оптрона VT1 і світлодіода VD3. Крім того, стабілітрон VD2 здійснює захист від пробоя VT1 і VD3 при порушенні полярності вхідного сигналу. Як гальванічна розв'язка застосований транзисторний оптрон VT1, вихідний ключ якого складений за схемою із загальним емітером, видає сигнал TTL-рівня +5 В.

Контрольні запитання

- Будова та принцип дії індуктивних датчиків наявності об'єкта. Переваги та недоліки, область застосування.
- Будова та принцип дії оптичних датчиків наявності об'єкта. Переваги та недоліки, область застосування.
- Будова та принцип дії датчиків наявності об'єкта на ефекті Холла. Переваги та недоліки, область застосування.

- Призначення та принцип дії енкoderів.
- Будова та принцип дії датчиків руху.
- Поясніть призначення та роботу оптичних розв'язок дискретних сигналів.

6 РЕГУЛЯТОРИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

6.1 Регулятори технологічних параметрів аналогові

Аналогові регулятори в сучасних системах автоматизації зустрічаються переважно серій УКР01, РС29 і подібних. Такі регулятори експлуатуються тривалий час, мають достатню ремонтпридатність, прості в експлуатації. Вони реалізують в комплекті з виконавчим механізмом (ВМ) постійної швидкості ПІ-закон регулювання з демпфуванням вхідного сигналу [5].

Аналогові регулятори вказаних серій працюють в комплекті з диференційно-трансформаторними датчиками, термоопорами, термоелектричними термометрами і уніфікованими струмовими перетворювачами 0 – 5 мА, 0 – 20 мА, а також 0 – 10 В (останній подається на спеціальний вхід). При включенні за спеціальною схемою прилади можуть працювати з реостатними і феродинамічними датчиками.

Прилади випускаються в двох виконаннях: з вбудованим індикатором положення ВМ і без нього.

Вихідні ланцюги аналогових регуляторів налаштовані на роботі в комплекті з пускачами (магнітними та безконтактними) = 24/ ~ 220 В і ВМ типу МЕО (механізм електродвигунний однообертовий); магнітними пускачами і ВМ типу МЕБ (механізм електродвигунний багатообертовий), електрогідравлічними ВМ типу ГВМ, а також можуть безпосередньо управляти ВМ з електродвигунами потужністю не більше 80 ВА.

Функціональна схема типового аналогового регулятора наведена на рис. 6.1. Схема містить вимірювальний блок і регулювальний блок. Вимірювальний блок однаковий для приладів усіх модифікацій регулятора. Модифікації вимірювальних схем реалізуються за рахунок різної комутації роз'ємів і підключення додаткових елементів.

Вимірювальний блок включає суматор 1, нормуючий операційний підсилювач 2, побудований на інтегральній мікросхемі (ІМС), і стабілізоване джерело напруги постійного струму 3. У суматорі вимірювального блока підсумовуються сигнали від датчиків $x(t)$ (диференціально-трансформаторних або струмових) і сигнал від моста «задавач-коректор» $g(t)$. Сумарний сигнал випрямляється, фільтрується і поступає на вхід нормуючого операційного підсилювача 2.

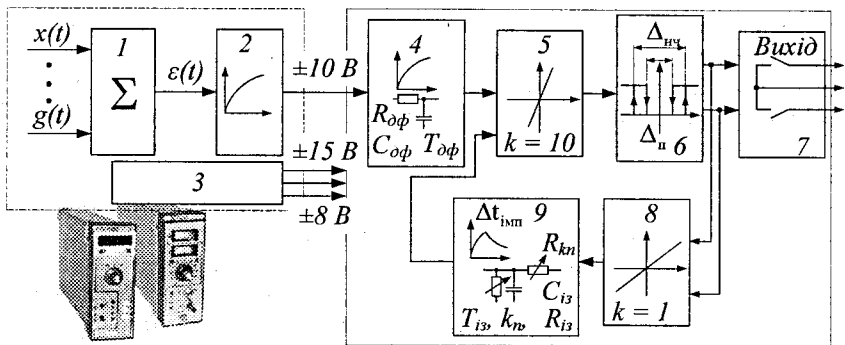


Рисунок 6.1 – Функціональна схема аналогового регулятора

Електронний блок, що обробляє результат суматора, призначений для формування регульовального впливу і комутації вихідних ланцюгів. Він включає демпфер 4, підсилювач 5, схему порівняння 6, вихідні ключі 7, операційний підсилювач зворотного зв'язку 8, інерційну ланку блока від'ємного зворотного зв'язку 9.

Сигнал розузгодження з вимірювального блока поступає на демпфер 4, що є RC-ланкою з регульованою постійною часу демпфування $T_{дф}$. З виходу демпфера сигнал поступає на вхід підсилювача-суматора 5, виконаного на ІМС, здійснюється віднімання від сигналу демпфера сигналу зворотного зв'язку, що поступає з виходу ланки 9.

Підсилювач 5 має передавальну функцію аперіодичної ланки першого порядку з коефіцієнтом підсилення до $k_n \approx 10$. Далі сигнал поступає на один з двох тригерів схеми порівняння 6 в залежності від полярності сигналу на виході підсилювача 5.

Схема порівняння 6 має регульовані зону нечутливості $\Delta_{нч}$ і зону повернення (неоднозначності) $\Delta_{п}$. При сигналі розузгодження, що перевищує поріг спрацьовування $\Delta_{нч}$, на виході схеми порівняння стрибком з'являється сигнал, який подається на вихідні ключі 7 і в коло від'ємного зворотного зв'язку. Залежно від полярності сигналу на вході електронного блока відкривається один з вихідних ключів і комутується зовнішнє коло.

Однополярні сигнали схеми порівняння перетворюються в операційному підсилювачі на ІМС 8, що має коефіцієнт підсилення близький до 1, на двополярні і подаються на вхід інерційної ланки 9, яка згладжує імпульси. Інерційна ланка 9, побудована на високоомному підсилювачі, зведеному польовому транзисторі і ІМС, виконує функції ланки від'ємного зворотного зв'язку. Вказана ланка має такі регульовані параметри: k_n — коефіцієнт передачі; $T_{із}$ — постійну часу ізодрома, $\Delta t_{імп}$ — тривалість імпульсу.

Сигнал від'ємного зворотного зв'язку з виходу ланки 9 поступає на вхід підсилювача-суматора 5 для компенсації сигналу розузгодження. При цьому сигнал на вході схеми порівняння зменшується до значення порога спрацьовування. Вихідні ключі закриваються і сигнал зворотного зв'язку стає рівним нулю. Наступає пауза. Тривалість першого імпульсу $\Delta t_{\text{імп}}$ залежить від значення сигналу розузгодження і швидкості компенсації його сигналом від'ємного зворотного зв'язку (швидкості зв'язку $V_{\text{зв}}$). Час паузи $\Delta t_{\text{пауз}}$ визначається значенням постійною часу ізодрома $T_{\text{із}}$.

Після відключення сигналу зворотного зв'язку сигнал з виходу ланки 9 починає плавно зменшуватися, а сигнал на вході схеми порівняння зростає до порога спрацьовування, внаслідок чого відкривається вихідний ключ і знову подається сигнал зворотного зв'язку в ланку 9. Цикл повторюється.

Чергування імпульсів і пауз продовжуватиметься до тих пір, поки сигнал розузгодження не опиниться в межах зони нечутливості $\Delta n_{\text{нч}}$. Таким чином, блок формує на своєму виході послідовність імпульсів і пауз. Інтеграція імпульсів за допомогою ВМ постійної швидкості дозволяє отримати пропорційно-інтегральний закон регулювання.

Тривалість імпульсів на виході елемента 9 регулюється за допомогою сигналу додаткового додатного зворотного зв'язку, що поступає на вхід підсилювача 5 і розширює зону повернення Δn схеми порівняння 6 при спрацьованні блока. Під час паузи цей сигнал відсутній.

6.2 Регулятори технологічних параметрів цифрові

Цифрові регулятори технологічних параметрів подані на ринку засобів автоматизації в основному мікропроцесорними регуляторами. Розглянемо детальніше структуру та технічні характеристики мікропроцесорного регулятора вітчизняного виробництва МІК-21 [6]. Його структурна схема наведена на рис. 6.2.

Регулятори МІК-21 – це цифровий регулятор безперервної дії з аналоговим, імпульсним або двопозиційним виходом. Регулятори призначені як для автономного, так і для комплексного використання в АСУТП в енергетиці, металургії, хімічній, харчовій і інших галузях промисловості і народному господарстві.

Регулятор МІК-21 призначений:

- для вимірювання контрольованого вхідного фізичного параметра (температура, тиск, витрата, рівень і т. п.), обробки, перетворення і відображення його поточного значення на вбудованому чотирирозрядному цифровому індикаторі;
- регулятор формує вихідний аналоговий або імпульсний сигнал управління зовнішнім ВМ, забезпечуючи аналогове, імпульсне або

позиційне регулювання вхідного параметра за П, ПІ, ПД або ПІД-законам відповідно до заданої користувачем логіки роботи і параметри регулювання.

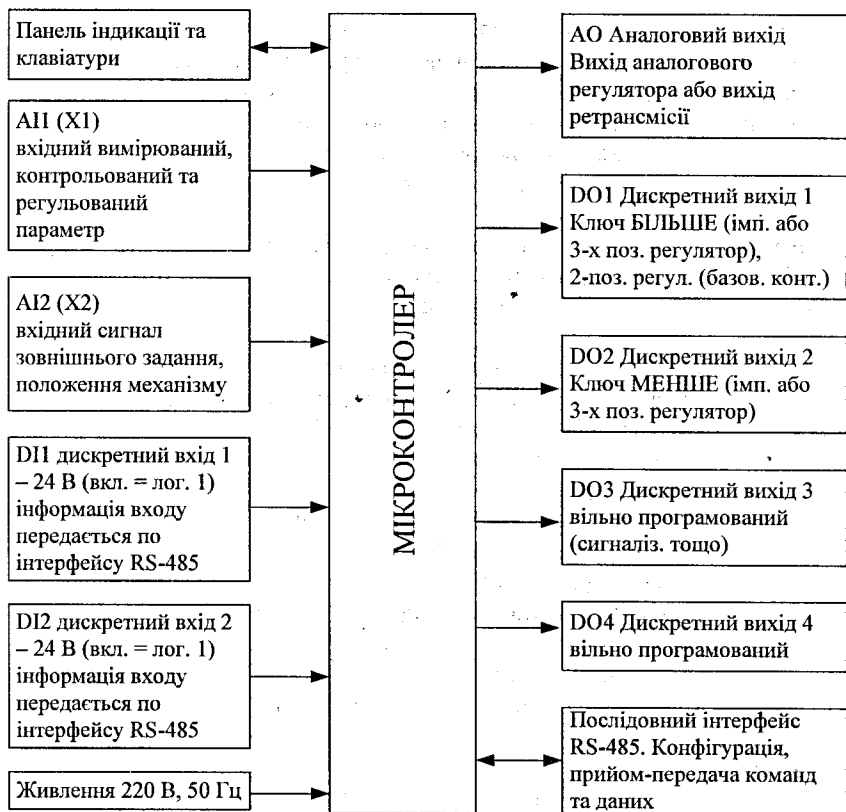


Рисунок 6.2 – Структурна схема мікропроцесорного регулятора МІК-21

Структура регулятора МІК-21-05 за допомогою конфігурації дозволяє вирішувати такі завдання регулювання:

- двопозиційного (до чотирьох каналів – при використанні функції вільнопрограмованих дискретних виходів приладу) або трипозиційного регулятора;
- ПІД-регулятора з аналоговим виходом, ПІД-регулятора з імпульсним виходом із зовнішнім або внутрішнім зворотним зв'язком за положенням виконавчого механізму, ПІД-ШІМ-регулятора з імпульсним виходом;

- регулятора з автоматичною корекцією вимірюваного і регульованого параметра по другому аналоговому входу (слідкуюча АСР);
- регулятора з автоматичною корекцією внутрішньої точки задання (програмна АСР);
- веденого регулятора в каскадних схемах регулювання;
- контурів автоматичного регулювання з управлінням від ЕОМ;
- приладу ручного управління імпульсним виконавчим механізмом, з індикацією задаючої дії і індикацією реального значення положення виконавчого механізму (розімкнена АСР);
- індикатора двох фізичних величин;
- задавача функцій.

Внутрішня програмна пам'ять регулятора МІК-21 містить достатню кількість стандартних функцій, необхідних для управління технологічними процесами у більшості інженерних прикладних завдань, наприклад, таких як:

- можливість підключення різних типів датчиків;
- порівняння результату перетворення з уставками мінімум і максимум, а також сигналізацію відхилень (технологічно небезпечних зон), вибір типу технологічної сигналізації – абсолютна або девіаційна (залежна від заданої точки);
- програмне калібрування каналів за зовнішнім зразковим джерелом аналогового сигналу, цифрова фільтрація;
- довільне масштабування шкал вимірюваних параметрів, лінеаризація вхідних сигналів, обчислення квадратного кореня;
- режими статичного і динамічного балансування;
- моніторинг справності датчиків (їх ліній зв'язку або вимірювального каналу) з системою безпечного управління виконавчими механізмами;
- ретрансмісія (*retransmission*) вхідних аналогових параметрів на аналоговий вихід пристрою тощо.

Регулятори МІК-21-05 конфігуруються через передню панель приладу або через гальванічно розділений інтерфейс RS-485 (протокол *Modbus*), що також дозволяє використовувати прилад як віддалений контролер при роботі в сучасних мережах управління і збору інформації. Параметри конфігурації регулятора МІК-21-05 зберігаються в незалежній пам'яті і прилад здатний відновити виконання завдань управління після переривання напруги живлення, при цьому батарея резервного живлення не використовується.

Принципова електрична схема з цифровим регулятором наведена на рис. 6.3.

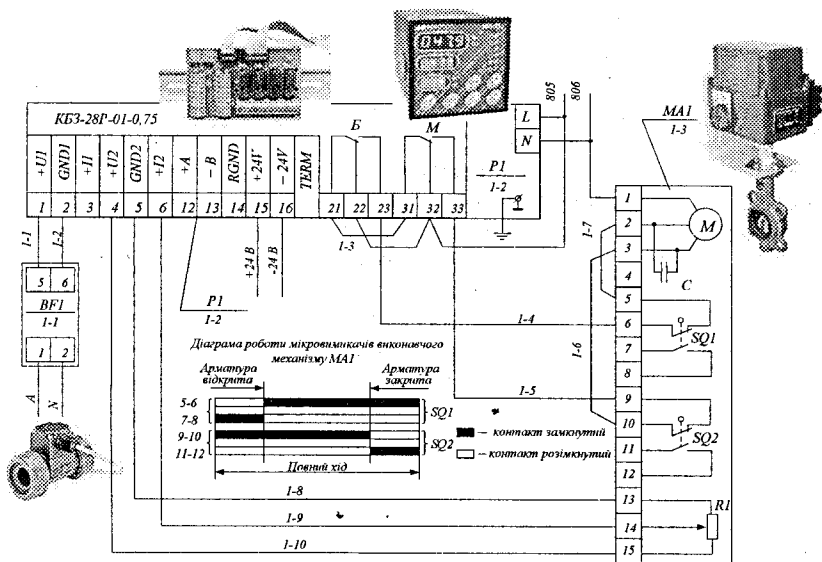


Рисунок 6.3 – Принципова електрична схема системи регулювання витрат з регулятором МІК-21

Вона працює таким чином. Витрати продукту вимірюються перетворювачем BF1, з якого струмовий уніфікований сигнал 0–5 мА поступає на входи регулятора витрат P1 МІК-21-05-01 через затискачі 1 і 2 клемно-блокового з'єднання. Сигнал перетворюється в цифровий код вбудованим в регулятор АЦП і зчитується вхідним портом мікропроцесора регулятора. Процесор порівнює інформацію від АЦП з числовим значенням завдання і при відхиленні формує сигнал управління у вигляді цифрового двійкового коду. Код перетворюється в імпульс напруги 24 В за допомогою вбудованого цифро-дискретного перетворювача, цей імпульс в залежності від знака відхилення поточного значення витрати (в сторону зменшення чи збільшення) викликає спрацювання відповідного реле клемно-блокового з'єднання Б або М.

Візьмемо випадок при зниженні витрат, тоді в клемно-блоковому з'єднанні будуть перемикатися контакти реле М, при цьому напруга з фазного проводу із затискача 32 через контакт реле М буде поступати на затискач 33 клемно-блокового з'єднання і звідти по провіднику 1-5 – на вхід 9 ВМ MA1, через розмикальний контакт кінцевого відкритого положення напруга буде проходити на затискач 10 і звідти – на затискач 3 ВМ, з яким з'єднано один з кінців обмотки руху вперед виконавчого двигуна. Інший кінець обмотки руху вперед виконавчого двигуна з'єднано через затискач 1 виконавчого механізму з нейтральним проводом.

Електричне коло обмотки руху вперед замкнеться і виконавчий двигун почне відкривати регульовальний орган на трубопроводі.

Тривалість увімкненого та вимкненого станів двигуна ВМ формується імпульсним ПД-законом регулювання. Тобто переміщення регульовального органу, яке необхідне для компенсації збурення, складатиметься з кількох послідовних переміщень, протягом яких регулятором перевіряється відповідність параметра заданому значенню.

Витрата продукту почне збільшуватися, коли вона досягне заданого значення, регулятор припинить формувати імпульси на виході, реле М вимкнеться і виконавчий механізм зупиниться і припинить переміщення клапана. У випадку, коли є перерви з постачанням і максимальне відкривання клапана не відновлює рівності витрати заданому значенню, то коло живлення обмотки ВМ МА2 розірветься кінцевим вимикачем SQ1 і ВМ залишить клапан у відкритому стані. При відхиленні витрат в сторону зниження схема працюватиме подібно до наведеної, але інша обмотка ВМ буде відкривати клапан.

Контрольні запитання



- Функціональна структура аналогових регуляторів технологічних параметрів, опишіть її роботу та способи налаштування.
- Функціональна структура цифрових регуляторів технологічних параметрів, опишіть її роботу та способи налаштування..
- Наведіть типову принципову електричну схему одноконтурної системи регулювання з аналоговим регулятором та опишіть її роботу. Поясніть відмінності в роботі схеми при застосуванні аналогового регулятора.
- Основні функції, які повинен виконувати сучасний регулятор технологічного параметра.

7 ВИКОНАВЧІ МЕХАНІЗМИ ТА РЕГУЛЬОВАЛЬНІ ОРГАНИ

7.1 Виконавчі механізми

Виконавчі механізми призначені для переміщення регульовального органу (РО) відповідно до команди автоматичного регулятора. Практично виконавчий механізм (ВМ) перетворює сигнал однієї природи, який поступає від автоматичного регулятора, у механічне переміщення регульовального органу. Крім того, ВМ можна розглядати як підсилювач потужності, за допомогою якого слабкий сигнал регулятора, багаторазово підсилюючись за рахунок енергії живлення ВМ, подається на РО. Виконавчий механізм, який працює в автоматичній системі регулювання,

повинен не тільки переміщати РО, але й забезпечити це переміщення з найменшими спотвореннями сигналу регулятора.

Для порівняльної оцінки виконавчих механізмів використовуються такі показники:

- *швидкодія* (величина, обернена часу переходу виконавчого механізму з одного стану рівноваги в інший);
- *точність* (величина, обернена максимально можливій похибці встановлення виконавчого механізму в новий стан рівноваги);
- *максимальне навантаження* (найбільший момент або зусилля, яке може передати ВМ);
- *коефіцієнт корисної дії*;
- *зона нечутливості* (область, в межах якої зміна величини управляючого сигналу не призводить до руху виконавчого механізму) та ін.

Залежно від роду енергії, яка використовується виконавчим механізмом, вони розділяються на електричні, пневматичні та гідравлічні.

В системах автоматизації процесів переробних, хімічних, харчових та допоміжних виробництв використовуються, в основному, електричні та пневматичні виконавчі механізми.

Електричні ВМ, які використовують електричну енергію, розділяються на електромагнітні та електродвигунні.

В *електромагнітних* ВМ (рис. 7.1, а) переміщення РО відбувається за рахунок дії електромагнітної котушки. Такі ВМ можуть використовуватись у випадках, коли РО повинен займати фіксоване положення, наприклад, "Відкрито" та "Закрито" в релейних (позиційних) системах автоматичного регулювання.

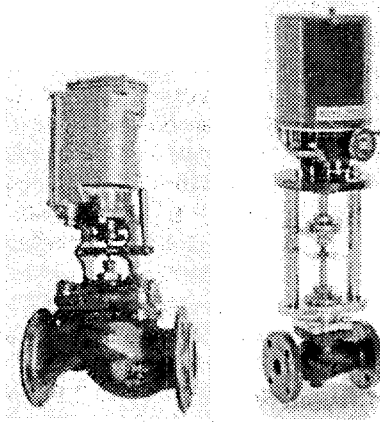


Рисунок 7.1 – Електричні виконавчі механізми з регулювальними органами
а – електромагнітний, б – електродвигунний

Завдяки високій швидкості спрацьовування електромагнітні ВМ часто використовують в автоматичних системах захисту та блокування. Недоліком їх є імовірність виникнення гідравлічних ударів у трубопроводах де вони використовуються.

Більш поширеними, ніж електромагнітні, є *електродвигунні* ВМ (рис. 7.1, б), які працюють з електричними регуляторами. Вони можуть створювати великі зусилля переміщення, їх можна встановлювати на великій відстані від регулятора. Але вони мають великі габарити, споживають більше енергії, складні в налагодженні та обслуговуванні.

В електродвигунних ВМ використовуються синхронні реактивні та асинхронні електродвигуни з постійною швидкістю обертання вихідного елемента. Електроприводи ВМ реверсивні. Ці ВМ реалізують типові закони регулювання в імпульсній формі, тобто переміщення вихідного елемента ВМ відбувається за рахунок короточасних включень електродвигуна, з певною тривалістю станів включення та відключення. Вони можуть мати контактне (через магнітні пускачі) або безконтактне (через тиристорні пускачі) управління.

За характером руху вихідного елемента електродвигунні ВМ розділяються на однообертові, багатообертові та прямохідні. В однооберткових ВМ вихідний вал обертається у межах одного оберту на 360° . Механізми типу МЕО, МЕОК та МЕОБ використовуються у системах автоматичного регулювання для приведення в рух таких регулювальних органів як заслінки, крани і т. д. Вони оснащені ручним дублером, електромагнітними гальмами, кінцевими вимикачами, датчиками положення вихідного вала; мають багато модифікацій, які відрізняються потужністю та швидкодією.

Електродвигунний ВМ складається з електродвигуна з електромагнітним гальмом, блока з кінцевими вимикачами, черв'ячного редуктора та вихідного вала редуктора для з'єднання з РО. Схема управління таким ВМ від автоматичного регулятора наведена на рис. 6.3.

Однообертові ВМ використовуються у системах двопозиційного регулювання та ручного дистанційного управління процесами. Багатообертові електродвигунні ВМ, наприклад типу МЕМ, використовуються для управління запірними регулювальними органами (вентиллями, засувками). Вони додатково обладнані муфтою граничного моменту, яка відключає електродвигун при перевантаженнях вихідного вала виконавчого механізму – коли шток регулювального органу досягне крайнього положення.

Прямохідні електродвигунні ВМ (рис. 7.2), вихідний вал яких переміщується поступально, використовуються для дистанційного та автоматичного управління шибєрними засувками на елеваторах, хлібоприймальних пунктах та інших підприємствах. Існує три види

прямохідних ВМ (тип А, Б та В), які відрізняються довжиною та розташуванням основної кінематичної пари «гайка – гвинт». Вал електродвигуна жорстко сполучений з валом-гвинтом, а вихідний вал ВМ шарнірно з'єднаний з гайкою.

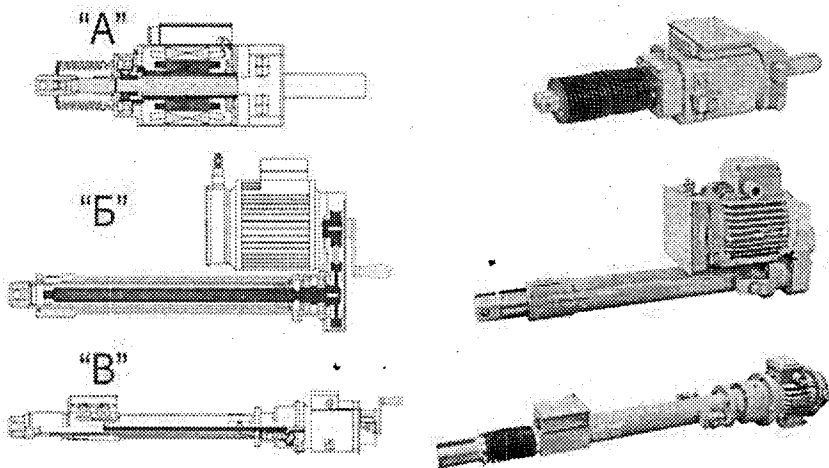


Рисунок 7.2 – Прямохідні електродвигунні виконавчі механізми

Пневматичні виконавчі механізми працюють з пневматичними вхідними сигналами і відрізняються високою надійністю та простотою обслуговування, розвивають досить великі зусилля переміщення.

Найширшого розповсюдження набули мембранні ВМ (рис. 7.3), в яких зусилля переміщення створюється повітрям, тиск якого змінюється в межах 20-100 кПа.

Основним елементом цих ВМ є мембрана (рис. 7.3, а), яка герметично закріплена у корпусі. Жорсткий центр мембрани з'єднаний з вихідним штоком, який здійснює зворотно-поступальний рух. Зусилля переміщення в одному напрямі (на рис. 7.3, а – в напрямку зверху вниз) створюється за рахунок тиску стисненого повітря у робочій порожнині на мембрану, у протилежному – за рахунок зусилля зворотної пружини. Залежно від напрямку руху вихідного штока ВМ бувають прямої та зворотної дії. У механізмах прямої дії, коли тиск повітря у робочій порожнині збільшується, вільний кінець штока віддаляється від площини закріплення мембрани. У механізмах зворотної дії підвищення тиску у робочій порожнині зумовлює наближення вільного кінця штока до площини закріплення мембрани. Ці варіанти конструкції дають можливість

реалізувати різні за дією виконавчі пристрої – нормально відкриті та нормально закриті.

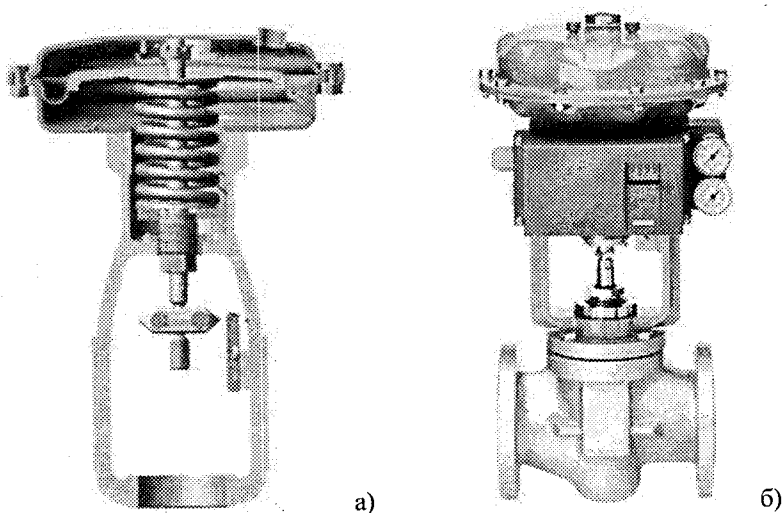


Рисунок 7.3 – Мембранний пневматичний виконавчий механізм
а – мембранний виконавчий механізм у розрізі, б – виконавчий механізм Siemens з позиціонером

Дещо меншого застосування набули поршневі та поворотні пневматичні ВМ. Це механізми, в яких зусилля для зміни положення РО створюється за рахунок зміни тиску робочого середовища у порожнинах поршня або поворотної заслінки. Поршневі виконавчі механізми відрізняються від мембранних більшою величиною переміщення РО та більшим зусиллям, яке він передає. Однак при рівних умовах перед поршневими та поворотними пневмоприводами більші тягові зусилля, і тому кращі кінематичні характеристики, мають прямохідні та однообертові електродвигунні ВМ.

Для забезпечення точності зупинки вихідних елементів пневматичних ВМ та підвищення їх швидкодії при використанні пневмоприводів у важких умовах (велика швидкість проходження середовища, підвищена в'язкість, великі розміри ВМ, велика довжина пневматичної з'єднувальної лінії) в комплекті з ними додатково використовують позиціонери – пневматичні або електропневматичні підсилювачі потужності зі зворотним зв'язком за положенням вихідного елемента ВМ (рис. 7.3, б).

7.2 Регулювальні органи

Регулювальні органи призначені для зміни витрати речовини або енергії для об'єкта регулювання шляхом зміни його пропускної спроможності. Регулювальний орган складається з двох основних частин; затвора – рухомої частини РО, переміщенням якого досягається зміна прохідного перерізу і, відповідно, пропускної спроможності; сідла – нерухомої частини РО, яке утворює разом зі затвором прохідний переріз (рис. 7.4, б).

Під *пропускною спроможністю* K_v розуміють витрату рідини густиною 1000 кг/м³, яку пропускає РО при перепаді тиску на ньому 0,1 МПа. Пропускна спроможність залежить від типу та розміру РО і ходу його затвора. Величину K_v виражають у м³/год. Максимальну величину пропускної спроможності, яка відповідає повністю відкритому РО, називають *умовною пропускною здатністю* K_{vy} (м³/год). *Умовним проходом* у РО називають номінальний діаметр отвору РО у з'єднувальних фланцях і позначають D_u (Du). Значення D_u відрізняється від розмірів всередині корпусу РО.

Залежність пропускної спроможності РО від переміщення його затвора називають *пропускною характеристикою*; залежність прохідного перерізу від переміщення затвора – *конструктивною характеристикою*.

У системах автоматичного регулювання використовуються РО таких типів: одно- та двосідельні клапани, заслінки, засувки, шлангові та діафрагмові РО та ін. В односідельних РО (рис. 7.4, а) зміна пропускної спроможності досягається за рахунок поступального руху затвора вздовж осі проходу одного сідла, а двосідельних – двох сідел (рис. 7.4, в).

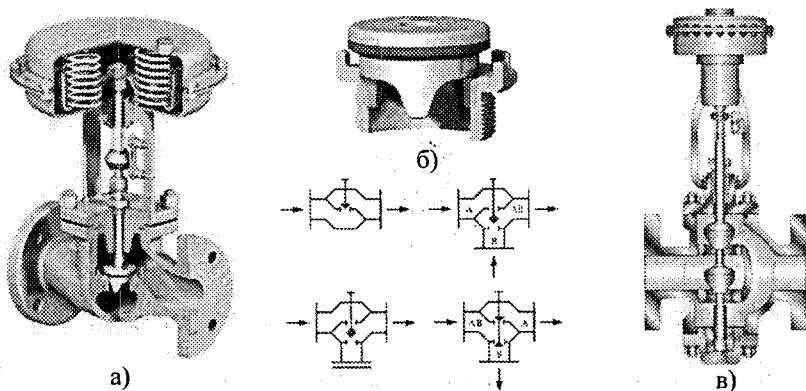


Рисунок 7.4 – Плу́нжерні регулювальні органи

- а) – односідельний РО з мембранним виконавчим механізмом,
б) – тарілка та сідло плунжерного РО, в) – двосідельний РО

Перші мають незрівноважений затвор, оскільки середовище діє на нього зверху та знизу з різним зусиллям. Це впливає на роботу виконавчого механізму і тому ці клапани використовують для малих Ду та при низькому тиску середовища. Двосідельні клапани мають майже зрівноважений затвор, через те, що технологічне середовище, обтікаючи його, створює приблизно однакові сили. Тому їх використовують у виконавчих пристроях великого розміру при роботі з великими тисками середовища.

Регулювальні клапани випускають з лінійною та рівнопроцентною пропускною характеристикою. При лінійній характеристиці величина пропускної спроможності пропорційна положенню затвора, а при рівнопроцентній приріст пропускної спроможності пропорційний поточному значенню пропускної спроможності. Пропускню характеристику клапана вибирають такою, щоб забезпечити постійний коефіцієнт підсилення АСР на всьому діапазоні роботи клапана. Якщо основними збуреннями об'єкта є зовнішні фактори, наприклад, зміна складу сировини, то бажано вибирати клапан з лінійною характеристикою. Якщо ж основним збуренням об'єкта є збурення по регулювальному каналу, наприклад, зміна тиску середовища, яке проходить через нього, то вибирають клапан з рівнопроцентною характеристикою.

Досить часто для регулювання газоподібних технологічних потоків використовується поворотний РО типу «батерфляй» або заслінка (рис. 7.5). В такому РО зміна пропускної спроможності досягається за рахунок повороту заслінки. Заслінки у порівнянні з іншими РО мають невеликі габарити та масу, а у відкритому положенні - невеликий гідравлічний опір, не створюють застійних зон.

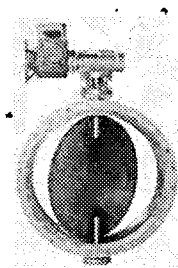


Рисунок 7.5 – Регулювальний орган типу «батерфляй»

Цей РО являє собою корпус у вигляді кільця, в якому на валу, розташованому перпендикулярно до потоку, обертається кругла дискова заслінка. Щоб забезпечити можливість щільного перекриття пропускного отвору при закритті заслінки, з внутрішнього боку корпуса або на

зовнішній поверхні (по краю) заслінки закріплюється ущільнювальне кільце.

В технологічному виробництві для регулювання потоків агресивних середовищ, середовищ з твердими частинками, зустрічаються діафрагмові та шлангові РО. В діафрагмових РО (рис. 7.6, а) переміщення центра діафрагми зумовлює зміну прохідного перерізу РО. Ці РО призначені для роботи при низьких тисках та нормальній температурі. Для зміни витрати середовищ, які мають тверді частинки, використовують шлангові РО (рис. 7.6, б). Роль затвора виконує еластичний шланг, який закріплений між корпусом та фланцями. Всередині шланг передавлюється роликми, які рухаються у протилежних напрямках при переміщенні штока. Шланг виготовляється з гуми, фторопласту або поліетилену. Використання таких РО обмежується температурами до 100 °С та тиском до 980 кПа.

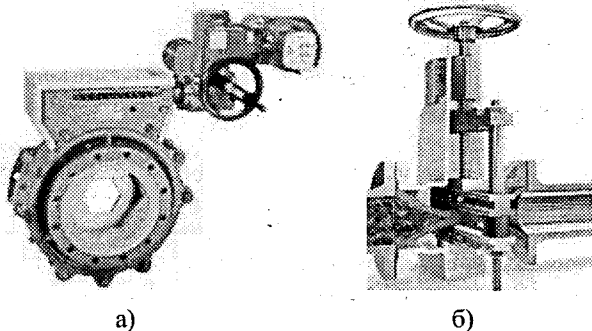


Рисунок 7.6 – Діафрагмовий (а) та шланговий (б) регулювальні органи

Контрольні запитання



- Параметри вибору виконавчих механізмів в системах автоматизації.
- Наведіть принципову електричну схему електродвигунного виконавчого механізму.
- Поясніть будову та принцип дії пневматичних виконавчих механізмів. Яка область їх застосування?
- Пропускна спроможність та пропускна характеристика дросельних регулювальних органів.
- Переваги та недоліки односідельних та двохсідельних регулювальних органів.
- Дайте характеристику регулювальним органам спеціального типу: «батерфляй», шланговим, діафрагмовим.

8 ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ЧАСТОТИ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Перетворювачі частоти (ПЧ) або частотно-регульовані електроприводи призначені для плавного регулювання швидкості і моменту обертання вала електродвигуна шляхом зміни частоти змінного струму. Внаслідок точного, цифрового регулювання ПЧ легко інтегрується в систему автоматизації, використовується тоді, коли потрібна точність установа і управління тим або іншим параметром роботи технологічного устаткування. ПЧ використовуються в різних системах (водопостачання, теплопостачання, водоочистки і ін.), змішувачах, дозаторах, конвеєрних лініях, транспортерах, прокатних станах, металообробних і шліфувальних верстатах, каменеобробному, дробильному і буровому устаткуванні і т. д.

Перетворювач частоти є ідеальним з точки зору зменшення пускового струму електродвигуна. Значний економічний ефект має впровадження ПЧ в установках з різкозмінною продуктивністю.

Частотно-регульований електропривод створює:

- зменшення енергоспоживання (наприклад, при насосному застосуванні);
- зниження аварійності;
- збільшення електричного і механічного ресурсу насосів, електродвигунів, телекомунікацій, устаткування.

Типова схема автоматизації з перетворювачем частоти, який використовується як виконавчий елемент системи стабілізації витрат, наведена на рис. 8.1, а, а відповідна їй принципова схема – на рис. 8.1, б.

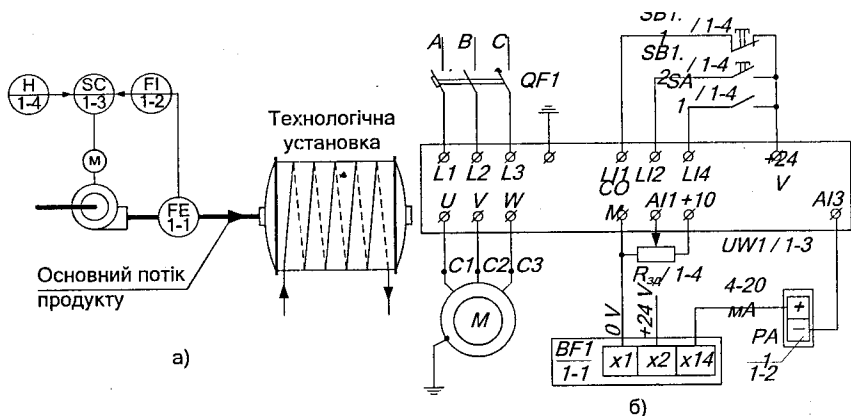


Рисунок 8.1 – Автоматична система регулювання продуктивності насоса з використанням перетворювача частоти

Основними каналами управління ПЧ як виконавчою ланкою систем автоматизації виступають канали телемеханіки (побудовані як польові шини (*fieldbus*) передачі даних за стандартними протоколами *Industrial Ethernet, Modbus, Profibus, CANopen* тощо). Як локальний канал управління застосовуються фізичні аналогові та дискретні входи ПЧ, як наведено на рис. 8.1, б, або передня панель самого ПЧ. Структурна схема каналів управління ПЧ наведена на рис. 8.2, як об'єкт вибрано ПЧ *Altivar 31* (Schneider Electric).

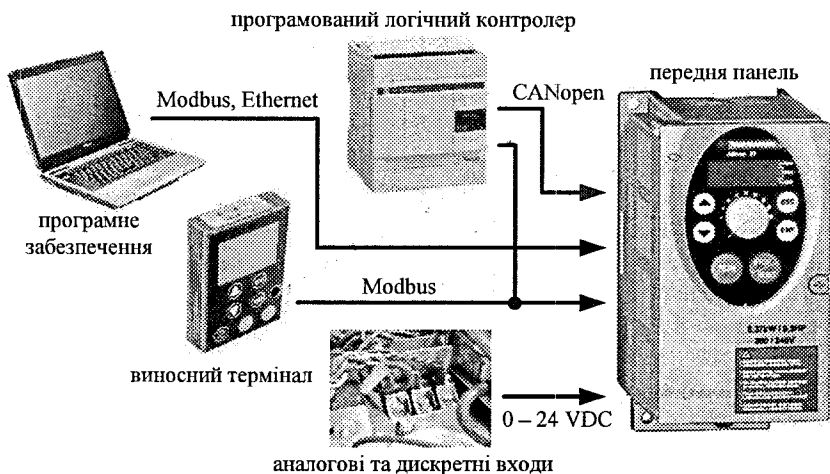


Рисунок 8.2 – Канали управління перетворювачами частоти

Каналом управління ПЧ задається швидкість та напрямок обертання, а також виконання певної прикладної функції [7].

За рахунок наявності великої кількості прикладних функцій ПЧ легко адаптуються до виконання потрібних задач. Не всі прикладні функції можуть виконуватися регульованим електроприводом одночасно, однак це не є функціональним обмеженням ПЧ, а взаємним виключенням функцій. Таблиця сумісності прикладних функцій ПЧ *Altivar 31* наведена в табл. 8.1.

Крім вказаних в таблиці сумісності прикладних функцій в меню конфігурації ПЧ наявний ще ряд функцій та налаштувань, доступ до яких можливий через функціональні клавіші на передній панелі та чотири семисегментні індикатори (рис. 8.1). Відображення налаштувань ПЧ на індикаторах здійснюється за допомогою буквено-цифрових кодів, тому при розгляді конкретної функцій вказуватиметься її код.

Таблиця 8.1 – Сумісність прикладних функцій перетворювача частоти

| Виконувані функції | Підсумовування входів завдання | Швидше-повільніше | Управління закінченням ходу | Задані швидкості Preset Speed | ПІ / ПІД-регулятор | Режим штовхання JOG | Управління гальмом | Динамічне гальмування | Швидка зупинка | Зупинка на вибігу |
|--------------------------------|--------------------------------|-------------------|-----------------------------|-------------------------------|--------------------|---------------------|--------------------|-----------------------|----------------|-------------------|
| Підсумовування входів завдання | × | × | | ↑ | × | ↑ | | | | |
| Швидше-повільніше | × | × | | × | × | × | | | | |
| Управління закінченням ходу | | | × | | × | | | | | |
| Задані швидкості Preset Speed | ← | × | | × | × | ↑ | | | | |
| ПІ / ПІД-регулятор | × | × | × | × | × | × | × | | | |
| Режим штовхання JOG | ← | × | | ← | × | × | × | | | |
| Управління гальмом | | | | | × | × | × | × | | |
| Динамічне гальмування | | | | | | | × | × | | ↑ |
| Швидка зупинка | | | | | | | | | × | ↑ |
| Зупинка на вибігу | | | | | | | | ← | ← | × |

× – несумісні функції; ←, ↑ – функції, що можуть бути задіяні одночасно, але з різним пріоритетом (напрямок стрілки вказує на пріоритетну функцію)

Автоматичний повторний пуск (*Atr*) та підхоплення на ходу (*FLr*) з пошуком швидкості ротора – ці функції доступні лише для вибраного двопровідного управління (кнопки «Вперед» та «Назад» мають фіксацію і підключаються до дискретних входів ПЧ *L11* та *L12*, стан зупинки – відключені обидва входи).

Однією з найважливіших прикладних функцій ПЧ з точки зору енергозбереження електроприводу є вибір темпу та типу розгону / гальмування (*braking*) (*rPC*) (лінійний, U-подібний, S-подібний, індивідуальний, дворівневий). Типи кривих розгону / гальмування наведено на рис. 8.3. Існує можливість використання алгоритму адаптації темпу гальмування (*brA*) для механізмів зі значним моментом інерції та відсутності гальмівного опору.

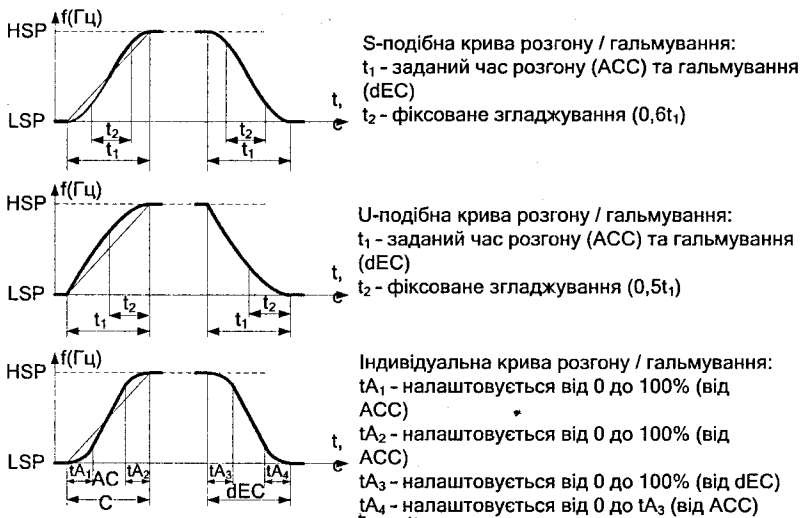


Рисунок 8.3 – Криві розгону / гальмування електроприводу
HSP – частота при максимальному завданні (*high speed*),
LSP – частота при мінімальному завданні (*low speed*).

За рахунок пам'яті контролера ПЧ в них існує можливість виконання функції запам'ятовування наперед заданих швидкостей (*preset speeds*). Кількість запам'ятовуваних швидкостей є різною для ПЧ різних виробників, достатньою з практичної точки зору є 16 швидкостей. Для виходу електроприводу на одну із заданих швидкостей використовуються дискретні команди: або один з дискретних входів, або відповідний біт (з 12 по 15) слова управління польової шини, що використовується для віддаленого управління ПЧ. В таблиці 8.2 наведено комбінації станів дискретних входів ПЧ *LI3*, *LI4*, *LI5* та *LI6* (входи *LI1* та *LI2* використовуються для пуску / зупинки), яких достатньо для використання 16 заданих швидкостей. Якщо за технологічними умовами, наприклад, необхідно використовувати всього 3 задані швидкості, то в меню прикладних функцій ПЧ (*FUn-*) слід активувати виконання функції *PS4* (4 *preset speeds*) – тобто запам'ятовування 4 заданих швидкостей, якщо ж потрібно запам'ятати 12 швидкостей, то слід активувати виконання функції *PS16*. Всього є 4 функції заданих швидкостей, а саме: *PS2*, *PS4*, *PS8* та *PS16*. При активуванні однієї з цих чотирьох функцій потрібно вказати значення для кожної із заданих швидкостей. Наприклад, активована функція *PS4*, тоді у цій же вітці меню можна встановити значення швидкостей: першої швидкості – від каналу задання (аналогового

входу або потенціометра), другої швидкості $SP2 = 20$ Гц, $SP3 = 30$ Гц, $SP = 40$ Гц.

Таблиця 8.2 – Комбінації входів задання швидкостей

| Задання швидкості | 2 швидкості LI3 (PS16) | 4 швидкості LI4 (PS4) | 8 швидкостей LI5 (PS8) | 16 швидкостей LI6 (PS16) |
|-------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| Поточне задання | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SP2 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| SP3 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| SP4 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| SP5 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| SP6 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| SP7 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| SP8 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| SP9 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| SP10 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| SP11 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| SP12 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| SP13 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| SP14 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| SP15 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| SP16 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Функція *JOG* – це функція управління електроприводом в режимі поштовху, який зв'язаний з дискретним входом ПЧ без фіксації. При відпрацюванні цієї функції (рис. 8.4) електропривод переходить в роботу з низькою частотою поштовху *JOG frequency – JGF*, що не перевищує 10 – 15 Гц. Найчастіше така функція необхідна при використанні ПЧ для приводу конвеєра з періодичними циклами виконання технологічних операцій на ньому. Якщо конвеєр рухається і необхідно здійснити технологічну операцію (складання деталей тощо), то оператор натискає кнопку, зв'язану з входом ПЧ, і відповідальну за виконання функції *JOG* і привод знижує швидкість руху конвеєра для виконання операції. Якщо така функція суміщається з двопровідним управлінням (кнопки з фіксацією), то при роботі ПЧ із заданою частотою і активації функції *JOG*, привод перейде на роботу з частотою, що відповідає частоті поштовху.

В ПЧ Altivar існує різниця між послідовністю натиснення кнопок «Вперед/Назад» та *JOG*. Якщо контакт *JOG* замкнутий, а потім активований (або деактивований) контакт напрямку руху, то час розгону (гальмування) буде 0,1 с незалежно від налаштувань темпів *ACC* та *dEC*. Якщо контакт напрямку руху замкнений, а потім задіяний контакт *JOG*, то використовуються налаштовані значення темпів.

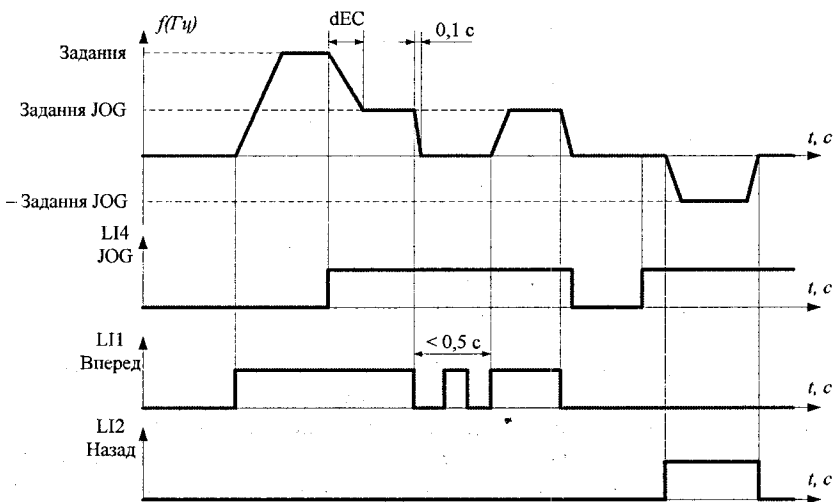


Рисунок 8.4 – Часова діаграма функції JOG

Функція вибору способу зупинки *StC*. Для технологічних механізмів, які працюють в повторно-короткочасному режимі, важливим з точки зору їх надійності є правильне гальмування, що повинно відповідати кільком критеріям:

- безпечній експлуатації установки (швидка зупинка);
- економічному гальмуванню (невисокі струми гальмування);
- зниження навантаження на кінематичні передачі (плавне гальмування).

Гальмування в залежності від вибраної схеми управління здійснюється при зникненні команди пуску (двопровідне управління $iCC = 2$) або при появі команди зупинки (трипровідне управління $iCC = 3$). В залежності від призначення установки, яка приводиться в рух від частотно-регульованого електроприводу, вибирають та налаштовують такі способи зупинки:

- зупинка із заданим темпом *rMP*;
- швидка зупинка *FSt*;
- зупинка на вибігу *nSt*;
- динамічне гальмування *dCl*.

Графіки гальмування для вказаних способів зупинки наведені на рис. 8.5.

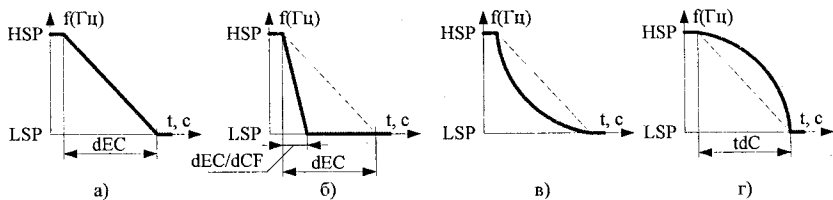


Рисунок 8.5 – Графіки гальмування для різних способів зупинки
 а) зупинка із заданим темпом, б) – швидка зупинка,
 в) – зупинка вибігом, г) – динамічне гальмування

Зупинка з заданим темпом rMP здійснюється як базовий варіант і є заводським налаштуванням. При такому способі зупинки привод зупиняється з темпом гальмування dEC і вибраною кривою гальмування.

Команда зупинки на вибігу nSt викликає зупинку двигуна за рахунок моменту опору на валу при відключеному живленні. Зупинка на вибігу здійснюється при *розмиканні* дискретного входу (стан 0), тому для такого способу використовують нормально замкнені кнопки управління.

Зупинка динамічним гальмуванням dCI здійснюється при *замиканні* дискретного входу (стан 1). Такий вид зупинки потребує додаткового налаштування струму динамічного гальмування IdC (в межах від 0 до номінального струму двигуна) та загальної тривалості динамічного гальмування tdC (від 0,1 с до 30 с).

Функція швидкої зупинки FSt (найчастіше використовується як аварійний спосіб гальмування) забезпечує зупинку з пониженим часом гальмування, заданим коефіцієнтом dCF , що налаштовується від 0 до 10. Тривалість швидкої зупинки встановлюється як dEC / dCF . Наприклад зупинка із заданим темпом $dEC = 4$ с, а коефіцієнт швидкої зупинки встановлено таким, що дорівнює 8 ($dCF = 8$), тоді тривалість швидкої зупинки рівна: $dEC / dCF = 4 / 8 = 0,5$ с. Швидка зупинка, як і функція зупинки на вибігу, досягається *розмиканням* дискретного входу (стан 0).

Суматор аналогових входів SAI дозволяє підсумовувати сигнали по кількох входах для отримання результуючого завдання частоти. Для ПЧ Altivar існують такі входи для задання частоти:

- аналоговий вхід $A11$;
- аналоговий вхід $A12$;
- аналоговий вхід $A13$;
- потенціометр передньої панелі $A1P$ (якщо є в даній моделі);
- задання по мережі Modbus – Mdb ;
- задання по мережі CANopen – Can ;
- задання від виносного терміналу – LCC .

В параметрах налаштування суматора вказується, який із вищезазначених входів ПЧ буде призначений для підсумовування до основного задання. Всього кількість входів суматора рівна трьом: основне задання, канали SA2 та SA3, відповідно до структурної схеми на рис. 8.6.

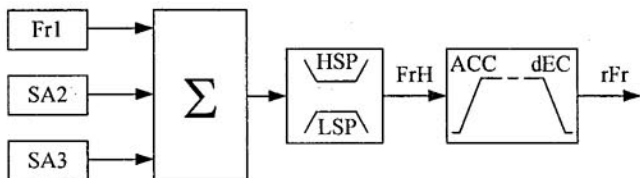


Рисунок 8.6 – Суматор входів

FrH – задане значення частоти до задавача темпу (0 – 500 Гц),
rFr – частота вихідної напруги, прикладеної до двигуна

В параметрах каналів суматора SA2, SA3 вказується, який з входів ПЧ використовуватиметься як доданок до основного каналу Fr1. При використанні аналогового входу AI2 як один з каналів суматора SA2 або SA3 слід пам'ятати, що він двополярний (–10 В...0...10 В) і дозволяє здійснювати віднімання (якщо AI2 < 0) при підсумовуванні з основним заданням.

Функція автоматичного потенціометра UPd (або швидше-повільніше) передбачає формування задання частоти обертання двигуна за допомогою дискретних входів при двопроводному керуванні. Перед конфігурацією необхідно основний канал задання частоти Fr1 встановити таким, що відповідає приросту задання через дискретний вхід UPdt. Для виконання вказаної функції потрібно два дискретні входи ПЧ призначити на виконання команд «швидше – USP» та «повільніше – dSP», наприклад USP = LI3, dSP = LI4. Типова схема підключення кнопок для виконання функції UPd наведена на рис. 8.7, а діаграма роботи ПЧ під час виконання її – на рис. 8.8.

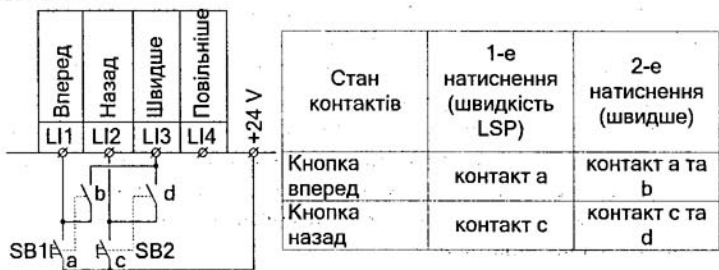


Рисунок 8.7 – Схема підключення автоматичного потенціометра

В схемі на рис. 8.7 використовуються кнопки з подвійним натисненням, при першому натисненні стан контакту фіксується (наприклад а), друге натиснення приводить до замикання іншої контактної пари, але без фіксації (замкнені контакти а та б).

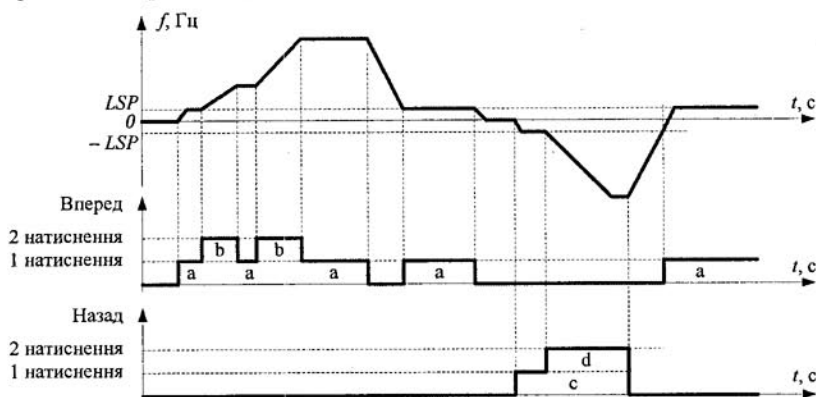


Рисунок 8.8 – Діаграма роботи ПЧ при виконанні функції автоматичного потенціометра

Функція ПІ-регулятора PI використовується для стабілізації технологічного параметра, який залежить від швидкості обертання електроприводу. Типова структура системи регулювання з використанням перетворювача частоти як ПІ-регулятора наведена на рис. 8.1, а. Перетворювач частоти має велику кількість налаштувань контуру ПІ-регулятора. Структурна схема ПІ-регулятора ПЧ із зазначенням параметрів налаштувань наведена на рис. 8.9.

При налаштуванні ПІ-регулятора перш за все визначають, які з аналогових входів ПЧ (AI_1 , AI_2 чи AI_3) використовуватимуться як зворотний зв'язок, а також по якому каналу буде формуватися уставка регулятора (внутрішнє завдання rPI , потенціометр передньої панелі AIP , виносний термінал LCC , мережа $Modbus Mdb$ чи $CANopen CAN$, виклик наперед сформованих уставок з допомогою дискретних входів $rP2/rP4$ тощо). При необхідності узгодження сигналу зворотного зв'язку з параметрами уставок регулятора використовується масштабний коефіцієнт зворотного зв'язку FbS , значення якого можна встановити від 0,1 до 100.

При наявності сигналу відхилення (помилки) для коректного введення регулювального впливу на об'єкт з допомогою блока PI (PI conversion) встановлюється знак відхилення.

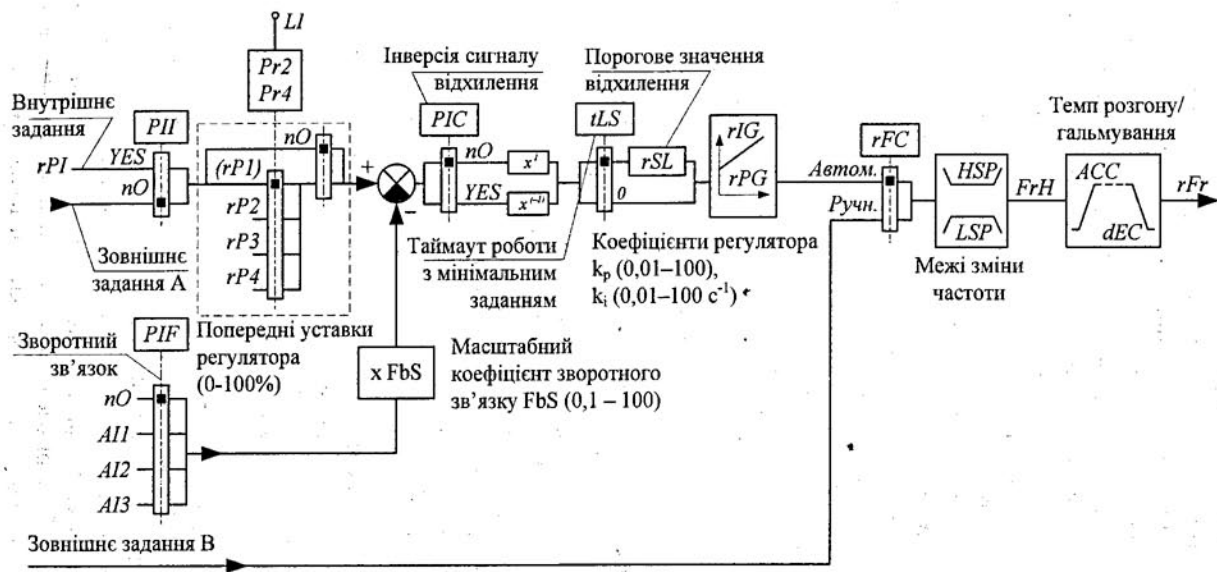


Рисунок 8.9 – Структурна схема каналу ПІ-регулятора перетворювача частоти

Це необхідно в тому випадку, коли, наприклад, рівень в ємності стабілізується за допомогою електроприводу насоса з перетворювачем частоти і насос може встановлюватися як на лінії притоку, так і на лінії витоку. Якщо насос встановлено на лінії притоку, то із збільшенням рівня (помилка від'ємна) швидкість обертання електроприводу насоса, і вихідна частота ПЧ відповідно, повинні зменшуватися. Якщо ж насос встановлений на лінії витоку, то при тих же умовах швидкість та частота повинні зростати, тобто регульовальна дія стає інверсною. В першому випадку параметр $PIC = nO$, в другому – $PIC = YES$.

При тривалій роботі з мінімальним заданням з метою енергозбереження використовується таймаут tLS . Таймаут встановлюється таким, що відмінний від 0 (до 999 с), якщо встановлене значення 0, то функція таймаута відключена. Після вичерпання таймаута на мінімальній швидкості робота ПЧ переводиться з режиму роботи (RUN) в режим готовності ($READY$). Повторний автоматичний запуск ПЧ відбудеться після перевищення сигналу відхилення порогового значення, заданого параметром rSL . Цей параметр призначений для забезпечення стабільної роботи електроприводу, оскільки без порогового блока існує можливість того, що регулятор намагатиметься працювати на швидкості, близькій LSP . Така робота може бути незадовільною, що полягає в розгоні, поверненні до LSP , зупинці і т. д.

Функція управління електромагнітним гальмом bLC призначена для синхронізації зняття гальма з досягненням пускового моменту і накладенням гальма при зупинці з досягненням нульової швидкості для уникнення ударів. Така функція використовується при роботі ПЧ з підйомно-транспортним обладнанням. Блокування досягається шляхом використання вбудованого електромеханічного реле ПЧ $R2$ або дискретного виходу AOC в схемі управління електромагнітним гальмом.

Діаграма роботи ПЧ з функцією управління гальмом наведена на рис. 8.10.

Основними параметрами налаштування при виконанні ПЧ функції управління електромагнітним гальмом є:

- частота зняття гальма brL (0 – 10 Гц);
- порогове значення струму двигуна для зняття гальма Ibr (0 – $1,36 \cdot I_{ном}$);
- час зняття гальма brt (0 – 5 с);
- порогове значення частоти для накладення гальма bEn (0 – LSP);
- час накладення гальма bEt (0 – 5 с);
- гальмівний імпульс bIP (YES – момент двигуна при знятті гальма завжди направлений вперед незалежно від напрямку обертання, необхідно, щоб напрямок моменту двигуна вперед відповідав підніманню вантажу, nO – момент двигуна при знятті гальма відповідає потрібному напрямку обертання).

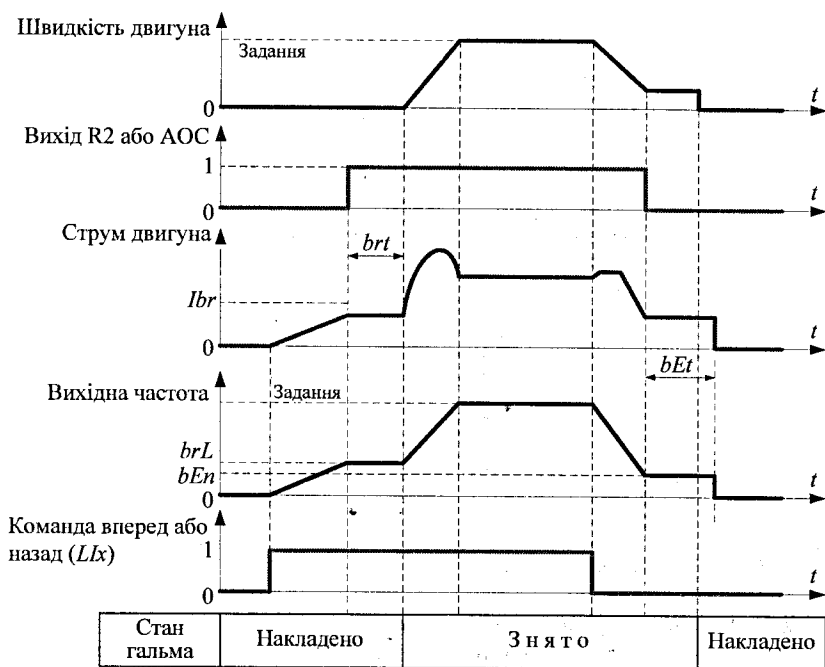


Рисунок 8.10 – Діаграма роботи ПЧ з функцією управління гальмом

В транспортних циклічних механізмах (електровізки, механізми горизонтального переміщення вантажу в кранах) часто використовується функція управління закінченням лінійного ходу LSt . Задача такої функції – управління за допомогою одного або двох кінцевих вимикачів (1 або 2 напрямки обертання / переміщення). Після закінчення ходу дозволено є пуск лише у протилежному напрямку. Зупинка здійснюється після переходу дискретного входу, призначеного на закінчення ходу в даному напрямку, в стан 0. Обертання в зворотному напрямку – в стан 1. Типова схема підключення входів ПЧ для управління закінченням ходу наведена на рис. 8.11.

Параметри налаштування функції:

- вхід обмеження руху вперед LAF (nO , $LII - LI6$);
- вхід обмеження руху назад LAr (nO , $LII - LI6$);
- тип зупинки при управлінні закінченням ходу LAS (із заданим темпом, швидка зупинка, вибір).

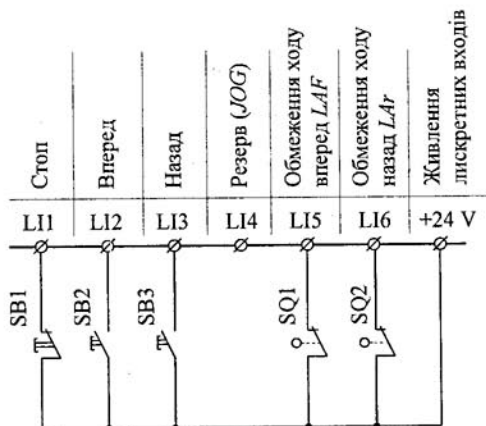


Рисунок 8.11 – Схема підключення входів ПЧ на обмеження ходу

Контрольні запитання

- Наведіть функціональну та принципову електричну схему одноконтурної системи регулювання з використанням перетворювача частоти.
- Назвіть основні функціональні вузли сучасних перетворювачів частоти та їх призначення.
- Криві розгону/гальмування, які реалізуються перетворювачами частоти. Наведіть приклади застосування типових кривих розгону/гальмування.
- Поясніть призначення та часову діаграму відпрацювання перетворювачем частоти функції покрокового режиму *JOG*.
- Опишіть прикладну функцію заданих швидкостей *Preset Speed* в перетворювачах частоти, наведіть сумісні з нею функції.
- Опишіть прикладну функцію ПІ-регулятора в перетворювачах частоти, наведіть область її застосування.
- Опишіть прикладну функцію автоматичного потенціометра «Швидше/повільніше» в перетворювачах частоти. Наведіть схему для відпрацювання функції в одному напрямку обертання з можливістю прискорення та уповільнення приводу.
- Поясніть роботу перетворювача частоти в процесі відпрацювання функції управління електромагнітним гальмом.

9 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНЕ РЕЛЕ В СИСТЕМАХ МАЛОЇ АВТОМАТИКИ

В невеликих за об'ємом та функціями системах автоматики та автоматизації для переведення їх на вищий рівень з можливістю додаткового енергозбереження, збільшення надійності і надання гнучкості, використовуються програмовані інтелектуальні реле або наноконтролери. До таких пристроїв відносяться мікропроцесорні логічні модулі класу *Zelio Logic, Logo!, Easy, FAB* та ін. різноманітних виробників. Вказані модулі невибагливі в монтажі, надійні, середовище для їх програмування (*programming*) доволі зрозуміле та не потребує спеціальних знань та навиків програмування.

Одним з найбільш часто застосовуваних логічних модулів при автоматизації нескладних машин циклічної дії з дискретною дією (іригаційні та меліораційні системи, насосні та вентиляційні установки, теплиці і т. д.) є *Zelio Logic* (рис. 9.1). Відомі його застосування і в невиробничій сфері при автоматизації систем кондиціювання повітря, систем контролю доступу та освітлення, автоматичного паркінгу тощо [8].

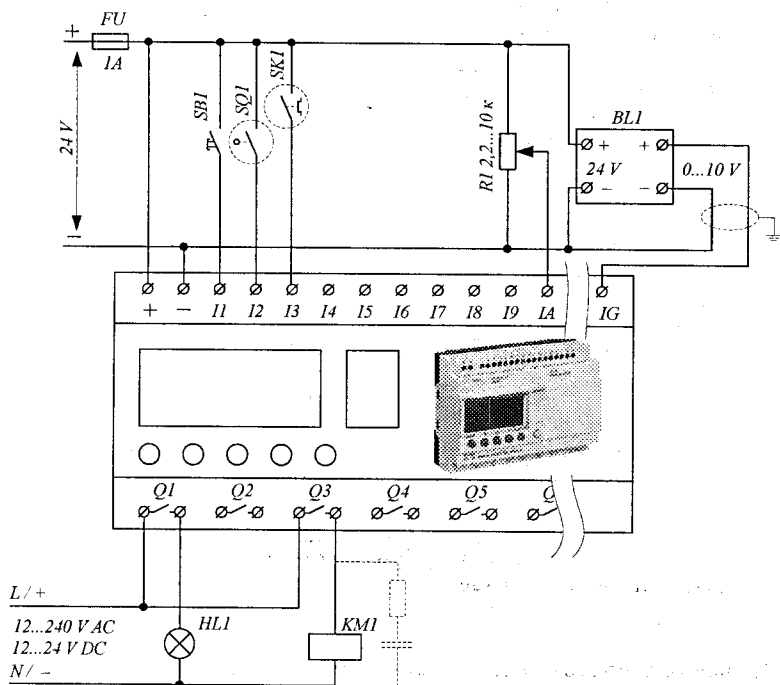


Рисунок 9.1 – Схема підключення зовнішніх пристроїв до логічних модулів *Zelio*

Розрізняють модульні та компактні контролери (*controllers*) *Zelio Logic*, які відрізняються можливістю нарощення структури шляхом додавання модулів розширення (входів/виходів, додаткових комунікацій, модему – в цілому до 40 модулів). В контролерах компактного виконання така можливість відсутня.

Таблиця 9.1 – Характеристики модулів *Zelio Logic*

| Параметр | | Од. вимір. | Значення | |
|---|---|--------------|-----------------------|---------------|
| Блоки живлення | Номінальна напруга | В | 12, 24, 220 | |
| | Допустиме відхилення напруги | В | ± 4 | |
| | Номінальний споживаний струм (з розширеннями) | мА | 280 (415) | |
| | Потужність розсіювання | ВА | до 10 | |
| | Короткочасне відключення | мс | до 10 | |
| Дискретні входи | Номінал входів: напруга / струм, | В / мА | 24 / 4,4 | |
| | Граничний рівень комутації входів: в стані 1 в стані 0 | В, А В, А | >14, >2 < 5, < 0,5 | |
| | Швидкість відклику | мс | 50 | |
| | Захист від неправильного підключення | – | наявний | |
| Аналогові входи ПВ...IG | Діапазон вхідних напруг | В | 0...10 / 24 | |
| | Вхідний опір | кОм | 12 | |
| | Максимальна напруга | В | до 30 | |
| | Значення молодшого біта | мВ | 39 | |
| | Перетворення: дозвіл швидкість точність повторюваність | біт | | 8 |
| | | мс | | 6 (цикл) |
| | | % | | ± 5 |
| | | % | | ± 2 |
| Максимальна довжина кабелю (екранованого) | м | до 10 | | |
| Релейні входи | Гранична робоча напруга | В | 5...250 | |
| | Тепловий струм | А | до 8 | |
| | Електрична міцність для 500 000 комутац. циклів: (МЕК/EN 60947-5-1) категорія DC-13 напруга струм категорія AC-15 напруга струм | В | | 24 (L/R>10мс) |
| | | А | | 0,6 |
| | | В | | ~230 |
| | | А | | 0,9 |
| | Мінімальний струм комутації (при напрузі 12 В) | мА | 10 | |
| | Максимальна частота комутації без навантаження з робочим струмом | Гц | 10 0,1 | |
| | Механічна міцність комутаційних циклів | млн | 10 | |
| | Номінальна імпульсна напруга (МЕК/EN 60664-1) | кВ | 4 | |
| Швидкість відклику вмикання вимкнення | | | 10 | |
| | | мс | 5 | |

Кількість входів/виходів вказаних контролерів може становити 10, 12, 20 або 26 залежно від модифікації, а живлення забезпечується напругою 12 В або 24 В DC або 24 В, 127 В, 220 В AC. Напруга живлення, наявність

дисплея на лицевій панелі контролера та функціональних клавiш, наявність аналогових входiв, оснащення його годинником реального часу, картою пам'ятi також визначається його модифiкацiєю. Модифiкацiю контролера зручно вибрати/змiнити пiд час розробки програми його функцiонування.

Важливим етапом втiлення контролерiв в системi управлiння технологiчними процесами є розробка їх програми функцiонування. Вона створюється за допомогою спецiального середовища розробки (*development environment*) вiдповiдно до особливостей технологiчного процесу, вибраного типу базового модуля та модулiв розширення згiдно з необхідною кiлькiстю входiв/виходiв. Тому при проектуваннi таких систем важливо оволодiти методикою розробки програм контролерiв та основними iнструментами середовища розробки (*development environment*).

Розглянемо для прикладу вирiшення задачi позицiйного регулювання технологiчного параметра за допомогою модуля *Zelio Logic*. Об'єктом регулювання є теплообмiнник пункту теплопостачання житлового мiкрорайону, регульований параметр – температура гарячої води на виходi. Схема автоматизацiї такого об'єкта наведена на рис. 3.6, а. Автоматичний регулятор 1-2 повинен додатково виконувати функцiю вiдображення температури та сигналізацiю критичного вiдхилення температури. Температура змiнюється в межах 80...100 °С, задане значення температури складає 90 °С.

Для регулювання температури використати електродвигунний виконавчий механiзм приводу засувки 1-3, розташованої на трубопроводi подачi пари в теплообмiнник. Сформуємо перелiк необхідних елементiв для вирiшення задачi (табл. 9.2) та згiдно з технiчною документацiєю зазначених елементiв системи складаємо схему пiдключення аналогового перетворювача та логiчного модуля до зовнiшнiх пристроїв. Схема наведена на рис. 9.2.

Таблиця 9.2 – Перелiк елементiв системи регулювання температури

| Назва | Тип | Призначення |
|---------------------------|------------------------|--------------------------|
| Датчик температури | Pt100 (0 – 100°C) | вимiрювання температури |
| Перетворювач аналоговий | Zelio Analog RMP T30BD | 0 – 100 Ом / 0 – 10 В |
| Модуль логiчний | Zelio SR3B101BD | 0 – 10 В / 24 В DC |
| Пускач реверсивний | Tesys LC2D12BD | 24 В DC / 380 В AC, 12 А |
| Засувка з електроприводом | Jafar 2911 | регулювання подачi пари |

Наступним кроком є розробка програми управлiння логiчним модулем. Для складання програми використовується середовище *ZelioSoft2*. При розробцi програми слiд враховувати, що аналоговий сигнал з виходу перетворювача 0 – 10 В в програмi контролера перетворюється в значення, що вiдповiдає максимальному сигналу 256 (це обумовлюється розряднiстю

АЦП контролера: для восьмирозрядного каналу АЦП *Zelio Logic* максимальним числом є $2^8 = 256$). Тобто, максимальна вимірювана температура $100\text{ }^\circ\text{C}$ відповідає сигналу на виході перетворювача 10 В , а сигнал відповідає числовому значенню програми 256 . В такому разі для задання граничних меж температури потрібно ввести коефіцієнт, що обчислюватиметься:

$$k = T_{\text{макс. прог}} / T_{\text{макс. вим}} \quad (9.1)$$

$$k = 256 \text{ од.} / 100\text{ }^\circ\text{C} = 2,56 \text{ од.} / \text{ }^\circ\text{C}.$$

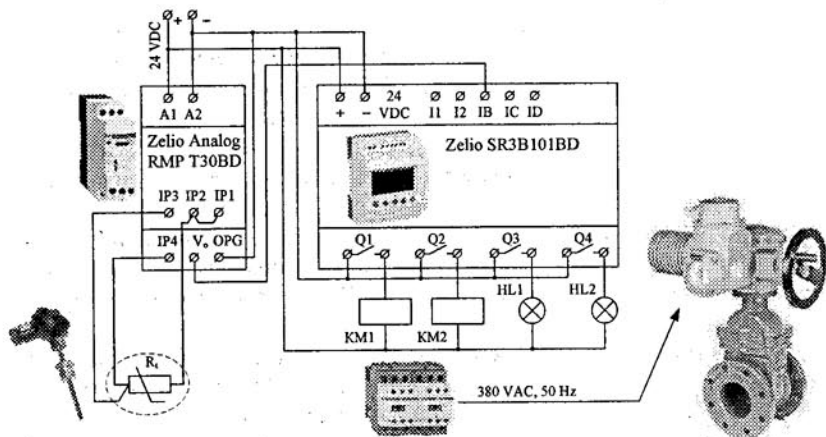


Рисунок 9.2 – Схема системи регулювання температури із застосуванням логічного модуля *Zelio*

Тоді граничні значення температури в програмі відповідатимуть:

$$T_{\text{ниж.прог}} = T_{\text{ниж.вим}} \cdot k = 80 \cdot 2,56 = 204,8 \text{ (од.)}$$

$$T_{\text{верх.прог}} = T_{\text{верх.вим}} \cdot k = 100 \cdot 2,56 = 256 \text{ (од.)}$$

Розроблена програма мовою FBD наведена на рис. 9.3. Округлені задані значення верхньої та нижньої межі регулювання задаються в програмі в блоках констант *B05* та *B06*. Компаратори *B03* та *B07* налаштовані на спрацювання відповідно при виході вимірюваного параметра відповідно за верхню та нижню межі регулювання. Активний вихід відповідного компаратора потрапляє на вихід *Q1* або *Q2* через пульсуючі таймери (*timer*) *B01* та *B02*. Це необхідно для запобігання

перерегулювань в системі і поступового переміщення виконавчого механізму з кожним наступним імпульсом. Тривалість імпульсу таймерів вибирається близько 1 с, а тривалість паузи – 2...3 с, протягом якої очікується встановлення рівноваги. Відображення поточного значення температури на передній панелі модуля (рис. 9.3) відбувається за допомогою блока текстового повідомлення B04. Для приведення значення виміряного параметра в програмі до технологічних одиниць потрібно це значення ділити на коефіцієнт k (9.1). Операції з дробовими числами (з плаваючою десятковою точкою) модуль не підтримує, тому для узгодження використовується блок множення/ділення B13. На вхід вказаного блока надходить значення вимірюваного параметра, воно множиться на 100 і ділиться на 256, чим досягається ділення на коефіцієнт $k \approx 2,56$.

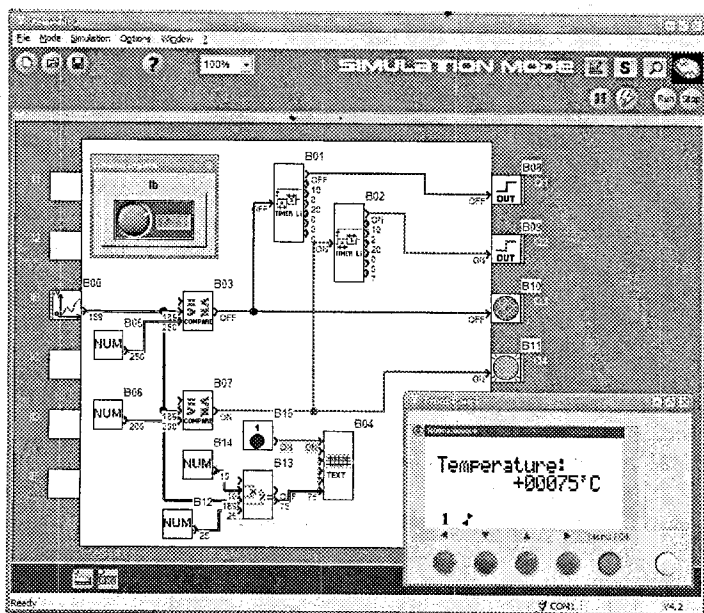


Рисунок 9.3 – Програма логічного модуля Zelio (FBD) для регулювання температури

Контрольні запитання

- Наведіть функціональну схему одноконтурної системи регулювання з використанням логічних модулів. Які виконавчі механізми можна застосовувати в парі з ними? Відповідь обґрунтуйте.

- Назвіть основні параметри програмованих логічних модулів, які впливають на їх вибір при розробці систем автоматизації.
- Поясніть роботу принципової схеми регулювання технологічного параметра з програмованим модулем *Zelio*.
- Які етапи розробки програми логічних модулів та задачі, що на них вирішуються?
- Які існують способи корекції задання системи регулювання з програмованими логічними модулями? Поясніть їх переваги та недоліки.
- Розробіть програму логічного модуля *Zelio* для каскадної системи регулювання.

10 ПРОГРАМОВАНІ ЛОГІЧНІ КОНТРОЛЕРИ

Програмований логічний контролер (ПЛК) або програмований контролер – спеціалізований цифровий комп'ютер, використовуваний для автоматизації технологічних процесів. На відміну від комп'ютерів загального призначення, ПЛК мають розвинені пристрої введення-виведення сигналів датчиків і виконавчих механізмів, пристосовані для тривалої роботи без серйозного обслуговування, а також для роботи у несприятливих умовах навколишнього середовища. ПЛК є пристроями реального часу.

Приклад застосування ПЛК та зображення його на схемах автоматизації наведено на рис. 10.1.

Перші логічні контролери з'явилися у вигляді шаф з набором сполучених між собою реле і контактів. Ця схема задавалася жорстко на етапі проектування і не могла бути змінена далі.

В ПЛК, що прийшли на заміну релейно-контакторним схемам, логіка з'єднань програмувалася схемою з'єднань LD (*Ladder logic Diagram*). Пристрій мав той же принцип роботи, але реле і контакти (окрім вхідних і вихідних) були віртуальними, тобто існували у вигляді програми мікроконтролера.

У системах управління технологічними об'єктами логічні команди переважають над числовими операціями, тому за цими процесорами залишається назва ПЛК. У сучасних логічних контролерах числові операції реалізуються на одному рівні з логічними, але в більшості випадків в управлінні все-таки переважають логічні команди. У програмованих логічних контролерах забезпечується доступ до окремих бітів пам'яті, тоді як більшість процесорів і комп'ютерів забезпечують тільки одно-, дво- або чотирибайтову адресацію.

виведення, підключені до датчиків і виконавчих пристроїв окремими проводами), або за методом розподіленої периферії (віддалені від ПЛК датчики і виконавчі пристрої пов'язані з комунікаційними портами ПЛК через промислову мережу стандарту RS-422, RS485, TCP/IP тощо).

Для програмування ПЛК відповідно до стандарту MEK 61131-3 використовується п'ять мов програмування. *Ladder Diagram* (діаграма крокової логіки) у графічному вигляді являє собою алгоритм вирішення логічних задач. Це одна з перших мов програмування контролерів (у вітчизняній техніці аналогом LD є мова релейно-контактних схем), інтуїтивно зрозуміла і розрахована на вирішення завдань послідовного управління. Але було б неправильно вважати, що цю мову можна використовувати тільки при заміні відомого релейно-контактного варіанта схеми управління. Це графічне зображення логіко-командного управління, яке може зустрітись при описі будь-якого алгоритму управління. Крім того, широке використання функціональних блоків з бібліотеки алгоритмів (таймерів, лічильників, регістрів, блоків порівняння, обчислювальних блоків, ПІД-регуляторів та ін.) дозволяє розв'язувати й інші завдання. Приклад програми, розроблених мовами стандарту MEK 61131-3 наведено на рис. 10.2.

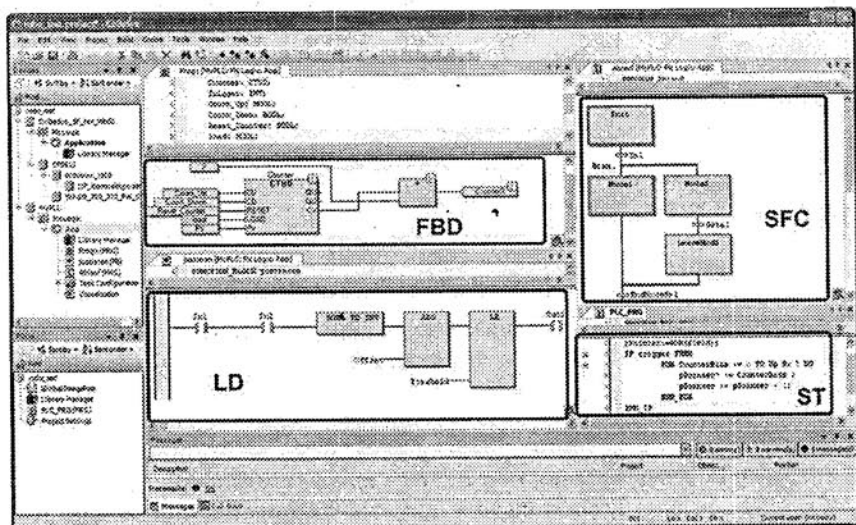


Рисунок 10.2 – Мови програмування MEK 61131-3 в ICP CoDeSys

Мова *Instruction List* (мова інструкцій) за функціональними можливостями адекватна LD. Схожа на асемблер, ця мова є більш звичною для професійних програмістів і є зручнішою при програмуванні складних

розрахунків. *Structured Text* (структурований текст) є паскалеподібною мовою, яка дозволяє реалізувати складні алгоритми з програмуванням умов переходів, різноманітних циклів, спеціальних математичних функцій і т. д. Мова *Grafset* або *SFC* (*sequential function chart*) являє собою функціональні діаграми, за допомогою яких у графічній формі зображується виконання алгоритму управління об'єктом у вигляді послідовних кроків. Сама діаграма "*Grafset*" – це набір графічних елементів з певними правилами модифікації, які визначають поведінку системи. Мова *Function Block Diagram* (діаграма функціональних блоків) дозволяє створювати програму управління за допомогою функціональних блоків у вигляді схемотехнічного рішення задачі.

Структурна схема одного з «класичних» ПЛК *Twido* (*Schneider Electric*) наведена на рис. 10.3.

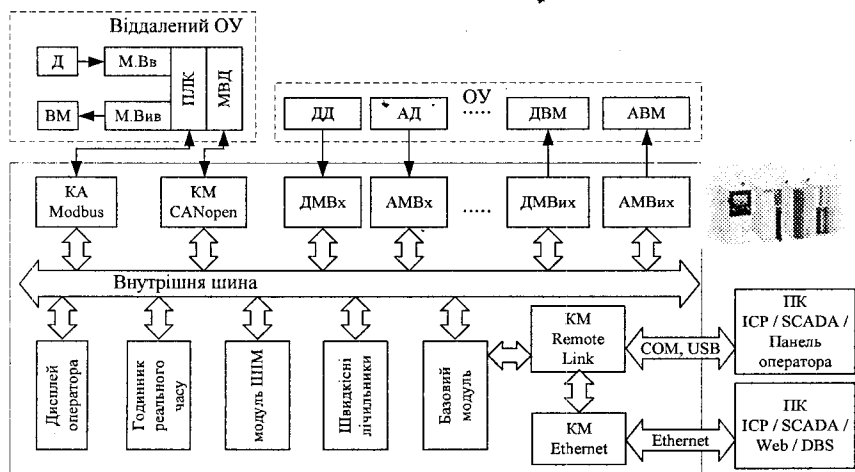


Рисунок 10.3 – Структурна схема ПЛК *Twido*

В схемі на рис. 10.3: ОУ – об'єкт управління (технологічний процес в одному або кількох агрегатах); ДД, АД – дискретні та аналогові датчики технологічних параметрів, відповідно; ДМВх, АМВх – дискретні та аналогові модулі входів ПЛК, відповідно; МДВх, АМВх – модулі дискретних та аналогових виходів, відповідно; КМ – комунікаційні модулі та адаптери для з'єднання ПЛК з промисловими мережами (*Modbus*, *CANopen*, *Fipio*, *Profibus* тощо); модуль ШІМ – широтноімпульсний модулятор ПЛК, зв'язаний на апаратному рівні з дискретними виходами Q0.0 та Q0.1; ПК ICP – персональний комп'ютер з інсталюваним інтегрованим середовищем розробки (*TwidoSoft*, *TwidoSuite*); МВД –

модуль віддаленого доступу до змінних підпорядкованого ПЛК, з'єднаного з головним ПЛК промисловою мережею.

В ICP при створенні програми управління важливу роль відіграє етап конфігурації ПЛК з його модулями входів/виходів, комунікаційними розширеннями і т. д. На рис. 10.4 наведено вікно ICP *TwidoSoft* з розробленою програмою мовою *LD* [9].

Створення конфігурації апаратної частини проекту з ПЛК доступне за допомогою браузера апаратної та програмної частини проекту у лівій частині вікна ICP. У правій частині – основне поле написання програми.

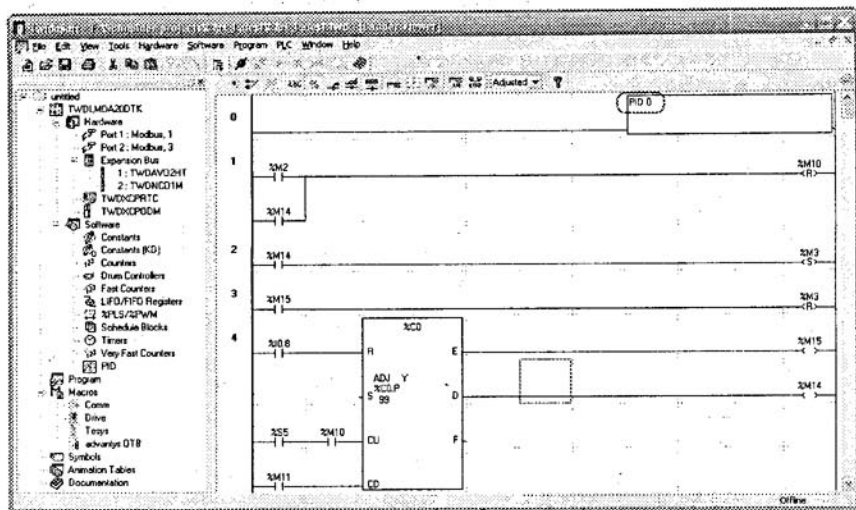


Рисунок 10.4 – Вікно інтегрованого середовища розробки TwidoSoft

Задачі стабілізації технологічних параметрів, їх програмного або каскадного регулювання легко вирішуються у ПЛК шляхом використання вбудованих функцій ПІД-регуляторів (*PID*), що замінюють звичайні одноканальні універсальні регулятори (див. п. 6). Розглянемо детально створення та налаштування вказаної функції в ICP *Twidosoft*.

Для активації функції *PID* потрібно вставити її у вікні новоствореної програми у вигляді функціонального блока *Operate Block* за зразком, наведеним на рис. 10.4 у першому рядку програми. Всього в одному ПЛК вказаного типу можна використовувати до 14 ПІД-регуляторів, тобто один ПЛК цілком може замінити 14 одноканальних регуляторів. Після активації функції ПІД-регулятора її слід налаштувати, задаючи змінні *Setpoint* та *Measure*, коефіцієнти підсилення пропорційної, інтегральної та диференціальної складових (K_p , T_i , T_d), вихідний канал (*Output*).

Налаштування зазначеного в програмі ПЛК ПІД-регулятора (на рис. 10.4 – PID 0) здійснюється шляхом виклику з браузера ІСР вікна конфігурації ПІД-регуляторів: *Software* → *PID* (рис. 10.5).

В полі *PID Number* вказується номер ПІД-регулятора, зазначеного у програмі (якщо у програмі використовується *PID 0*, то *PID Number: 0*). Для активації налаштувань ставиться позначка *Configured*.

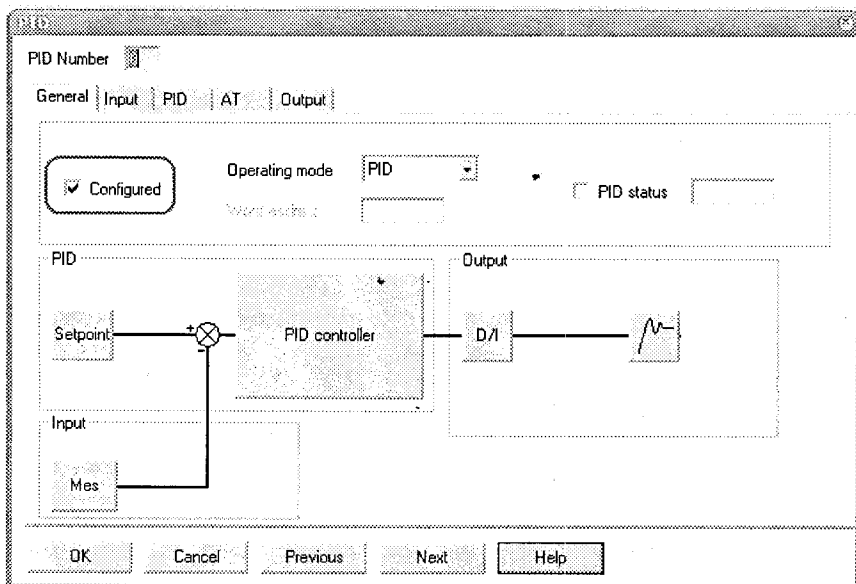


Рисунок 10.5 – Вікно налаштування функції ПІД-регулятора

Для подальшої конфігурації вибирається вкладка *Input* (рис. 10.6)

В полі *Measure* записується адреса аналогового входу ПЛК (*%IWx* – *input word* з адресою *x*), або внутрішнього регістра пам'яті (*%MWx* – *memory word* з адресою *x*). Символ «%» є символом операнда програми ПЛК. Якщо потрібно здійснити масштабування значення вхідного каналу *Measure*, то встановлюється позначка *Conversion*, що дозволяє провести лінійну конверсію значення входу в діапазоні від 0 до 10 у значення, що заповнені у полях *Min* та *Max* (в межах $-32768 \dots 32767$). Позначка *Alarms Authorize* дозволяє налаштувати роботу ПЛК при виході вимірюваного параметра за значення, що відповідають нижній *Low* та верхній *High* граничним межах (значення вказуються у відповідних полях). Виходи нижньої та верхньої тривоги для замикання кіл сигналізації

(світлової чи звукової) записуються як дискретні виходи ПЛК (на рис. 10.6 вихід при нижній тривозі %Q0.1, а при верхній – %Q0.2).

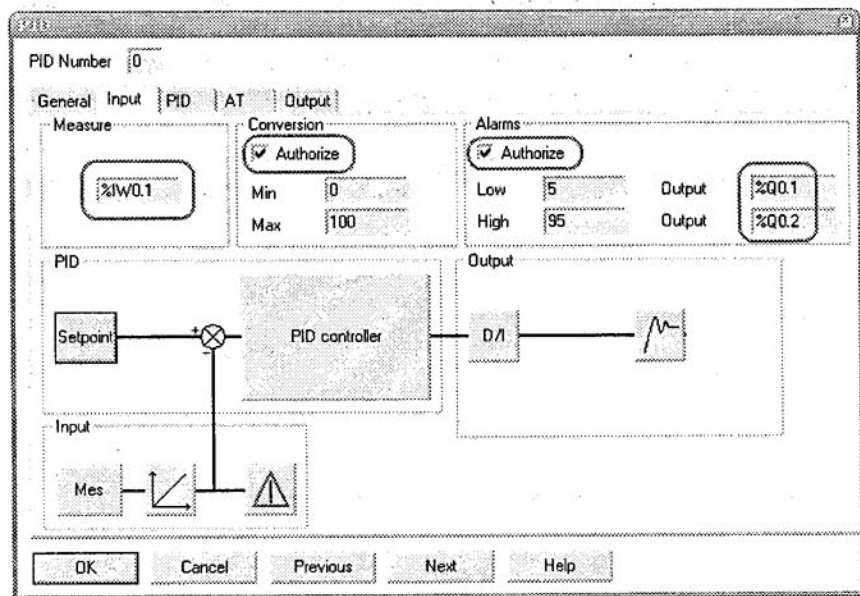


Рисунок 10.6 – Вкладка *Input* вікна налаштування функції ПІД-регулятора

Налаштування каналу задання та параметрів регулятора проводиться у вкладці *PID* (рис. 10.7).

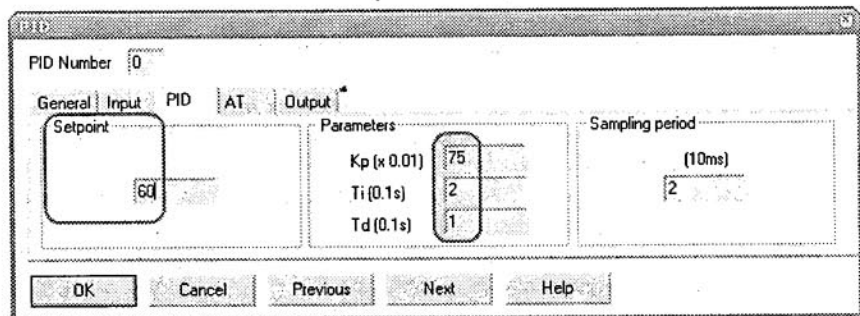


Рисунок 10.7 – Вкладка *PID* вікна налаштування функції ПІД-регулятора

Поле задання *Setpoint* може бути числовим або адресним. Якщо введена константа, то вона буде служити як завдання для конфігурованого ПІД-регулятора, якщо ж вводиться операнд та адреса внутрішнього

регістра-слова $%MWx$ або аналогового входу $%IWx$, то в процесі роботи ПЛК можна змінити значення задання. Останній випадок є більш практичним, оскільки дозволяє здійснити корекцію задання за допомогою панелі оператора або системи SCADA, побудувати програмну, слідуєчу або каскадну систему регулювання без необхідності додаткового прошивання ПЛК програмою з новим заданим значенням.

Налаштування виходу регулятора забезпечується заповненням полів у вкладці *Output* (рис. 10.8). Поле *Action* забезпечує вибір напрямку вихідного сигналу при виникаючому розузгодженні входу зворотного зв'язку *Measure* з входом задання *Setpoint*. Якщо різниця додатна (завдання більше за фактичне значення регульованого параметра) і для компенсації збурення потрібно, щоб сигнал на виході регулятора збільшувався в додатному напрямку, то вибирається дія *Action: Direct* (наприклад, регулюється температура і регульовальна дія – нагрівання). Якщо ж різниця від'ємна (завдання менше за фактичне значення регульованого параметра), але для компенсації відхилення необхідно, щоб сигнал на виході регулятора також збільшувався в додатному напрямку, то вибирається дія *Action: Reverse* (наприклад, регулюється температура і регульовальна дія – охолодження).

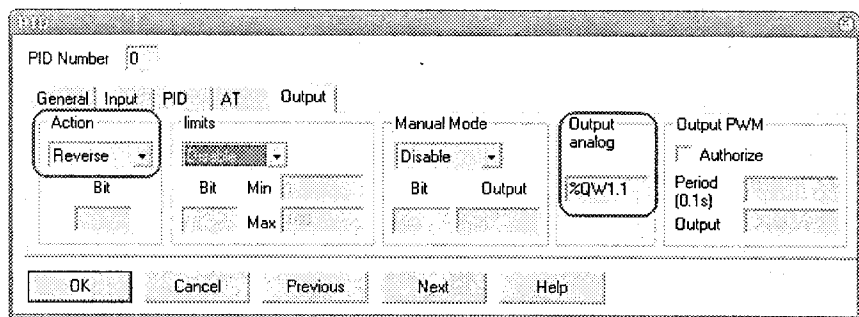


Рисунок 10.8 – Вкладка *Output* вікна налаштування функції ПІД-регулятора

Частіше в практиці налаштування ПІД-регуляторів використовується перший випадок, а при необхідності формування зворотного регульовального впливу змінюють напрямок руху виконавчого механізму на відпрацювання команд «більше/менше».

Поле *Limits* при його активації (*Enable*) дозволяє встановити обмеження вихідного сигналу ПІД-регулятора. Якщо цей параметр неактивний (*Disable*), то межі вихідного сигналу – від 1 до 10000. Якщо завдання відповідає фактичному значенню регульованого параметра, то вихідний сигнал регулятора складає 5000. Для двополярних аналогових

виконавчих механізмів таке налаштування слід змінити, виставивши нижню межу від'ємною: від'ємне значення нижньої межі записується як числова константа програми, наприклад $\%KW0$, а потім ця адреса вказується в полі мінімальної межі. Це пов'язано з тим, що введене числове значення менше або рівне 0 в дане поле буде викликати помилку.

Вкладка *AT (auto-tuning: inhibit)* вибраного ПІД-регулятора дозволяє провести автоматичне настроювання параметрів регулятора відповідно до заданого діапазону зміни вхідного сигналу та вихідного завдання. Для активації функції *AT* слід при конфігурації ПІД-регулятора вибирати робочий режим не просто *PID*, а *PID+AT*. Сталі часу та коефіцієнт передачі регулятора записуються не числовими значеннями, а у вигляді змінних програми $\%MWx$. *AT limit* – поле, де вказується числове значення або адреса регістра, де воно зберігається, верхньої межі вимірюваного параметра. *AT Output* – це значення приросту виходу власне ПІД-регулятора з автоналаштуванням, вихідний сигнал змінюється в процесі визначення оптимальних значень параметрів регулятора з приростом, що відповідає числовому значенню *AT Output*, або константі, адреса якої введена у це поле.

Якщо синтаксис налаштування функції *PID* не порушений, то при збереженні програми ПЛК формується таблиця налаштувань ПІД-регуляторів, приклад якої наведено на рис. 10.9.

PID 0: configured

| GENERAL | | |
|--------------------------|--------------|------------------|
| Operating mode: PID | | |
| PID Status: Inhibit | | |
| INPUT | | |
| Current value: $\%IW1.0$ | | |
| Conversion: Inhibit | Min: | Max: |
| Alarms: Allow | Low: 5 | Output: $\%Q0.7$ |
| | High: 95 | Output: $\%Q0.8$ |
| PID | | |
| Setpoint: 0 | | |
| Kp: $\%KW0$ | Ti: 0 | Td: 10 |
| Sampling period: 20 | | |
| AT | | |
| AT mode: Inhibit | Limit: | Output: |
| OUTPUT | | |
| Action: Invert | | |
| Thresholds: Allow | Min: $\%KW2$ | Max: $\%KW3$ |
| Manual mode: Inhibit | Output: | |
| Digital output: $\%MW10$ | | |
| PWM: Inhibit | Period: | Output: |

Рисунок 10.9 – Зведена таблиця налаштувань функції *PID*

Контрольні запитання



- Наведіть функціональну схему системи автоматизації з програмованими логічними контролерами. Які датчики та виконавчі механізми можна застосовувати в парі з ними? Відповідь обґрунтуйте.
- Назвіть основні параметри програмованих логічних контролерів, які впливають на їх вибір при розробці систем автоматизації.
- Поясніть призначення елементів структурної схеми типового ПЛК на прикладі контролерів Twido.
- Що називається інтегрованим середовищем розробки систем автоматизації? Які задачі виконуються в такому середовищі. Наведіть приклад реалізації ICP.
- Наведіть структурну схему одноконтурного ПІД-регулятора із зазначенням внутрішніх реєстрів ПЛК. Які параметри налаштування мають контури ПІД-регуляторів, організовані програмою ПЛК, які способи корекції задання існують в таких контурах?
- Наведіть структурну схему системи каскадного ПІ-ПІД-регулятора із зазначенням внутрішніх реєстрів ПЛК. Поясніть її роботу.
- Опишіть додаткові функції ПІД-регулятора в програмі ПЛК, такі як тривоги, автотюнінг, широтно-імпульсне регулювання, масштабування сигналу, інвертування вихідного сигналу. Поясніть випадки їх застосування.

11 ЛЮДИНО-МАШИННИЙ ІНТЕРФЕЙС НА БУКВЕНО-ЦИФРОВИХ ПАНЕЛЯХ ОПЕРАТОРА

Панелі *Magelis XBT N/R* (рис. 11.1) марки *Telemecanique (Schneider Electric, Франція)* дозволяють оптимізувати інтерфейсні рішення для простих машин і установок в промислових, будівельних і інфраструктурних застосуваннях. Завдяки ергономічному і компактному виконанню пристрої цієї серії поєднують в собі малі габарити і добру функціональність (до 20 функціональних клавіш) [10].

Матричний дисплей на чотири рядки тексту відображає повідомлення так, що їх легко прочитати. Термінал *XBT N/R* може підключатися через інтерфейс *Modbus* або *Uni-Telway* до всіх контролерів сімейства *Modicon (Twido, TSX Micro, Premium, Momentum і Quantum)*, а також до перетворювачів частоти *Altivar* і пускачів *TeSysU*. Його легко встановити, оскільки для цього він не потребує ніяких спеціальних інструментів. Крім того, програмне забезпечення (*software*) *Vijeo Designer Lite* (на заміну

XBT L1000) робить конфігурацію терміналу простим, що дозволяє легко інтегрувати його в складну архітектуру для виконання дистанційних функцій в максимальній близькості до машини або установки.

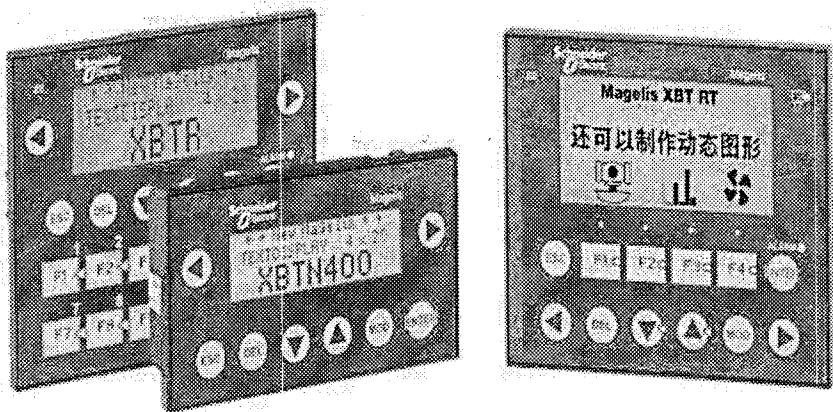


Рисунок 11.1 – Панелі оператора Magelis XBT N/R

Термінали *Magelis* серії *XBT N/R* відображають текст на матричному екрані заввишки від 1 до 4 рядків і завдовжки від 5 до 20 символів. Задне підсвічування екрана (монохромне або триколірне, залежно від моделі) дозволяє легко читати текст повідомлень і сигналів. Навігація і введення даних забезпечуються за допомогою 20 кнопок на лицьовій панелі: 12 статичних функціональних кнопок для управління машиною. Ці кнопки можна переключити на цифрове введення за допомогою кнопки режиму ("MOD"), крім того в наявності терміналів є дві динамічні функціональні кнопки (переходу між екранами) та шість службових кнопок (прокручування повідомлень, вибору режиму, доступу до меню, службових сторінок і ін.). Статичні функціональні кнопки можна адаптувати до конкретних потреб за допомогою етикеток багаторазового використання.

Панелі *XBT N* і *XBT R/RT* сполучаються з ПЛК через інтегрований послідовний порт *RS 232* в режимі "точка – точка" (рис. 11.2), або багатоточковому режимі за стандартом *RS485* (рис. 11.3) залежно від моделі. В дворівневій мережі головним (ведучим) пристроєм *Master* завжди є панель оператора, ПЛК тоді відносно неї виступає як підпорядкований пристрій (*Slave*), який повинен мати мережеву адресу. Якщо розробляється багаторівнева (наприклад, трирівнева) структура системи автоматизації, то панель оператора (*Master*) підключається до одного порту ПЛК і реалізує найвищий рівень управління, ПЛК є середнім рівнем, а найнижчий рівень складають підключені до мережі

виконавчі пристрої: інші ПЛК, перетворювачі частоти, інтелектуальні реле, пускачі тощо. Для пристроїв найнижчого рівня ведучим пристроєм є сам ПЛК, тому вони повинні підключатися не до того ж порту, що задіяний для обміну даними з панеллю, а до іншого порту ПЛК.

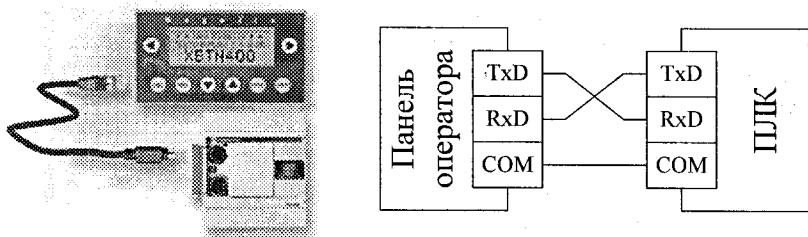


Рисунок 11.2 – Підключення панелі оператора до ПЛК в режимі точка – точка (RS232)

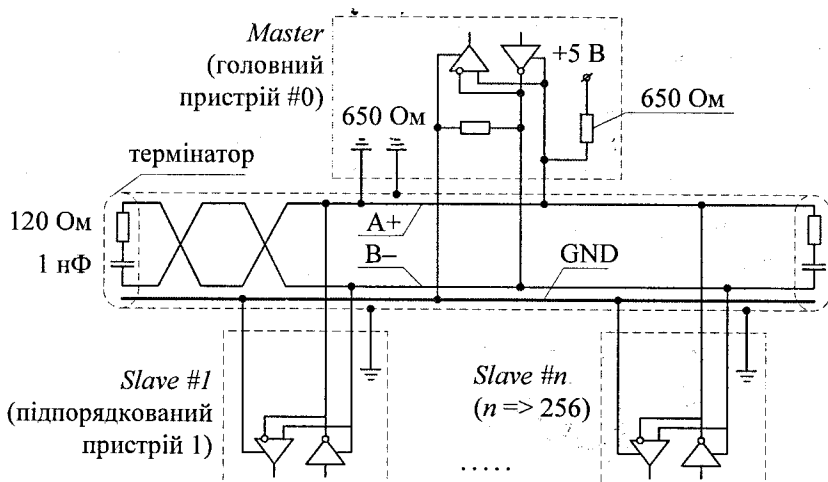


Рисунок 11.3 – Схема підключення пристроїв в мережу в багатоточковому режимі (RS485)

При розробці мереж телемеханіки, що базуються на використанні протоколу Modbus, найбільш часто використовується режим трансляції RTU (Remote Terminal Unit). У RTU режимі повідомлення повинне починатися і закінчуватися інтервалом паузи — часом передачі не менше 3,5 символу при заданій швидкості в мережі. Першим полем потім передається адреса пристрою (рис. 11.4), потім слідує код запиту, передача

даних, завершується передача повідомлення циклічною контрольною сумою бітів коду *CRC16*.

Услід за останнім переданим символом також слідує інтервал паузи тривалістю не менше 3,5 символу. Нове повідомлення може починатися після цього інтервалу. Фрейм повідомлення передається безперервно. Якщо інтервал тиші тривалістю 1,5 символу виник під час передачі фрейма, то пристрій повинен ігнорувати цей фрейм як неповний. Таким чином, нове повідомлення повинне починатися не раніше 3,5 інтервалу, оскільки в цьому випадку встановлюється помилка.

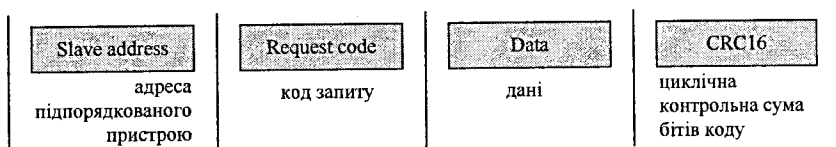


Рисунок 11.4 – Структура фрейма передачі даних мережі *Modbus RTU*

Дані у фреймі передаються у вигляді двійкового коду. В даний момент часу повідомлення може надсилатися тільки до (від) одного пристрою *Slave*. Управління фреймами здійснює тільки програма ведучого пристрою *Master* (рис. 11.5), якщо ведений пристрій не був опитаний, то надіслані від нього дані ігноруються. У випадку некоректної відповіді від підпорядкованого пристрою *Slave* (у випадку завад, пошкодження мережі), ведучий пристрій *Master* повторює код запиту в межах наданого періоду часу. Прямий обмін даними між підпорядкованими пристроями виключається.

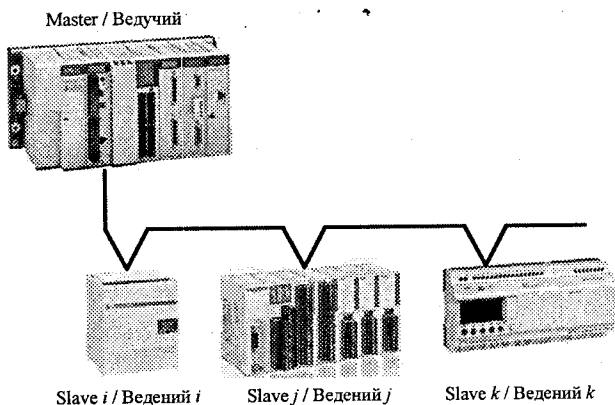


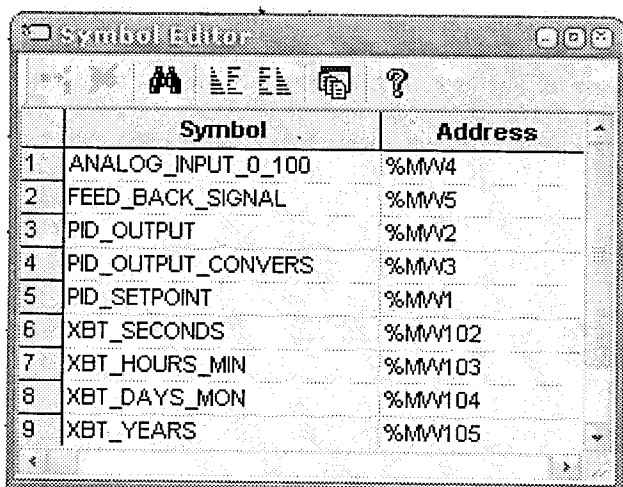
Рисунок 11.5 – Приклад мережі *Modbus RTU* типу *Master – Slave* (Ведучий-ведений)

Розглянемо приклад побудови людино-машинного інтерфейсу для одноконтурної системи стабілізації технологічного параметра з використанням ПЛК *Twido* та панелі оператора *XBT-R410*. За прикладом в п. 10 розробляємо та налаштуємо програму ПЛК.

Програма ПЛК (мовою *List instruction*):

```
LD 1
1 [ PID 0 ]
LD 1
2 [ %MW4 := %IW0.0.1 / 5 ]
3 [ %MW3 := %MW2 - 5000 ]
LD 1
4 [ %MW5 := %MW3 + %MW4 ]
LD 1
5 [ %MW102 := %SW50 ]
6 [ %MW103 := %SW51 ]
7 [ %MW104 := %SW52 ]
8 [ %MW105 := %SW53 ]
```

Для зручності читання програми налагоджуємо таблицю символічних позначень змінних ПЛК (рис. 11.6).



The image shows a window titled "Symbol Editor" with a toolbar and a table. The table has two columns: "Symbol" and "Address". It contains 9 rows of data, numbered 1 to 9 in the first column.

| | Symbol | Address |
|---|--------------------|---------|
| 1 | ANALOG_INPUT_0_100 | %MW4 |
| 2 | FEED_BACK_SIGNAL | %MW5 |
| 3 | PID_OUTPUT | %MW2 |
| 4 | PID_OUTPUT_CONVERS | %MW3 |
| 5 | PID_SETPOINT | %MW1 |
| 6 | XBT_SECONDS | %MW102 |
| 7 | XBT_HOURS_MIN | %MW103 |
| 8 | XBT_DAYS_MON | %MW104 |
| 9 | XBT_YEARS | %MW105 |

Рисунок 11.6 – Вікно таблиці символів програми ПЛК

Параметри ПІД-регулятора налаштовуються за зразком, наведеним нижче:

| PID 0 : configured | | | |
|-----------------------|--|-----------|----------------|
| -----GENERAL----- | | | |
| Operating mode : PID | | | |
| PID Status : Inhibit | | | |
| -----INPUT----- | | | |
| Current value : %MW5 | | | |
| Conversion : Inhibit | | | |
| Alarms : Allow | | Min : | Max : |
| | | Low : 10 | Output : %Q0.1 |
| | | High : 90 | Output : %Q0.2 |
| -----PID----- | | | |
| Setpoint : %MW1 | | | |
| Kp : 50 | | Ti : 10 | Td : 0 |
| Sampling period : 2 | | | |
| -----AT----- | | | |
| AT mode : Inhibit | | Limit : | Output : |
| -----OUTPUT----- | | | |
| Action : Invert | | Min : | Max : |
| Thresholds : Inhibit | | Output : | |
| Manual mode : Inhibit | | | |
| Digital output : %MW2 | | | |
| PWM : Inhibit | | Period : | Output : |

В програмі ПЛК значення регістрів (слів) %MW102...%MW105 передаються в панель оператора як параметри встановлення часу на дисплеї (%MW102 – секунди, %MW103 – години та хвилини, %MW104 – день та місяць, %MW105 – рік).

Структура системи регулювання, що описана в програмі така:

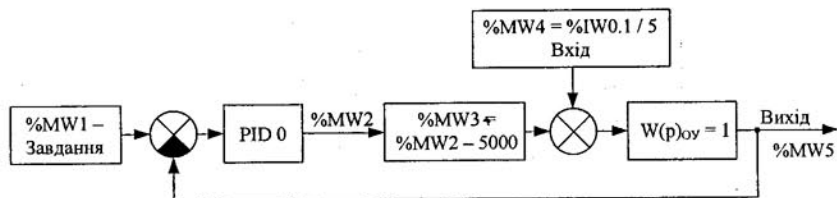


Рисунок 11.7 – Структура системи регулювання з ПЛК та панеллю оператора

Конфігурація панелі оператора відбувається в декілька етапів:

- створення проекту в середовищі розробки *XBTL-1000* або *Vije Designer Lite*;
- відлагоджування проекту шляхом симуляції;
- завантаження проекту в панель оператора.

Розглянемо перші два етапи з використанням середовища *XBTL-1000*.

1. Вибираємо необхідну модифікацію панелі оператора та налаштовуємо протокол зв'язку з ПЛК (рис. 11.8). Позначка

IEC61131 Syntax ставиться для зручності налаштування полів панелі відповідно до адрес регістрів ПЛК, а не їх машинних кодів.

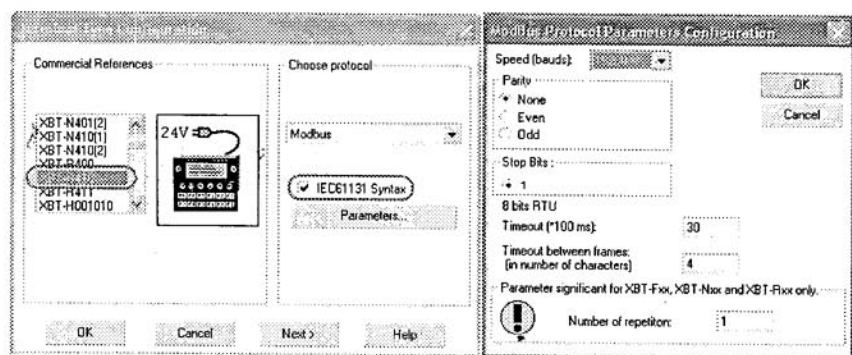


Рисунок 11.8 – Вікно вибору модифікації панелі та протоколу зв'язку з ПЛК

2. Налаштовуємо назву та мережеву адресу підпорядкованого ПЛК (рис. 11.9)

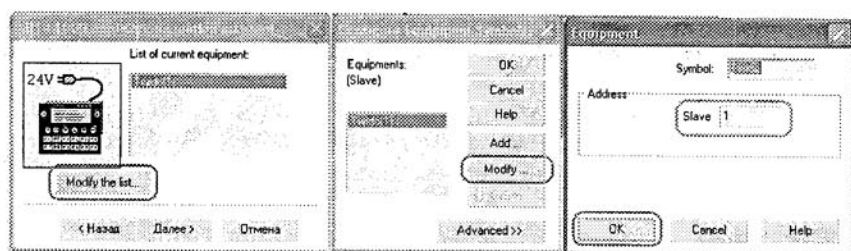


Рисунок 11.9 – Вікно налаштування списку підпорядкованих пристроїв

3. Налаштовуємо мову діалогу проекту з оператором та відображення часу/дати (рис. 11.10). При необхідності захистити проект від несанкціонованого форматування в цьому ж вікні можна задати пароль доступу. Далі для налаштування стандартних функцій панелі оператора переходять до вікна діалогової таблиці, доступ до якого здійснюється натисненням кнопки *Dialogue Table / Configuration*. Вікно таблиці наведено на рис. 11.11.

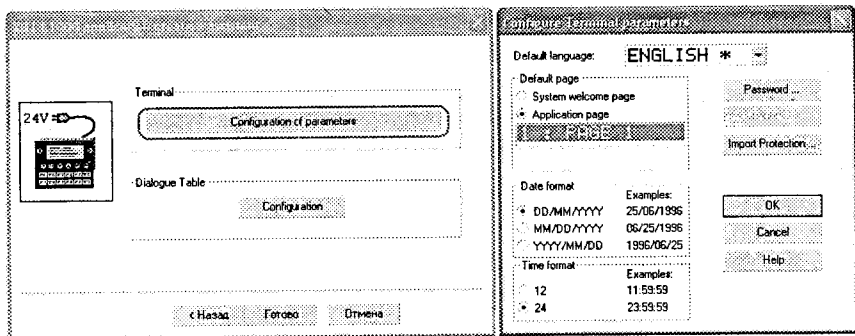


Рисунок 11.10 – Налаштування мови діалогу проекту та часу / дати

В діалоговій таблиці встановлюється базова адреса регістра ПЛК (на рис. 11.11 – *Base address: %MW100*). Передача даних між ПЛК та панеллю оператора відбувається шляхом обміну словами, що відповідають за вибрану функцію. Вибрані функції доступні в колонці *Function selected*, їм відповідає певне слово (або сукупність слів), адреса якого встановлюється відносно базової. Для вибраної функції вказується напрямок передачі слова: від ПЛК до панелі (*XBT←PLC*) або від панелі до ПЛК (*XBT→PLC*).

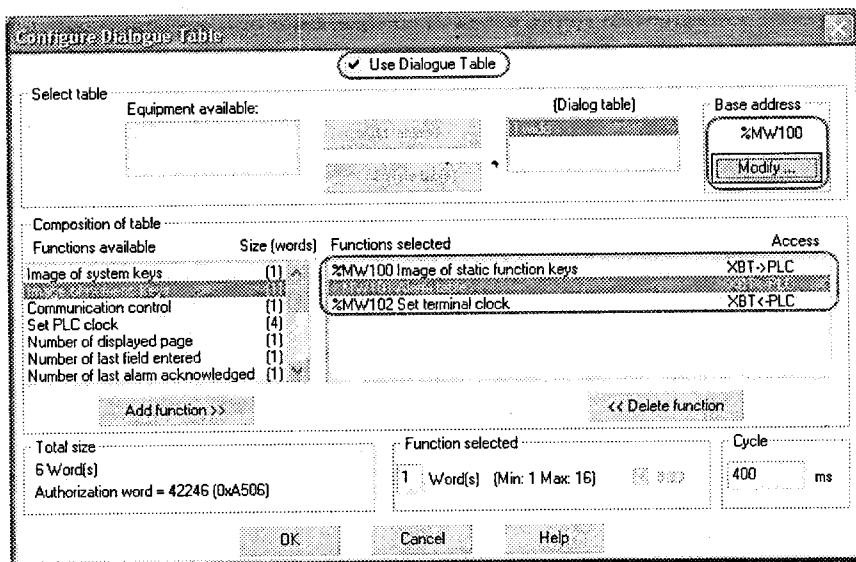


Рисунок 11.11 – Діалогова таблиця проекту

Наприклад, передача часу / дати до панелі від програми ПЛК можлива при вибраній функції *Set terminal clock*, розмір функції обмежується 4 словами з початковою адресою *%MW102*. Функція *Image of static function keys* передається панелі до ПЛК у вигляді слова *%MW100*. Кожен біт цього слова відповідає за стан відповідної функціональної кнопки від *F1* до *F12* на панелі оператора і це стан бітів цього слова можна використовувати в програмі ПЛК для виконання потрібних логічних операцій (включення виходу, обнулення таймера, виконання підпрограми і т. д.). Параметри налаштування функціональних кнопок вказуються у відповідному вікні *Configurations / Function keys* (рис. 11.12).

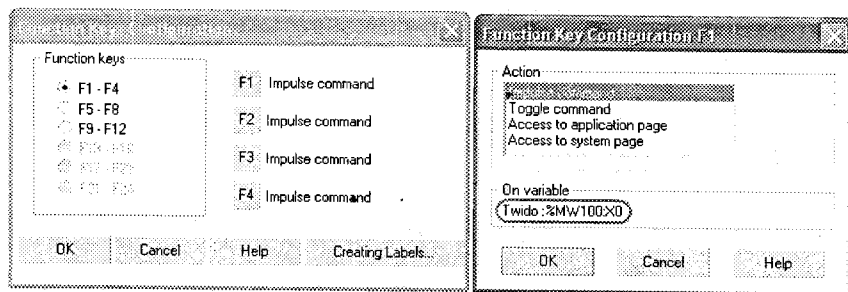


Рисунок 11.12 – Вікно налаштування функціональних кнопок

В вікні вказується дія (*action*) при натисненні функціональної кнопки:

- *Impulse command* – встановлення біта слова програми ПЛК, що відповідає функціональній кнопці в лог. 1, поки кнопка натиснена;
- *Toggle command* – по чергове встановлення біта програми ПЛК, перше натиснення – встановлення в лог. 1, друге натиснення – скид в лог. 0;
- *Access to application page* – перехід до вибраної сторінки проекту;
- *Access to system page* – перехід до вибраної службової сторінки (меню, список тривоги, дата/час, пароль, установлення часу і т. д.).

4. В готовому до формування проекті формуємо текстові написи (рис. 11.13), а також виділяємо три поля для відображення / введення параметрів слів обміну. Нижнє поле заповнимо на всю ширину текстом з автоматичним прокручуванням. Вікно налаштування тексту з прокручуванням наведено на рис. 11.13.

Поле змінної вводиться після виділення певної кількості комірок та виконання команди *Edit / Insert field*. Після цього відкривається вікно налаштування поля змінної (рис. 11.14). До параметрів налаштування відноситься адреса змінної в програмі ПЛК, довжина поля в комірках дисплея, розмір символів, доступ (читання, запис, читання-запис), знак змінної, арифметична обробка відображуваного значення і т. д.

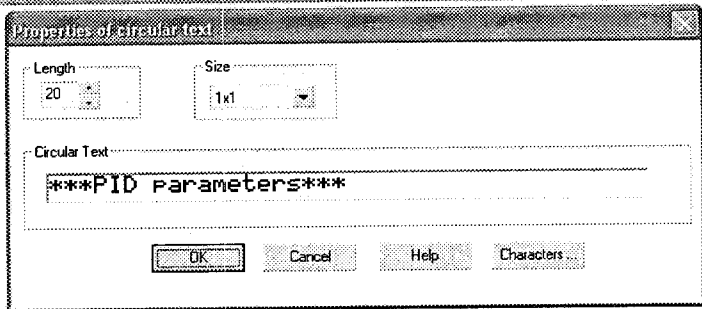
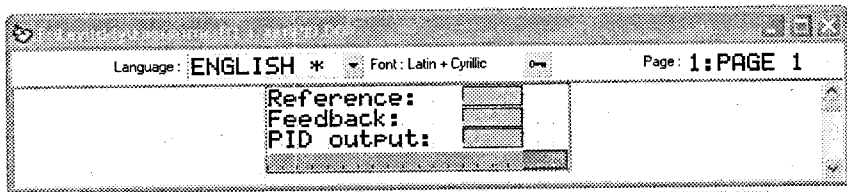


Рисунок 11.13 – Основне вікно проекту з налаштуванням тексту з прокручуванням

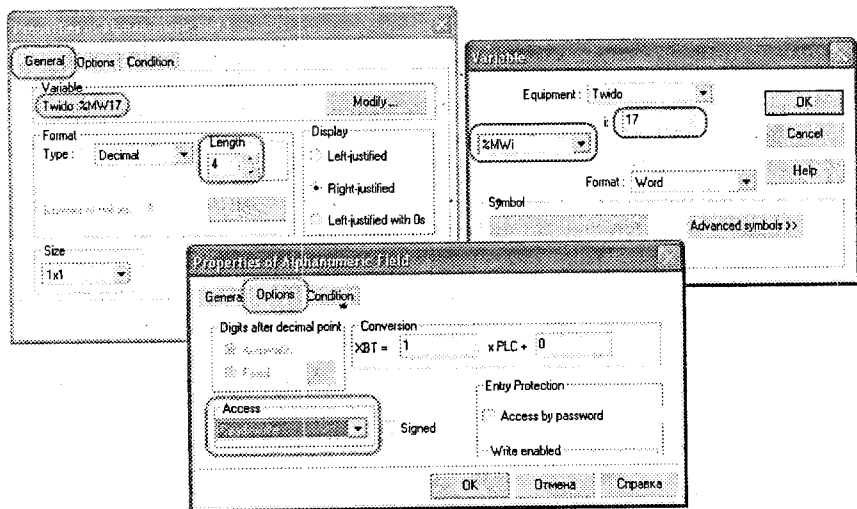


Рисунок 11.14 – Вікна налаштування поля змінної

Після завершення конфігурації всіх полів проект зберігається і за допомогою вікна симуляції (рис. 11.15) можна перевірити коректність

роботи створеного проекту, задаючи числові значення змінних як з панелі, так і з вікна змінних ПЛК.

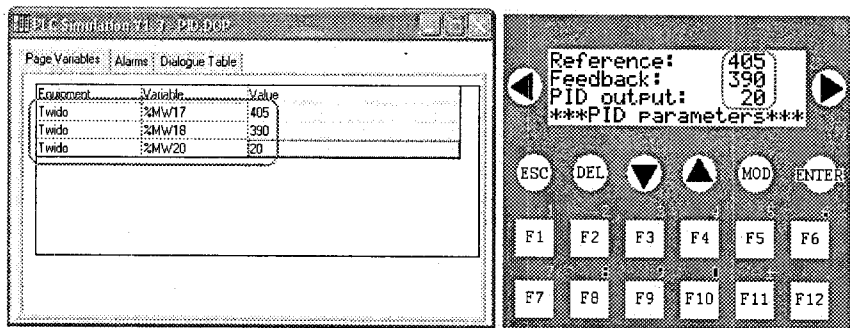


Рисунок 11.15 – Вікно симуляції проекту

Якщо симуляція відповідає поставленим задачам, то проект готовий до завантаження в панель оператора. Завантаження відбувається після з'єднання ПК з панеллю (використовується реальний або віртуальний COM-порт з підтримкою драйвера *Modbus*, 21-контактний кабель *SUB-D*) виконання команди *Transfers / Export*.

Контрольні запитання

- Поясніть роль людино-машинного інтерфейсу в сучасних системах автоматизації.
- Як організовується обмін даними між панеллю оператора та ПЛК в режимі *Modbus RTU*.
- Схему сполучення панелі оператора з ПЛК в режимі точка – точка та багатоточковому режимі. Проаналізуйте переваги та недоліки цих способів.
- Які функції виконує діалогова таблиця людино-машинного інтерфейсу? Порядок налаштування функцій діалогової таблиці.
- Етапи створення сторінок проекту людино-машинного інтерфейсу. Налаштування змінних для читання та запису з програми ПЛК.
- Розробіть приклад людино-машинного інтерфейсу на базі буквено-цифрової панелі оператора для каскадної системи регулювання технологічного параметра з використанням ПЛК.

12 ПРОЕКТУВАННЯ ЛЮДИНО-МАШИННОГО ІНТЕРФЕЙСУ З ГРАФІЧНИМИ ОПЕРАТОРСЬКИМИ ПАНЕЛЯМИ

Сучасна структура систем автоматизації з використанням каналів телемеханіки різних виробників та протоколів досить складна. Для доступного моніторингу процесу та управління ним на всіх рівнях системи необхідні пристрої людино-машинного інтерфейсу. Якщо на верхніх рівнях моніторинг здійснюється за допомогою спеціального програмного забезпечення ПК оператора (систем *SCADA* та *MES*), то на середньому рівні достатньо потужній прошарок займають панелі оператора (*human-machine interface – HMI*) та промислові комп'ютери (*industrial personal computer – iPC*). Ці пристрої є одним з найскладніших і найвідповідальніших елементів систем автоматизації і тому потребують окремого розгляду.

Місце пристроїв *HMI* в сучасній системі автоматизації пояснюється структурною схемою на рис. 12.1.

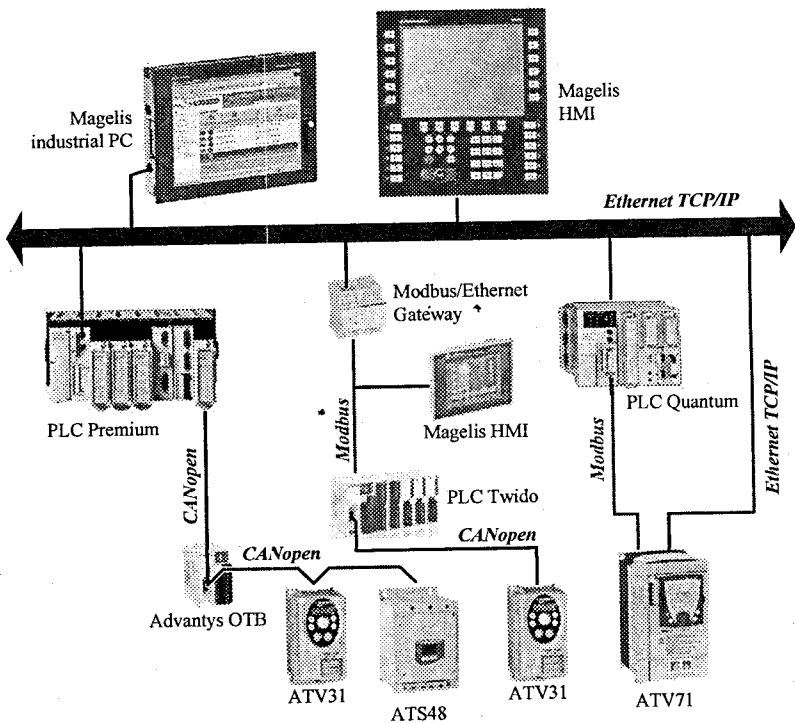


Рисунок 12.1 – Структурна схема багаторівневої системи автоматизації з пристроями *HMI*

Внутрішня будова панелі *HMI* у загальних рисах аналогічна будові комп'ютера, з поправкою на особливості експлуатації, зокрема, підтримка промислових мережевих інтерфейсів.

Програмне забезпечення панелі включає операційну систему (або *firmware* — операційну систему від виробника, що не має назви, або одну з операційних систем широкого застосування, наприклад, один з варіантів *Windows*) і програмне забезпечення користувача (*software*). Програма користувача зазвичай створюється на окремому комп'ютері за допомогою конфігураційних програм, які, як правило, поставляються виробниками операторських панелей, після чого програма користувача завантажується (*download*) в операторську панель.

У системах автоматизації панель оператора працює у взаємодії з ПЛК через промислову мережу. Операторські панелі можуть взаємодіяти з декількома ПЛК одночасно, а також з ПЛК різних виробників, проте використання панелі і контролера від одного виробника (однорідна система), забезпечує найбільш просте рішення задачі і іноді надає додаткові технічні можливості.

У парі ПЛК-панель контролер повинен забезпечувати автоматичне управління технологічним устаткуванням без втручання оператора і операторської панелі. Операторська панель служить для запуску і зупинки устаткування, вибору режимів роботи, введення нових рецептур, спостереження за ходом процесу, відображення повідомлень про неполадки і аварії, архівації і протоколювання даних технологічного процесу. Багато панелей забезпечено інтерфейсом для підключення до принтера.

Розглянемо процес створення проекту людино-машинного інтерфейсу на одній з графічних операторських панелей фірми *Schneider Electric*, середовищем розробки для такого проекту є *Vijeo Designer*. Як програму ПЛК використаємо одноконтурну систему регулювання з ПІД-регулятором, структура якої наведена на рис. 11.5. Завдання інтерфейсу:

- відображувати значення поточного параметра в цифровому вигляді та за допомогою шкали;
- зберігати значення поточного параметра в енергонезалежній пам'яті та здійснювати його реєстрацію (вивести тренд);
- вводити корекцію завдання системи регулювання;
- відображувати в цифровому вигляді вихідний сигнал регулятора.

Запускається середовище *Vijeo Designer* та вибирається опція створення нового проекту (рис. 12.2, а). В наступному вікні (рис. 12.2, б) вводиться назва проекту та вибір опції кількості панелей оператора, які задіяні в проекті. В розглянутому прикладі використовується одна панель (*target*), тому вибрано тип проекту з однією панеллю: *Project with Single Target*.

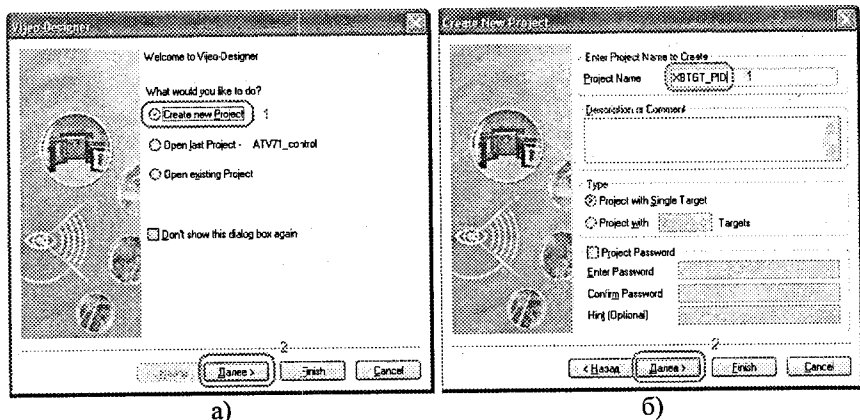


Рисунок 12.2 – Вікно вибору опції (а) та створення нового проекту (б) середовища *Vjeo Designer*

Надалі вибирається тип операторської панелі та налаштовується зв'язок для завантаження проекту в неї (рис. 12.3).

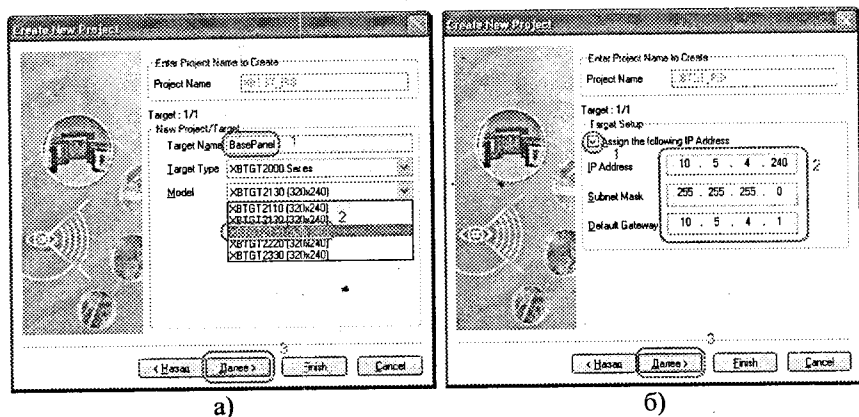
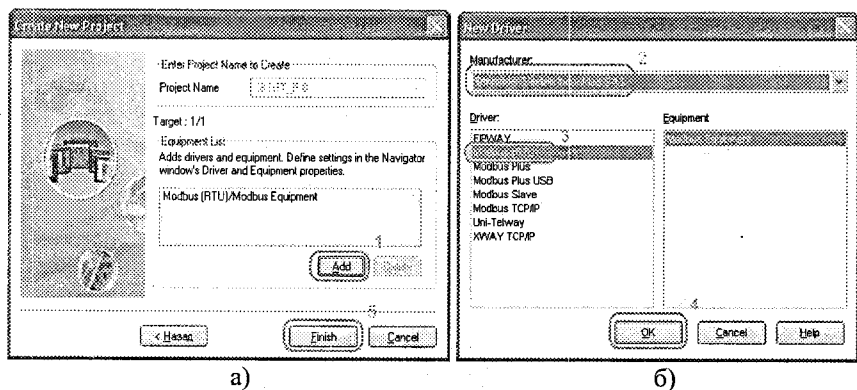


Рисунок 12.3 – Вікно вибору типу операторської панелі (а) та налаштування каналу завантаження проекту (б)

Тип панелі операторської панелі повинен відповідати як поставленим задачам, так і наявній на місці модифікації панелі.

Наступним кроком є додавання в проект підпорядкованих до панелі пристроїв (ПЛК). Для цього у вікні створення проекту здійснюються налаштування, наведені на рис. 12.4.



a)

b)

Рисунок 12.4 – Вікно доступних підпорядкованих пристроїв (а) та вибору драйверу комунікації між панеллю та пристроєм (б)

Для вибраного пристрою та драйвера комунікації ПЛК та панелі слід налаштувати мережеву адресу ПЛК. Вказана опція налаштування доступна у вікні конфігурації обладнання *Equipment Configuration* (рис. 12.5). Для зручності налаштування обміну даними відповідно до символів програми ПЛК варто поставити відмітку *IEC61131 Syntax*.

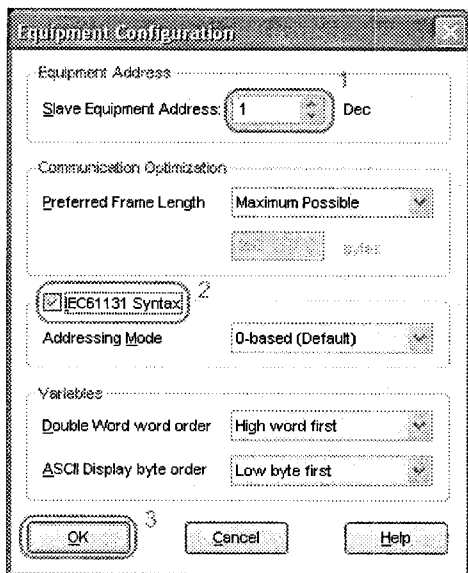


Рисунок 12.5 – Вікно конфігурації підпорядкованого обладнання

Після завершення конфігурації обладнання проект готовий до створення. У вибраній панелі оператора є два порти для підключення до ПЛК, але один з 9-контактним роз'ємом *SUB-D (COM1)*, а другий з роз'ємом-защипкою *RJ45 (COM2)*, який є уніфікованим для підключення мережевих карт ПК до *Internet* і тому легшим в монтажі. Для вибору порту підключення з браузера проекту ініціюється виконання команди *IOManager / ModbusRTU01 / Configuration*. У відкритому вікні (рис. 12.6) вибирається порт для підключення, а також встановлюється швидкість обміну даними, контроль парності бітів комунікації, таймаут з'єднання і т. д.

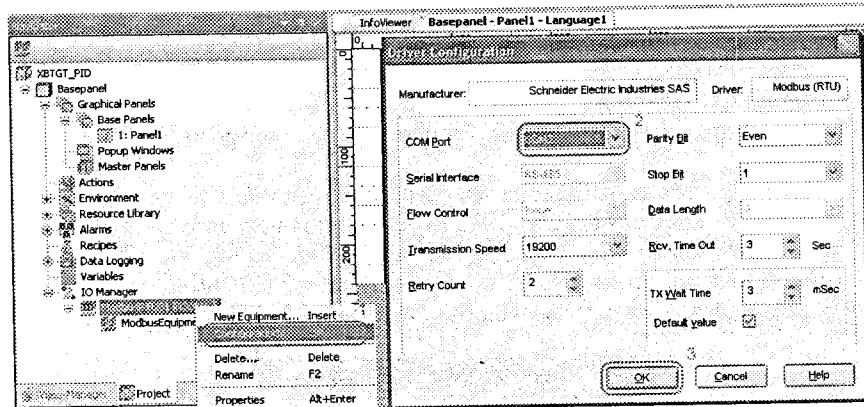


Рисунок 12.6 – Вікно налаштування параметрів зв'язку панелі оператора з ПЛК

Після закінчення налаштувань зв'язку складеється список змінних, що використовуватимуться в проекті і їх значення передаватимуться від ПЛК до панелі і у зворотному напрямку. Складання списку виконується командою *Variables / New Variable /* (тип змінної: дискретна – *Discrete*, ціле число – *Integer*, дробове число – *Float*, текстовий вираз – *String* і т. д.). У вікні вибору змінної (рис. 12.7) вказується ім'я змінної, адреса регістра ПЛК, де зберігається її значення. У вкладці цього ж вікна *Data Details* (рис. 12.8, а) встановлюються верхня та нижня межі змінної, у вкладці *IOSettings* (рис. 12.8, б) можна вказати розрядність змінної при її перетворенні в двійковий код, а також для контроль знаку (додатний, від'ємний – *Signed / Unsigned* або *2's Complement*).

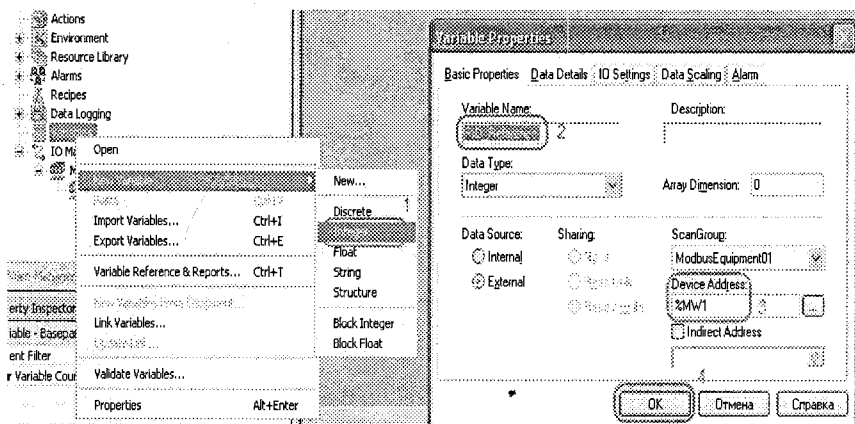
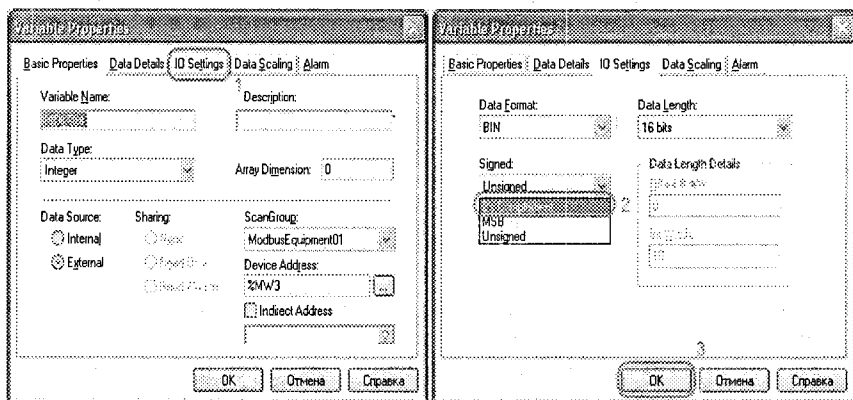


Рисунок 12.7 – Вікно додавання змінної в список проекту



а)

б)

Рисунок 12.8 – Вікно налаштування змінної

Закінчений список змінних проекту формується у вигляді таблиці, що доступна з браузера проекту (рис. 12.9). Для змінної, яка підлягає зберігання в пам'яті панелі потрібно в стовпці *Logging Group* значення *None* змінити на *Logging Group01*, тобто фактичні значення змінної в реальному часі будуть реєструватись (логінитись) в комірці пам'яті *Logging Group01*.

| | Name | Data Type | Data Source | Scan Group | Device Address | Alarm Group | Logging Group |
|---|---------------|-----------|-------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 1 | PID_FeedBack | Integer | External | ModbusEquipment0 | %MW5 | Disabled | LoggingGroup01 |
| 2 | PID_Out | Integer | External | ModbusEquipment0 | %MW3 | Disabled | None |
| 3 | PID_Reference | Integer | External | ModbusEquipment0 | %MW1 | Disabled | None |

Рисунок 12.9 – Таблиця змінних проекту

Створення графічного інтерфейсу – одна з центральних задач проекту. До її вирішення слід підходити з щонайменше трьох позицій:

- відповідно до поставлених завдань перед проектом;
- відповідно до ергономіки інтерфейсу,
- відповідно до ресурсів панелі.

Розроблений проект інтерфейсу повинен бути компактним, простим, естетичним та інтуїтивно зрозумілим.

Згідно з поставленими задачами потрібно вибрати чотири графічних елементи та розташувати текстові підказки біля них:

- комбінований графічний елемент вимірювального приладу зі шкалою, стрілкою та цифровим дисплеєм (*Meter*) – для виведення на панель поточного значення регульованого параметра (прив'язка змінної *PID_FeedBack*);
- графічний елемент цифрового дисплея (*Numeric Display*) з функцією введення значення для корекції задання регулятора (прив'язка змінної *PID_Reference*);
- графічний елемент цифрового дисплея (*Numeric Display*) для відображення вихідного сигналу регулятора (прив'язка змінної *PID_Out*);
- графічний елемент типу тренд (*Trend*) для реєстрації значень регульованого параметра (прив'язка змінної *PID_FeedBack*).

Після розташування вказаних графічних елементів на робочому полі панелі та введення текстових підказок проводиться прив'язка змінних (тегів) до графічних елементів. Для цього відкривається вікно параметрів відповідного графічного елементу (рис. 12.10 – 12.12), і в полі змінної (*Variable*) шляхом вибору зі списку змінних встановлюється відповідна прив'язка. При необхідності зі значенням змінної, яку потрібно відображувати, можна здійснити арифметичну операцію (дати або помножити на константу, добути квадратний корінь, логарифм тощо), заповнивши поле вікна *Expression Editor Pad* (рис. 12.10).

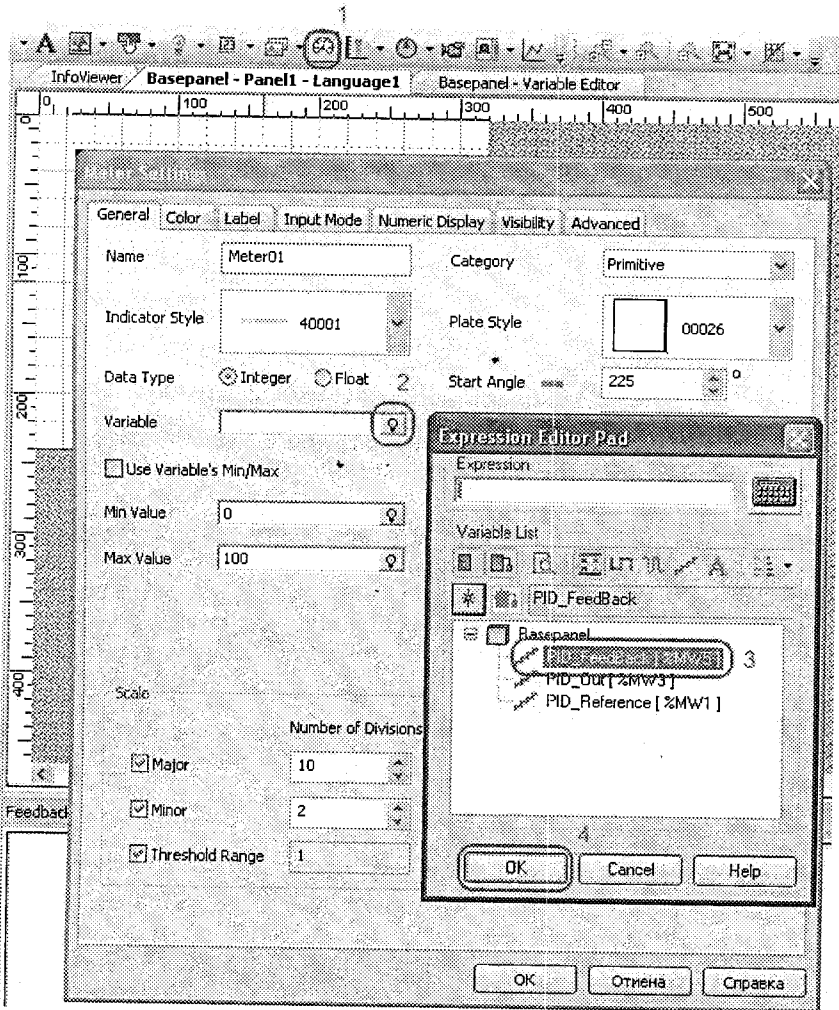


Рисунок 12.10 – Вікно налаштування графічного елемента вимірювального приладу зі шкалою *Meter*

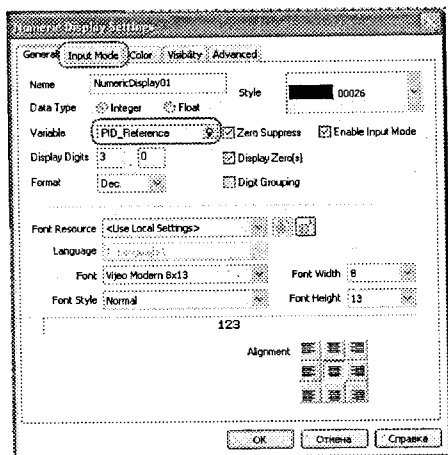


Рисунок 12.11 – Вікно налаштування графічного елементу цифрового дисплея з функцією введення *Numeric Display* (*Enable Input Mode*)

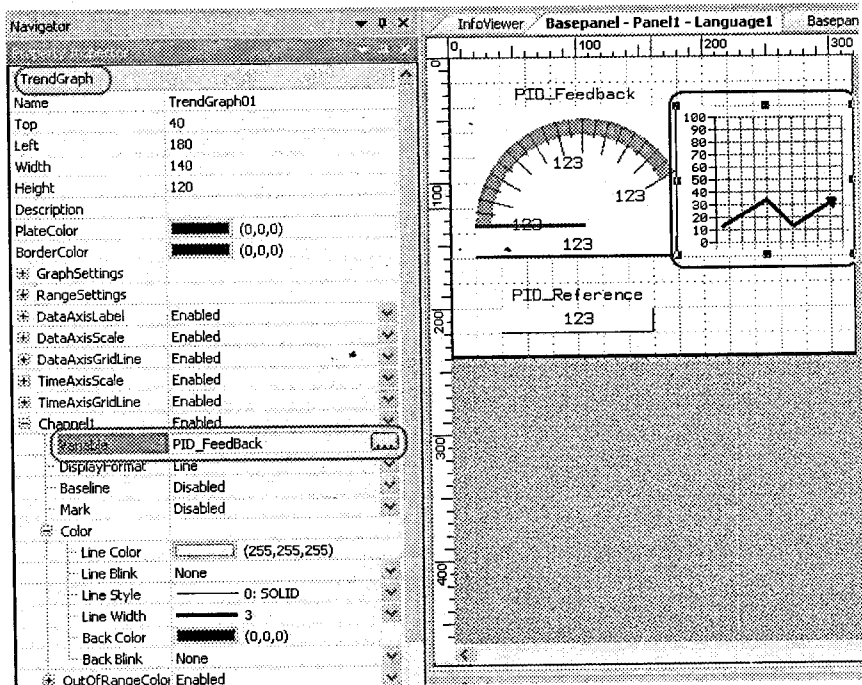


Рисунок 12.12 – Налаштування графічного елементу *TrendGraph*

Побудова проекту на цьому етапі власне закінчена, наступним кроком є відлагодження шляхом симуляції. Доступ до середовища симуляції за командою *Build / Start Device Simulation* (рис. 12.13).

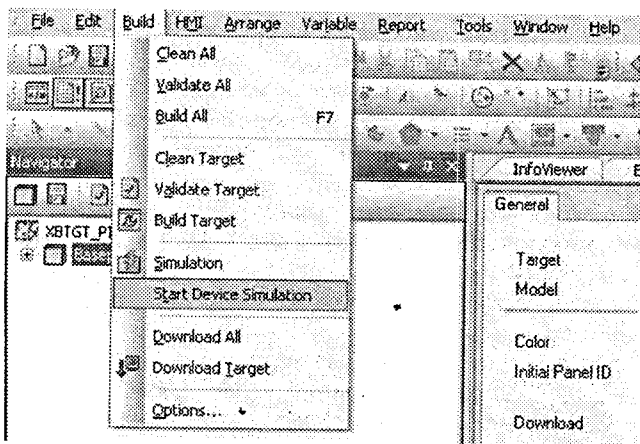


Рисунок 12.13 – Послідовність виклику середовища симуляції

В середовищі симуляції *Vijeo Designer Runtime* (рис. 12.14) задаються значення змінних та перевіряється коректність відображення параметрів. Перевіряється відповідність меж відображуваних значень, коректується інтервал рестрації змінних трендів.

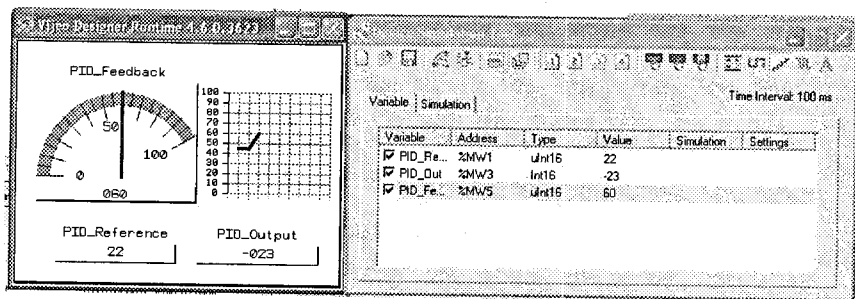


Рисунок 12.14 – Вікно середовища симуляції проекту

Завантаження проекту в панель здійснюється шляхом виконання послідовних команд *Build / Validate Target* (групування графічних елементів), *Build / Build Target* (компіляція проекту перед завантаженням), *Build / Download Target* (завантаження проекту).

Контрольні запитання



- Поясніть вимоги до людино-машинного інтерфейсу в сучасних системах автоматизації.
- Назвіть критерії вибору панелей оператора для формування людино-машинного інтерфейсу.
- Поясніть послідовність налаштування зв'язку між панеллю оператора та ПЛК. Що встановлює стандарт ІЕС 61131?
- Порядок формування списку змінних в проекті людино-машинного інтерфейсу.
- Поясніть послідовність налаштування зв'язку числових та дискретних змінних проекту з динамічною графічною індикацією елементів інтерфейсу.
- Поясніть етапи перевірки роботоздатності проекту та його завантаження в панель.
- Складіть приклад людино-машинного інтерфейсу на базі графічної панелі оператора для двоконтурної системи регулювання технологічного параметра з використанням ПЛК.

13 ПРАКТИЧНІ ЗАВДАННЯ

Практична робота № 1

ПОБУДОВА ФУНКЦІОНАЛЬНИХ СХЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ ДЛЯ ТИПОВИХ КОНТУРІВ РЕГУЛЮВАННЯ. ВИБІР ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Мета роботи

Навчитися складати функціональні схеми автоматизації для типових об'єктів автоматичного регулювання технологічного виробництва, здійснювати вибір засобів автоматизації.

1.1 Програма виконання практичної роботи

1. Ознайомитись з індивідуальним завданням. Охарактеризувати об'єкт регулювання за допомогою типових динамічних ланок. Скласти структурну схему системи регулювання.

2. Побудувати функціональну схему автоматизації для вказаного контуру системи регулювання з врахуванням вимог завдання (сигналізація, покази, ручний/автоматичний режим управління).

3. Вибрати технічні засоби автоматизації для системи регулювання відповідно до розробленої функціональної схеми автоматизації. Скласти перелік елементів схеми автоматизації.

4. В практичній роботі навести технічні характеристики вибраних засобів автоматизації.

1.2 Методичні вказівки до виконання практичної роботи

1. Для характеристики об'єкта регулювання потрібно ознайомитись з матеріалом [1, С. 87 – 107]. Обрати потрібну структуру системи регулювання, яка відповідає виданому завданню, записати систему рівнянь, які характеризують окремі ланки автоматичної системи регулювання (АСР).

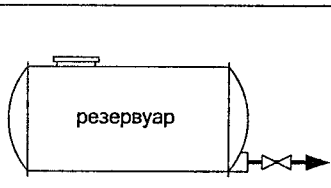
2. Для побудови функціональних схем автоматизації ознайомитись з матеріалом [1, С. 174 – 180].

3. Для складання переліку елементів функціональної схеми слід скористатися наявними каталогами контрольно-вимірювальних приладів і засобів автоматизації, вибираючи необхідні елементи за принципами:

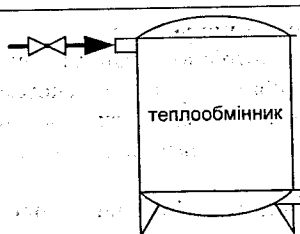
- видом і діапазоном зміни вимірюваного параметра;
- параметрами середовища (струмопровідність, в'язкість, пожежовибухонебезпека, температура та тиск);
- типом вхідного/вихідного сигналу;
- точністю вимірювання (для датчиків та вторинних вимірювальних приладів);
- наявністю вбудованого модуля перемикання режиму управління (ручний/автоматичний) та наявністю сигналізаторів граничних відхилень параметра (для регуляторів);
- типом приводу регулювального органу (електричний / пневматичний / гідравлічний) та діапазоном сигналу управління ним;

4. В технічних характеристиках навести лише основні параметри пристроїв, за якими здійснювався їх вибір, за можливістю вказати вартість вибраних пристроїв.

5. Варіанти завдань

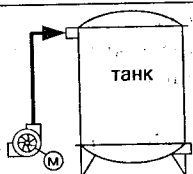
| Варіант № 1 | |
|--|--|
|  | АСР рівня, регулювальний вплив – витік, середовище – бензин, тиск – 100 кПа, температура –20... +40 °С; вимоги – регулювання на рівні 3 м з допустимим відхиленням $\pm 5\%$, відображення поточного значення, сигналізація мінімального рівня; діапазон зміни параметра – 0... 4 м |

Варіант № 2



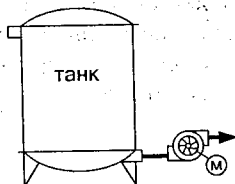
АСР рівня,
 регуловальний вплив – подача,
 середовище – молоко,
 тиск – 100 кПа, температура +80...+90 °С;
 вимоги – регулювання на рівні 1 м з допустимим відхиленням $\pm 20\%$,
 відображення поточного значення,
 сигналізація максимального та мінімального рівня;
 діапазон зміни параметра – 0...1,5 м

Варіант № 3



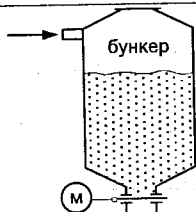
АСР рівня,
 регуловальний вплив – подача насосом
 середовище – водний розчин NaOH 15%,
 тиск – 1 МПа, температура +20...+30 °С;
 вимоги – регулювання на рівні 0,2 – 2 м, сигналізація
 середнього, максимального та мінімального рівня;
 діапазон зміни параметра – 0...2,5 м

Варіант № 4



АСР рівня,
 регуловальний вплив – подача насосом
 середовище – водний розчин HNO₃ 30%,
 тиск – 1 МПа, температура +10...+20 °С;
 вимоги – регулювання на рівні 0,2 – 2 м,
 сигналізація середнього, максимального та
 мінімального рівня;
 діапазон зміни параметра – 0...2,5 м

Варіант № 5



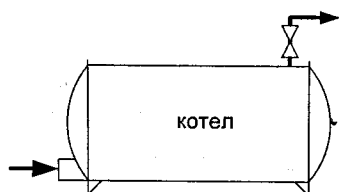
АСР рівня,
 регуловальний вплив – скид,
 середовище – цемент,
 температура –10...+40 °С
 вимоги – регулювання на рівні 0,2 – 2 м,
 сигналізація максимального та мінімального рівня;
 діапазон зміни параметра – 0...2,5 м

Варіант № 6



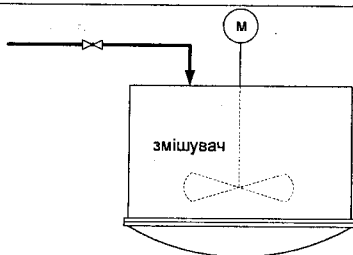
АСР тиску,
регулювальний вплив – подача,
середовище – *водень*,
тиск – $0,3 \text{ МПа}$, температура $+20 \dots +40 \text{ }^\circ\text{C}$;
вимоги – *регулювання на рівні $0,25 \text{ МПа}$ з допустимим відхиленням $\pm 5\%$, відображення поточного значення, реєстрація, сигналізація максимального та мінімального тиску;*
діапазон зміни параметра – $0,1 \dots 0,3 \text{ МПа}$

Варіант № 7



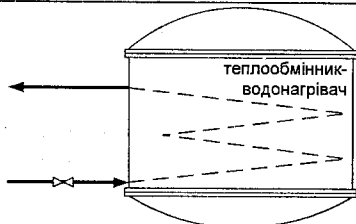
АСР тиску,
регулювальний вплив – *скид*,
середовище – *пара*,
тиск – $2,5 \text{ МПа}$, температура $+200 \dots +250 \text{ }^\circ\text{C}$;
вимоги – *регулювання на рівні $2,5 \text{ МПа}$ з допустимим відхиленням $\pm 5\%$, відображення поточного значення, сигналізація максимального та мінімального тиску, реєстрація;*
діапазон зміни параметра – $1 \dots 4 \text{ МПа}$

Варіант № 8



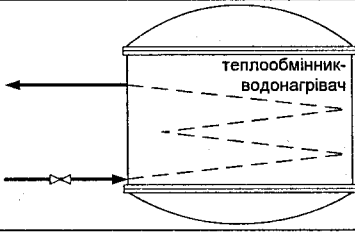
АСР витрат,
регулювальний вплив – «до себе»,
середовище – *аміак*,
діаметр трубопроводу – 25 мм ,
температура $-10 \dots -15 \text{ }^\circ\text{C}$
вимоги – *стабілізація $2,5 \text{ м}^3/\text{год}$, відображення миттєвого значення, реєстрація, сигналізація мінімальної витрати;*
діапазон зміни параметра – $2,0 \dots 3,5 \text{ м}^3/\text{год}$

Варіант № 9



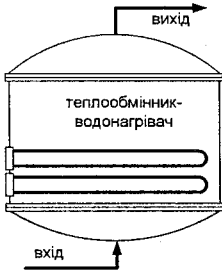
АСР витрат,
регулювальний вплив – «після себе»,
середовище – *вода*,
діаметр трубопроводу – 32 мм ,
температура $+70 \dots +85 \text{ }^\circ\text{C}$
вимоги – *стабілізація $5,0 \text{ м}^3/\text{год}$, відображення миттєвого значення, реєстрація, сигналізація максимальної та мінімальної витрати, облік;*
діапазон зміни параметра – $6,0 \dots 7,5 \text{ м}^3/\text{год}$

Варіант № 10



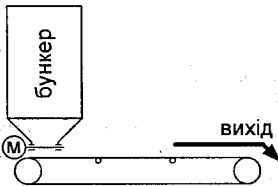
АСР температури,
регульовальний вплив – подача теплоносія,
середовище – водяна пара,
діаметр трубопроводу – 32 мм,
температура +170... +185 °С
вимоги – стабілізація 90 °С, відображення
миттєвого значення, реєстрація, сигналізація
максимальної та мінімальної температури;
діапазон зміни параметра 85... 110 °С

Варіант № 11



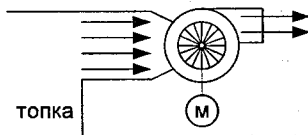
АСР температури,
регульовальний вплив – зміна напруги на ТЕНах,
середовище – вода,
тиск – 2,0 МПа,
температура +90... +100 °С
вимоги – стабілізація 80 °С, відображення
миттєвого значення, сигналізація
максимальної та мінімальної температури;
діапазон зміни параметра 90... 100 °С

Варіант № 12



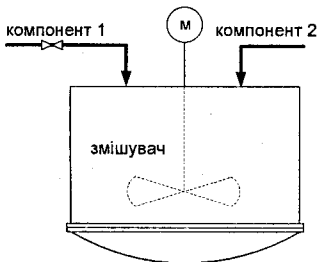
АСР продуктивності,
регульовальний вплив – зміна положення
шибера,
середовище – зерно,
вага – 2,3 кг/м, швидкість стрічки – 1,2 м/с;
температура +10... +350 °С
вимоги – стабілізація продуктивності 2 т/год,
відображення миттєвого значення, сигналізація
крайніх положень шибера,
діапазон зміни параметра ± 10%

Варіант № 13



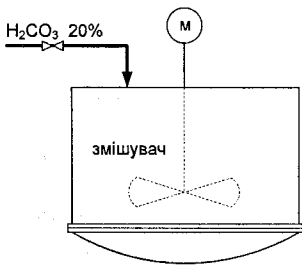
АСР розрідження,
регульовальний вплив – зміна швидкості
обертання вентилятора-димососа,
середовище – димові гази,
температура +200... +350 °С,
розрідження –40 кПа
вимоги – стабілізація розрідження –20 ±
5% кПа, відображення миттєвого значення,
сигналізація мінімального та максимального
значень розрідження;
діапазон зміни параметра –10... –50 кПа

Варіант № 14



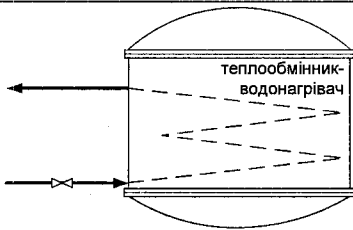
АСР співвідношення витрат, регулювальний вплив – компонент 1, середовище – розчин NaHCO_3 20%, діаметр трубопроводу – 25 мм, температура $+10...+25^\circ\text{C}$, максимальна витрата компоненту 1 – $5 \text{ м}^3/\text{год}$; максимальна витрата компоненту 2 – $25 \text{ м}^3/\text{год}$; вимоги – стабілізація співвідношення 1:4, відображення миттєвого значення витрат обох компонентів, сигналізація крайніх положень регулювального органу.

Варіант № 15



АСР концентрації (pH), регулювальний вплив – дозування розчину кислоти, середовище – розчин H_2CO_3 20%, діаметр трубопроводу – 25 мм, температура $+10...+25^\circ\text{C}$, максимальна витрата компоненту 1 – $5 \text{ м}^3/\text{год}$; pH при максимальній витраті pH 4,3 вимоги – стабілізація pH 5,0, відображення та рестрація миттєвого значення pH, сигналізація крайніх положень регулювального органу.

Варіант № 16



АСР температури, регулювальний вплив – подача продукту на вихід, змішування з підігрітим продуктом, середовище – сироп, діаметр трубопроводу – 50 мм, температура $+15...+35^\circ\text{C}$, в'язкість – $50 \text{ см}^2/\text{с}$; вимоги – стабілізація 60°C , відображення миттєвого значення, рестрація; діапазон зміни параметра $\pm 10\%$

Варіант № 17



АСР навантаження, регулювальний вплив – подача продукту, середовище – зерно, максимальна продуктивність – 10 кг/с , струм при максимальній продуктивності – 50 А; вимоги – стабілізація навантаження до $35 \pm 10\% \text{ А}$, відображення миттєвого значення, сигналізація крайніх положень шибера.

Запитання до захисту



- Що таке функціональна схема автоматизації?
- Як зображують технологічне устаткування і комунікації при розробці функціональних?
- Якими умовними позначками зображують технологічні комунікації і трубопроводи рідини і газу? Наведіть приклад.
- Вкажіть основні вимоги до оформлення функціональних схем.
- Назвіть два способи виконання ФСА.
- Вкажіть основні параметри за якими зображаються на ФСА лінії з'єднань, пристрої автоматизації, щити та пульти та ін.
- Назвіть основні правила зображення засобів вимірювання і автоматизації на ФСА.
- Наведіть приклад побудови умовного позначення приладу для вимірювання, реєстрації і автоматичного регулювання перепаду тиску.
- Якими правилами необхідно керуватися при використанні умовних позначень за ГОСТ 21.404—85?
- Назвіть основні вимоги позиційного позначення приладів і засобів автоматизації.
- Які існують винятки при позиційному позначенні елементів функціональних груп?
- Які обставини потрібно враховувати при визначенні границь кожної функціональної групи?

Практична робота № 2

РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ НАЛАШТУВАННЯ РЕГУЛЯТОРІВ



Мета роботи

Навчитися визначати оптимальні параметри налаштування аналогових регуляторів систем автоматизації.

1.1 Програма виконання практичної роботи

1. Ознайомитись з індивідуальним завданням. Скласти структурну схему автоматичної системи регулювання з вказанням передавальних функцій об'єкта регулювання та автоматичного регулятора.

2. За допомогою пакета прикладних програм *Matlab* побудувати перехідні характеристику об'єкта регулювання та визначити сталу часу T_0 і час запізнення τ_0 .

3. Визначити оптимальні параметри налаштування ПІД-регулятора системи регулювання для типового перехідного процесу з 20%-перерегулюванням.

4. Побудувати модель замкненої системи регулювання з ПІД-регулятором та визначеними в п. 3 параметрами його налаштування.

5. Використовуючи бібліотеку оптимізації *Nonlinear Control Designer* пакета *Matlab*, визначити параметри налаштування ПІД-регулятора та побудувати перехідну характеристику замкненої системи з обчисленими параметрами регулятора.

6. Порівняти отримані перехідні характеристики системи регулювання для параметрів налаштування, визначених в п. 3 та п. 5, зробити висновки по роботі.

1.2 Методичні вказівки до виконання практичної роботи

1. Для характеристики об'єкта регулювання потрібно ознайомитись з матеріалом [1, с. 90 – 91, с. 114 – 117]. Обрати потрібну структуру системи регулювання, яка відповідає виданому завданню, записати передавальну функцію об'єкта управління та ПІД-регулятора.

2. Використовуючи транспортну функцію *Transfer Fcn* з бібліотеки *Matlab / Simulink / Continuous*, створити модель для визначення сталої часу та запізнення об'єкта управління. За результатами моделювання заданого впливу на об'єкт визначити сталу часу об'єкта та час запізнення як наведено на рис. 2.1.

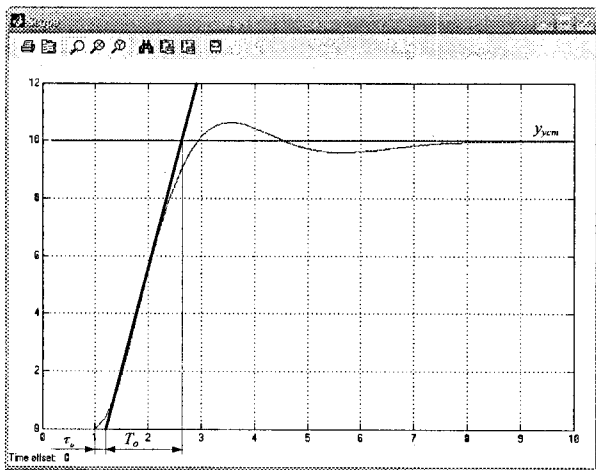


Рисунок 2.1 – Визначення сталої часу об'єкта T_0 та запізнення τ_0

З табл. 2.1 обчислити параметри налаштування ПІД-регулятора для перехідного процесу з 20% перерегулюванням. Коефіцієнт передачі об'єкта k визначається як відношення вхідного сигналу до усталеного вихідного:

$$k = x / y_{уст.} \quad (2.1)$$

Відношення запізнення:

$$K_\tau = \tau_o / T_o \quad (2.2)$$

Таблиця 2.1 – Параметри налаштування регуляторів

| Тип регулятора | Параметри налаштування | Тип процесу регулювання | | |
|--|------------------------|----------------------------|---------------------------|--|
| | | аперіодичний | з 20%-м перерегулюванням | з мінімальною квадратичною площею відхилення |
| АСР статичних об'єктів (з самовирівнюванням) | | | | |
| Імпульсний | k_n | $\frac{1}{4,5kT_o}$ | $\frac{1}{1,7kT_o}$ | $\frac{1}{1,7k\tau_o}$ |
| П | k_n | $\frac{0,3}{k \cdot K_r}$ | $\frac{0,7}{k \cdot K_r}$ | $\frac{1}{k \cdot K_r}$ |
| ПІ | k_n | $\frac{0,6}{k \cdot K_r}$ | $\frac{0,7}{k \cdot K_r}$ | $\frac{1}{k \cdot K_r}$ |
| | T_i | $0,6T_o$ | $0,7T_o$ | T_o |
| ПІД | k_n | $\frac{0,95}{k \cdot K_r}$ | $\frac{1,2}{k \cdot K_r}$ | $\frac{1,4}{k \cdot K_r}$ |
| | T_i | $2,4\tau_o$ | $2,0\tau_o$ | $1,3\tau_o$ |
| | T_d | $0,4\tau_o$ | $0,4\tau_o$ | $0,5\tau_o$ |
| АСР астатичних об'єктів (без самовирівнювання) | | | | |
| П | k_n | $\frac{0,4}{K_r}$ | $\frac{0,7}{K_r}$ | – |
| ПІ | k_n | $\frac{0,4}{K_r}$ | $\frac{0,7}{K_r}$ | $\frac{1}{K_r}$ |
| | T_i | $6\tau_o$ | $3\tau_o$ | $4\tau_o$ |
| ПІД | k_n | $\frac{0,6}{K_r}$ | $\frac{1,1}{K_r}$ | $\frac{1,4}{K_r}$ |
| | T_i | $5\tau_o$ | $2\tau_o$ | $1,6\tau_o$ |
| | T_d | $0,2\tau_o$ | $0,4\tau_o$ | $0,6\tau_o$ |

3. Побудувати модель замкнутої системи регулювання за прикладом на рис. 2.2.

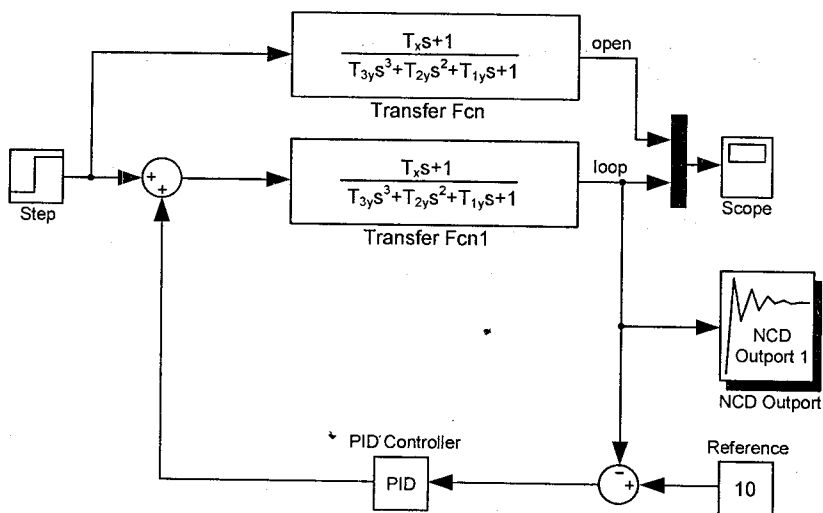


Рисунок 2.2 – Приклад моделі замкнутої системи автоматичного регулювання

4. Для визначення параметрів налаштування в п. 5 потрібно використовувати інструмент оптимізації *NCD output* (*Nonlinear Control Design*). На вході вказаного блока вказується сигнал вихідного (регульованого) параметра ACP, а у вікні властивостей цього блока *Optimization parameters / Tunable variables* вказуються (через кому) змінні параметри налаштування регулятора *PID controller* (наприклад P, I, D). Ці ж змінні потрібно встановити у вікні властивостей блока регулятора *PID controller*, а потім у командному вікні *Matlab* встановити їх початкові значення: P = 1, I = 1, D = 1.

Після проведених дій у вікні *NCD Output* (рис. 2.3), встановлюються межі допустимого відхилення регульованого параметра, що обмежуються чорним фоном, потім натискається кнопка *Start* і проводиться пошук параметрів налаштування, що відповідають вказаній області перехідного процесу. Після того, як такі параметри знайдено, у вікні *NCD Output* (рис. 2.3) виводиться зеленим кольором графік перехідного процесу, що відповідає оптимальним параметрам налаштування. Числові значення цих параметрів можна встановити, повернувшись у командне вікно *Matlab*.

5. В звіті потрібно привести на одній площині перехідні характеристики для розімкненої та замкнутої систем регулювання за прикладом на рис. 2.4.

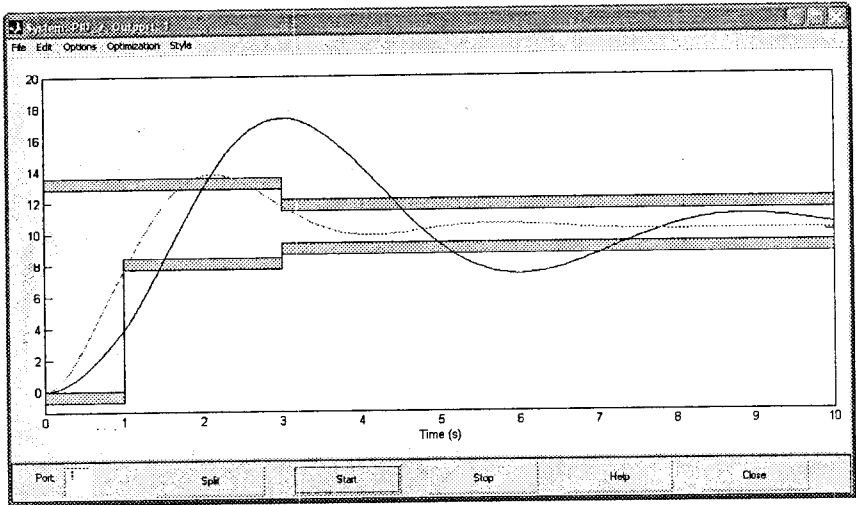


Рисунок 2.3 – Вікно блока *NCD Output*

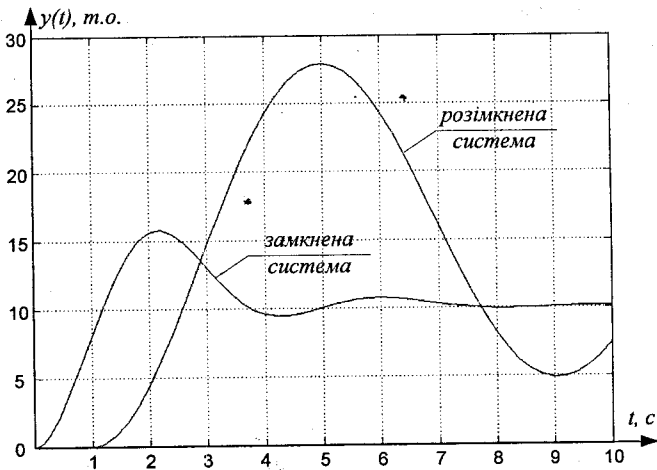


Рисунок 2.4 – Графіки перехідних процесів в розімкненій та замкненій системах регулювання

5. Варіанти завдань:

| Номер п/п | Вхідний сигнал | Диференціальне рівняння об'єкта управління | Завдання |
|-----------|----------------|--|----------|
| 1 | 10 | $2 \frac{dx(t)}{dt} + x(t) = 2 \frac{dy^3(t)}{dt^3} + 2 \frac{dy^2(t)}{dt^2} + 2 \frac{dy(t)}{dt} + y(t)$ | 10 |
| 2 | 15 | $4 \frac{dx(t)}{dt} + x(t) = 0,3 \frac{dy^3(t)}{dt^3} + 0,5 \frac{dy^2(t)}{dt^2} + 2 \frac{dy(t)}{dt} + y(t)$ | 12 |
| 3 | 20 | $0,75x(t) = 2 \frac{dy^2(t)}{dt^2} + 5 \frac{dy(t)}{dt} + y(t)$ | 10 |
| 4 | 5 | $7 \frac{dx(t)}{dt} + x(t) = 0,2 \frac{dy^3(t)}{dt^3} + \frac{dy^2(t)}{dt^2} + 5 \frac{dy(t)}{dt} + y(t)$ | 5 |
| 5 | 7 | $0,5 \frac{dx(t)}{dt} + 2x(t) = \frac{dy^2(t)}{dt^2} + 0,2 \frac{dy(t)}{dt} + y(t)$ | 15 |
| 6 | 12 | $2 \frac{dx(t)}{dt} + 0,5x(t) = 5 \frac{dy^2(t)}{dt^2} + 4 \frac{dy(t)}{dt} + 2y(t)$ | 3,5 |
| 7 | 50 | $0,56x(t) = 0,2 \frac{dy^2(t)}{dt^2} + 0,05 \frac{dy(t)}{dt} + y(t)$ | 30 |
| 8 | 20 | $2 \frac{dx(t)}{dt} + 3x(t) = 0,2 \frac{dy^3(t)}{dt^3} + 2 \frac{dy^2(t)}{dt^2} + 0,5 \frac{dy(t)}{dt} + y(t)$ | 60 |
| 9 | 35 | $3 \frac{dx(t)}{dt} + x(t) = 0,5 \frac{dy^3(t)}{dt^3} + \frac{dy^2(t)}{dt^2} + 1,5 \frac{dy(t)}{dt} + y(t)$ | 40 |
| 10 | 40 | $0,5 \frac{dx^2(t)}{dt^2} + \frac{dx(t)}{dt} + x(t) = 0,2 \frac{dy^3(t)}{dt^3} + \frac{dy^2(t)}{dt^2} + 0,5 \frac{dy(t)}{dt} + y(t)$ | 35 |
| 11 | 12 | $2,5x(t) = 3 \frac{dy^3(t)}{dt^3} + 2 \frac{dy^2(t)}{dt^2} + 0,8 \frac{dy(t)}{dt} + y(t)$ | 20 |
| 12 | 60 | $0,5 \frac{dx(t)}{dt} + x(t) = 0,1 \frac{dy^3(t)}{dt^3} + 0,2 \frac{dy^2(t)}{dt^2} + 0,8 \frac{dy(t)}{dt} + y(t)$ | 50 |
| 13 | 15 | $\frac{dx(t)}{dt} + 6x(t) = 0,8 \frac{dy^3(t)}{dt^3} + 2 \frac{dy^2(t)}{dt^2} + 0,8 \frac{dy(t)}{dt} + y(t)$ | 75 |
| 14 | 6 | $2 \frac{dx(t)}{dt} + 0,5x(t) = 2 \frac{dy^2(t)}{dt^2} + \frac{dy(t)}{dt} + y(t)$ | 4 |
| 15 | 9 | $4 \frac{dx(t)}{dt} + x(t) = 0,5 \frac{dy^3(t)}{dt^3} + 4 \frac{dy^2(t)}{dt^2} + 8 \frac{dy(t)}{dt} + y(t)$ | 7 |
| 16 | 45 | $0,5 \frac{dx(t)}{dt} + 2x(t) = 0,5 \frac{dy^3(t)}{dt^3} + 0,4 \frac{dy^2(t)}{dt^2} + 2 \frac{dy(t)}{dt} + y(t)$ | 50 |
| 17 | 23 | $2x(t) = \frac{dy^3(t)}{dt^3} + 0,3 \frac{dy^2(t)}{dt^2} + 2,5 \frac{dy(t)}{dt} + y(t)$ | 40 |
| 18 | 29 | $3 \frac{dx(t)}{dt} + x(t) = 0,5 \frac{dy^3(t)}{dt^3} + 0,7 \frac{dy^2(t)}{dt^2} + 2 \frac{dy(t)}{dt} + y(t)$ | 25 |
| 19 | 36 | $2x(t) = 0,2 \frac{dy^3(t)}{dt^3} + 7 \frac{dy^2(t)}{dt^2} + 2 \frac{dy(t)}{dt} + y(t)$ | 60 |
| 20 | 18 | $0,8x(t) = 2 \frac{dy^3(t)}{dt^3} + \frac{dy^2(t)}{dt^2} + 2 \frac{dy(t)}{dt} + y(t)$ | 12 |

Запитання до захисту



- Поясніть структуру автоматичних систем регулювання.
- Як впливають динамічні характеристики регуляторів на перехідні процеси в замкнених системах регулювання?
- Наведіть приклади систем стабілізації, програмного регулювання та слідкуючих систем регулювання.
- Поясніть мету та суть зведення диференціального рівняння об'єкта управління до вигляду передавальної функції.
- Наведіть диференціальне рівняння ПІ та ПІД регулятора та поясніть його.
- Які існують типові види перехідних процесів в автоматичних системах регулювання? Наведіть приклади їх застосування.
- Поясніть основні етапи визначення параметрів налаштування регуляторів з допомогою інструмента *NCD Outport*.

Практична робота № 3

РОЗРОБКА СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПАРАМЕТРА З ПРОГРАМОВАНИМ ЛОГІЧНИМ МОДУЛЕМ *ZELIO LOGIC*

Мета роботи

Навчитися формулювати завдання до систем регулювання технологічних параметрів з програмованими інтелектуальними реле, складати програми реле мовами *LD* та *FBD*.

1.1 Програма виконання лабораторної роботи

1. Згідно з індивідуальним завданням до практичної роботи № 1 вибрати датчик вимірювання технологічного параметра з вихідним аналоговим сигналом 0 – 10 В постійного струму.
2. Побудувати функціональну схему системи регулювання згідно з індивідуальним завданням з програмованим логічним модулем *Zelio Logic* як регулятор технологічного параметра.
3. Розробити схему підключення датчика та виконавчого механізму до програмованого модуля *Zelio Logic*.
4. У середовищі розробки *ZelioSoft 2*, використовуючи режими програмування *LD* та *FBD*, створити програму, яка передбачає стабілізацію параметра в межах, що вказані в завданні до роботи № 1, а також відображення заданого і поточного значень на передній панелі.
5. Перевірити коректність розробленої в середовищі *LD* програми управління з допомогою вікна емуляції проекту.

8. Передати програму з ПК в модуль, перевірити її виконання, використовуючи імітатор сигналів.

1.2 Методичні вказівки до виконання практичної роботи

1. Функціональна схема системи регулювання складається відповідно до ГОСТ 21-404-85. Зображення об'єкта регулювання, яке наведене в індивідуальному завданні, слід доповнити умовними графічними позначеннями засобів автоматизації, а саме: датчиком вимірюваного параметра, програмованим логічним модулем з функціями регулювання та показу, виконавчим механізмом.

2. Основними елементами, які використовуватимуться в процесі розробки проекту на модулях *Zelio*, є аналогові входи *IB...IG*, дискретні виходи *Qx*, таймери *Tx* або аналогові компаратори *Ax* (де *x* – номер елемента даного виду в програмі). Доступ до них – з нижньої панелі інструментів *ZelioSoft 2*.

3. Послідовність складення програми модуля мовою LD така. Запускається середовище *ZelioSoft 2* та вибирається опція створення нової програми (рис. 3.1).

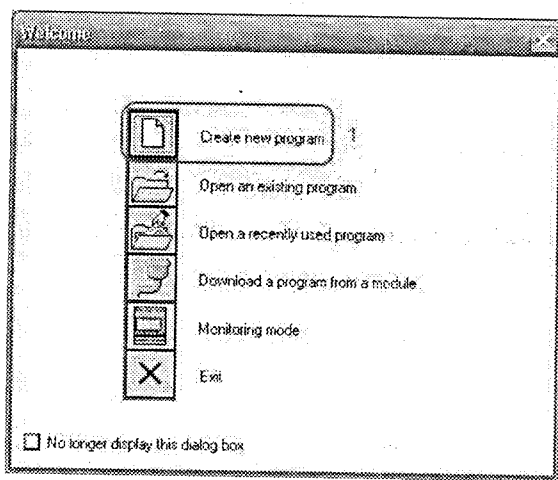


Рисунок 3.1 – Вікно вибору опцій *ZelioSoft 2*

Після вибору опції створення нової програми вибираємо потрібну модифікацію модуля за допомогою підказок у вікні вибору (рис. 3.2). При виборі модуля потрібно звернути увагу на наявність аналогових входів та наявність дисплея на передній панелі.

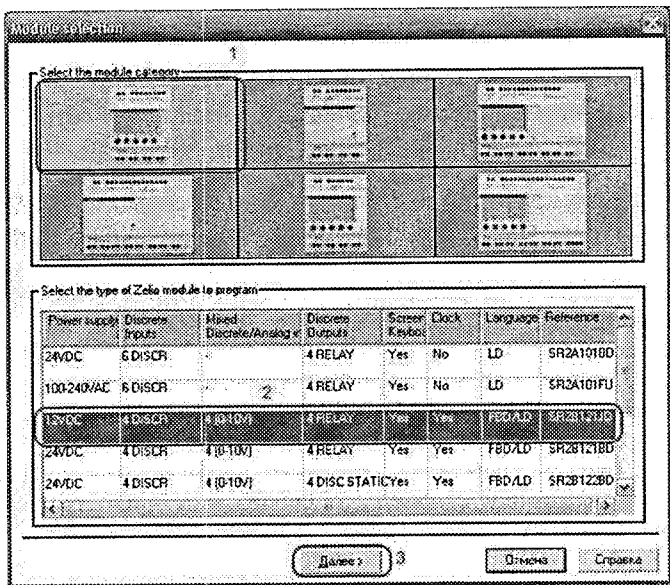


Рисунок 3.2 – Вікно вибору модуля *Zelio Logic*

Для вибраного модуля вибираємо середовище програмування *LD* або *FBD* (рис. 3.3). Для виконання першої частини завдання використовується середовище *LD*.

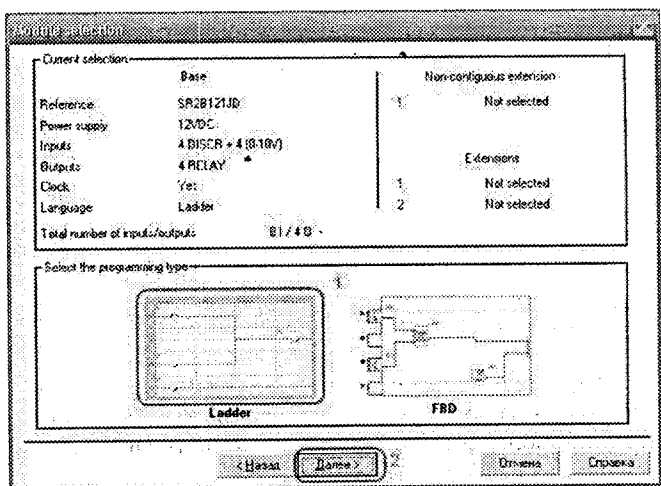


Рисунок 3.3 – Вікно вибору середовища програмування

Використовуючи режим створення програми *Edit Mode* шляхом технології *Drag-and-Drop*, створюємо програму модуля, як наведено на рис. 3.4.

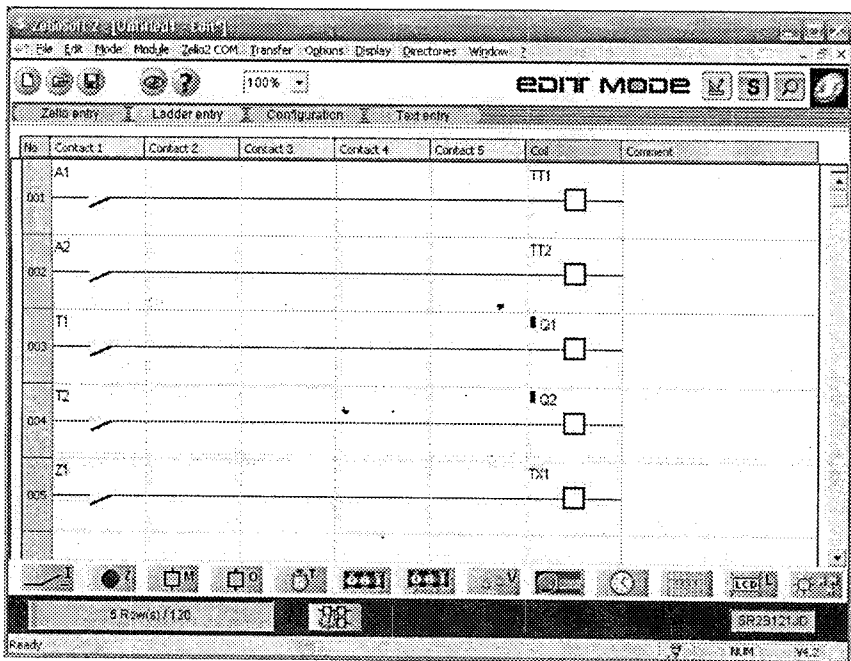


Рисунок 3.4 – Програма модуля, складена в середовищі LD

В програмі використовуються такі елементи:

- A1, A2 – аналогові компаратори;
- TT1, TT2 – командні входи таймерів;
- T1, T2 – виходи таймерів;
- Q1, Q2 – дискретні виходи модуля;
- Z1 – функціональна кнопка 1 на передній панелі модуля;
- TX1 – командний вхід виклику текстового повідомлення на дисплей модуля.

Аналогові компаратори налаштовуються у відповідному вікні (рис. 3.5) згідно з індивідуальним завданням, враховуючи, що верхня вимірювальна межа вибраного датчика складатиме 10 В, а нижня – 0 В.

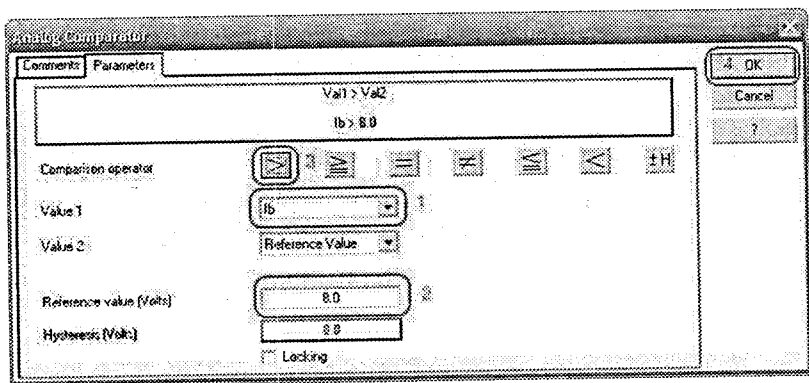


Рисунок 3.5 – Вікно налаштування аналогового компаратора

Таймери, які забезпечують імпульсний режим роботи системи регулювання, налаштовуються згідно зі способом, наведеним на рис. 3.6.

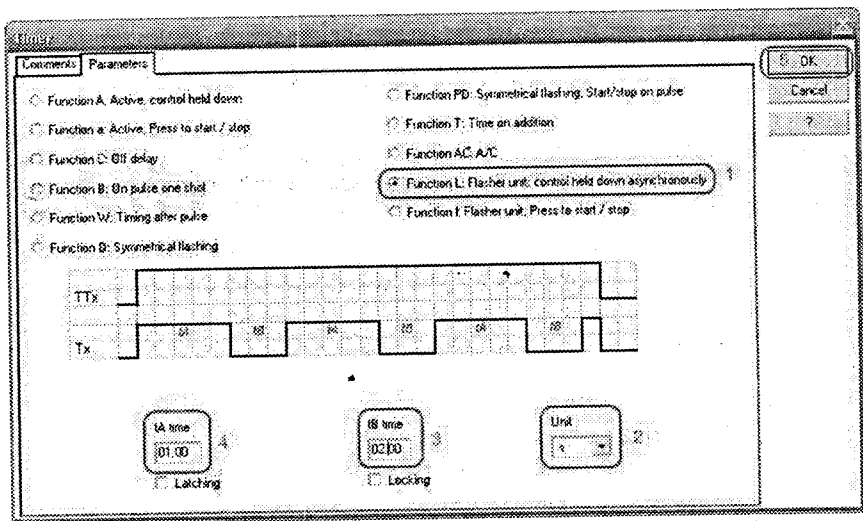


Рисунок 3.6 – Вікно налаштування таймера

Налаштування текстового блока TX1 для виведення поточного значення вимірюваного параметра за допомогою аналогового входу здійснюється у вікні параметрів цього блока. Послідовність налаштування вказана на рис. 3.7.

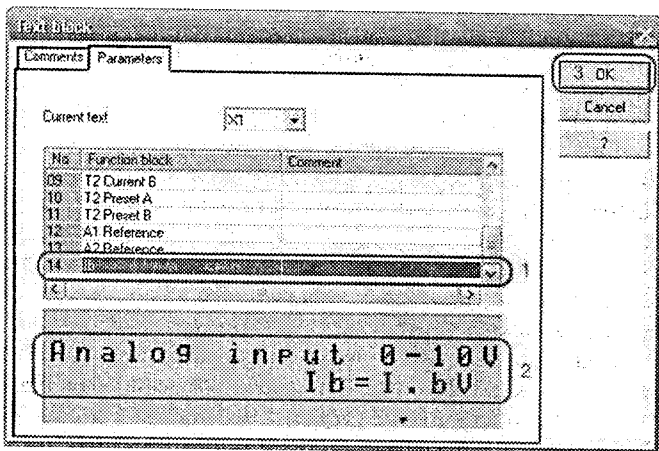


Рисунок 3.7 – Вікно налаштування текстового повідомлення

4. Перевірка створеної програми здійснюється у вікні «*Simulation mode*», для запуску симуляції натискаємо кнопку «*Run*», викликаємо відображення входів/виходів та аналогового входу контролера відповідними кнопками в нижній панелі інструментів вікна та перевіряємо створену програму (рис. 3.8).

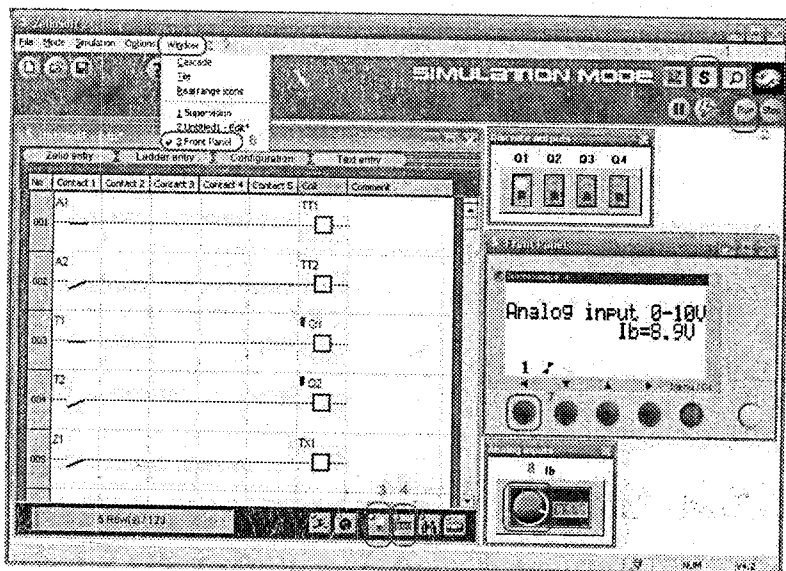


Рисунок 3.8 – Вікно перевірки програми *Simulation Mode*

Для виклику передньої панелі модуля в вікні симуляції слід виконати команду *Window / Front Panel*. Натисненням кнопки функціональної клавіші *Z1* перевіряємо адекватність програми. Перевірте початкове відображуване значення аналогового входу на передній панелі та під час зміни положення потенціометра аналогового входу.

5. Скласти програму модуля, тотожну за виконуваними задачами, мовою *FBD* (рис. 3.9). Перевірити коректність створеної програми.

6. Передача програми в модуль здійснюється після підключення модуля до ПК кабелем для програмування та моніторингу через порти *COM* або *USB*, після цього вибираємо вкладу *Transfer / Transfer Program / PC > Module*. У вікні попередження повідомляється, що попередня програма в модулі буде стерта, якщо вибрано підтвердження дії, та в наступному вікні слід налагодити дії модуля після закінчення прошивання програми (автоматичний запуск програми, необхідність моніторингу, час циклу і ін.).

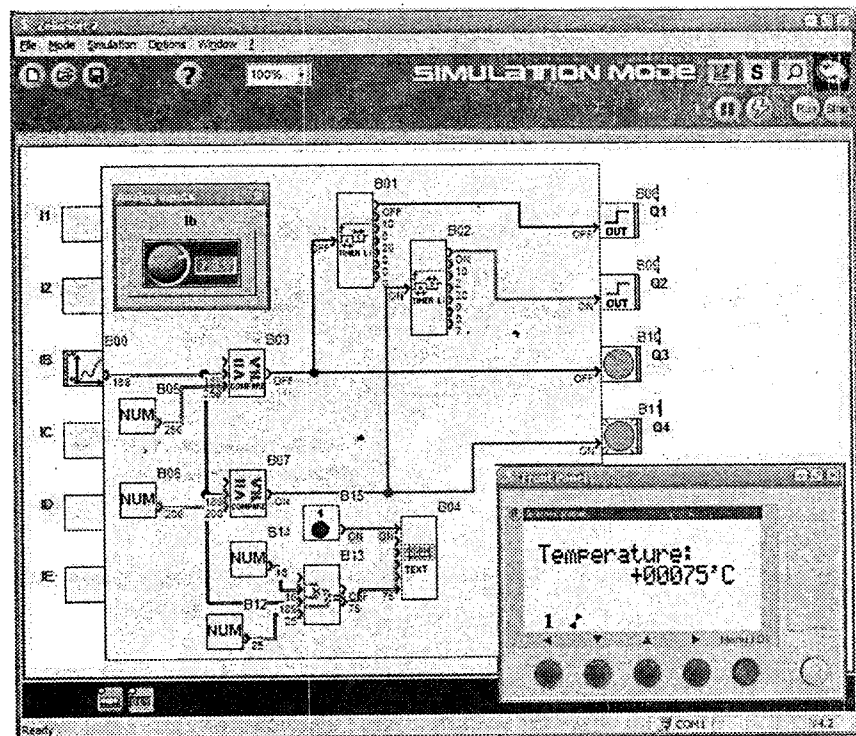


Рисунок 3.9 – Програма модуля мовою *FBD* у режимі симуляції

Запитання до захисту

- Поясніть роботу функціональної схеми системи автоматичного регулювання.
- Які функції виконує програмований логічний модуль в системі регулювання?
- Поясніть роботу розробленої програми модуля мовою *LD*.
- Поясніть роботу розробленої програми модуля мовою *FBD*.
- Наведіть можливі варіанти побудови програм в середовищі *ZelioSoft 2* для автоматичного регулювання технологічних параметрів.
- Поясніть критерії вибору первинних вимірювальних перетворювачів систем регулювання, які використовуються для програмованих логічних модулів.

Практична робота № 4

РОЗРОБКА СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПАРАМЕТРА З ПРОГРАМОВАНИМ ЛОГІЧНИМ КОНТРОЛЕРОМ *TWIDO*

- 📁 **Мета роботи** | Навчитися формулювати завдання до систем регулювання технологічних параметрів з програмованими логічними контролерами (ПЛК), складати програми мовами *LD* та *LI*.

1.1 Програма виконання лабораторної роботи

1. Згідно з індивідуальним завданням до практичної роботи № 1 вибрати датчик вимірювання технологічного параметра з вихідним аналоговим сигналом 0 – 10 В постійного струму.
2. Побудувати функціональну схему системи регулювання згідно з індивідуальним завданням з програмованим логічним контролером *Twido*, що використовується як регулятор технологічного параметра.
3. Розробити схему підключення датчика та виконавчого механізму до ПЛК *Twido*.
4. У середовищі розробки *TwidoSoft 3.5*, використовуючи режими програмування *LD* та *LI* створити програму, яка передбачає стабілізацію параметра з використанням функції ПІД-регулятора *PID*.
5. Здійснити передачу програми в контролер.
6. Використовуючи анімаційні таблиці *Animation Table* та вікна моніторингу ПІД-регулятора *PID / Animation Table* та *PID / Trace*, перевірити роботу програми:

- при зменшенні завдання на 20 %, (сигнал входу складає 50 %);
 - при збільшенні завдання на 20 %, (сигнал входу 50 %);
 - при зменшенні сигналу входу відносно середнього значення до 30 %;
 - при збільшенні сигналу входу відносно середнього значення до 70 %.
7. Зробити висновки по роботі.

1.2 Методичні вказівки до виконання практичної роботи

1. Вибір датчика вимірювання технологічного параметра проводиться відповідно до меж зміни технологічного параметра, сигнал на виході датчика повинен відповідати уніфікованому сигналу за напругою 0 – 10 В.

2. Порядок розробки функціональної схеми автоматизації тотожний до п. 2 практичної роботи № 3.

3. Підключення датчика технологічного параметра до ПЛК *Twido* здійснюється до аналогового входу *%IW0.1*, що має діапазон зміни вхідного сигналу 0–10 В. Значення слова програми ПЛК *%IW0.1* змінюється в межах 0 – 511, відповідно.

Для ПЛК *Twido* існує кілька варіантів підключення виконавчих механізмів, що залежить від вимог до точності підтримання параметра в системі регулювання. Найчастіше використовується два способи: з пневматичним виконавчим механізмом аналогової дії та електродвигунним виконавчим механізмом дискретної дії.

Для першого випадку в конфігурації проекту ПЛК потрібно передбачити модуль розширення аналогових виходів, наприклад *TWDAMOINT* (4 – 20 мА), вихідному каналу якого *%QW1.0* присвоювати значення вихідної змінної ПД-регулятора. Потім в схемі контуру регулювання для перетворення електричного сигналу в відповідний пневматичний сигнал слід передбачити електropневмоперетворювач, наприклад *ЭП3211* (рис. 4.1, вхід: 4 – 20 мА, вихід: 10 – 100 кПа).

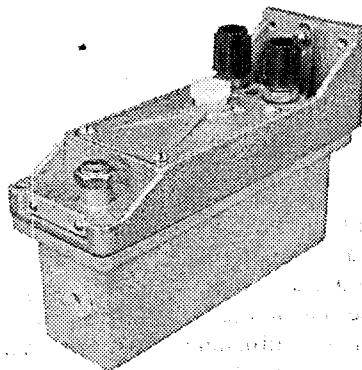


Рисунок 4.1 – Електропневматичний перетворювач *ЭП3211*

Потужність сигналу з електропневмоперетворювача вказаного типу відповідає вхідній потужності мембранного пневматичного виконавчого механізму. Описаний варіант використовується у випадку, коли необхідна висока точність підтримання технологічного параметра, не більше $\pm 5\%$ відносно заданого значення.

Якщо висока точність підтримки параметра на рівні заданого значення з технологічних причин не потребується, то можна використовувати електродвигунні виконавчі механізми зі схемою з'єднання, яка аналогічна до схеми, що розглядається в практичній роботі № 3. Для управління виконавчим механізмом використовуються дискретні виходи ПЛК. Наприклад, в разі додатного відхилення параметра відносно задання сигнал на виході ПД-регулятора буде від'ємний, тому для активації відповідного дискретного виходу слід передбачити в програмі ПЛК блок порівняння вихідної змінної ПД-регулятора з 0. Якщо вихідна змінна регулятора більша 0, то активний один дискретний вихід і виконавчий механізм відкриває регулювальний орган, а якщо вихідна змінна менша за 0, то активний інший дискретний вихід і виконавчий механізм закриває регулювальний орган. В більшості випадків для електродвигунних виконавчих механізмів використовується імпульсне регулювання, тобто активація виходу при виконанні умови порівняння вихідної змінної регулятора з 0 здійснюється не постійно, а періодично. Така конфігурація системи дозволяє запобігти перерегулюванню та виникненню автоколивань в системі.

4. Послідовність складення програми ПЛК мовою LD така. Запускається середовище *TwidoSoft 3.5*, створюється новий проект (*File / New*) та встановлюється конфігурація апаратних засобів ПЛК.

4.1. Вибираємо базовий тип контролера:

(*Hardware / Change PLC Base / TWDLMDA20DTK*).

4.2. Вибираємо тип модуля розширення аналогових виходів (для варіанта системи з пневматичним виконавчим механізмом):

(*Hardware / Add a module / TWDAMO1HT*)

4.3. Встановлюємо вхід ПЛК, що відповідає за виконання програми:

(*Hardware / Edit input configuration / %I0.1: Run/Stop*)

4.4. Вставляємо перший рядок програми:

(*Tools / Insert Rung*).

4.5. В першому рядку вставляємо блок ПД-регулятора під номером PID 0, використовуючи з панелі інструментів блок операцій (*Operate Block*) та заповнювальний горизонтальний конектор (*Horizontal connector fill*). Зразок рядка наведено на рис. 4.2.

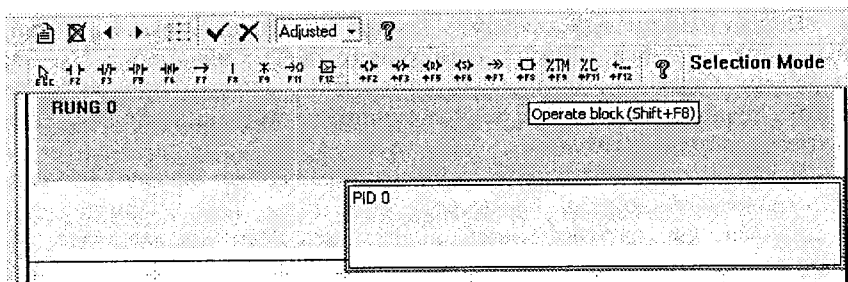


Рисунок 4.2 – Зразок першого рядка програми ПЛК

4.6. Налаштовуємо канали ПІД-регулятора, вказаного у першому рядку програми (*Software / PID / PID Number 0* → *Configured*). У відповідних вкладках вікна налаштування ПІД-регулятора встановлюємо входні та вихідні адреси змінних, коефіцієнт підсилення та постійні часу регулятора, список налаштувань наведений на рис. 4.3. Параметри налаштування ПІД-регулятора вибираються з таблиці 4.1.

```

PID 0 : configured
+-----+-----+
|                                     | GENERAL |                                     |
+-----+-----+
| Operating mode : PID                |         |                                     |
| PID Status : Inhibit                |         |                                     |
+-----+-----+
|                                     | INPUT   |                                     |
+-----+-----+
| Current value : %MW5                |         |                                     |
| Conversion : Inhibit                | Min :   | Max :   |
| Alarms : Allow                      | Low :   | Output : %Q0.1 |
|                                     | High :  10 | Output : %Q0.2 |
+-----+-----+
|                                     | PID     |                                     |
+-----+-----+
| Setpoint : %MW1                     |         |                                     |
| Kp : 50                              | Ti : 10  | Td :     0 |
| Sampling period : 2                  |         |                                     |
+-----+-----+
|                                     | AT      |                                     |
+-----+-----+
| AT mode : Inhibit                    | Limit :  | Output :   |
+-----+-----+
|                                     | OUTPUT |                                     |
+-----+-----+
| Action : Invert                      | Min :   | Max :   |
| Thresholds : Inhibit                 | Output : |         |
| Manual mode : Inhibit                |         |         |
| Digital output : %MW2                |         |         |
| PWM : Inhibit                        | Period : | Output :   |
+-----+-----+

```

Рисунок 4.3 – Таблиця налаштувань ПІД-регулятора

Програма ПЛК повинна передбачати зведення значення змінної аналогового входу *%IW0.1* (0 – 511) до значення, зручного для встановлення рівня задання у відсотках (0 – 100). Для цього в наступному

рядку програми слід використати той же блок операцій *Operate Block*, але у ньому зробити запис типу $\%MW4 := \%IW0.1 / 5$, таким чином змінна $\%MW4$ буде відповідати діапазону сигналу $0 - 511 / 5 = 0 - 102$, що наближено відповідає діапазону зміни технологічного параметра $0 - 100\%$ від максимально можливого значення.

Вихідний сигнал регулятора, що записується відповідно до налаштувань на рис. 4.3 у змінну $\%MW2$, має діапазон $0 - 10000$. Якщо фактичне значення параметра відповідає заданому, то вихідне значення змінної регулятора $\%MW2$ рівне 5000. Для зведення вихідного сигналу до належного рівня потрібно ввести в програмі ПЛК проміжну змінну $\%MW3$, що відрізняється від $\%MW2$ на 5000, тобто в третьому рядку програми, використовуючи блок операцій, слід записати $\%MW3 := \%MW2 - 5000$. Зразок програми наведено на рис. 4.4.

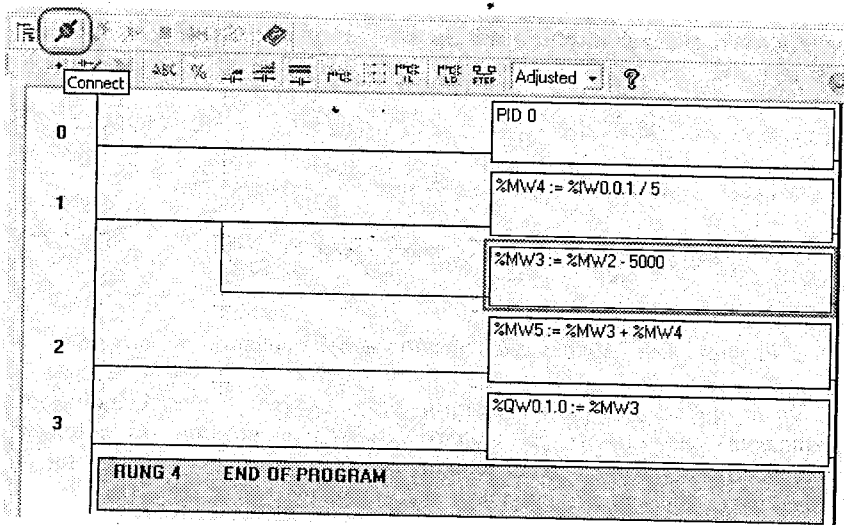


Рисунок 4.4 – Зразок програми мовою *LD*

В останньому рядку програми порівнюємо значенню аналогового виходу $\%QW1.0$ значення вихідної змінної регулятора $\%MW3$. Вихідний сигнал модуля розширення необхідно сконфігурувати таким чином, щоб найбільше значення змінної $\%MW3$ відповідало максимальному аналоговому сигналу 20 мА. Конфігурація модуля проводиться таким чином: виконується команда *Hardware / Configure a module*. У відкритому вікні (рис. 4.5) вибирається доступний тип модуля.

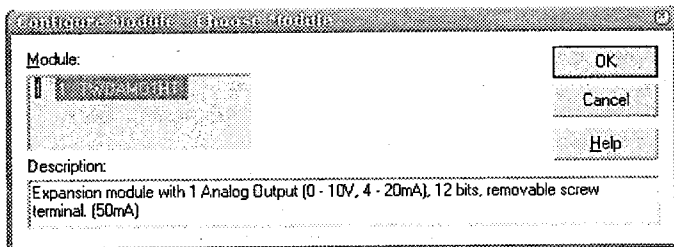


Рисунок 4.5 – Конфігурація модуля розширення аналогового виходу

Для доступного типу модуля у вікні параметрів (рис. 4.6) встановлюється тип вихідного сигналу (*Type: 4 – 20 mA*), налаштування меж зміни значень змінної загальне (*Range: Custom*), межі, що відповідають мінімальному та максимальному рівню сигналу, відповідно – 100 та + 100.

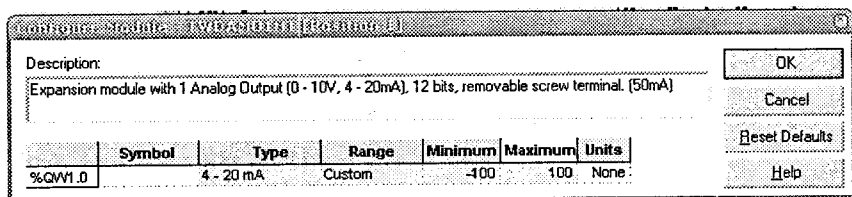


Рисунок 4.6 – Вікно налаштування модуля аналогового виходу

Якщо вибрано варіант системи регулювання з електродвигунним виконавчим механізмом, то аналогового модуля розширення в проекті передбачати не потрібно. Складена програма мовою списку інструкцій *List Instruction (LI)* для такого випадку наведена на рис. 4.7.

Операцією порівняння (рядки 7-9) `LD [%MW3>0] AND %S6 ST %Q0.3` прописується щосекундна активація виходу %Q0.3 на 0,5 секунди при виконанні умови, що вихідна змінна регулятора %MW3 більша за 0. Періодичність активації забезпечує системний біт %S6, який активується щосекунди на 0,5 секунди.

Для спрощення читання значень змінних та налаштування програми замість введених адрес зручно використовувати їх символічні назви. Тобто відповідному слову програми, наприклад %MW4, можна присвоїти текстове позначення. Для цього формується таблиця символів (*Program / Symbol Editor*), яка заповнюється відповідно до зразка на рис. 4.8.

| LD F2 | ST F3 | AND F5 | OR F6 | XOR F7 | IN F8 | MPS F9 | BLK F11 | SR F12 | JMP +F2 |
|----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|------------|-----------|-----------------------|
| 0 | LD | | | | | | | | 1 |
| 1 | [| | | | | | | | PID 0] |
| 2 | LD | | | | | | | | 1 |
| 3 | [| | | | | | | | %MW4 := %IWD.1 / 5] |
| 4 | [| | | | | | | | %MW3 := %MW2 - 5000] |
| 5 | LD | | | | | | | | 1 |
| 6 | [| | | | | | | | %MW5 := %MW3 + %MW4] |
| 7 | LD | | | | | | | | [%MW3 > 0] |
| 8 | AND | | | | | | | | %S6 |
| 9 | ST | | | | | | | | %QD.3 |
| 10 | LD | | | | | | | | [%MW3 < 0] |
| 11 | AND | | | | | | | | %S6 |
| 12 | ST | | | | | | | | %QD.3 |

Рисунок 4.7 – Зразок програми мовою *LI*

| | Symbol | Address |
|---|--------------------|---------|
| 1 | ANALOG_INPUT_0_100 | %MW4 |
| 2 | FEED_BACK_SIGNAL | %MW5 |
| 3 | PID_OUTPUT | %MW2 |
| 4 | PID_OUTPUT_CONVERS | %MW3 |
| 5 | PID_SETPOINT | %MW1 |
| 6 | | |

Рисунок 4.8 – Таблиця символів проекту

Після завершення складання програми вона аналізується на предмет коректності та синтаксису (*Program / Analyze program*), якщо помилок нема, то програма готова до передачі в контролер. Вибирається виконання команди *PLC / Connect*, що супроводжується відкриванням вікна опцій передачі (рис. 4.9). Тут вибираємо напрямок передачі ПК-контролер.

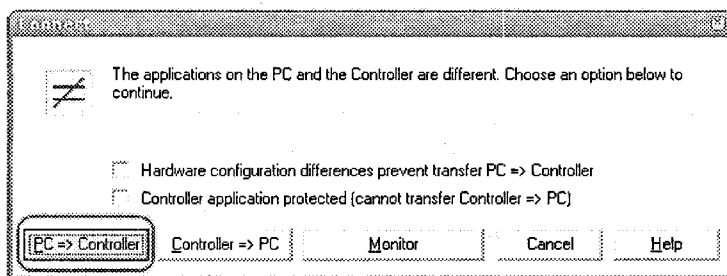


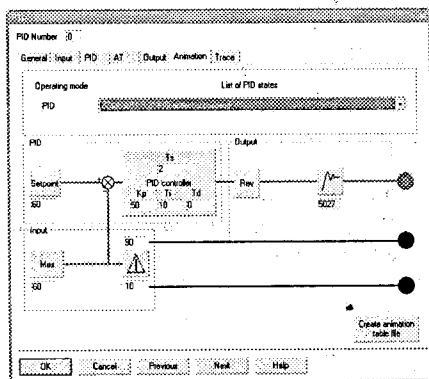
Рисунок 4.9 – Вікно опцій передачі проекту

Після завантаження програми в ПЛК і встановлення он-лайн режиму для моніторингу значень змінних програми створюється анімаційна таблиця (*Tools / Open animation tables*) за зразком, наведеним на рис. 4.10.

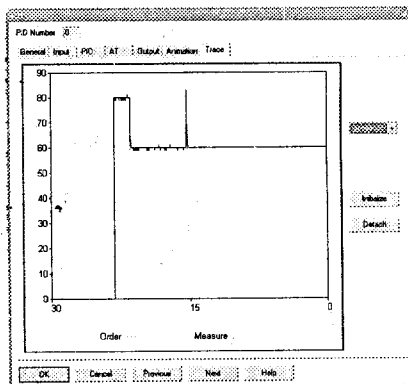
| | Address | Current | Retained | Format | Symbol | Valid |
|---|---------|---------|----------|---------|------------------|-------|
| 1 | %MV1 | 60 | 0 | Decimal | PID_SETPOINT | ✓ |
| 2 | %MV3 | 27 | 0 | Decimal | PID_OUTPUT_CONVE | ✓ |
| 3 | %MV4 | 32 | 0 | Decimal | ANALOG_INPUT_0_1 | ✓ |
| 4 | %MV5 | 59 | 0 | Decimal | FEED_BACK_SIGNAL | ✓ |
| 5 | | | | | | |

Рисунок 4.10 – Зразок анімаційної таблиці проекту

Програма запускається на виконання включенням входу *%I0.1 (SA1)*. Відкривається повторно вікно конфігурації ПІД-регуляторів, але в режимі он-лайн воно матиме ще дві додаткових вкладки *PID / Animation* та *PID / Trace* (рис. 4.11 та рис. 4.12), за допомогою яких перевіряється виконання програми за вищевказаних умов.



а)



б)

Рисунок 4.11 – Вікно анімації роботи ПІД-регулятора *PID / Animation* (а), вікно тренду роботи ПІД-регулятора *PID / Trace* (б)

Зміна сигналу задання здійснюється з вікна анімаційної таблиці, зміна вхідного сигналу здійснюється з допомогою аналогового потенціометра.

Таблиця 4.1 – Параметри налаштування ПІД-регуляторів

| Варіант | K_p | T_i, c | T_d, c |
|---------|-------|----------|----------|
| 1 | 0,2 | 5 | – |
| 2 | 0,25 | 4 | – |
| 3 | 0,3 | 3 | – |
| 4 | 0,35 | 2 | – |
| 5 | 0,4 | 1 | – |
| 6 | 0,45 | 5 | – |
| 7 | 0,5 | 4 | – |
| 8 | 0,55 | 3 | – |
| 9 | 0,6 | 2 | – |
| 10 | 0,65 | 1 | – |
| 11 | 0,7 | 5 | – |
| 12 | 0,75 | 4 | – |
| 13 | 0,8 | 3 | 0,3 |
| 14 | 0,2 | 2 | 0,35 |
| 15 | 0,25 | 1 | 0,25 |
| 16 | 0,3 | 5 | 0,4 |
| 17 | 0,35 | 4 | 0,45 |
| 18 | 0,4 | 3 | 0,5 |
| 19 | 0,45 | 2 | 0,55 |
| 20 | 0,5 | 1 | 0,6 |

Запитання до захисту



- Поясніть роботу функціональної схеми системи автоматичного регулювання.
- Які функції виконує програмований логічний контролер в системі регулювання?
- Поясніть роботу розробленої програми модуля мовою *LD*.
- Поясніть роботу розробленої програми модуля мовою *LI*.
- Поясніть вплив параметрів налаштування регулятора на характер перехідного процесу в системі регулювання.
- Поясніть критерії вибору первинних вимірювальних перетворювачів систем регулювання, які використовуються для програмованих логічних контролерів.

Практична робота № 5

РОЗРОБКА ЛЮДИНО-МАШИННОГО ІНТЕРФЕЙСУ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ З ОПЕРАТОРСЬКОЮ ПАНЕЛЛЮ *XBT-R*

📁 **Мета роботи** | Навчитися створювати проекти людинно-машинного інтерфейсу з буквено-цифровими операторськими панелями в середовищі розробки *XBT-L1000*.

1.1 Програма виконання лабораторної роботи

1. Згідно з індивідуальним завданням до практичної роботи № 4 скласти програму ПЛК.

2. В програмі ПЛК виділити верхню та нижню граничну межу зміни технологічного параметра, що дорівнюють відповідно + 10 % та – 10 % від величини завдання, вихід за які вважатимуться тривогами.

3. У середовищі розробки *XBT-L1000* розробити проект людинно-машинного інтерфейсу з відображенням значень регульованого параметра та вихідного сигналу функції *PID*, полем введення завдання на одній (головній) сторінці. На цій же сторінці розмістити елемент доступу до меню службових сторінок панелі для налаштування часу/дати. В проекті створити дві сторінки тривоги виходу регульованого параметра за граничні межі (п. 2).

4. Зберегти проект та перевірити його виконання за допомогою симуляції у середовищі *XBT-L1000*.

5. Здійснити передачу програми в ПЛК та передачу проекту в операторську панель.

6. На операторській панелі перейти до меню службових сторінок та встановити коректний час/дату. Повернутись до головної сторінки, використовуючи кнопку *ESC*.

7. За допомогою операторської панелі встановити сигнал завдання рівним 50%, а сигнал входу рівним спочатку 80%, потім рівним 30%. Перевірити виконання програми ПЛК, використовуючи відображення поточних значень регульованого параметра та виходу функції *PID*. Перевірити відображення сторінок тривоги.

8. Повернутись до меню службових сторінок та перевірити список тривоги.

9. Зробити висновки по роботі.

1.2 Методичні вказівки до виконання практичної роботи

1. В програмі ПЛК для виділення верхньої та нижньої границь зміни параметра потрібно використати елементи порівняння *Compare Block* з панелі інструментів при створенні програми мовою *LD*.

Зразок фрагмента програми, який слід додати до базової програми ПЛК, що розроблявся в ПР№ 4 наведений на рис. 5.1.

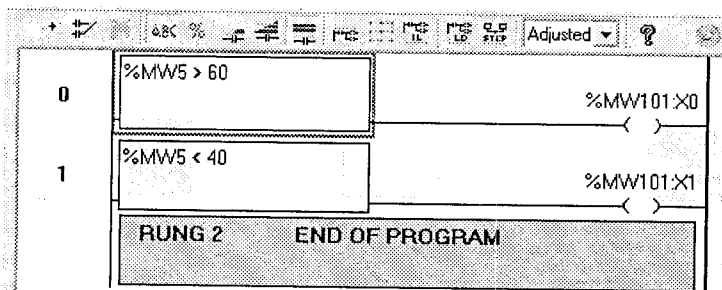


Рисунок 5.1 – Зразок додатка до програми ПЛК (LD) для виділення граничних меж зміни параметра

Якщо для розробки програми використовувалась мова списку інструкцій *LI*, то додаток матиме вигляд:

```

0 LD   [ % MW5 > 60 ]
1 ST   %MW101:X0
2 LD   [ % MW5 < 40 ]
3 ST   %MW101:X1

```

2. Послідовність створення та налаштування проекту головної сторінки людино-машинного інтерфейсу наведено в розділі 11. Розглянемо послідовність створення сторінок тривоги.

У вікні діалогової таблиці проекту (*Configuration / Dialogue Table*) додаємо до списку функцій таблицю тривоги *Alarm table*, як показано на рис. 5.2. Обсяг слів програми ПЛК, які вона використовує за замовчуванням, рівний 16 (*Size 16 words*), але для створюваного проекту достатньо одного слова *%MW101*, перший (*%MW101:X0*) та другий (*%MW101:X1*) біти якого зазначені в програмі ПЛК як сигнали про вихід параметра за верхню та нижню межі зміни параметра. Для зменшення розміру слів обміну між ПЛК та панеллю встановлюємо розмір цієї таблиці як 1 слово.

В головному вікні проекту додаємо дві сторінки тривоги – виходу параметра за верхню межу та виходу параметра за нижню межу. Послідовність додавання: *Page / New Page / Alarm*. При виконанні такої команди відкривається вікно підтвердження створення нової сторінки тривоги (рис. 5.3). У вказаному вікні слід встановити відповідність появи створеної сторінки тривоги біту програми ПЛК (*Activated by bit*), назву сторінки, пріоритет доступу до видалення тривоги зі списку і ін.

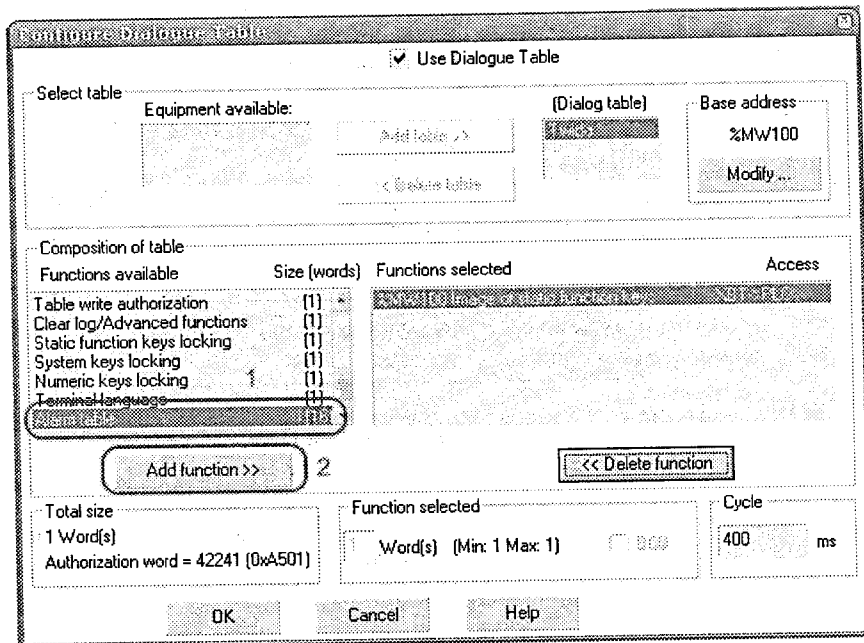


Рисунок 5.2 – Додавання таблиці тривог до списку функцій діалогової таблиці проекту людиномашинного інтерфейсу

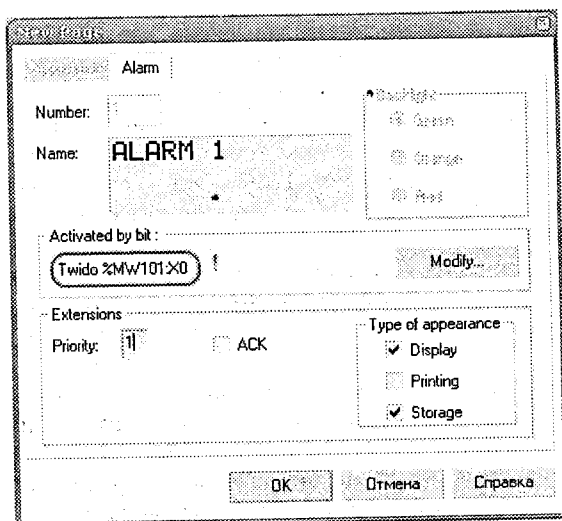


Рисунок 5.3 – Вікно створення нової сторінки тривог

В самій сторінці тривог в полях вже задано відображення часу/дати виникнення тривоги, її можна доповнити пояснювальним текстом, як наведено на рис. 5.4.

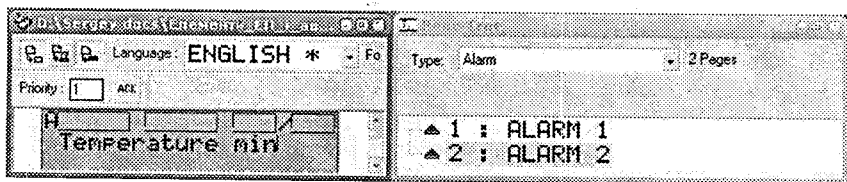


Рисунок 5.4 – Конфігурація сторінки тривог та вікно дерева сторінок тривог

Після завершення формування усіх сторінок проект перевіряється з допомогою симуляції *Simulation / Simulation Application*. Задаючи значення (0 або 1) бітів тривог вибраного слова, перевіряють роботу проекту. Приклад перевірки наведено на рис. 5.5.

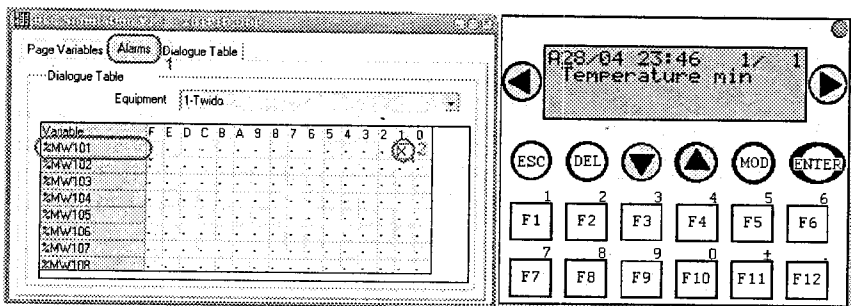




Рисунок 5.5 – Перевірка сторінок тривог в вікні симуляції

2. Для встановлення елемента переходу на службову сторінку меню операторської панелі слід встановити курсор на вільному полі головної сторінки (наприклад справа, якщо перехід буде здійснюватись натисненням кнопки «»), або зліва, якщо перехід потрібно здійснити натисненням кнопки «»). Потім виконується команда *Edit / Insert Link*. У відкритому вікні (рис. 5.6) вибираємо бажану стрілку, потім опцію *Action : Access to system page*. В списку доступних сторінок *Page* вибираємо сторінку головного меню *MENU*, оскільки через неї можна буде переглянути всі решта службові сторінки.

Виклик сторінок тривог в процесі роботи проекту фіксується в спеціальному списку тривог *Alarm List*, який є службовою сторінкою операторської панелі. Однак виклик звичайних сторінок в складному

проекті з багатьма сторінками може здійснюватись програмою ПЛК. Для цього потрібно в списку функцій діалогової таблиці активувати функцію *Number of page to be processed* і в програмі ПЛК у вказаний регістр записувати значення, що відповідає номеру сторінки, яка повинна відображатись на дисплеї панелі.

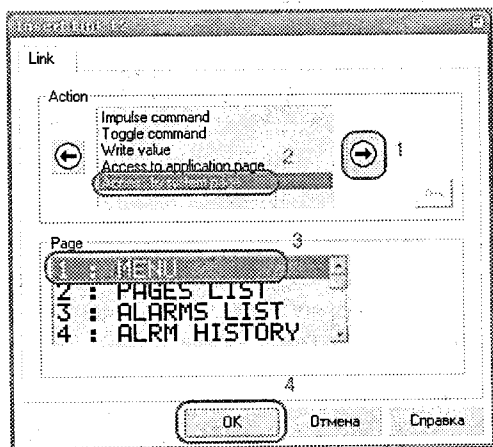


Рисунок 5.6 – Конфігурація елемента переходу між сторінками проекту

Порядок завантаження проекту в панель після з'єднання панелі з портом COM ПК кабелем XBTZ915 та виконання команди *Transfers / Export*.

Запитання до захисту

- Поясніть послідовність створення базової сторінки людино-машинного інтерфейсу.
- Яким чином здійснюється обмін даними між ПЛК та операторською панеллю?
- Поясніть порядок створення полів на сторінці панелі для читання / запису значень змінних програми ПЛК.
- Поясніть роботу розробленої програми ПЛК, як в програмі задають сигнали тривоги?
- Поясніть послідовність створення сторінок тривоги в проєкті людино-машинного інтерфейсу.
- Якими шляхами можна програмою ПЛК здійснювати зміну сторінок в панелях оператора?
- Як здійснюється доступ до службових сторінок панелі в процесі виконання проєкту?

Практична робота № 6

РОЗРОБКА ЛЮДИНО-МАШИННОГО ІНТЕРФЕЙСУ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ З ГРАФІЧНИМ ТЕРМІНАЛОМ *XBT-GT*

☞ **Мета роботи** | Навчитися створювати проекти людино-машинного інтерфейсу з графічними терміналами *XBT-GT* в середовищі розробки *Vjeko Designer*.

1.1 Програма виконання лабораторної роботи

1. Згідно з індивідуальним завданням до практичної роботи № 5 скласти програму ПЛК.

2. У середовищі розробки *Vjeko Designer* розробити проект людино-машинного інтерфейсу з відображенням значень:

- вхідного параметра системи регулювання (цифровий дисплей);
- фактичного значення регульованого параметра (цифровий дисплей та кутова шкала);
- вихідного сигналу функції *PID* (цифровий дисплей);
- задання функції *PID* (цифровий дисплей з функцією введення).

На цій же сторінці розмістити тренд значень регульованого параметра.

3. Створити в проекті групу тривог *AlarmGroup* та налаштувати активацію тривог за станами першого та другого бітів слова *%MW101* (відповідно до програми ПЛК).

4. Створити сторінку зі списком тривог та полем годинника.

4. Зберегти проект та перевірити його виконання за допомогою симуляції у середовищі *Vjeko Designer*.

5. Здійснити передачу програми в ПЛК та передачу проекту в графічний термінал.

6. За допомогою графічного терміналу встановити сигнал задання рівним 50%, а сигнал входу рівним спочатку 80%, потім рівним 30%. Перевірити виконання програми ПЛК, використовуючи відображення поточних значень регульованого параметра та виходу функції *PID*. Перевірити повідомлення на сторінці тривог.

7. Зробити висновки по роботі.

1.2 Методичні вказівки до виконання практичної роботи

1. Послідовність створення та налаштування проекту головної сторінки людино-машинного інтерфейсу за допомогою графічного терміналу наведено в розділі 12.

2. Імпорт змінних в проект для середовища *Vjeko Designer* може здійснюватися безпосередньо з програми ПЛК. Для цього потрібно виконати команду *Variable / Link Variables*. Далі за допомогою функції огляду слід вказати місцезнаходження файлу програми ПЛК з розширенням **.lwd* (файл середовища *TwidoSoft*). Після цього у відкритому

вікні вибору змінних (рис. 6.1) достатньо вказати, які з них будуть використовуватись в проекті.

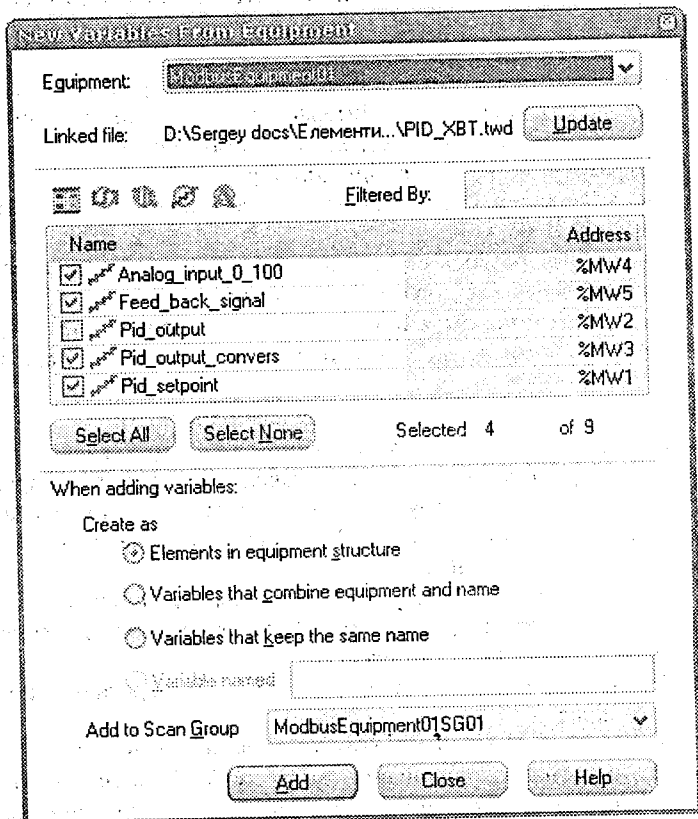


Рисунок 6.1 – Імпорт змінних до проекту з програми ПЛК

Для налаштування швидкості побудови тренду потрібно відкрити вікно налаштування групи реєстрації даних через навігатор проекту *Data Logging / Logging Group* (рис. 6.2).

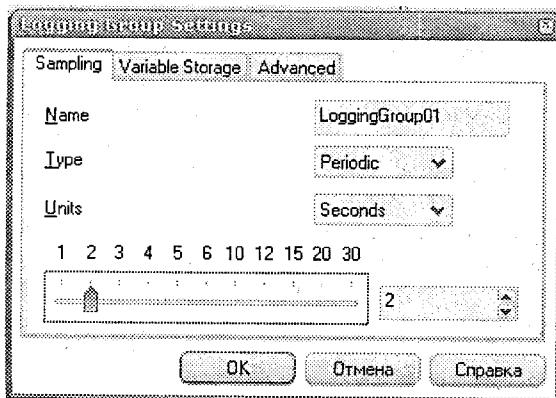


Рисунок 6.2 – Вікно налаштування групи реєстрації даних

При необхідності змінні, що використовуються програмою ПЛК (тип змінних – дискретний *Discrete*), потрібно ратифікувати в проєкті як змінні тривоги. Порядок їх ратифікації наведено на рис. 6.3. У вікні налаштування параметрів змінних тривоги (рис. 6.3) у вкладці *Alarm* налаштовується повідомлення тривоги. Для цього натискається кнопка *Alarm message* і вводиться текстове повідомлення тривоги, наприклад *Temperature High* або подібне. При формуванні таблиці тривоги саме це повідомлення буде відображатись у списку.

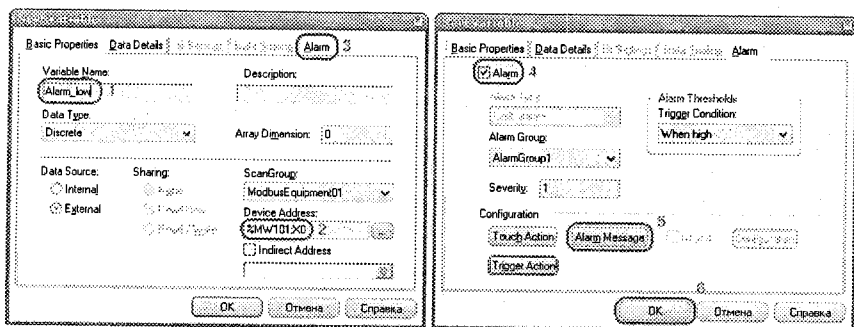


Рисунок 6.3 – Вікно налаштування змінних тривоги

Додання нової сторінки проєкту здійснюється з навігатора проєкту шляхом вибору функції *Base Panel / New Panel* (або клавіша *Insert*). Нова сторінка створюється для розташування на ній таблиці тривоги. На верхній частині сторінки таблиці тривоги з допомогою текстового блока потрібно

створити відповідний заголовок (рис. 6.5), під заголовком обов'язково розташовують блок годинника, що необхідно оператору для встановлення давності виникнення тривоги. Введення блока годинника здійснюється через компонент *Data Display / Time Display*. Додання таблиці тривог здійснюється шляхом використання компонента *Alarm Summary* та його налаштування (розмір шрифту, анімація, ширина колонок, набір колонок, кількість допоміжних кнопок навігації і т. д.).

Для налаштування навігації між сторінками проекту використовується елемент «перемикач» типу *Switch*. Він розташовується в потрібному місці сторінки і налаштовується у вікні параметрів (рис. 6.4). Спочатку вибирається його стиль (стрілка), потім налаштовується його дія зі списку *Operation / Panel*. В полі *Panel ID* вводиться номер тієї сторінки, на яку потрібно перейти після натиснення перемикача.

Після завершення формування усіх сторінок та таблиць змінних проект перевіряється з допомогою симуляції *Simulation / Simulation Application*. Задаючи значення змінних та бітів тривог, перевіряють роботу проекту. Приклад перевірки наведено на рис. 6.5.

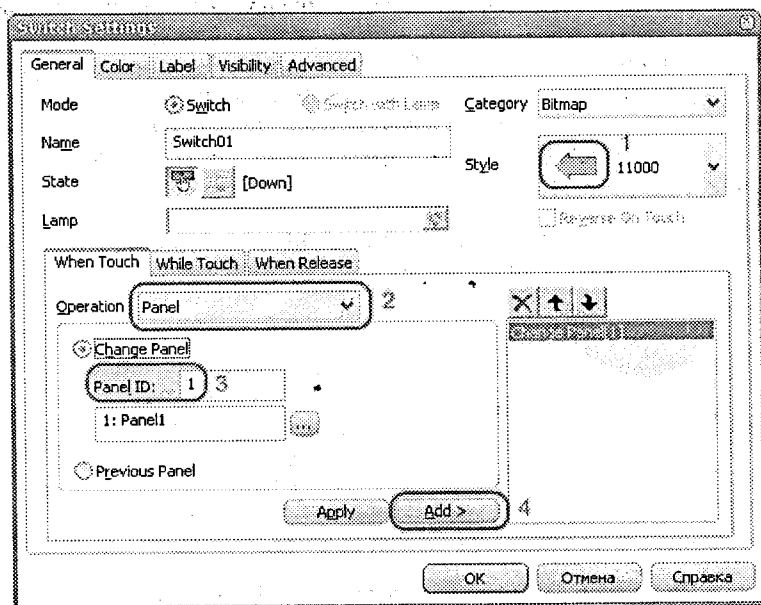


Рисунок 6.4 – Вікно налаштування елемента навігації

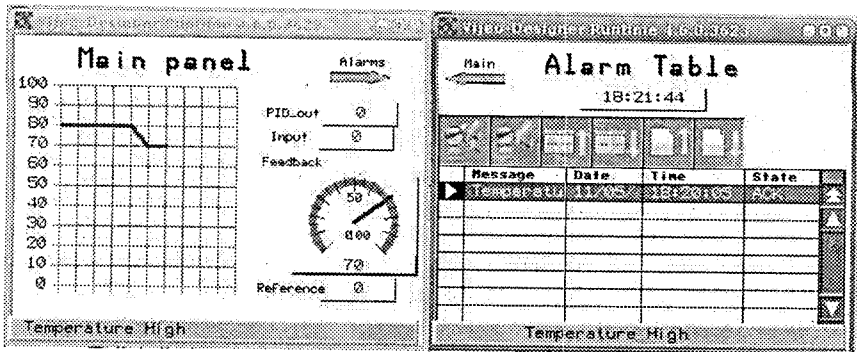


Рисунок 6.5 – Перевірка головної сторінки та сторінки тривоги в вікні симуляції

Для завантаження проекту в панель після з'єднання панелі з вузлом мережі *Ethernet* потрібне виконання команди *Build / Download Target*.

Запитання до захисту

- Поясніть послідовність створення підпорядкованих пристроїв та списку змінних людино-машинного інтерфейсу з графічним терміналом *Magelis*.
- Яким чином здійснюється обмін даними між ПЛК та операторською панеллю?
- Поясніть порядок налаштування блока індикації типу: стрілка-шкала, гістограма, цифровий дисплей. Як налаштовується введення числових значень?
- Поясніть роботу розробленої програми ПЛК.
- Поясніть послідовність створення сторінки тривоги в проекті людино-машинного інтерфейсу з графічним терміналом *Magelis*.
- Як налаштовується перехід між сторінками проекту?
- Як здійснюється введення та налаштування блока годинника в середовищі *Vijeo Designer*?

Література

1. Ладанюк А. П. Автоматизация технологических процессов и производств харчової промисловості / Ладанюк А. П., Трегуб В. Г., Ельперін І. В., Цюцюра В. Д. – К. : Аграрна освіта, 2001.–224 с.
2. Ротач В. Я. Теория автоматического управления / Ротач В. Я. – М. : Издательский дом МЭИ, 2008. – 396 с.
3. Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах : ГОСТ 21.404-85 . – [Введ. 18.04.1985]]. — М. : Стандартинформ, 2007. — 12 с. — (Межгосударственный стандарт).
4. Клюев А. С. Проектирование систем автоматизации технологических процессов : [справочное пособие] / А. С. Клюев, Б. В. Глазов, А. А. Дубровский, С. А. Клюев – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 464 с.
5. Клюев А. С. Настройка средств автоматизации и автоматических систем регулирования: [справочное пособие] / А. С. Клюев, А. Т. Лебедев, С. А. Клюев, А. Г. Товарнов. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 368 с.
6. Универсальный микропроцессорный регулятор МИК-21-05. Руководство по эксплуатации. – Ивано-Франковск: НПП Микрол, 2009. – 83 с. – ПРМК 421457.103 РЭ.
7. Altivar 31 drives / Преобразователи частоты Altivar 31 Интуитивность и универсальность. – Schneider Electric. – Telemecanique. – ATV31CATRU Ver. 1.0 – 10/2006. – 57 с.
8. Интеллектуальное реле Zelio Logic 2. Руководство пользователя. – Schneider Electric. – Telemecanique. – SR1MAN01RU 3500714300 – 01/2004. – 151 с.
9. Twido. Программируемые контроллеры. Справочное руководство по программному обеспечению. — Schneider Electric. — Telemecanique. — TWDUSE10AF ver 2.1 — 2004. — 478 с.
10. Magelis XBT N/R/RT Compact Display Units User Manual. — Schneider Electric. — Telemecanique. — 33003962 / 09 — 2007. — 194 p.
11. Magelis XBT GT, XBT GK User Manual. — Schneider Electric. — Telemecanique. — 35010372 / 08 — 2007. — 206 p.

СЛОВНИК ОСНОВНИХ ТЕРМІНІВ (GLOSSARY)

| | |
|---|---|
| Автоматизація | <i>automation</i> |
| Аналоговий | <i>analog</i> |
| Виконавчий механізм | <i>executive mechanism</i> |
| Витратомір | <i>flowmeter</i> |
| Гальмування | <i>braking</i> |
| Датчик | <i>sensor</i> |
| Дискретний | <i>discrete</i> |
| Диференційно-трансформаторний перетворювач | <i>differential-transformer converter</i> |
| Електрод | <i>electrode</i> |
| Електродвигун | <i>electric motor</i> |
| Електропривод | <i>electric drive</i> |
| Завдання | <i>reference</i> |
| Задана швидкість | <i>preset speed</i> |
| Зворотний зв'язок | <i>feedback</i> |
| Компаратор | <i>comparator</i> |
| Людино-машинний інтерфейс | <i>human-machine interface</i> |
| Мікропроцесор | <i>microprocessor</i> |
| Операторська панель | <i>operator's panel</i> |
| Оптичний | <i>optical</i> |
| Перетворювач частоти | <i>variable frequency converter</i> |
| Польова шина | <i>fieldbus</i> |
| Програмне забезпечення | <i>software</i> |
| Програмований логічний контролер | <i>programmable logic controller</i> |
| Програмування | <i>programming</i> |
| П'єзоелемент | <i>piezoelement</i> |
| Регульовальний орган | <i>regulation armature</i> |
| Регулятор | <i>regulator</i> |
| Реле | <i>relay</i> |
| Ретрансмісія | <i>retransmission</i> |
| Рівень | <i>level</i> |
| Середовище розробки | <i>development environment</i> |
| Схема | <i>scheme</i> |
| Таймер | <i>timer</i> |
| Температура | <i>temperature</i> |
| Тензометричний перетворювач | <i>tensometric converter</i> |
| Тиск | <i>pressure</i> |
| Транзистор | <i>transistor</i> |
| Тривога | <i>alarm</i> |
| Ультразвук | <i>ultrasonic</i> |

Навчальне видання

Сергій Михайлович Левицький
Михайло Петрович Розводюк

Елементи систем автоматизації та електроприводу
Навчальний посібник

Редактор В. Дружиніна

Коректор З. Поліщук

Оригінал-макет підготовлено С. Левицьким

Підписано до друку 17.12.2013 р.
Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman.
Друк різнографічний. Ум. друк. арк. 8,9.
Наклад 75 прим. Зам. № 2014-011.

Вінницький національний технічний університет,
навчально-методичний відділ ВНТУ,
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, к. 2201.

Тел. (0432) 59-87-36.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК №3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано у Вінницькому національному технічному університеті
в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі.

21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, ГНК, к. 114.

Тел. (0432) 59-87-38.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК №3516 від 01.07.2009 р.