



Міністерство освіти і науки України
Запорізька державна інженерна академія

В. М. Чван

МІКРОПРОЦЕСОРНІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Навчально-методичний посібник
для студентів спеціальності "Гідроенергетика"
денної та заочної форми навчання

Запоріжжя
2007

Мікропроцесорні системи автоматизації. Навчально-методичний посібник для студентів спеціальності 7.090503 "Гідроенергетика" денної та заочної форми навчання /Укладач В. М. Чван. Запоріжжя: Видавництво ЗДІА, 2007. -137 с.

Укладач:
В.М.Чван - ст. викладач

Відповідальний за випуск -
завідувач кафедри "Гідроенергетика"
доктор технічних наук Ф. П. Шкрабець

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1 Типова структура МПС автоматизації	8
2 Мікропроцесорне керування технологічним устаткуванням	14
2.1 Загальні принципи побудови МПС автоматизації	14
2.2 Система централізованого керування	20
2.3 Система децентралізованого керування	22
2.4 Багаторівневі системи децентралізованого керування	23
3 Вимірювальні перетворювачі (ВП)	25
3.1 Класифікація ВП	25
3.2 Термоелектричні вимірювальні перетворювачі	28
3.3 Терморезистивні вимірювальні перетворювачі	31
3.4 Напівпровідникові вимірювальні перетворювачі	32
3.5 Вимірювальні ланцюги термоелектричних і терморезистивних перетворювачів	34
3.6 Вимір електричних величин методами порівняння з мірою	36
3.7 Основні принципи сполучення вимірювальних перетворювачів	39
4 Цифро-аналогові та аналого-цифрові перетворювачі	43
4.1 Операційні підсилювачі та інтегральні компаратори	43
4.2 Генератори напруги, що лінійно змінюється	45
4.3 Цифро-аналогові перетворювачі	48
4.4 Аналого-цифрові перетворювачі	52
5 Мікропроцесорні контролери систем автоматизації	58
5.1 Типи і структурна схема контролера	58
5.2 Основні етапи розробки контролера	60
5.3 Контролери фірми V&R	63
6 Інтерфейси МПС автоматизації	71
6.1 Класифікація інтерфейсів	71
6.2 Елементна база інтерфейсів	82
6.2.1 Принципи побудови та застосування шинних формувачів ШФ	82
6.2.2 Багаторежимний буферний регістр ББР	84
7 Виконавчі елементи систем автоматизації	86
7.1 Виконавчі елементи системи. Призначення, класифікація	86
7.2 Тиристорні підсилювачі	87
7.3 Тиристорні ключі	91
8 Особливості програмного забезпечення МПС автоматизації	93
ЛІТЕРАТУРА	102
ДОДАТОК А Модулі контролера V&R System 2003	103
ДОДАТОК Б Характеристика основних мереж МПС автоматизації	120
ДОДАТОК В Джерела живлення МПС V&R System 2003	133

ВСТУП

Автоматизація технологічних процесів на основі застосування сучасних засобів автоматики і обчислювальної техніки становить один з головних напрямків науково-технічного прогресу у всіх галузях промисловості і у першу чергу в енергетиці. Рішення завдань автоматизації в цей час неможливо без застосування досягнень мікроелектроніки.

Створення засобів виміру, контролю й керування встаткуванням і технічними процесами характеризується переходом від рішення щодо простих завдань автоматизації (наприклад, виключення ручних операцій оператора) до створення на основі мікропроцесорів і іншої мікроелектронної елементної бази пристроїв автоматики із програмним керуванням, що забезпечують автоматичний режим роботи як автономно, так і у складі автоматизованих систем, що вирішують складні функціональні завдання контролю та керування при великому обсязі переробки інформації.

Мікроелектронна елементна база, постійно вдосконалюючись та оновлюючись, дозволяє істотно підвищувати як технічні характеристики (точність, швидкодія, надійність, енергоспоживання, маса, габарити, діагностика і т.д.), так і функціональні можливості пристроїв на її основі.

Мікропроцесори та мікропроцесорні системи внесли в розвиток обчислювальної техніки якісно нові властивості. Завдяки застосуванню напівпровідникових структур, які виконуються за інтегральною технологією на мініатюрному кристалі, вони легко вбудовуються в устаткування і у багато інших пристроїв, а також є основними елементами систем керування технологічними процесами виробництва, істотно розширюють можливості автоматизації процесів і здійснення програм енергозбереження.

Мікропроцесор (МП) - програмно-керований пристрій, що здійснює процес обробки цифрової інформації та керування ним, реалізований у вигляді однієї або декількох інтегральних мікросхем, що мають функціональну завершеність. До складу мікропроцесора входять: арифметично-логічний пристрій (АЛП), що виконує арифметичні, логічні та інші операції; блок реєстрів, що реалізує внутрішню пам'ять МП; пристрій керування (ПК), що виробляє керуючі та синхронізуючі сигнали відповідно до алгоритму функціонування МП (відповідно до коду команди, що надійшла), і інтерфейс для зв'язку із зовнішніми пристроями. Наявність універсального набору команд (операцій) МП забезпечує їх широке застосування без зміни структури в різних технологічних процесах.

Мікропроцесорна система (МПС) - спеціалізована обчислювальна, контрольно-вимірювальна або керуюча система, побудована на основі МПК ВІС (мікропроцесорного комплексу великих інтегральних схем). МПК ВІС - сукупність мікропроцесорних та інших мікросхем (реалізуючих частину мікропроцесора), сумісних по інформаційним, електричним і конструктивним параметрам і призначеним для спільного використання в складі МП, мікроЕОМ

та інших технічних засобах. ВІС - напівпровідникова інтегральна мікросхема, що містить 500 і більше елементів. Типовий склад МПК:

- ВІС МП (один або кілька корпусів інтегральних схем),
- ВІС оперативних запам'ятовувальних пристроїв (ОЗП),
- ВІС постійних запам'ятовувальних пристроїв (ПЗП),
- інтерфейси або контролери зовнішніх пристроїв,
- службові ВІС (тактовий генератор, регістри, шинні формувачі, контролери шин).

МПС являє собою електронну систему, призначену для обробки вхідних сигналів та видачі вихідних сигналів згідно заданому алгоритму. Для вхідних і вихідних сигналів при цьому можуть використатися аналогові сигнали, одиночні цифрові сигнали, послідовності цифрових кодів. В системі може виконуватися зберігання, нагромадження сигналів (інформації).

Діапазон застосування мікропроцесорної техніки зараз дуже широкий, вимоги до мікропроцесорних систем пред'являються самі різні. Тому сформувалося кілька типів мікропроцесорних систем, що розрізняються потужністю, універсальністю, швидкодією і структурними відмінностями. Основні типи наступні:

- мікроконтролери - найбільш простий тип мікропроцесорних систем, у яких всі або більшість вузлів системи виконані у вигляді однієї мікросхеми;
- контролери - керуючі мікропроцесорні системи, виконані в більшості варіантів у вигляді окремих модулів з розвиненими засобами сполучення із зовнішніми пристроями;
- мікрокомп'ютери - могутніші мікропроцесорні системи з розвиненими засобами сполучення із зовнішніми пристроями.
- комп'ютери (у тому числі персональні) - самі потужні й найбільш універсальні мікропроцесорні системи.

Чітку границю між цими типами іноді провести досить складно. Швидкодія всіх типів мікропроцесорів постійно росте, і нерідкі ситуації, коли новий мікроконтролер виявляється працює швидше ніж застарілий персональний комп'ютер.

Мікроконтролери являють собою універсальні пристрої, які практично завжди використовуються не самі по собі, а в складі більше складних пристроїв, у тому числі й контролерів. Системна шина мікроконтролера схована від користувача усередині мікросхеми. Можливості підключення зовнішніх пристроїв до мікроконтролера обмежені. Пристрої на мікроконтролерах звичайно призначені для рішення одного завдання.

Контролери, як правило, створюються для рішення якогось окремого завдання або групи близьких завдань. Структура контролера проста і оптимізована під максимальну швидкодію. У більшості випадків виконувані програми зберігаються в постійній пам'яті. Конструктивно контролери випускаються в одноплатному або модульному варіанті. Модульний варіант передбачає поділ контролера на окремі функціональні вузли (модулі), що реалізують одну з

функцій основного пристрою: процесора, пам'яті, адаптера вводу-виводу, інтерфейсу, а також дозволяють комплектувати їх залежно від складності виконуваного завдання без надмірності апаратної частини.

Мікрокомп'ютери відрізняються від контролерів більше відкритою структурою, вони допускають підключення до системної шини декількох додаткових пристроїв. Виробляються мікрокомп'ютери в каркасі, в корпусі з під'єднаннями до системної магістралі, доступними користувачеві. Мікрокомп'ютери можуть мати засоби зберігання інформації на магнітних носіях (наприклад, магнітні диски) і досить розвинені засоби зв'язку з користувачем (монітор, клавіатура). Мікрокомп'ютери розраховані на широке коло завдань. Виконувати мікрокомп'ютером програми можна легко міняти.

Комп'ютери та найпоширеніші з них - персональні комп'ютери - це самі універсальні з мікропроцесорних систем. Вони обов'язково передбачають можливість модернізації, а також широкі можливості підключення нових пристроїв. Їхня системна шина, звичайно, доступна користувачеві. Крім того, зовнішні пристрої можуть підключатися до комп'ютера через кілька встановлених портів зв'язку (кількість портів доходить іноді до 10). Комп'ютер завжди має сильно розвинені засоби зв'язку з користувачем, засобу тривалого зберігання інформації великого обсягу, засобу зв'язку з іншими комп'ютерами по інформаційних мережах. Области застосування комп'ютерів можуть бути самими різними: математичні розрахунки, обслуговування доступу до баз даних, керування роботою складних електронних систем, підготовка документів і т.д.

Будь-яке завдання в принципі можна виконати за допомогою кожного з перерахованих типів мікропроцесорних систем. Але при виборі типу треба по можливості уникати надмірності і передбачати необхідну для даного завдання гнучкість системи.

У цей час при розробці нових мікропроцесорних систем найчастіше вибирають шлях використання контролерів. При цьому контролери застосовуються або самостійно, з мінімальною кількістю складових частин (модулів), або в складі багаторівневих МПС із розвиненими засобами введення/виводу.

У даній методичній розробці розглядаються особливості, принципи й методи застосування промислових контролерів, широко застосовуваних у всіх галузях промисловості, у тому числі гідроенергетичної, у зв'язку з високими показниками по універсальності, гнучкості, простоті проектування МПС, що забезпечується модульно-магістральним принципом побудови МПС. Маючи більші обчислювальні можливості, вони при багатосерійному виробництві мають низьку вартість і малі габарити. Міняючи програму, ту саму стандартну МПС можна використати в багатьох пристроях.

1 ТИПОВА СТРУКТУРА МПС АВТОМАТИЗАЦІЇ

МПС являє собою сукупність апаратних (Hard Ware) і програмних засобів (Soft Ware). Причому апаратні засоби забезпечують максимальну продуктивність або швидкодію, а програмні засоби - розширення кола завдань, розв'язувані МПС. Як правило, реалізація обчислень програмними засобами є менш швидкодіючою. Тому в процесі проектування МПС у цілому необхідно визначити оптимальні співвідношення між апаратними й програмними засобами з метою одержання заданих характеристик МПС. При цьому в процесі проектування продуктивність системи, обсяг пам'яті, габарити, споживана енергія виступають як критерії вибору конкретної структури МПС. Узагальнюючим критерієм вибору структури МПС при рішенні конкретного завдання, як правило, є вартісний критерій, що сполучає в собі всі перераховані вище критерії. А при зміні технічного завдання можна варіювати як апаратними, так і програмними засобами з метою одержання її найкращого варіанта. При проектуванні МПС необхідно враховувати наступні функціональні можливості:

- Збір й обробка в реальному часі різноманітних вимірюваних параметрів
- Попередні перетворення різного роду інформації.
- Відображення інформації.
- Контроль й оцінка параметрів і порівняння зі стандартами.
- Діагностика, аналіз функціонування МПС із можливістю виклику діагностичних програм.
- Архівація великої кількості даних з можливістю перегляду й аналізу
- Оформлення протоколів на паперовому й магнітному носії.
- Зв'язок з іншими системами у вигляді підключення до ліній обчислювальних систем.
- Видача сигналів керування для використання в системах сигналізації та керування обладнанням.

При цьому структура проектованої МПС повинна бути типова або універсальна, що скорочує час на розробку такої системи. Апаратні засоби, як правило, не містять надлишкової частини й забезпечують високу швидкодію при малому споживанні енергії, забезпечують можливість підключення великої кількості датчиків і периферійних пристроїв. Для забезпечення надійної роботи передбачений захист від зависання, сумісність із усім набором ефективних пристроїв, використання подвійного живлення.

Типова структура мікропроцесорної системи наведена на рис. 1.1 [1]. Вона містить у собі три основних типи пристроїв:

- процесор;

- пам'ять, що включає оперативну пам'ять (ОЗП, RAM - Random Access Memory) і постійну пам'ять (ПЗП, ROM -Read Only Memory), що служать для зберігання даних і програм;
- пристрою вводу/виводу (ПВВ, I/O - Input/Output Devices), для зв'язку мікропроцесорної системи із зовнішніми пристроями, для прийому (введення, читання, Read) вхідних сигналів і видачі (виводу, запису, Write) вихідних сигналів.

Процесор виконує наступні дії: управляє виконанням команд, здійснює обмін інформацією із зовнішніми пристроями, управляє зовнішніми пристроями в комплексі.

Його основні параметри наступні: розрядність, продуктивність, можливість взаємодії із зовнішніми пристроями, будується на базі МПК.

Пам'ять складається із двох компонентів: ПЗП для зберігання програм, ОЗП для зберігання даних.

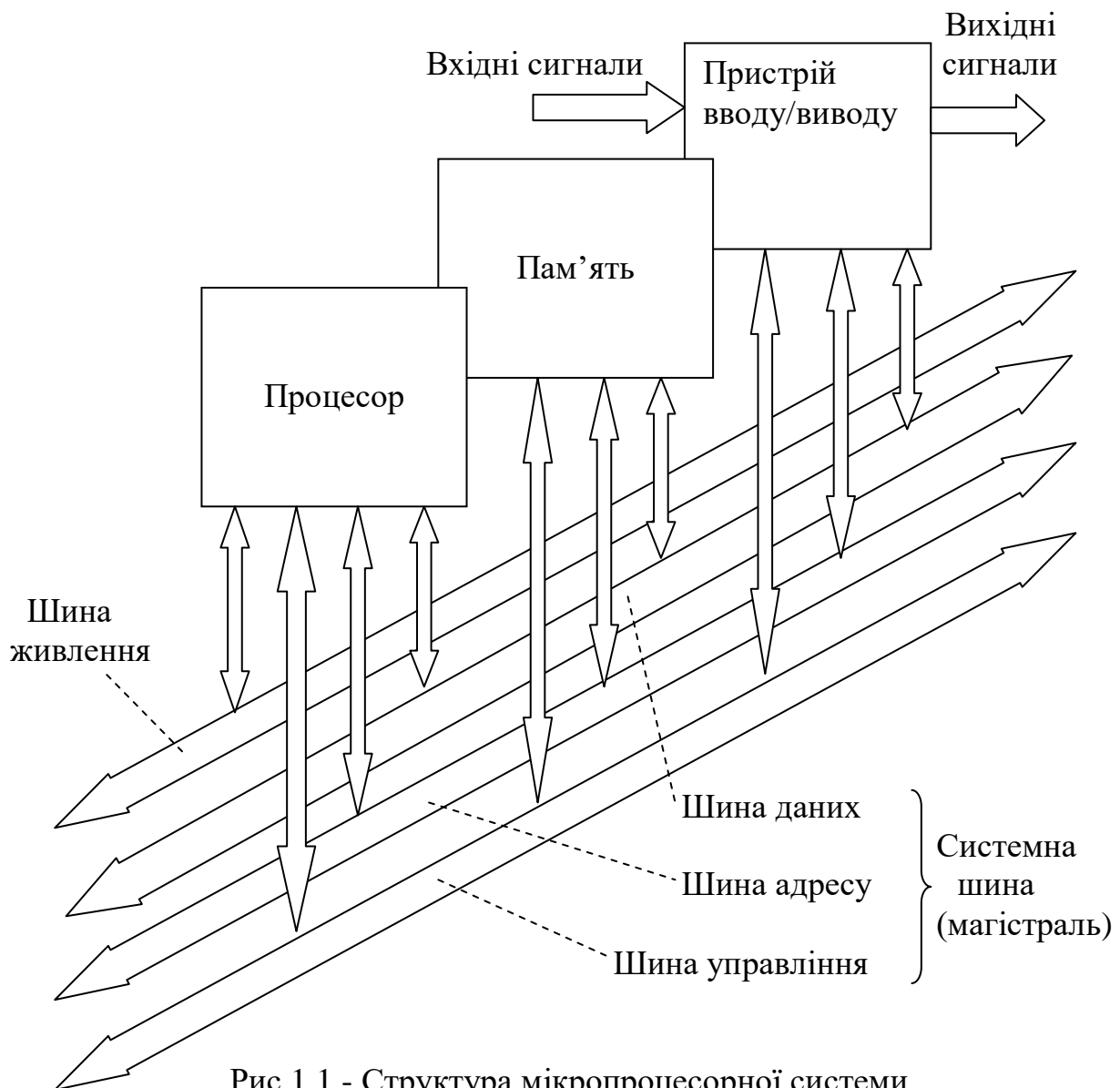


Рис.1.1 - Структура мікропроцесорної системи

інформацією має свою функцію. Деякі сигнали служать для стробування передачі або прийому даних (визначають моменти часу, коли інформаційний код виставлений на шину даних). Інші керуючі сигнали можуть використатися для підтвердження прийому даних, для скидання всіх пристроїв у вихідний стан, для тактування всіх пристроїв і т.д. Лінії шини керування можуть бути односпрямованими або двонаправленими.

Нарешті, шина живлення призначена не для пересилання інформаційних сигналів, а для живлення системи. Вона складається з ліній живлення і загального проводу. У мікропроцесорній системі може бути одне джерело живлення (частіше +5 В) або кілька джерел живлення (звичайно ще -5 В, +12 В и -12 В). Кожній напрузі живлення відповідає своя лінія зв'язку. Всі пристрої підключені до цих ліній паралельно.

Якщо в мікропроцесорну систему треба ввести вхідний код (або вхідний сигнал), то процесор по шині адреси звертається до потрібного пристрою вводу/виводу і приймає по шині даних вхідну інформацію. Якщо з мікропроцесорної системи треба вивести вихідний код (або вихідний сигнал), то процесор звертається по шині адреси до потрібного пристрою вводу/виводу і передає йому по шині даних вихідну інформацію.

Якщо інформація повинна пройти складну багатоступінчасту обробку, то процесор може зберігати проміжні результати в системній оперативній пам'яті. Для звертання до будь-якої комірки пам'яті процесор виставляє її адресу на шину адреси і передає в неї інформаційний код по шині даних або ж приймає з її інформаційний код по шині даних. У пам'яті (оперативній постійній) перебувають також і керуючі коди (команди виконуваної процесором програми), які процесор також читає по шині даних з адресацією по шині адреси. Постійна пам'ять використовується в основному для зберігання програми початкового пуску мікропроцесорної системи, що виконується щораз після включення живлення. Інформація в неї заноситься виготовлювачем раз і назавжди.

Таким чином, у мікропроцесорній системі всі інформаційні коди й коди команд передаються по шинах послідовно, по черзі. Це визначає порівняно невисоку швидкість мікропроцесорної системи. Воно обмежено звичайно навіть не швидкістю процесора (яке теж дуже важливо) і не швидкістю обміну по системній шині (магістралі), а саме послідовним характером передачі інформації із системної шини (магістралі). Важливо враховувати, що пристрою вводу/виводу найчастіше являють собою пристрою на "твердій логіці". На них може бути покладена частина функцій, виконуваних мікропроцесорною системою. Тому в розроблювача завжди є можливість перерозподіляти функції системи між апаратною й програмною реалізаціями оптимальним образом. Апаратна реалізація прискорює виконання функції, але має недостатню гнучкість. Програмна реалізація значно повільніше, але забезпечує високу гнучкість. Апаратна реалізація функцій збільшує вартість системи і її енергоспоживання, програмна - не збільшує. Найчастіше застосовується комбінування апаратних і програмних функцій. Іноді пристрою вводу/виводу

мають у своєму складі процесор, тобто являють собою невелику спеціалізовану мікропроцесорну систему. Це дозволяє перекласти частина програмних функцій на пристрої вводу/виводу, розвантаживши центральний процесор системи.

Сучасні інформаційні керуючі електронні системи відрізняються високим ступенем автоматизації процесів, що обчислюють параметрів керування, проведенням процедур вимірювального контролю й керування технічними процесами й об'єктами. На нижньому рівні керування всі ці завдання ефективно зважуються на основі використання МПС збору й обробки даних, максимально наближених до об'єкта.

Загальна схема зводиться до іншої спрощеної схеми МПС обробки з безліччю вимірювальних параметрів (сигналів) і безліччю керуючих параметрів (рис.1.3) [2].



Рис. 1.3 - Схема МПС обробки інформації

Об'єкт керування (ОК) містить датчики D , які формують безліч параметрів S , необхідних для первинної обробки інформації про об'єкт. Збір цієї інформації, перетворення й уведення в операційний блок МПС здійснюється за допомогою підсистеми перетворення, що взаємодіє з ядром МПС через системний інтерфейс. Після виконання необхідних обчислювальних операцій по параметрах S операційний блок або ядро формують керуючий вплив, що через блоки виводу і перетворення передається на об'єкт для забезпечення необхідних характеристик процесів керування. Результати обробки ядром МПС виводяться за допомогою стандартних систем відображення на екран монітора або інших візуальних приладів або передаються через канали зв'язку для взаємодії із системами більше високого рівня для подальшої обробки інформації.

Дана система є замкнутою й працюючою автоматично. Структура МПС обробки інформації залежить від форми подання її вхідних і вихідних сигналів.

У процесі проектування таких систем повинні розглядатися питання структурної організації й проектування системи в цілому і її підсистемах.

У процесі проектування необхідно вирішити завдання вибору централізованої або розподіленої (децентралізованої) системи обробки інформації, у тому числі, коли конструкція МПС максимально наближена до об'єкта керування.

Розрізняють наступні центральні завдання обробки:

- збір інформації;
- первинна обробка;
- вторинна обробка;
- подання результатів керування або вимірів, якщо буде потреба передача цих даних по каналі зв'язку;
- обробка вхідних сигналів у цифровій формі процесором по заданому алгоритмі керування.

Збір інформації містить у собі:

- опитування джерел інформації, який виконується шляхом комутації імпульсно-аналогових сигналів до пристрою перетворення (аналог-код) або передачі цифрових даних до процесорного блоку;
- перетворення аналогових форм у цифрову;
- узгодження сигналів датчиків із вхідними ланцюгами перетворення. Виявлення й усунення відхилення сигналів заданих рівнів, причому необхідно враховувати їхні тимчасові співвідношення;

Первинна обробка:

- лінеаризація, здійснювана шляхом обчислення функціональних лінійних залежностей,
- масштабування й внесення виправлень;
- обчислення коригувальних залежностей;
- фільтрація, екстраполяція, порівняння технічних значень даних із гранично припустимими;
- спостереження за швидкістю зміни параметрів з індикацією граничних значень;
- обчислення поточних значень параметрів, не підлягаючих безпосередньому виміру;

Вторинна обробка:

- як завдання вторинної обробки можуть бути використані перераховані завдання первинної обробки, але по більше точних алгоритмах або програмам;
- як вторинна обробка можуть бути використані калібрування, відбраковування, стиск і ін.

Подання результатів керування або вимірів:

- перетворення даних, зручних для передачі;
- узгодження інформації і протоколу зв'язку при передачі даних по каналах зв'язку;

- узгодження швидкостей прийому і передачі інформації і реалізація буферизації.

Контрольні питання:

1. Визначте, на які показники МПС впливають апаратні й програмні засоби системи?
2. Перелічіть функціональні можливості МПС.
3. Перелічіть елементи структури МПС.
4. Укажіть призначення шини адреси, шини даних і шини керування.
5. Які центральні завдання обробки інформації?
6. Що входить у первинну обробку інформації?

2 МІКРОПРОЦЕСОРНЕ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ УСТАТКУВАННЯМ

2.1 Загальні принципи побудови МПС автоматизації

Аналіз різних видів устаткування, застосовуваного у виробництві, дозволяє виділити в його складі типові функціональні підсистеми [3]. По призначенню їх можна розділити на три групи:

- технологічні, результати роботи яких безпосередньо впливають на властивості виробів;
- забезпечувальні, що створюють умови ефективного процесу обробки, результати роботи цих підсистем позначаються на якості виробів;
- допоміжні, що беруть участь у виконанні операцій по транспортуванню предметів праці і захисту.

При проектуванні устаткування функції різних підсистем можуть сполучатися. Технологічні і забезпечувальні підсистеми визначають особливості виконання операцій, а допоміжні є загальними для різних видів устаткування. Наприклад, основне завдання підсистеми енергозабезпечення - постачання устаткування електроенергією, стисненим повітрям, гарячою водою й т.п. Причому якість енергоносія повинне задовольняти вимогам технологічного процесу.

Включення до складу устаткування підсистем захисту викликано використанням у техпроцесах токсичних і вибухонебезпечних речовин, наявністю високої напруги. У завдання підсистеми входять:

- забезпечення безпеки обслуговуючого персоналу, що досягається застосуванням блокувань, що запобігають несанкціонованій або випадковій доступ до частин устаткування, небезпечним для людини;
- екологічний захист, що досягається нейтралізацією небезпечних для навколишнього середовища продуктів реакції;
- аварійний захист устаткування й предметів праці.

Розмаїтість транспортних систем визначається умовами виконання техпроцесу. При підвищенні рівня автоматизації вимоги до транспортних систем зростають.

При впровадженні мікропроцесорної системи керування необхідно забезпечити погоджене функціонування пристроїв, що входять у підсистеми. Технічні засоби її повинні реалізовувати функції керування, вимірювати параметри підсистем, перетворювати й обробляти отриману інформацію і формувати керуючі впливи на об'єкт керування. Побудова розподілених МПС ґрунтується на функціональній і топологічній децентралізації. Метою функціональної децентралізації є зниження вартості системи розчленовуванням її функцій на більше дрібні. Іноді технологічний процес розбивається на слабозв'язані підпроцеси (підсистеми), кожна з яких керується окремим контролером, а іноді - лише на сукупність сильно зв'язаних підпроцесів, керованих централізовано одним мікропроцесорним пристроєм. Розчленовування складної технологічної функції можна здійснювати по технологічній ознаці, коли розчленовані функції відносяться до реалізації окремих параметрів або фаз техпроцеса, коли розчленовані функції відносяться до самостійних режимів, що є частинами загального режиму. У цілому функціональна децентралізація системи керування зводиться до розбивки процесу на підпроцеси, для яких зв'язок може бути здійснена мінімальним інтерфейсом. Топологічна децентралізація припускає просторовий розподіл датчиків, регуляторів, виконавчих пристроїв, контролерів і мікроЕОМ. При цьому контролери встановлюються в безпосередній близькості від датчиків й інших виконавчих пристроїв. При топологічній децентралізації місце установки контролерів і мікроЕОМ вибирають так, щоб зменшити загальну довжину сполучних ліній. При побудові розподілених МПС керування виникає ряд проблем:

- організація ефективної системи обміну інформацією між територіально рознесеними контролерами, складовими частинами контролерів або мікроЕОМ;
- створення ефективно розподіленої діагностики;
- синхронізація й поділ складних процесів на підпроцеси (підсистеми);
- організація системної взаємодії й розробка відповідного програмного забезпечення.

Технологічні процеси, як правило, характеризуються нестаціонарністю, змінністю й циклічністю. Циклічність процесів вимагає здійснення функції логічного керування, змінність - перебудови системи керування, нестаціонарність - організації адаптивного керування. Розподілена МПС керування технологічними процесами повинна забезпечувати:

- програмне керування завданнями регуляторів,
- логічне керування при пуску, зупинці і блокуванню роботи устаткування,
- автоматичне керування для циклічних процесів,
- аналіз динаміки об'єктів і адаптивне керування,
- контроль змінних процесу,
- сигналізацію, індикацію.

Контролери в розподілених системах керування розташовуються безпосередньо біля технологічних об'єктів і реалізують розчленовані функції по ходу техпроцеса або по керуванню тим або іншим об'єктом. Функції виконуються за допомогою програмування МП або шляхом побудови мікропроцесорних підсистем. При складанні програм варто враховувати складні взаємозв'язки між окремими процесами. При реалізації мікропроцесорних підсистем зв'язки між процесами помітно слабшають, і їх вдається забезпечити за допомогою щодного простого інтерфейсу.

Вибір контролерів для розподіленої системи керування є складним завданням, для рішення якої потрібно врахувати багато факторів. Вихідними даними для вибору МП служать основні характеристики алгоритмів і устаткування. Склад устаткування характеризується більшим набором пристроїв різного типу і призначення: датчики, виконавчі пристрої, технологічні об'єкти, пульти керування, обчислювальні засоби, засоби зв'язку. При реалізації розподілених МПС керування можуть бути використовувані програмувальні контролери, мікроЕОМ, мікропроцесорні обчислювальні системи. Програмувальний контролер являє собою спеціалізовану керуючу мікроЕОМ, що працює в реальному масштабі часу по деякій робочій програмі, розташованій, як правило, у постійному запам'ятовувальному пристрої.

Контролери, що виконують алгоритми логічного керування, призначені для заміни релейних і логічних схем автоматики. Їх називають програмувальними логічними контролерами. Контролери, що виконують алгоритми автоматичного регулювання процесів, заміняють аналогові і аналого-цифрові регулятори. Такий тип контролерів одержав назву програмувальних регулюючих контролерів. Розрізняються також контролери для реалізації спеціальних алгоритмів керування побутовими приладами, контрольно-вимірювальними приладами, транспортними механізмами і т.д. Поява таких контролерів свідчить про тенденції до заміни звичайних електронних схем з фіксованою структурою на схеми із програмувальною структурою. Структурна схема технічних засобів МПС керування представлена на рис.2.1 [2].

Центральне місце в ній займають мікропроцесорні пристрої керування - програмувальні логічні і регулюючі контролери, контролери змішаного типу. Разом з тим у системах керування навіть із мікропроцесорними засобами керування нерідко використовуються аналогові регулятори і логічні контролери з фіксованою структурою.

Важливим елементом МПС керування є первинні вимірювальні перетворювачі (ВП) параметрів функціональних підсистем і параметрів оброблюваних виробів. Розмаїтість технологічних процесів, труднощі виміру параметрів об'єктів роблять завдання контролю досить складною. ВП (датчиком) варто назвати засіб вимірів, що представляє собою конструктивно завершений пристрій, розташований у процесі виміру безпосередньо в зоні досліджуваного об'єкта і виконує функцію вимірювального перетворювача.

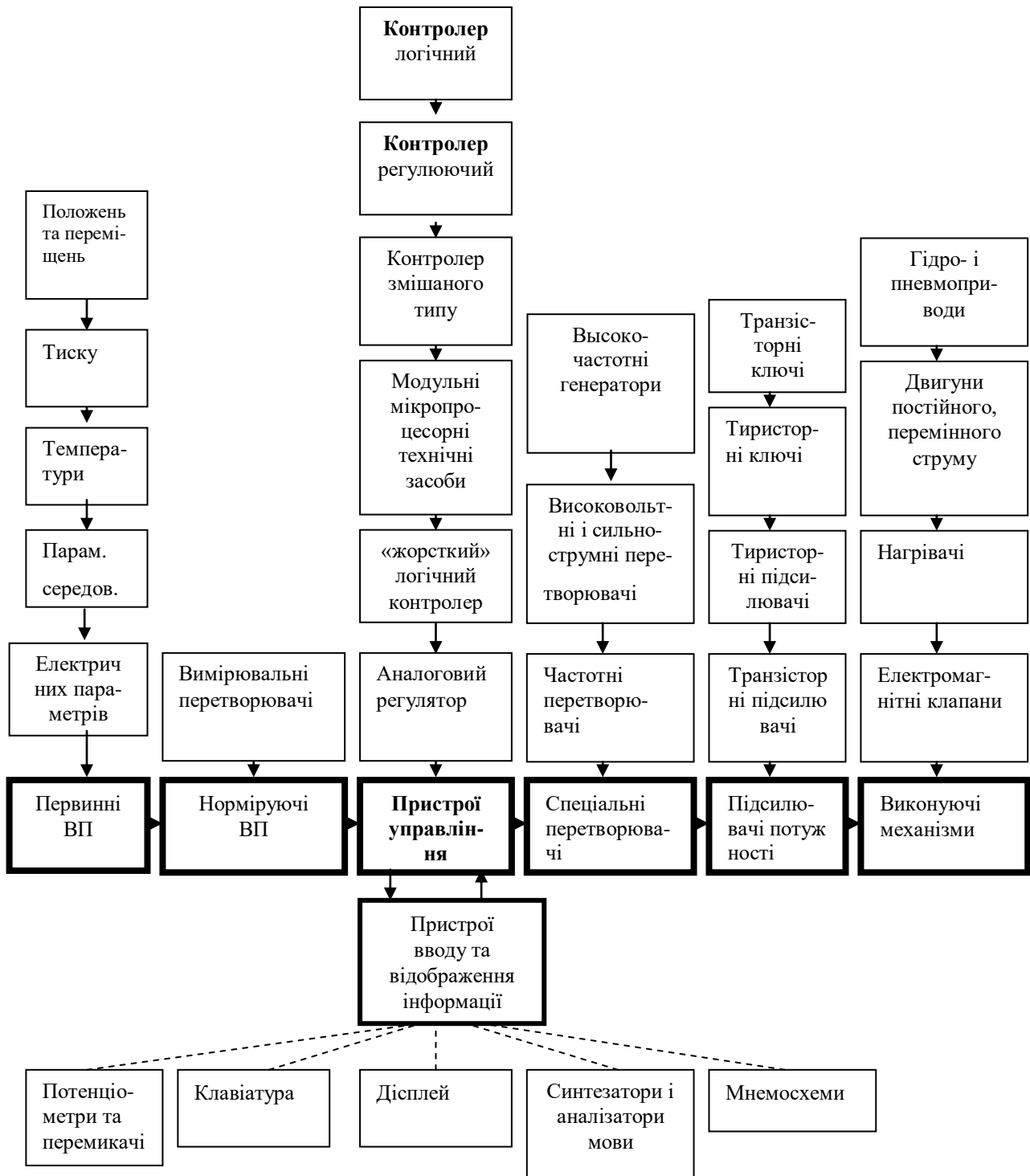


Рис.2.1 - Структура й склад технічних засобів МПС автоматизації

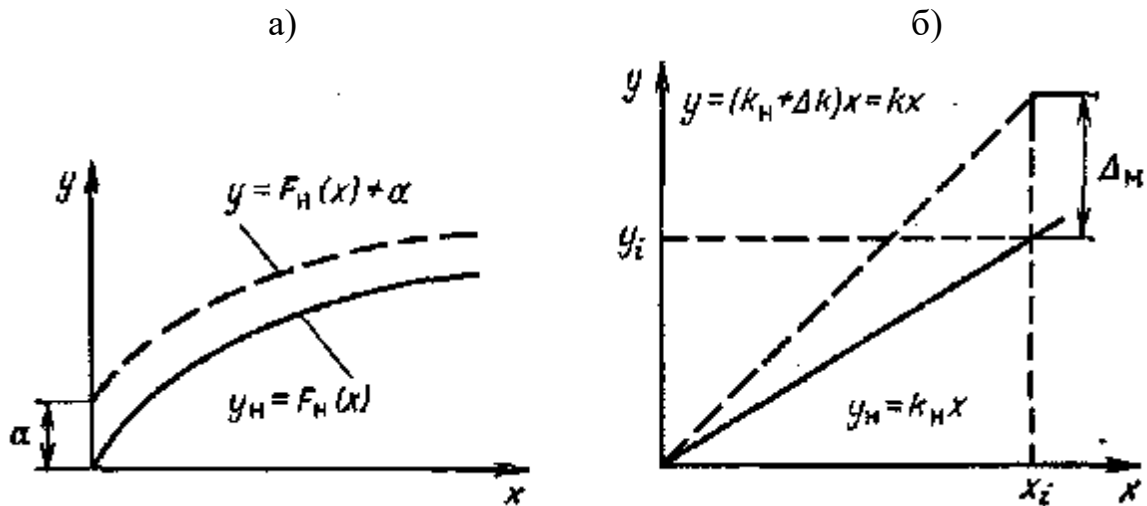
Вимірювальні перетворювачі використовуються такі, що випускають серійно, так і спеціальні перетворювачі, розроблені для конкретних технологічних процесів. Для сполучення вимірювальних перетворювачів із пристроями мікропроцесорного керування використовуються перетворювачі, що виконують функцію нормування сигналів, які з високою точністю підсилюють напругу низького рівня вимірювальних перетворювачів до стандартного рівня

± 10 В або $0...20$ мА. Функції вимірювального перетворювача і перетворювача, що нормує, можуть бути сполучені в одному пристрої - датчику.

Керуючі сигнали із пристрою керування надходять на виконавчі механізми устаткування через підсилювачі потужності і спеціальні перетворювачі тому, що в більшості випадків керування устаткуванням повинне здійснюватися могутнішими сигналами керування. Це пов'язане з конструктивним виконанням керуючої (регулюючої) частини устаткування, при цьому потужність керуючих входів виконавчих механізмів значно більше потужності вихідних каналів МПС. По виду вхідної величини розрізняють вимірювальні перетворювачі переміщень, швидкості, температури, тиску, вологості, витрати газів т.д. Вимірювальні перетворювачі характеризуються видом вхідної величини, діапазоном вимірів, чутливістю, погрішністю перетворення, швидкодією, рівнянням перетворення, видом вихідної величини, принципом дії і т.д. Однією з головних характеристик вимірювальних перетворювачів є погрішність перетворення, що складається з основної погрішності, властивій перетворювачу при роботі в нормальних умовах, і додатковим, обумовленим впливом різних дестабілізуючих факторів, що виникають при відхиленнях зовнішніх умов від нормальних (наприклад, зміна температури навколишнього середовища). Погрішність залежно від поточного значення вхідної величини звичайно представляють у вигляді двох частин: адитивної, і мультиплікативної [4], пропорційної поточному значенню вхідної величини. Адитивна погрішність - це погрішність, що не залежить від вхідної вимірюваної величини і зумовлює зсув номінальної характеристики $F_n(x)$ паралельно самої собі на постійну величину a , тобто абсолютне значення адитивної погрішності $\Delta_a = a$ у всьому діапазоні перетворення є величиною постійної (рис.2.2,а). Адитивну погрішність часто називають погрішністю нуля. Мультиплікативна погрішність - це погрішність, що залежить від значення вхідної величини і зумовлює зміну чутливості вимірювального пристрою. При лінійній функції перетворення мультиплікативна погрішність викликає зміну кута нахилу реальної характеристики в результаті зміни коефіцієнта перетворення вимірювального пристрою k на Δk (рис.2.2,б). Мультиплікативна погрішність:

$$\Delta_m = \Delta k x.$$

Завдання програми керування, параметрів технологічного процесу і контроль режимів (ходом) процесу виробляються за допомогою пристрою вводу і відображення інформації, У МПС керування такими пристроями є дисплей і клавіатура. У деяких системах керування знаходять усе більше широке застосування акустичні пристрої спілкування людини з ЕОМ: синтезатори і аналізатори мови. Разом з тим, поряд із сучасними засобами відображення інформації в устаткуванні застосовуються і такі засоби, як мнемосхеми, на яких виводиться інформація про стан окремих пристроїв і підсистем.



- а) приклад характеристики з адитивною погрішністю;
 б) приклад характеристики з мультиплікативною погрішністю

Рис. 2.2 - Характеристика вимірювального пристрою з адитивною та мультиплікативною погрішністю

Спрощена структурна схема МПС керування може бути представлена схемою на рис.2.3. У технологічному устаткуванні необхідно контролювати велику кількість різних параметрів. У будь-якій системі керування можна виділити об'єкт керування (ОК) з первинними перетворювачами (датчиками Д), вторинними вимірювальними перетворювачами (ВП) і виконавчими пристроями (П), пристрій керування (ПК) і пристрій узгодження з об'єктом (ПУО), що включає аналого-цифрові перетворювачі АЦП і цифро-аналогові перетворювачі ЦАП. У функції датчиків входять одержання інформації про стан об'єкта і при необхідності перетворення неелектричного параметра x в електричний сигнал $Z(x)$, як правило, аналогового характеру. У МПС електричний сигнал $Z(x)$, надходячи в ПУО, перетвориться АЦП у цифровий код, а потім надходить в ПК, де порівнюється із заданим значенням параметра, при цьому виробляється команда для ОК, що надходячи в ПУО, перетворює ЦАП із цифрової в аналогову форму. Потім команда подається на П, що наближає параметри об'єкта керування до заданого.

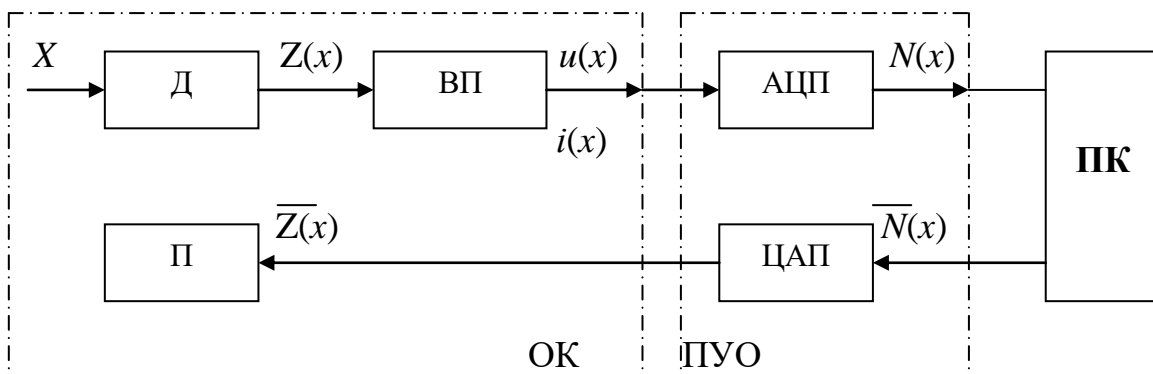


Рис. 2.3 - Спрощена структура МПС автоматизації

Технологічне устаткування є складним об'єктом керування і містить велику кількість взаємодіючих вузлів й агрегатів, Основні особливості устаткування відбиває його структура. У свою чергу, структура системи керування представляє сукупність агрегатів і вузлів об'єкта керування, а також технічних засобів керування з усіма взаємними зв'язками між ними. Вибір структури системи керування складається в розбивці на підсистеми і забезпечення взаємодії цих підсистем.

Завдання вибору структури системи керування не має однозначного рішення, що обумовлено різноманітними і часто суперечливими вимогами (вартість, надійність, безпека і т.д.).

Складність створення оптимальної системи керування для технологічного устаткування визначається не тільки винятково високими темпами розвитку устаткування, різноманіттям його видів, але й безперервним збільшенням числа виконавчих органів і датчиків у кожній одиниці устаткування. З урахуванням цих особливостей можна виділити наступні основні вимоги до систем керування технологічним устаткуванням:

1. забезпечення безпечної роботи обслуговуючого персоналу;
2. забезпечення безпеки устаткування в аварійних ситуаціях;
3. керування устаткуванням по заданій програмі;
4. діагностика стану системи керування;
5. гнучкість при зміні технології;
6. можливість нарощування й модернізації апаратної частини системи керування і технологічного устаткування;
7. можливість роботи в складі автоматизованої лінії;
8. мінімальні строки розробки;
9. мінімальні строки обслуговування і ремонту.

Можливість виконання цих вимог у значній мірі визначається структурою системи й керування. Використання в системі керування мікропроцесорних програмувальних контролерів дозволяє реалізувати різні варіанти систем керування, що відрізняються складом і взаємодією компонентів, напрямком передачі інформації і місцем обробки. По останньому із зазначених ознак розрізняють два варіанти побудови системи керування: із централізованим і децентралізованим (розподіленим) керуванням.

2.2 Система централізованого керування

Структурна схема системи централізованого керування представлена на мал.2.4 [3]. У цих системах обробка інформації виконується тільки в одному мікрокомп'ютері (контролері), для чого всі технічні засоби системи керування розташовуються в блоці керування (БК), а всі датчики й виконавчі елементи - у технологічному об'єкті керування (ОК). При цьому сигнали з датчиків надходять у БК, де відповідно до алгоритму керування формуються керуючі сигнали на виконавчі елементи.

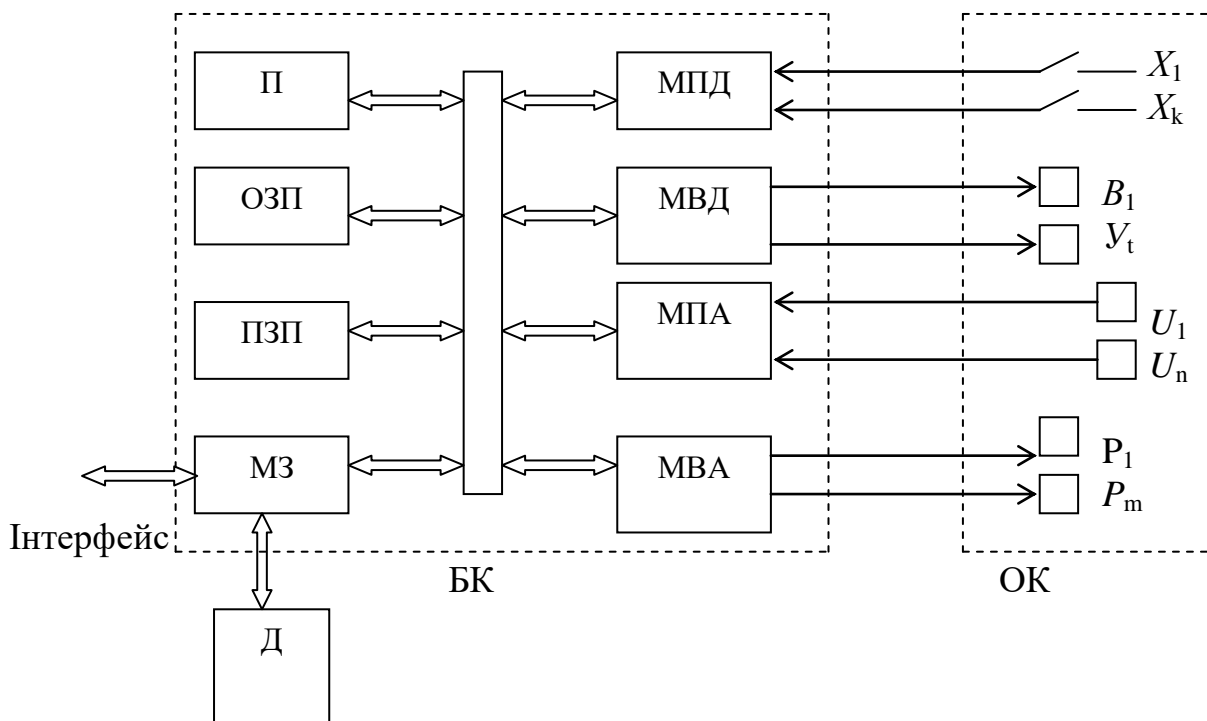


Рис.2.4 - Структурна схема системи централізованого керування

До модулів прийому МПД і МПА блоку керування БК підключені дискретні (x) і аналогові (u) датчики системи керування. Керуючі сигнали БК через модулі видачі МВС і МВА подаються на дискретні (y) і аналогові (p) виконавчі елементи. Для зв'язку з оператором, а також системою керування більше високого рівня БК використовується модуль зв'язку МЗ і дисплей Д.

Перевага системи керування централізованого типу є можливість керування різними ОК за допомогою обмеженого комплексу апаратних засобів (тільки за рахунок варіювання числа модулів), а також простота побудови системи керування (не потрібно апаратних засобів для зв'язку між модулями). При цьому розроблювач повинен передбачити стиковку модулів системи керування з ОК і розробити програмне забезпечення. У таких системах виконання будь-якої функції здійснюється тільки через ЕОМ БК, тому при відмові останньої не гарантується безпека роботи обслуговуючого персоналу і об'єкта керування (вимоги 1; 2 на стор. 20 до систем керування устаткування), що є істотним недоліком систем керування централізованого типу. Для його усунення в систему керування звичайно вводять додаткові елементи (кінцеві вимикачі, блоки аварійної сигналізації, захисту і т.п.). Крім того, при такій побудові системи керування етапи розробки ОК й БК і програмного забезпечення виконуються тільки послідовно, що вимагає більших витрат часу на розробку в цілому, затрудняє модернізацію устаткування. Модулі БК і система керування підключені до внутрішньої магістралі ЕОМ, тому можуть розташовуватися на невеликій відстані від ЕОМ. Через це всі зв'язки з ОК необхідно вести на БК, що збільшує витрату проводів, утрудняє локалізацію несправностей, збільшує строки ремонту й обслуговування.

2.3 Система децентралізованого керування

Більшість зазначених недоліків не мають системи децентралізованого керування (див. рис.2.5) [3]. Тут у складі ОК виділені агрегати $A_1 \dots A_k$, у кожному з яких є дискретні і аналогові датчики, а також дискретні і аналогові виконавчі елементи. Кожний з агрегатів керується окремим контролером (К). Зв'язок між К, а також керування ОК в цілому здійснюється блоком керування (БК). Дисплей служить для зв'язку з оператором, зв'язок з вищестоящим рівнем керування робить БК. У децентралізованій системі керування здійснюється за допомогою групи локальних К, які повністю або частково розчленовують функції по контролі ходу технологічного процесу або керування тим або іншому агрегату ОК. З порівняння видно, що в системі децентралізованого керування є кілька центрів обробки інформації (БК і контролери), а напрямок передачі потоків інформації більше складне. Так, при слабкій взаємодії між агрегатами A_k більша частина інформації може оброблятися контролерами K_m , кожен з яких видає сигнали на виконавчі елементи агрегатів залежно від стану датчиків і команд керування, що надходять із БК (див. штрихові лінії).

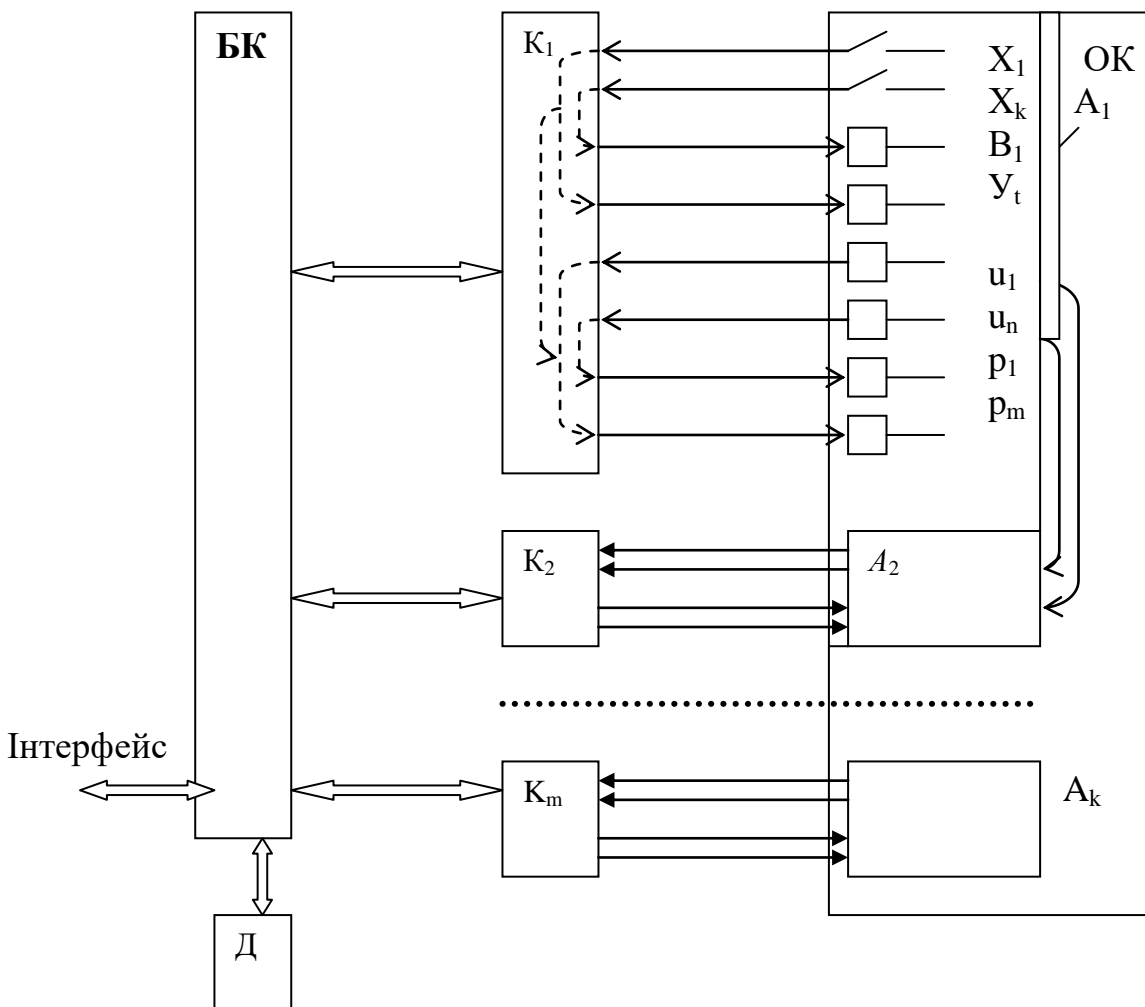


Рис. 2.5 - Структурна схема децентралізованого керування

При правильному виборі агрегатів основний потік інформації в системі децентралізованого керування обробляється за допомогою контролера, а БК здійснює синхронізацію їхньої роботи, а також передачу по запиті необхідних сигналів від сусідніх контролерів і діагностику їхнього стану.

Порівнюючи технічні засоби систем децентралізованого і централізованого керування можна помітити, що перші відрізняються більшою номенклатурою. Крім того, при проектуванні систем керування повинні бути пророблені питання взаємодії контролерів і БК. Разом з тим, при порівнянні цих варіантів побудови системи керування для одного і того ж ОК очевидно, що кожен контролер і блок керування в децентралізованій системі звичайно простіше, ніж при централізованому керуванні. Тому питання вибору структури системи керування не має однозначного рішення.

Сучасний етап розвитку МПС характеризується широкою номенклатурою апаратних засобів як для централізованого, так і децентралізованого керування. При цьому усе більше вимірювальних перетворювачів, регуляторів й інших елементів локального керування оснащується власними системами на базі МПК або однокристальних ЕОМ, а також постійно збільшується загальне число датчиків і виконавчих елементів.

Ці вимоги усе важче виконувати за допомогою систем централізованого керування, тому в розвитку МПС спостерігається стійка тенденція переходу до систем децентралізованого керування. Однак це не означає, що системи централізованого керування перестають використовувати. Для деяких ОК їхнє застосування не тільки виправдане, але може бути і більш ефективним у порівнянні із системами децентралізованого керування.

2.4 Багаторівневі системи децентралізованого керування.

У системах децентралізованого керування звичайно буває кілька рівнів керування. На рис. 2.6 наведена функціональна схема сучасної системи керування одиницею технологічного устаткування. Тут показані три рівні керування [3]. На першому рівні забезпечується захист агрегатів і обслуговуючого персоналу при аварійних ситуаціях. Для цього до складу агрегатів ОК включаються пристрої захисту (ПЗ), які проаналізувавши сигнали, що надходять із другого рівня керування, і сигнали стану агрегату, виконують команди лише тоді, коли забезпечуються необхідні умови безпеки. Звичайно в ПЗ використовуються тільки дискретні сигнали. У цьому випадку ПЗ являє собою логічний контролер, що може бути реалізований на програмувальній логічній матриці, і ін. Розташування ПЗ поблизу агрегату забезпечує економію проводів, тому що звичайно число зв'язків ПЗ із ОК істотно перевищує їхнє число для підключення до другого рівня керування. На другому рівні керування звичайно використовують контролери, кожний з яких задає тимчасову послідовність роботи агрегату, забезпечує вимір і регулювання аналогових параметрів, а також робить діагностику агрегату і вузлів контролера. Результати вимірів і діагностики передаються в БК третього рівня.

Блок керування третього рівня керує роботою всього ОК, для чого на контролери агрегатів видаються відповідні команди, Контролери агрегатів переводять їх у послідовність станів агрегатів і видають сигнал про виконання. Блок керування третього рівня аналізує ці сигнали, а також результати вимірів і діагностики, видає результати через дисплей Д операторові, на систему керування (СК) вищого рівня, а також при необхідності робить статистичну обробку результатів діагностики і виміри.

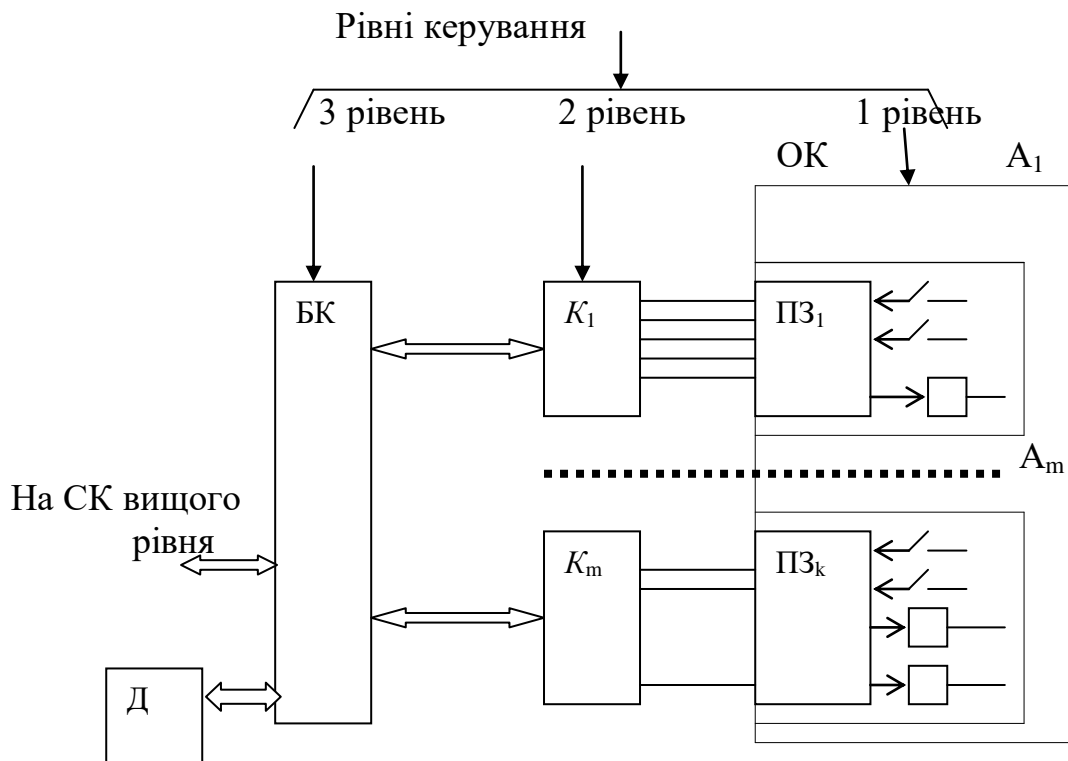


Рис. 2.6 - Структурна схема багаторівневої системи керування

Представлений вище розподіл завдань керування між апаратними засобами різних рівнів дозволяє спростити програмне забезпечення кожного рівня, а також зв'язок з оператором. Висновки:

- у випадку ОК зі значними взаємними зв'язками між всіма датчиками і виконавчими елементами системи централізованого керування ефективніше систем децентралізованого керування;
- для ОК з добре вираженою агрегатною структурою переваги будуть мати системи децентралізованого керування. Оскільки в розробці технологічного устаткування все частіше використовується агрегатний (модульний) принцип конструювання, це відкриває широкі перспективи для успішного застосування систем децентралізованого керування.

При цьому ще раз варто підкреслити, що для технологічного устаткування з відомих способів децентралізації керування (функціональної у територіальній) у найбільшій мері підходить територіальна (агрегатна) децентралізація, що дозволяє істотно зменшити обсяг взаємних зв'язків в устаткуванні і

інтенсивність передачі інформації в каналах зв'язку, спростити розробку і запуск устаткування. При цьому через спрощення технічних засобів простіше і дешевше забезпечується їхнє резервування.

При побудові багаторівневих систем керування обробка інформації на третьому і більш високих рівнях для різних видів ОК може виконуватися з однаковими алгоритмами. У цьому випадку основні особливості агрегатів повинні враховуватися тільки на першому і другому рівнях керування, тобто в підсистемах керування окремих агрегатів ОК (контролер-пристрій захисту - агрегат).

Контрольні питання:

1. Укажіть загальні принципи побудови МПС.
2. На яких принципах заснована побудова розподілених МПС?
3. Які основні елементи структурної схеми МПС?
4. Визначте функції основних елементів МПС.
5. Який характер впливу погрішностей перетворення на характеристики вимірювальних перетворювачів?
6. Які функції ЦАП й АЦП у перетворенні сигналів МПС?
7. Перелічіть основні вимоги до систем керування технологічним устаткуванням.
8. Які принципи побудови системи із централізованим керуванням?
9. Які принципи побудови системи з децентралізованим керуванням?
10. Як розподіляються функції керування між рівнями багаторівневої системи керування?

3 ВИМІРЮВАЛЬНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ (ВП)

3.1 Класифікація ВП

ВП - засіб виміру, призначений для перетворення вхідного вимірювального сигналу (вимірюваної величини) у вихідний сигнал, більше зручний для подальшого перетворення, передачі, обробки обчислювальними пристроями або для зберігання, але непридатний для безпосереднього сприйняття спостерігачем [5].

Фізичною основою вимірювального перетворення є перетворення і передача енергії, зокрема перетворення одного виду енергії в іншій.

Сукупність перетворювальних елементів засобу вимірів, що забезпечує здійснення всіх перетворень вимірювального сигналу, становить вимірювальний ланцюг засобу вимірів.

Частина першого у вимірювальному ланцюзі перетворювального елемента, на яку безпосередньо впливає вимірювана величина, називається чутливим елементом. Розходження між вимірювальним перетворювачем і перетворювальним елементом полягає в наступному. ВП як засіб вимірів має

нормовані метрологічні характеристики і виконується звичайно у вигляді окремого незалежного пристрою певного класу точності. Перетворювальний елемент не має окремо нормованих метрологічних характеристик, однак його погрішність лімітується погрішностями тих вимірювальних перетворювачів або приладів, до складу яких він входить. ВП, що є першим у ланцюзі послідовно з'єднаних перетворювачів, називається первинним. Основною характеристикою ВП є функція перетворення $Y=f(X)$, що визначає залежність вихідної величини Y від вхідної X . Найчастіше ця залежність описується аналітичним виразом, іноді графічно або задається у вигляді таблиці. Відношення вихідної величини Y до вхідної X називається коефіцієнтом перетворення. У загальному випадку $k(X)=Y/X$ є деякою функцією вхідної величини.

Як класифікаційні ознаки приймають також вид функції перетворення, що визначається призначенням перетворювача, структурну схему вимірювального перетворювача або його місце в структурній схемі засобу вимірів, принцип зворотності, енергетичні властивості вихідного параметра і т.д. Найбільш повне подання про всю розмаїтість вимірювальних перетворювачів можна одержати, привівши загальну класифікацію з обліком багатьох класифікаційних ознак.

Залежно від роду вхідної і вихідної величин ВП підрозділяють:

- перетворювачі електричних величин в електричні,
- перетворювачі неелектричних величин у неелектричні,
- перетворювачі електричних величин у неелектричні,
- перетворювач неелектричних величин в електричні.

По виду функції перетворення:

- масштабні, що змінюють у певне число раз розмір вхідної величини без зміни її фізичної природи,
- функціональні, здійснюючі однозначне функціональне перетворення вхідної величини зі зміною її фізичної природи або без її зміни,
- операційні, виконуючі над вхідною величиною математичні операції вищого порядку - диференціювання або інтегрування по тимчасовому параметрі.

Залежно від вихідного сигналу ВП:

- генераторні перетворювачі, вихідні сигнали яких мають енергетичні властивості (е.р.с., електрострум, механічна сила, тиск і т.п.),
- параметричні перетворювачі, у яких зміни вхідного сигналу приводить до зміни їхніх певних параметрів - опору, ємності, індуктивності, пружності і ін. Для одержання вихідного енергетичного сигналу в цих випадках потрібні додаткові джерела енергії.

По місцю в структурній схемі засобу виміру:

- первинні ВП,

- вторинні ВП.

По фізичних закономірностях:

- механічні пружні перетворювачі, де основа принципу - залежність між вхідними механічними силами і вихідними переміщеннями,
- резистивні електричні і механоелектричні перетворювачі, де переносником вимірювальної інформації є електроопір, або принцип зміни електричного опору під дією вхідної механічної величини,
- електростатичні перетворювачі, ємнісні - принцип дії яких заснований на взаємодії двох заряджених тіл, п'єзоелектричні, виникнення електричного заряду в яких є наслідком дії на перетворювач механічних зусиль, змін температури і ін. факторів,
- перетворювачі електромеханічної групи, принцип дії яких заснований на виникненні механічних переміщень їхніх рухливих елементів під впливом електричного струму, це електродинамічні, ферродинамічні магнітоелектричні перетворювачі,
- гальваномагнітні перетворювачі, принцип дії заснований на використанні гальваномагнітних ефектів - зміни електричних параметрів перетворювача під впливом магнітного поля, зокрема в зміні електричного опору (ефект Гаусса) або появи е.р.с. (ефект Холла). Основними різновидами гальваномагнітних перетворювачів є відповідно магніторезистивні перетворювачі і перетворювачі Холла,
- електромагнітні перетворювачі, принцип заснований на використанні електромагнітних явищ. Це масштабні електромагнітні перетворювачі електричної напруги і струму (вимірювальні трансформатори, індуктивні дільники) і функціональні індуктивні (трансформаторні і автотрансформаторні) перетворювачі механічних величин,
- індукційні перетворювачі, принцип дії заснований на законі електромагнітної індукції. Вихідними величинами можуть бути швидкість зміни магнітного потоку або швидкість механічного лінійного або кутового переміщення вимірювальної котушки,
- теплові перетворювачі, в основу принципу покладені фізичні закономірності, обумовлені тепловими процесами. Основні різновиди - термомеханічні, терморезистивні,
- термоелектричні перетворювачі,
- електрохімічні перетворювачі, принцип дії заснований на залежності електричних параметрів електролітичного осередку від складу і концентрації, температури і ін. властивостей розчину, а також залежності електричної різниці потенціалів на межі між твердою і рідкою фазами від швидкості переміщуваного розчину. Основні різновиди перетворювачів є електролітичні резистивні, гальванічні, полярографічні, електрокінетичні, хімотронні перетворювачі,
- оптичні перетворювачі, в основу принципу покладене перетворення потоку оптичного (світлового і теплового) випромінювання.

Перетворення здійснюється шляхом модуляції параметрів джерела випромінювання або оптичного каналу,

- перетворювачі іонізуючого випромінювання, принцип дії заснований на перетворенні інтенсивності іонізуючого або рентгенівського випромінювання,
- квантові перетворювачі, принцип дії заснований на виборчому поглинанні або випромінюванні електромагнітних хвиль речовиною, поміщеною в магнітне поле.

3.2 Термоелектричні вимірювальні перетворювачі

Принцип дії термоелектричного перетворювача (термопари) заснований на використанні термоелектричного ефекту, що полягає у виникненні термо-е.р.с. у ланцюзі, що складається із двох різнорідних провідників, названих термоелектродами, якщо температури відповідних частин перетворювача різні. Виникнення термо-е.р.с. пояснюється сумарною дією двох термоелектричних ефектів: явища Томсона і явища Зеебека. Явище Томсона полягає у встановленні на кінцях однорідного провідника, що має температурний градієнт, деякої різниці потенціалів внаслідок того, що електрони дифундують від гарячого кінця провідника до холодного.

Виникаюча термо-е.р.с. (Томсона) визначається виразом:

$$E = \int_{\theta_1}^{\theta_2} \sigma \cdot d\theta \quad (3.1)$$

де E - термо-електрорушійна сила.,

θ_1, θ_2 - температури відповідних частин перетворювача

σ - коефіцієнт Томсона для даного провідника.

Якщо скласти ланцюг із двох однорідних різних провідників a і b , то сумарна термо-е.р.с. Томсона дорівнює різниці термо-е.р.с. і визначається:

$$E_{ab} = \int_{\theta_1}^{\theta_2} (\sigma_a - \sigma_b) d\theta \quad (3.2)$$

де σ_a, σ_b - коефіцієнти Томсона для провідників a і b відповідно.

Сутність явища Зеебека полягає в наступному. При контакті двох різнорідних провідників у місці контакту виникає контактна різниця потенціалів, обумовлена різною концентрацією носіїв зарядів. Зеебеком було встановлено, що в замкнутому ланцюзі двох різнорідних провідників, спаї яких перебувають при різних температурах, електрорушійна сила $E(\theta_1)$, що виникає при переході від одного провідника до іншого в точці з температурою θ_1 , і електрорушійна сила $E(\theta_2)$, що виникає при переході від другого провідника до першого, мають протилежні знаки й не рівні між собою. Сумарна термо-е.р.с., що виникає в

ланцюзі, що складається із двох різних провідників, є сумою контактних е.р.с. і е.р.с. Томсона:

$$E(\theta_1, \theta_2) = E(\theta_1) + E(\theta_2) + \int_{\theta_1}^{\theta_2} (\sigma_a - \sigma_b) d\theta \quad (3.3)$$

Ця сумарна термо-е.р.с. для даної пари залежить тільки від значень температур і може бути представлена різницею відповідних функцій:

$$E(\theta_1, \theta_2) = E(\theta_1) - E(\theta_2) \quad (3.4)$$

Значення термо-е.р.с., що розвивають найпоширеніші термоелектродні матеріали в парі із платиною при температурі робочого спаю 1000°C і температурі вільних кінців 0°C показана в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Значення термо-е.р.с, що розвивають найпоширеніші термоелектродні матеріали в парі із платиною

Матеріал	Термо-е.р.с., мВ	Матеріал	Термо-е.р.с., мВ
Кремній	+44,8	Цинк	-0,75
Хромель	+2,4	Нікель	-1,2...-1,9
Ніхром	+2,2	Алюмель	-1,7
Мідь	+0,76	Константан	-3,4
Платинородій	+0,64	Копель	-4,5

Наведені в таблиці 3.1 дані дозволяють визначити термо-е.р.с. термоелектричного перетворювача (складеного з будь-якої пари термоелектродів) як алгебраїчну різницю значень термо-е.р.с., що розвивають відповідні термоелектродні матеріали в парі із платиною. Залежність термо-е.р.с. від температури в широкому діапазоні звичайно нелінійна, тому дані таблиці не можна поширювати на більш високі температури.

Для вимірів температур у межах $-200...+2500^{\circ}\text{C}$ застосовуються стандартні технічні термоперетворювачі температури (див. табл. 3.2).

Залежно від призначення діляться на погрузні, призначені для перетворення температури газоподібних і рідких середовищ, і поверхневі, призначені для перетворення температури поверхні твердого тіла. Залежно від інерційності діляться на малоінерційні, показник (постійна часу) теплової інерції, яка не перевищує 5 с для погрузних і 10 с для поверхневих, середньої інерційності - відповідно не більше 60 і 120 с і великої інерційності, що мають показник теплової інерції до 180 і 300 с. Крім стандартних використовуються і спеціальні термоелектричні перетворювачі температури. Це обумовлено прагненням

розширити межі перетворення і підвищити точність, а також специфікою умов експлуатації, техніко-економічними міркуваннями.

Таблиця 3.2 - Основні характеристики промислових термоелектричних перетворювачів температури

Умовне позначення	Матеріали термоелектродів	Межа вимірювання °С	Погрішність термо-е.р.с. мВ
ПП	Платинородій (10% родія) - платина	0 ...1300	±0,01
ПР-30/6	Платинородій (30% родія) – платинородій (6% родія)	300...1600	-
ХА	Хромель-алюмель	-50...1000	±0,16
ХК	Хромель-копель	-50...600	±0,2
ВР-5/20	Вольфрамрений (5% ренія)- Вольфрамрений (20% ренія)	0...1800	±0,08 до 1000 ⁰ С

Так, для перетворення низьких температур аж до температури кипіння водню знайшли застосування мідь-константанові термоперетворювачі з робочим діапазоном температур -200...+300⁰С.

Для перетворень високих температур (понад 1300...1800⁰С) розроблені термоперетворювачі на основі тугоплавких металів таких, як іридій, вольфрам, молібден, тантал, ніобій, а також на основі вуглеродистих і графітових волокон. У більшості випадків з'єднання термоелектродів у робочому кінці здійснюється електродуговим зварюванням, попередньо кінці термоелектродів скручують між собою. Застосовують також спайку термоелектродів срібним або олов'яним припоєм залежно від верхньої температурної межі перетворення. Тугоплавкі термоелектроди вольфрам-ренієвих і інших перетворювачів часто з'єднують лише скруткою оскільки при дуже високих температурах плівка окису на електродах не створює великого електричного опору. Термоелектроди електрично з'єднані в робочому кінці ізолюють один від другого по всій довжині.

Основними причинами погрішностей термоелектричних перетворювачів температури є неоднорідність матеріалів термоелектродів, зміни температури вільних кінців, шунтуючий вплив опору міжелектродної ізоляції, тимчасові зміни властивостей термоелектродів і т.п. Стандартом нормується лише погрішність градування. Інші погрішності можуть бути виключені шляхом визначення дійсної функції і введення поправок.

3.3 Терморезистивні вимірювальні перетворювачі

Принцип дії терморезистивних перетворювачів заснований на властивості провідників або напівпровідників змінювати свій електричний опір при зміні температури. Для перетворювачів температури використовують матеріали, що володіють високою стабільністю ТКС, високою відтворюваністю електроопору для даної температури, значним питомим електричним опором і високим ТКС, стабільністю хімічних і фізичних властивостей при нагріванні, інертністю до впливу досліджуваного середовища. Із провідникових матеріалів широке застосування одержала платина. Платина навіть при високих температурах в окисному середовищі не змінює своїх фізичних і хімічних властивостей. Температурний коефіцієнт опору в діапазоні $0...100^{\circ}\text{C}$ становить приблизно $1/273\text{град}^{-1}$, питомий опір при 20°C дорівнює $1,105 \cdot 10^{-8}$ Ом $\text{мм}^2/\text{м}$, діапазон виміру температур становить $-260...+1300^{\circ}\text{C}$. Недоліки: досить висока залежність платини при високих температурах від парів металів (особливо заліза), порівняно невисока хімічна стійкість у відновлювальному середовищі, внаслідок чого вона стає крихкою, стає гіршою стабільність характеристик, нелінійна залежність опору від температури, а також висока вартість. Мідь завдяки своїй низькій вартості і досить високої стійкості до корозії широко застосовується в перетворювачах температури в діапазоні $-50...+180^{\circ}\text{C}$. Температурний коефіцієнт опору міді дорівнює $1/234,7$ град $^{-1}$, залежність електричного опору від температури - лінійна. Недолік: висока окисненість міді при нагріванні, внаслідок чого вона застосовується в порівняно вузькому діапазоні температур у середовищах з низькою вологістю і при відсутності агресивних газів. Мідний ВП має погрішність, обумовлену його розігрівом струмом, що протікає. Для зменшення цієї погрішності чутливий елемент повинен мати малий тепловий опір щодо об'єкта. Це досягається ретельним проектуванням і виготовленням ВП. Для чутливих елементів термоперетворювачів застосовують нікель, вольфрам, і інші чисті метали. Нікель хімічно стійкий матеріал навіть при високих температурах, однак, має складну залежність опору від температури і невисоку її відтворюваність ($-50...+180^{\circ}\text{C}$).

Тугоплавкі метали - вольфрам, молібден, тантал, ніобій - мають обмежене застосування. Вплив рекристалізації і росту зерен у результаті дії температури робить чутливий елемент із цих матеріалів тендітним і тому дуже чутливим до механічних вібрацій. Сплави, що володіють більше високим питомим електричним опором, чим чисті метали, не знайшли застосування через порівняно низький ТКС, значення якого в значній мірі залежить від кількісного і якісного складу домішок.

Терморезистивні перетворювачі температури (термоперетворювачі опору) бувають двох основних різновидів: із платиновим (ТСП) і мідним (ТСМ) чутливими елементами й призначеними для перетворень температури в діапазоні $-200...+1100^{\circ}\text{C}$ (див. табл. 3.3).

У даних перетворювачах використовується залежність електричного опору металевого дроту від температури навколишнього середовища.

Таблиця 3.3 - Основні типи терморезистивних перетворювачів і діапазони виміру температур

Тип перетворювача	Номінальний опір при 0 ⁰ С, Ом	Діапазон вимірювальних температур, ⁰ С
ТСП	1	-50...+1100
	5	-100...+1100
	10	-200...+1000
	50	-260...+1000
	100	-260...+1000
	500	-260...+300
ТСМ	10	-50...+200
	50	-50...+200
	100	-200...+200

Перетворювачі типу ТСП із платинового дроту діаметром 0,05...0,1 мм застосовують для виміру в діапазоні -260...+750⁰С. У деяких випадках за рахунок збільшення діаметра дроту до 0,4 мм вдається використати платинові перетворювачі при температурі до 1100⁰С.

3.4 Напівпровідникові вимірювальні перетворювачі

Діапазон використовуваних температур у сучасному виробництві не перекривається жодним з відомих первинних вимірювальних перетворювачів температури. Весь цей діапазон звичайно перекривається набором із трьох груп первинних вимірювальних перетворювачів:

- у діапазоні -50...+150⁰С використовують напівпровідникові вимірювальні перетворювачі;
- у діапазоні -270...+600⁰С використовують мідний і платиновий термоопір;
- у діапазоні -50...+1600⁰С використовують термоелектричні перетворювачі різних типів.

Робота напівпровідникових ВП температури заснована на лінійній залежності падіння напруги u від температури T на p - n -переході при постійному значенні струму, що протікає, I :

$$u = \frac{\Delta E}{q} - kT \ln \frac{I_s}{I} \quad (3.5)$$

де q - заряд електрона;

E - ширина забороненої зони;

I_s зворотний струм p - n -переходу.

Нелінійність характеристики "температура - напруга" кремнієвих планарних *p-n*-переходів не перевищує $0,1...1^{\circ}\text{C}$, при цьому крутизна перетворення становить $2\text{мВ}/^{\circ}\text{C}$ при струмах $0,1...1\text{мА}$. Поліпшення лінійності передатної характеристики ВП на основі *p-n*-переходу досягається використанням двох транзисторів, виготовлених на одній підкладці, через які протікають різні колекторні струми ($I_1/ I_2=8$), при цьому нелінійність різниці падінь напруг на еміттерних *p-n*-переходах становить $0,05^{\circ}\text{C}$.

Як правило, погрішність ВП не може бути точно скомпенсована при подальших перетвореннях у каналі МПС, тому найважливішою характеристикою ВП є стабільність передатної характеристики. З напівпровідникових приладів, що випускають промисловістю, у якості ВП температури найбільш зручні транзисторні зборки. Напівпровідникові терморезистори мають більші значення ТКС, менші габарити і менша інерційність. Існує багато різновидів напівпровідникових терморезисторів: стержневі, покриті емаллю - ММТ-1, КМТ-1, герметизованих металевою капсулою - ММТ-4, КМТ-4, каплевидних, герметизованих склом - СТЛ-19, СТЗ-19 і ін. Основні технічні параметри деяких напівпровідникових приладів дані в таблиці 3.4. Номінальне значення опорів терморезисторів мають допуск звичайно 20%. Недоліки: нелінійність залежності від температури, значний діапазон відхилень, як номінальних значень опорів різних зразків, так і їх ТКС.

Таблиця 3.4 - Основні технічні параметри деяких напівпровідникових приладів:

Тип	Номінальний опір при 20°C , кОм	Діапазон робочих температур, $^{\circ}\text{C}$	Постійна часу (не більше), сек.
ММТ-1	1...220	-60...+125	85
КМТ-1	22...1000	-60...+180	85
ММТ-4	1...220	-60...+125	115
КМТ-4	22...1000	-60...+125	115
ММТ-6	10...100	-60...+125	35
КМТ-11	100...3300	0...+125	10
СТ1-17	0,33...22	-60...+100	30
СТ1-18	1,5...2200	-60...+300	1
СТ3-18	0,68...3,3	-90...+125	1
СТ1-19	3,3...2200	-60...+300	3
СТ3-19	2,2...15	-90...+125	3

3.5 Вимірювальні ланцюги термоелектричних і терморезистивних перетворювачів

При вимірі термо-е.р.с. порівняно низькоомним мілівольтметром значний вплив на результат вимірів можуть робити опір сполучних ліній і матеріалу чутливого елемента (термопари). Показання мілівольтметра пов'язані з термо-е.р.с. термопари e_θ залежністю:

$$U_{mV} = e_\theta - I(R_\theta + R_\pi) = e_\theta [1 - (R_\theta + R_\pi)/(R_{mV} + R_\theta + R_\pi)] \quad (3.6)$$

де R_θ - опір термопари,

$R_\pi = R_{\pi 1} + R_{\pi 2}$ - опір сполучних ліній,

R_{mV} - опір мілівольтметра.

Із цього виходить, що погрішність від впливу опорів R_θ і R_π можна не приймати до уваги лише у випадку, коли $R_\theta + R_\pi \ll R_{mV}$. Повністю усунути вплив цих опорів на результат вимірів можна лише при вимірі компенсаційним методом. Градування термопар здійснюється при температурі вільних кінців, рівної нулю. Якщо в процесі виміру температура вільних кінців відрізняється від нуля, то це веде до появи додаткових погрішностей, усунути які можна шляхом охолодження вільних кінців або схемним методом. Схема, застосування якої дозволяє автоматично здійснювати корекцію температури вільних кінців дана на мал.3.1. У цій схемі між термопарою і вторинним приладом включений неврівноважений міст, що складається з манганінових резисторів R_2 , R_3 , R_4 і мідний резистори R_1 , що перебуває в таких же температурних умовах, як і вільні кінці термопари.

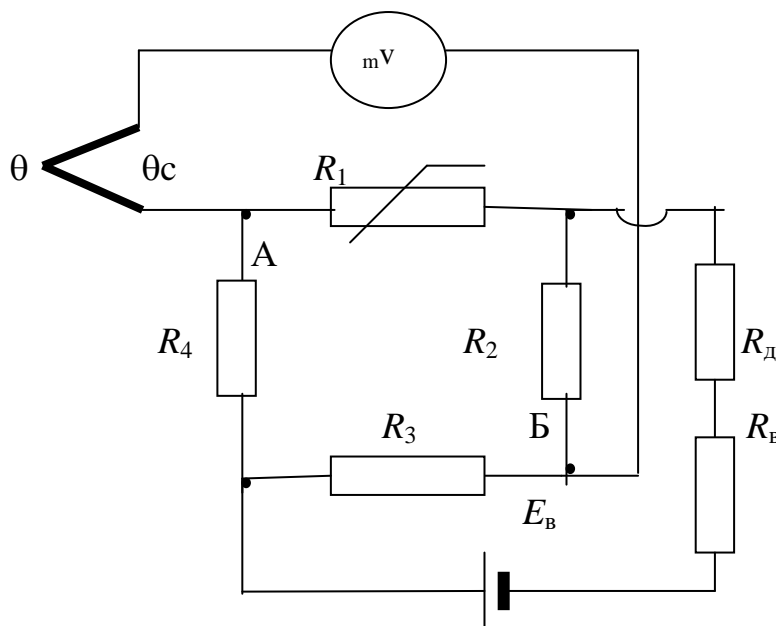


Рис. 3.1 - Схема корекції температури вільних кінців термопари

Параметри моста підбирають таким чином, щоб при значенні температури вільних кінців, рівному нулю, міст перебував у рівновазі, а при відхиленні температури вільних кінців від нуля між вершинами А - Б моста виникала різниця напруг ΔU_K , яка дорівнює за значенням зміні термо-е.р.с. термопари, викликаному зміною температури вільних кінців:

$$\Delta U_K = E_B \frac{R_{10}(1 + a\theta_C)R_3 - R_2R_4}{(R_B + R_D)[R_{10}(1 + \theta_C) + R_2 + R_3 + R_4] + [R_{10}(1 + \theta_C) + R_2](R_3 + R_4)} \quad (3.7)$$

де E_B і R_B - е.р.с. і внутрішній опір джерела живлення моста,

R_{10} - значення опору R_1 при температурі 0°C ,

a - температурний коефіцієнт опору резистора R_1 ,

R_D - додатковий опір,

C - температура вільних кінців (і резистора R_1).

Для вимірів вихідних опорів терморезистивних перетворювачів широко використовують логометричні і мостові вимірювальні ланцюги. Для зменшення впливу на результат виміру опору сполучних проводів у логометричній схемі застосовують трьохпровідне підключення терморезистивного перетворювача до логометра (рис 3.2). Опір лінії $R_{л3}$ у схемі включено послідовно із джерелом живлення і не впливає на результат виміру, а опору $R_{л1}$ і $R_{л2}$ - послідовно з відповідними опором паралельних ланцюгів логометра, що значно зменшує їхній вплив на показання останнього.

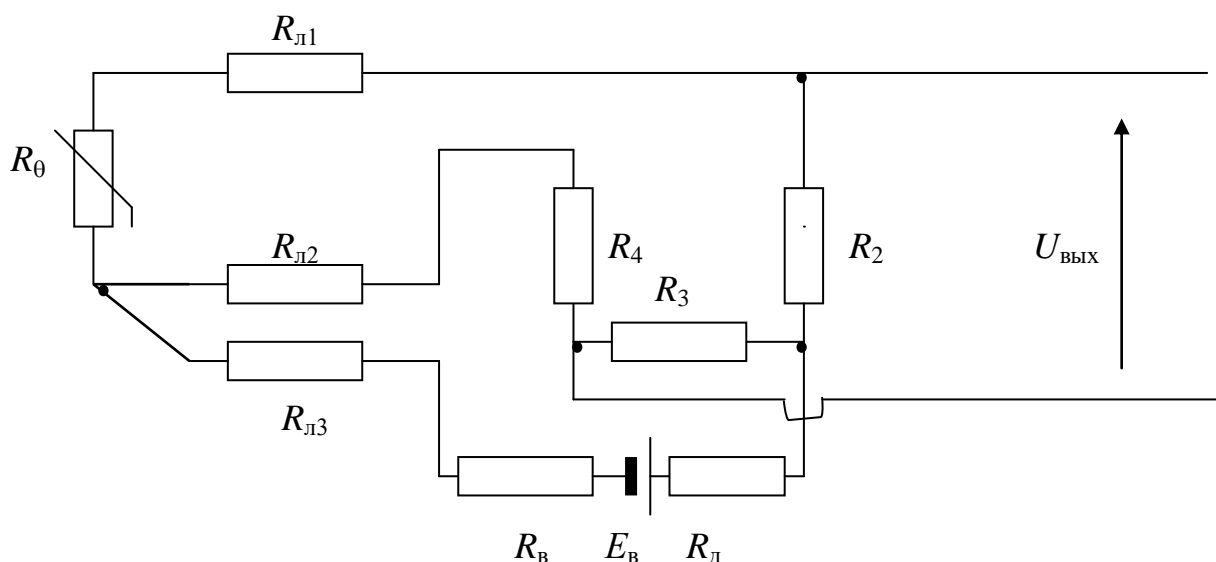


Рис.3.2 - Вимірювальний ланцюг терморезистивного перетворювача (мостова логометрична схема виміру).

У даній схемі опору ліній $R_{л1}$ й $R_{л2}$ підсумуються з опором двох сусідніх плечей моста R_θ і R_4 і при $R_{л1} = R_{л2}$, $R_2 = R_3$, $R_\theta = R_4$ їхній вплив на показання логометра буде усунуто.

Зі зміною опору R_0 рівність $R_0 = R_4$ порушується, однак опір ліній залишається незначним, якщо вони малі в порівнянні з опорами плечей моста.

3.6 Вимірювання електричних величин методами порівняння з мірою

Порівняння вимірюваної величини з мірою відбувається при будь-якому вимірі. Однак у приладах безпосередньої оцінки міра вимірюваної величини в процесі виміру не використовується. У цьому випадку вимірювана величина перетвориться в іншу (проміжну), що порівнюється з мірою проміжної величини, а міра вимірюваної величини використовується при градуванні приладу. Наприклад, в електромеханічних приладах вимірювана електрична величина перетвориться в обертаючий момент, що порівнюється із протидіючим моментом пружних елементів.

У великій групі засобів вимірювання реалізується метод порівняння вимірюваної величини з мірою цієї величини і виміри полягають у встановленні рівності або певного співвідношення між значеннями вимірюваної величини і міри. У приладах і пристроях порівняння може бути використана міра, однорідна з вимірюваною величиною або неоднорідна. Наприклад, при вимірі індуктивності за допомогою моста змінного струму як міру можна використати ємність конденсатора. У цих випадках визначення значення вимірюваної величини знаходиться на підставі відомої математичної залежності вимірюваної величини від міри, реалізованої в засобі виміру.

Всі відомі методи порівняння по характеру самої операції порівняння можна розділити на методи одночасного і різночасного порівняння.

Метод одночасного порівняння характеризується одночасною участю величини і міри в процесі виміру і поєднує наступні відомі методи порівняння: нульового, диференціального, збігу.

На основі нульового методу виготовляються прилади порівняння у вигляді мостів постійного і змінного струму.

Диференціальний метод застосовується з використанням приладів безпосередньої оцінки або порівняння для виміру різниці значень двох величин. Метод збігу застосовується для визначення значення вимірюваної величини з використанням спеціальних засобів або приладів загального призначення, наприклад, електронно-променевого осцилографа, за допомогою якого можна виміряти частоту сигналу.

Метод різночасного порівняння характеризується різночасною участю вимірюваної величини і міри в процесі виміру. Вимір в цьому випадку розпадається на два етапи, і результат виміру визначається по двох вимірах: з урахуванням вимірюваної величини на першому етапі і міри - на другому.

Мостові схеми широко застосовуються в електровимірювальній техніці для виміру опору, індуктивності, ємності, кута втрат конденсаторів, взаємної індуктивності і частоти. На основі мостових схем створюються прилади для виміру неелектричних величин (температури, малих переміщень). Широке застосування мостових схем характеризується великою точністю вимірів, високою чутливістю, можливістю вимірів різних величин і т.д.

Плечі моста $a-b$, $b-в$, $a-г$, $г-в$ містять згідно рис.3.3 у загальному випадку комплексні опори Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 . У діагональ $b-г$ (вихідну) включається навантаження (в окремому випадку нуль-індикатор) з опором Z_0 . Залежність струму I_0 у навантаженні від параметрів моста і напруги живлення, знайдена яким-небудь способом, наприклад, за допомогою законів Кіргофа, дорівнює

$$I_0 = U \frac{z_1 z_4 - z_2 z_3}{z_0(z_1 + z_2)(z_3 + z_4) + z_1 z_2(z_3 + z_4) + z_3 z_4(z_1 + z_2)} \quad (3.8)$$

Рівновага моста має місце при підборі плечей, так щоб $I_0=0$, тобто при:

$$z_1 z_4 = z_2 z_3 \quad (3.9)$$

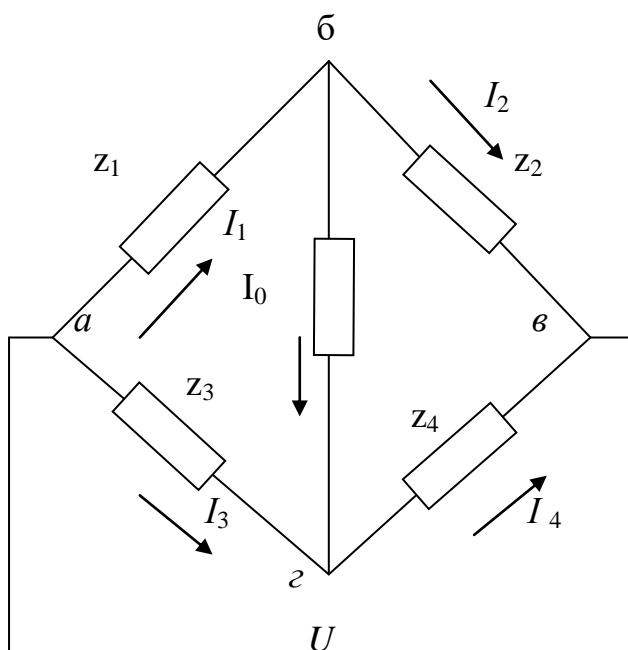


Рис. 3.3 - Схема одинарного моста:

У розгорнутій формі вирази комплексів повних опорів плечей мають вигляд:

$$\begin{aligned} Z_1 &= R_1 + jX_1 & Z_3 &= R_3 + jX_3 \\ Z_2 &= R_2 + jX_2 & Z_4 &= R_4 + jX_4 \end{aligned} \quad (3.10)$$

Підставивши значення z_1, z_2, z_3, z_4 в (3.9), одержимо дві рівності для уявних і дійсних членів:

$$\begin{aligned} R_1 R_4 - X_1 X_4 &= R_2 R_3 - X_2 X_1 \\ R_1 X_4 + R_4 X_1 &= R_2 X_3 + R_3 X_2 \end{aligned} \quad (3.11)$$

Наявність двох рівнянь рівноваги означає необхідність регулювання не менш двох параметрів моста змінного струму для досягнення рівноваги.

Умови рівноваги моста можуть бути виражені іншим способом, що вказує, як повинні бути розташовані плечі моста. З огляду на, що:

$$\begin{aligned} Z_1 &= z_1 e^{j\varphi_1}; & Z_3 &= z_3 e^{j\varphi_3} \\ Z_2 &= z_2 e^{j\varphi_2}; & Z_4 &= z_4 e^{j\varphi_4} \end{aligned} \quad (3.12)$$

де z_1, z_2, z_3, z_4 - модулі повних опорів плечей; $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$ - кути зрушення струму щодо напруги у відповідних плечах, рівність (3.2) можна показати так:

$$z_1 z_4 e^{j(\varphi_1 + \varphi_4)} = z_2 z_3 e^{j(\varphi_2 + \varphi_3)} \quad (3.13)$$

звідси:

$$z_1 z_4 = z_2 z_3; \quad \varphi_1 + \varphi_4 = \varphi_2 + \varphi_3 \quad (3.14)$$

Рівняння (3.11) і (3.14) рівносильні й обов'язкові для досягнення рівноваги моста.

Остання умова ($\varphi_1 + \varphi_4 = \varphi_2 + \varphi_3$) указує, при якому розташуванні плечей, залежно від їхнього характеру, можна зрівноважити схему. Якщо суміжні плечі, наприклад третє і четверте, мають чисто активні опори R_3 і R_4 , тобто $\varphi_3 = \varphi_4 = 0$, то два інших суміжних плеча можуть мати або індуктивний або ємнісний характер. Якщо протилежні плечі чисто активні, то одне із двох інших повинне бути індуктивним, а інше ємнісним. У мостах змінного струму часто застосовуються електронні нуль-індикатори, вхідні опори яких приблизно можна вважати рівним нескінченності. Для цього випадку напруга між точками b і c можна визначити по формулі

$$U_{b-c} = U \frac{z_1 z_4 - z_2 z_3}{(z_1 + z_2)(z_3 + z_4)} \quad (3.15)$$

Якщо в урівноваженому мосту яке-небудь плече, наприклад z_1 , одержить мале збільшення Δz_1 , те, зневажаючи величиною Δz_1 у знаменнику, одержимо:

$$U_{b-c} \approx U \frac{\Delta z_1 z_4}{(z_1 + z_2)(z_3 + z_4)} \quad (3.16)$$

Мости, у яких вимірювана величина визначається з умови рівноваги (3.9) називаються врівноваженими. У ряді випадків вимірювана величина може визначатися за значенням струму або напруги вихідної діагоналі моста. Такі мости називають неуврівноваженими.

Схема моста постійного струму не відрізняється від розглянутої схеми. Плечі моста постійного струму $a-b$, $b-c$, $a-c$ і $c-b$ мають властиво активні опори R_1, R_2 ,

R_3 , R_4 , а в діагональ b - z включається нуль-індикатор постійного струму з опором R_T . Струм у ланцюзі індикатора для моста постійного струму

$$I_0 = U \frac{R_1 R_4 - R_2 R_3}{R_T (R_1 + R_2)(R_3 + R_4) + R_1 R_2 (R_3 + R_4) + R_3 R_4 (R_1 + R_2)} \quad (3.17)$$

Якщо міст урівноважений, струм у діагоналі b - z дорівнює нулю; для цього необхідно, щоб:

$$R_1 R_4 = R_2 R_3 \quad (3.18)$$

Рівність (3.18) показує можливість підключення вимірюваного опору в кожне плече моста і визначення його значення через опір трьох інших плечей. Процес виміру за допомогою моста полягає в тому, що в одне із плечей моста (наприклад, a - b) включають резистор з невідомим опором R_x і, змінюючи одне або кілька опорів плечей, домагаються відсутності струму в діагоналі b - z .

Тоді на підставі (3.18):

$$R_x = R_2 \frac{R_3}{R_4} \quad (3.19)$$

Прийнято R_3 і R_4 називати плечима відносин, R_2 - плечем порівняння.

3.7 Основні принципи сполучення вимірювальних перетворювачів

Будь-який вимірювальний пристрій являє собою сукупність з'єднаних послідовно вимірювальних перетворювачів (перетворювальних елементів). Максимальної точності передачі вимірювальної інформації від перетворювача до перетворювача, а також інших оптимальних характеристик пристрою в цілому: максимальної чутливості, найкращої перешкодозахищеності, мінімального впливу ліній зв'язку - можна досягти при виконанні певних умов сполучення окремих перетворювачів.

Першим кроком на шляху рішення цього завдання є перевірка відповідності роду енергії вихідних сигналів попередніх елементів роду енергії, придатної для використання у вхідних ланцюгах наступних елементів пристрою. У випадку порушення зазначеної відповідності необхідно ввести між елементами додаткові перетворювачі енергії вихідного сигналу. Наприклад, світлова енергія оптичного елемента не може бути використана у вхідному ланцюзі напівпровідникового підсилювача без попереднього перетворення енергії світлового потоку в електричну енергію. Якщо таке перетворення виявиться принципово не здійсненним, потрібно переглянути обрану елементну базу на певних ділянках функціональної схеми проектованого пристрою.

Узгодження елементів по характеру сигналів зводиться до аналізу можливості роботи кожного наступного елемента автоматичного пристрою на енергії вихідних сигналів цілком певної форми (постійні, змінний імпульсний сигнали) попередніх елементів. Якщо виявиться, що на виході попереднього елемента

має місце змінний сигнал, а наступний елемент може здійснювати функціональне перетворення постійних (повільно мінливих) сигналів або, навпаки, вихідний сигнал елемента є постійним, а наступний за ним елемент здатний робити функціональне перетворення тільки змінних сигналів, то між такими елементами обов'язково варто передбачити включення допоміжних перетворюючих елементів. Нарешті найбільш складним питанням узгодження елементів є узгодження елементів, що являються суміжними у пристрої, автоматики по потужності сигналів. Таке узгодження залежно від режиму роботи елемента і його виконуваних функцій має на меті - одержання або найбільшої вихідної потужності, або найбільшого коефіцієнта підсилення по потужності [6]. У силових елементах, тобто в кінцевих підсилювально-перетворювальних і виконавчих елементах, потрібно домагатися узгодження, що приводило б до одержання найбільшої вихідної потужності. В елементах, що знаходяться попереду силових, головним є умова досягнення максимального коефіцієнта підсилення.

Одним з основних при сполученні вимірювальних перетворювачів є принцип узгодження вхідних і вихідних опорів перетворювачів, що сполучають. Так як передача і перетворення вимірювальної інформації пов'язані з передачею і перетворенням енергії, то в основу принципу узгодження параметрів приймають принцип забезпечення найбільш ефективної передачі потужності, тобто при рівності комплексних опорів: власного вихідного опору ВП і опору навантаження (власне кажучи цей вхідний опір вторинного ВП). У той же час інформативними параметрами більшості перетворювачів є узагальнена швидкість або узагальнена сила, зокрема, у перетворювачах з електричним вхідним сигналом - електричний струм або напруга. Наведені вище умови оптимального узгодження опорів у них реалізуватися не можуть. Так, для вимірювальних перетворювачів зі струмовим виходом має дуже великий власний вихідний опір і повинен працювати в режимі короткого замикання, тобто сполучатися з перетворювачем, що володіє мізерно малим внутрішнім опором. І навпаки, вимірювальний перетворювач із виходом по напрузі повинен мати незначний власний вихідний опір і сполучатися з високоомним вторинним перетворювачем. Невиконання умов узгодження опорів перетворювачів, що сполучають, веде до погіршення багатьох параметрів вимірювального пристрою: точності, чутливості, перешкодозахищеності і ін.

Узгодження елементів автоматичних пристроїв по потужності зводиться до узгодження опорів вихідного ланцюга попереднього елемента і вхідного ланцюга елемента, що поруч із ним. Любий елемент автоматики можна подати у вигляді блоку, що містить два ланцюги - вхідний, що підключається до джерела корисного сигналу, і вихідний із джерелом живлення і навантаженням (рис. 3.4) [6].

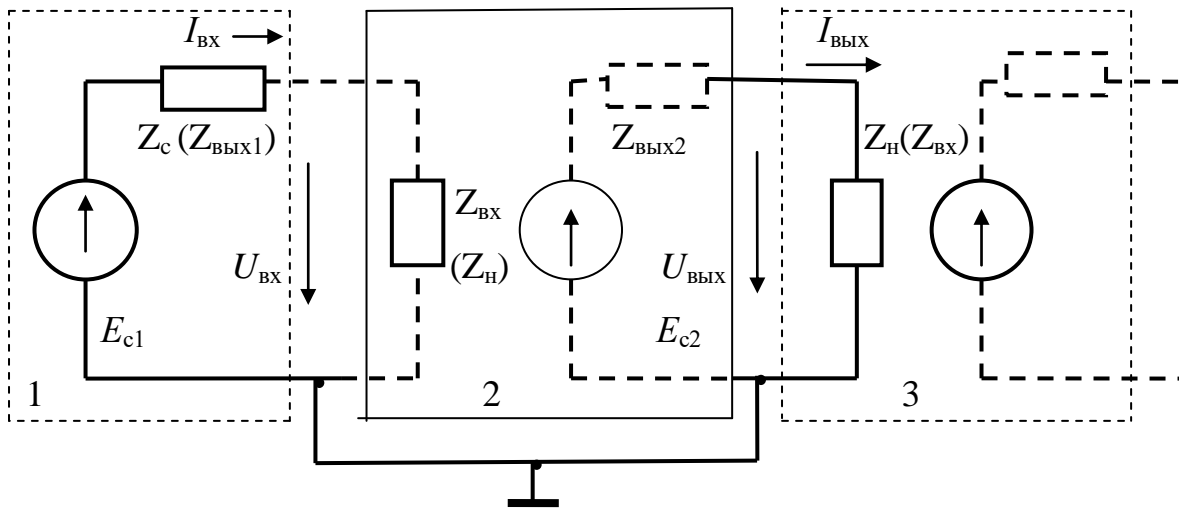


Рис.3.4 - Схема узгодження елементів пристроїв

Джерелом корисного вхідного сигналу можуть бути різні вимірювально-перетворювальні елементи або вихідні ланцюги попередніх елементів при їхньому послідовному включенні. Залежно від типу вимірювально-перетворювального елемента або характеру вихідного ланцюга попереднього елемента внутрішній опір z_c ($z_{\text{вих}}$) джерела сигналу, називане вихідним опором елемента, може бути активним (потенціометричний датчик) або комплексним (індуктивні, ємнісні або індукційні датчики). Вхідний опір $z_{\text{вх}}$ елемента, що представляє собою навантаження джерела сигналу, також може носити як активний (вхідний ланцюг напівпровідникового підсилювача з безпосереднім зв'язком), так і комплексний (обмотка керування асинхронного виконавчого двигуна) характер.

Можливі три наступні співвідношення між вхідним опором наступного елемента і вихідним опором попереднього елемента, що знаходиться поруч із ним:

- $z_{\text{вх}} \gg z_{\text{вих}}$. У цьому випадку джерело сигналу працює в режимі холостого ходу, тому вхідною величиною елемента, що є навантаженням джерела сигналу, буде напруга $\dot{U}_{\text{вх}} \approx \dot{E}_c$;

- $z_{\text{вх}} \ll z_{\text{вих}}$. Ця умова відповідає роботі джерела сигналу в режимі, близькому до режиму короткого замикання. Вхідною величиною елемента (навантаження) буде струм короткого замикання джерела;

-- $z_{\text{вих}} \approx \dot{z}_{\text{вх}}$, де $\dot{z}_{\text{вх}}$ - комплексний опір, сполучений з $z_{\text{вих}}$. Таке співвідношення опорів близько до умови передачі максимальної активної потужності від джерела сигналу до навантаження. Відомо, що приймач одержує від джерела найбільшу активну потужність, коли його комплексний опір є сполученим з комплексним опором джерела, тобто.

$$Z_c = \dot{Z}_{\text{вх}} \quad (3.20)$$

Ця умова є основою для узгодження потужних кінцевих елементів автоматичного пристрою, що відрізняються високим рівнем використовуваної

енергії. У попередніх каскадах, де потужність сигналів досить мала, зниження коефіцієнта корисної дії при передачі енергії звичайно не має настільки істотного значення, тому що кількість переданої енергії незначно. Тому головним є тут умова досягнення максимального коефіцієнта підсилення по потужності, що не збігається з умовою передачі найбільшої активної потужності (3.20). При сполученні перетворювачів важливою є проблема забезпечення максимальної перешкодозахищеності [4]. Для зменшення перешкоди нормального виду, тобто перешкоди, що виникають у результаті електромагнітних наведень у сполучних лініях, прибігають, як правило, до схемних методів, заснованих на фільтрації. Усунення перешкоди загального виду, обумовленої нееквіпотенціальністю загальних шин первинного і вторинного перетворювачів, тобто наявністю деякої різниці потенціалів U_0 , здійснюється симетруванням вхідних ланцюгів вторинного перетворювача, гальванічною розв'язкою, екрануванням вторинного перетворювача із застосуванням трьохпровідної схеми з'єднання перетворювачів, що сполучають, і ін. Перешкода загального виду небезпечна тим, що викликає додаткові паразитні струми в сполучних проводах і трансформується тим самим у перешкоду нормального виду. Застосування екрана і третього сполучного провідника, яким може бути загальний екран основних сполучних проводів, дає можливість істотно зменшити паразитні струми, викликані перешкодою загального виду. Симетрування вхідних ланцюгів вторинних перетворювачів веде до вирівнювання цих струмів, а при рівності опорів ліній і до вирівнювання паразитних падінь напруг в обох лініях, вплив яких у цьому випадку може бути усунуто гальванічним поділом ланцюгів перетворювачів, що сполучають. При застосуванні екранованих проводів збільшуються габарити, вартість і паразитна ємність монтажу, тому застосовувати екрановані лінії і коаксіальні кабелі необхідно в тому випадку, коли інші засоби не дали потрібного ефекту. У багатьох випадках досить ефективним є використання кручений пари.

Контрольні питання:

1. Дайте визначення понять вимірювальний перетворювач, перетворювальний елемент. Яка між ними принципова відмінність?
2. Приведіть класифікацію вимірювальних перетворювачів по виду функції перетворення. Які перетворювачі називають масштабними, які функціональними?
3. Дайте класифікацію вимірювальних перетворювачів за принципом їхньої дії.
4. Приведіть основні характеристики промислових термоелектричних перетворювачів температури. Укажіть способи усунення погрешностей від впливу температури вільних кінців термопари.
5. Які переваги і недоліки провідникових і напівпровідникових терморезисторів?
6. Які основні характеристики промислових терморезистивних

- перетворювачів температури, їхні вимірювальні ланцюги?
7. У чому полягають основні принципи сполучення вимірювальних перетворювачів?
 8. У чому сутність узгодження опорів перетворювачів, що сполучають?
 9. У чому полягає принцип корекції вільних кінців термопари при вимірі температури?
 10. Укажіть основний метод вимірювання електричних величин.
 11. Укажіть сутність методів одночасного порівняння при вимірах: нульового, диференційного, збігу.
 12. Укажіть умови рівноваги моста для постійного струму, змінного струму.
 13. Які методи захисту від електричних перешкод у мережах МПС?

4 ЦИФРО-АНАЛОГОВІ (ЦАП) І АНАЛОГО-ЦИФРОВІ (АЦП) ПЕРЕТВОРЮВАЧІ [7]

4.1 Операційні підсилювачі й інтегральні компаратори

Практично у всіх цифрових і мікропроцесорних системах використовуються різні формувачі, генератори і перетворювачі сигналів, багато з яких традиційно відносяться до класу імпульсних пристроїв. Сучасні імпульсні пристрої найчастіше будуються на основі спеціалізованих або універсальних мікросхем. Серед останніх широке застосування знаходять операційні підсилювачі (ОП) і інтегральні компаратори (ІК). ОП і ІК містять диференціальні вхідні каскади і мають більші коефіцієнти передачі по напрузі, що забезпечує різкий перепад вихідних рівнів при невеликій різниці вхідних напруг $U_{\text{вх}}=U_+-U_-$, де U_+ і U_- - напруги відповідно на прямому і інверсному входах.

Розходження в передатних характеристиках цих пристроїв (див. рис.4.1) обумовлено тільки рівнями вихідного сигналу (0 і 1), які в ОП трохи менше напруг джерел живлення, а в ІК формується у вигляді логічних рівнів одного з типів цифрових інтегральних мікросхем (наприклад ТТЛ). Такі властивості ОП і ІК дозволяють широко використати їх як обмежники, компараторів рівнів, амплітудних селекторів, імпульсних модуляторів, формувачів рівнів і т.д.

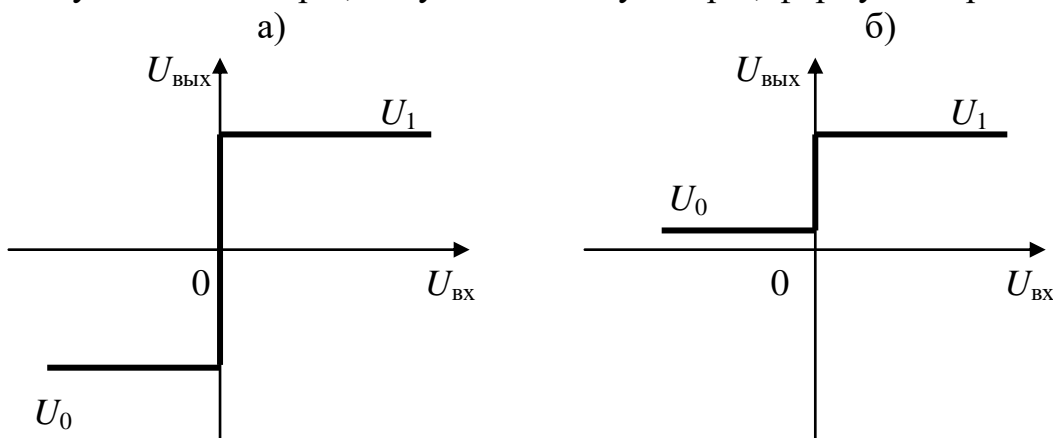


Рис. 4.1 - Характеристика функцій а) операційного підсилювача,
б) компаратора

Умовна позначка ОП згідно рис. 4.2.

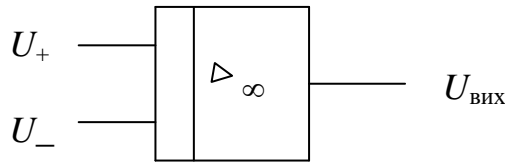


Рис. 4.2 - Умовне позначення операційного підсилювача

Розглянемо ОП для двостороннього обмеження і широтно-імпульсної модуляції сигналу (див. рис.4.3).

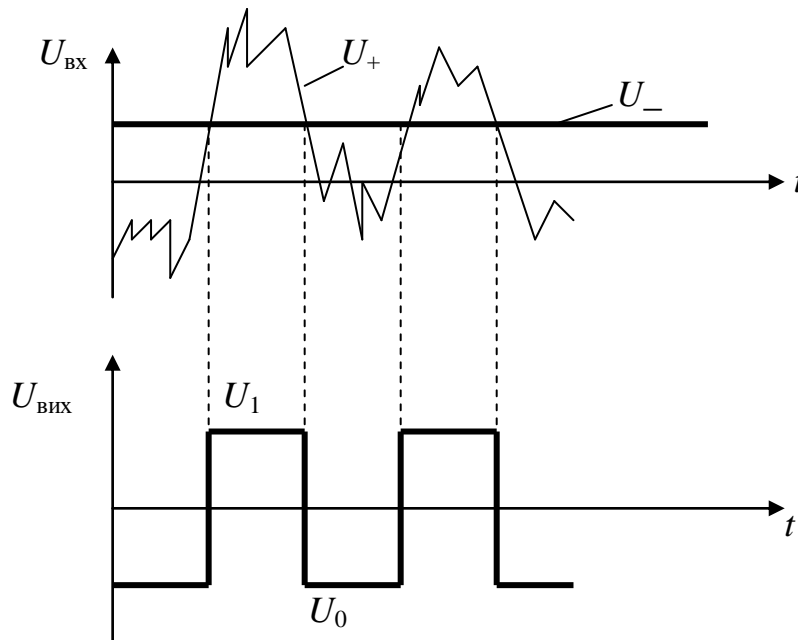


Рис.4.3 - Використання ОП для двостороннього обмеження сигналу

При постійному рівні напруги на інверсному вході (U_-) ОП працює як двосторонній обмежник сигналу, що надходить на прямий вхід (U_+). При $U_+ < U_-$ $U_{вих}$ негативно і $U_{вих} = U_0$, а при $U_+ > U_-$ $U_{вих}$ позитивно і $U_{вих} = U_1$. Таким чином, рівень двостороннього обмеження відповідає обраному значенню U_- , при якому обмежник дозволяє звільнити сигнал від дії перешкод. Крім того, двосторонній обмежник на ОП або ІК дозволяє скоротити тривалість фронту формованих імпульсів і одержати необхідні рівні вихідного сигналу.

Використання ОП як широтно-імпульсний модулятор (рис.4.4):

на прямий вхід ОП надходить напруга, що лінійно змінюється (ЛЗН), а на інверсний - функція, що модулює. Імпульси вихідної напруги модульовані по тривалості, а їхній період T дорівнює періоду ЛЗН. При використанні ОП в прецизійних пристроях можливе їхнє індивідуальне балансування по постійному струмі, у результаті якої вихідна напруга ОП стає точно рівним нулю при $U_+ = U_- = 0$.

Для підключення елементів балансування ОП мають спеціальні виводи, позначені NS. Крім того, у ряді ОУ передбачена корекція АЧХ, що дозволяє усунути самозбудження ОП і поліпшити його частотні характеристики. Виводи ОП, призначені для корекції АЧХ, позначаються буквами FC.

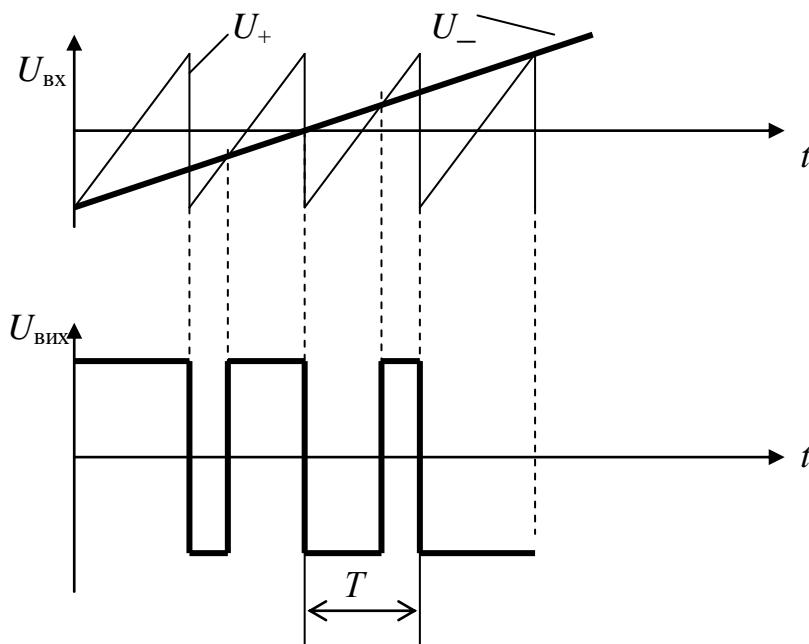


Рис. 4.4 - Використання ОП як широтно-імпульсний модулятор

4.2 Генератори напруги, що лінійно змінюється (ГЛЗН)

Генератори ЛЗН використовуються в аналого-цифрових перетворювачах і інших пристроях. Найбільш проста схема ГЛЗН (рис.4.5) містить формуючий RC-ланцюг і транзисторний ключ VT. Нехай при $t=0$ відбувається чергове закриття ключа VT.

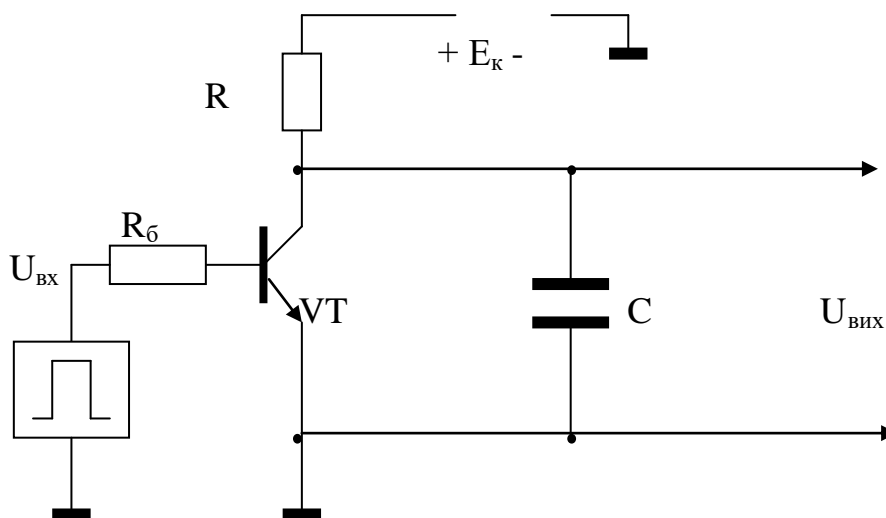


Рис.4.5 - Схема ГЛЗН

Із цього моменту ємність C заряджається струмом, що протікає від джерела живлення E_k через опір R формуючого ланцюга. Вихідна напруга наростає за експонентним законом із постійною часу RC і прагне до напруги джерела живлення E_k (рис.4.6). Через час T_{Π} черговий вхідний імпульс тривалістю t_i відкриває ключ VT , і ємність C розряжається порівняно швидко через ключ VT . При закінченні імпульсу t_i транзистор закривається і процес формування вихідної напруги буде повторюватися. Таким чином, у часі періоду повторення T вхідних імпульсів будуть послідовно протікати два процеси: T_{Π} - тривалість робочої стадії (прямого ходу); t_0 - тривалість паузи (зворотного ходу).

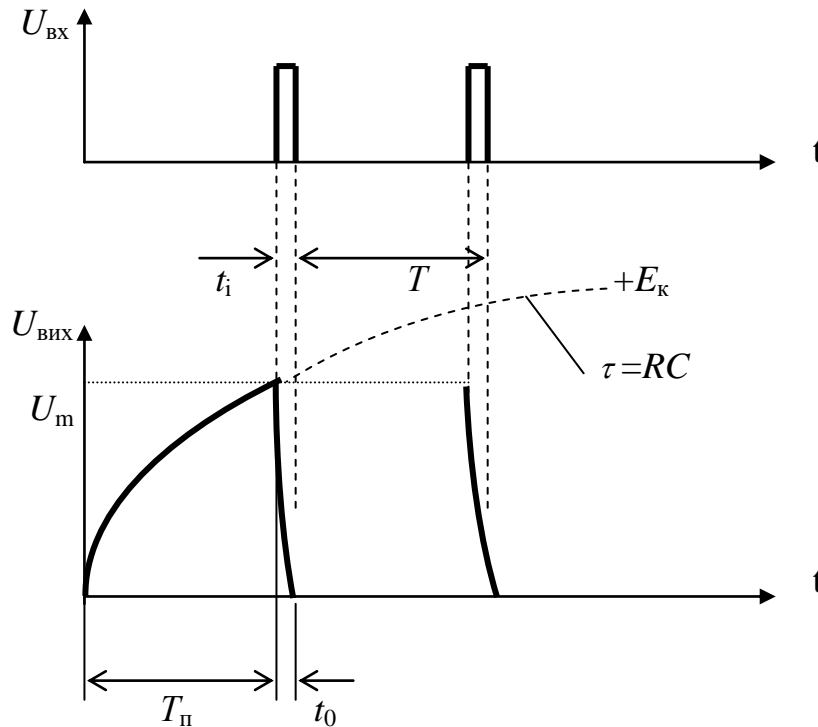


Рис.4.6 - Діаграма роботи схеми

Процес характеризується двома параметрами:

а) коефіцієнтом нелінійності напруги γ :

$$\gamma = \frac{dU_{\text{нач}}/dt - dU_{\text{кон}}/dt}{dU_{\text{нач}}/dt} \quad (4.1)$$

де похідні вихідної напруги відповідають початку ($t=0$) і кінцю ($t=T_{\Pi}$) прямого ходу:

$$\frac{dU_{\text{вих}}}{dt} = \frac{E_n}{RC} e^{-t/(RC)} \quad (4.2)$$

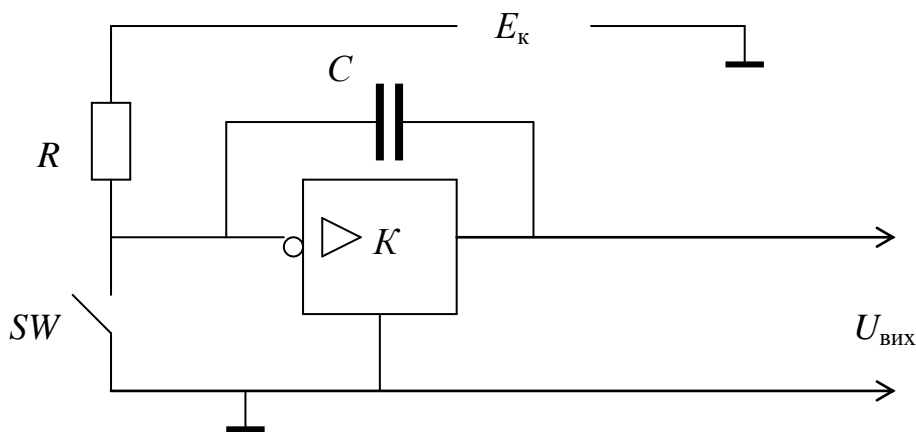
підставивши значення, одержимо: $\gamma = 1 - e^{-T_{\Pi}/(RC)} \approx T_{\Pi}/(RC)$ при $T_{\Pi} \ll RC$ (4.3)

Звичайно коефіцієнт нелінійності $\gamma \ll 1$, тому можна використати останню не зовсім точну рівність.

б) Якість ГЛЗН прийнята визначати коефіцієнтом використання напруги джерела живлення E_H

$$\epsilon = U_m / E_k = 1 - e^{-T_{\Pi} / RC} \approx T_{\Pi} / RC \quad (4.4)$$

Таким чином, у простих схемах ГЛН: $\epsilon = \gamma$, тобто при малих коефіцієнтах нелінійності розмах вихідного сигналу U_m може виявитися занадто малим. Така схема не забезпечує гарних параметрів ЛЗН, однак коеф. γ є диференціальним параметром, а ϵ - статичним. Для виключення даного недоліку в схемах ГЛЗН застосовується введення зворотних зв'язків через елементи формуючого ланцюга, при якій величина R і C і постійна часу збільшується, а коефіцієнт $= T_{\Pi} / RC$ відповідно зменшується. Це досягається шляхом введення негативного зворотного зв'язку через ємність (рис.4.7) формуючого ланцюга або введенням позитивного зворотного зв'язку через опір R формуючого ланцюга.



K - інвертуючий підсилювач з коефіцієнтом підсилення K
 SW - зображення ключа

Рис.4.7 - ГЛЗН з негативним зворотним зв'язком

Включення ємності C еквівалентно включенню на вході ємності $C_{вн}$, де $C_{вн} = C(1+K)$.

$C_{вн}$ - еквівалентна внесена ємність. Замінивши ємність C на $C_{вн}$, одержимо схему простого ГЛЗН, до виходу якого підключений інвертуючий підсилювач K . На вході підсилювача:

$$\gamma_{ex} = \epsilon_{ex} = \frac{T_{\Pi}}{RC_{вн}} = \frac{T_{\Pi}}{RC(1+K)} \quad (4.5)$$

Ці параметри виявляються менше в $(1+K)$ раз, а на його виході при збереженні значення коефіцієнта нелінійності: $=T_{\Pi}/[RC(1+K)]$
розмах ЛЗН збільшується в K раз:

$$\varepsilon = \frac{U_m K}{E_K} = \frac{T_{\Pi} K}{RC(1+K)} \approx \frac{T_{\Pi}}{RC} \text{ при } K \gg 1 \quad (4.6)$$

Таким чином, введення глибокого зворотного зв'язку ($K \gg 1$) дозволяє зменшити коефіцієнт нелінійності γ в $(1+K)$ раз при незмінному коефіцієнті використання .

У схемах ГЛЗН зручно застосовувати сучасні ОП ($K=10^4 \dots 10^6$) з високим вхідним опором ($R_{вх} > 10^5 \dots 10^8$ Ом) і великою швидкістю наростання вихідної напруги (до 80 В/мкс). Останній параметр обмежує час відновлення і період повторення ЛЗН.

4.3 Цифро-аналогові перетворювачі

МПС повинна працювати з різними, у тому числі з безперервними, фізичними параметрами, які представляються значеннями електричних величин, формованих відповідними датчиками. МП по своїй природі пристрій цифровий, тому необхідні засоби перетворення цифрових величин в аналогові (безперервні) і в зворотному напрямі – з аналогових в цифрові.

Аналого-цифрові перетворювачі (АЦП) перетворюють вхідні дані в аналоговій формі (звичайно у вигляді значень струму або напруги) у цифрову форму. Процес перетворення включає в загальному випадку дискретизацію за часом, квантування за рівнем і кодування безперервної вхідної величини. Необхідна швидкодія АЦП визначається в основному швидкістю зміни вхідної величини.

Цифро-аналогові перетворювачі (ЦАП) реалізують зворотний процес перетворення цифрових даних в аналогові сигнали; їхня побудова заснована на генерації у відповідних ланцюгах напруг або струмів, пропорційних вагам розрядів [8]. Ці пристрої звичайно складаються зі схеми зі зваженими величинами опорів резисторів або резистивної матриці типу R-2R.

Основними параметрами, що характеризують ЦАП і АЦП, є [4]:

- статичні характеристики: дозвільна здатність, нелінійність, диференціальна нелінійність, монотонність, коефіцієнт перетворення, абсолютна і відносна погрішності повної шкали, зсув нуля, абсолютна погрішність;
- динамічні характеристики: час установлення, час перетворення.

АЦП і ЦАП виготовляють у різних модифікаціях. В одних вхідні сигнали можуть бути тільки позитивними, в інші - як позитивні, так і негативні. ЦАП є одним з елементів АЦП, тому доцільно спочатку розглянути способи і пристрої цифро-аналогового перетворення.

Завдання ЦАП - перетворення двійкового коду у вихідну напругу, пропорційній ваговим коефіцієнтам розрядів двійкової системи числення (...8, 4, 2, 1).

Двійковий цифровий код може бути представлений у вигляді суми:

$$N = \sum_{i=1}^n a_i 2^{-i} = a_1 2^{-1} + a_2 2^{-2} + \dots + a_n 2^{-n} \quad (4.7)$$

де $a_i = (0, 1)$.

Така система числення зручна, оскільки весь діапазон перетворювача приймається рівним одиниці, а частина його, обумовлена конкретною кодовою комбінацією, інтерпретується у вигляді дроби, у підставі якої лежить значення повної шкали. Наприклад, дробове кодове число 101101 має значення $(1 \times 0,5) + (0 \times 0,25) + (1 \times 0,125) + (1 \times 0,0625) + (0 \times 0,03125) + (1 \times 0,015625)$, або 0,703125 від значення повної шкали. З даного приклада треба, що старший (1-й) розряд дорівнює половині повної шкали, 2-й розряд - чверті повної шкали і т.д. Самий молодший, n -й розряд становить $1/2^n$ значення повної шкали.

Тому принцип цифро-аналогового перетворення полягає в підсумовуванні аналогових величин, пропорційних вагам розрядів вхідного цифрового коду, розрядні коефіцієнти яких дорівнюють одиниці ($a_i = 1$).

Залежно від того, перетвориться цифровий код безпосередньо в аналогову величину або спочатку перетвориться в проміжний сигнал з наступним перетворенням у вихідну величину, розрізняють ЦАП із прямим і проміжним перетворенням. Прямі цифро-аналогові перетворювачі залежно від алгоритму обробки розрядів двійкового коду у свою чергу діляться на паралельні і послідовні. Частіше застосовуються ЦАП паралельної дії, у яких всі розряди двійкового коду одночасно подаються на схему підсумовування, тобто виробляється просторовий поділ розрядів. Розглянемо деякі схеми й принцип дії паралельних перетворювачів.

На рис. 4.8 показана схема перетворювача двійкового коду в напругу з ваговими резисторами [6]. Вхідний код надходить на тригери T регістра, які управляють станом ключів S . Якщо $a_i = 1$, то ключ S_i підключає резистор R_i до джерела еталонної напруги, у протилежному випадку - до нульової шини. Величини опорів резисторів змінюються за двійковим законом:

$$R_i = R \cdot 2^{i-1}$$

Струм, що втікає в підсумовуючу частину операційного підсилювача ОП, залежить від значення вхідного коду і визначається виразом:

$$I = \sum_{i=1}^n \frac{U_{\text{э}}}{R_i} a_i = \frac{2U_{\text{э}}}{R} \sum_{i=1}^n a_i 2^{-i} = \frac{2U_{\text{э}}}{R} N \quad (4.8)$$

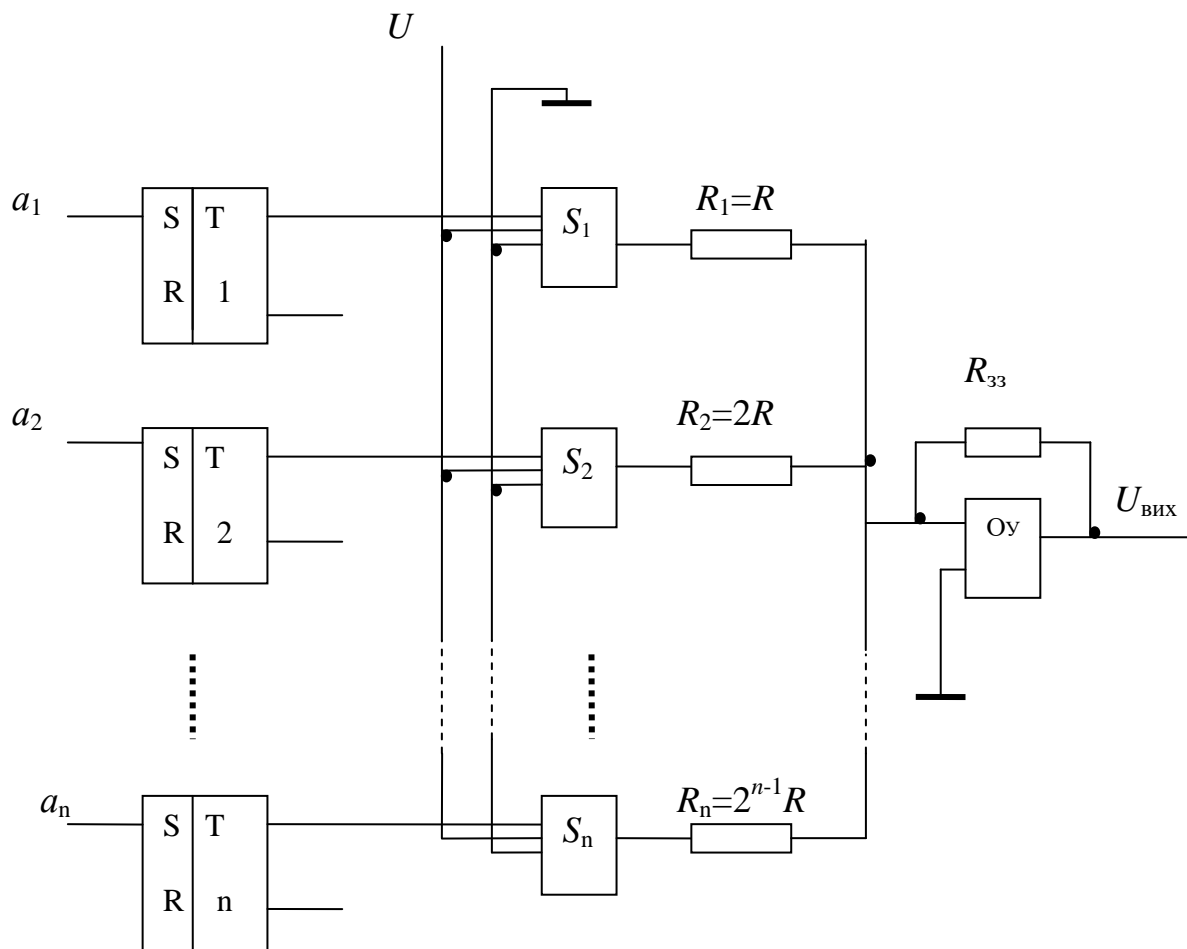


Рис. 4.8 - Схема ЦАП з перетворенням двійкового коду в напругу з ваговими резисторами

Операційний підсилювач перетворить струм I у вихідну напругу, при цьому за допомогою резистора зворотного зв'язку R_{33} виробляється необхідне масштабування вихідної напруги:

$$U_{\text{вих}} = R_{33} \cdot I = U_{\text{з}} \frac{2R_{33}}{R} N \quad (4.9)$$

Загальний недолік ЦАП із зваженими резистивними матрицями проявляється при великій кількості двійкових розрядів ($n=8\dots 12$) через велике розходження опорів резисторів, що розрізняються (в 2^n раз), які важко реалізувати в інтегральному виконанні. Для подолання цього недоліку використовують окремі матриці для молодших, середніх і старших розрядів двійкового коду з додатковим (пропорційним) розподілом вихідних напруг матриць не старших розрядів.

Для того щоб уникнути цього недоліку застосовують перетворювачі двійкового коду в напругу з резистивною сіткою $R-2R$, у якій застосовується два номінали опорів. Схема такого перетворювача (рис. 4.9) складається з n однакових каскадів. Кожен каскад становить для джерела живлення U

навантаження, рівну $3R$, а вихідний опір перетворювача постійно і незалежно від значення коду на вході перетворювача дорівнює $2/3 R$. Коефіцієнт передачі напруги від даного каскаду до наступного ближче розташованого до входу ОП дорівнює $1/2$. Коефіцієнт розподілу напруги, властива даному каскаду, реалізується в результаті відповідного розташування каскаду. Так, наявність в i -му розряді 1, створює на вході ОП складову напруги рівну $U/2^i$.

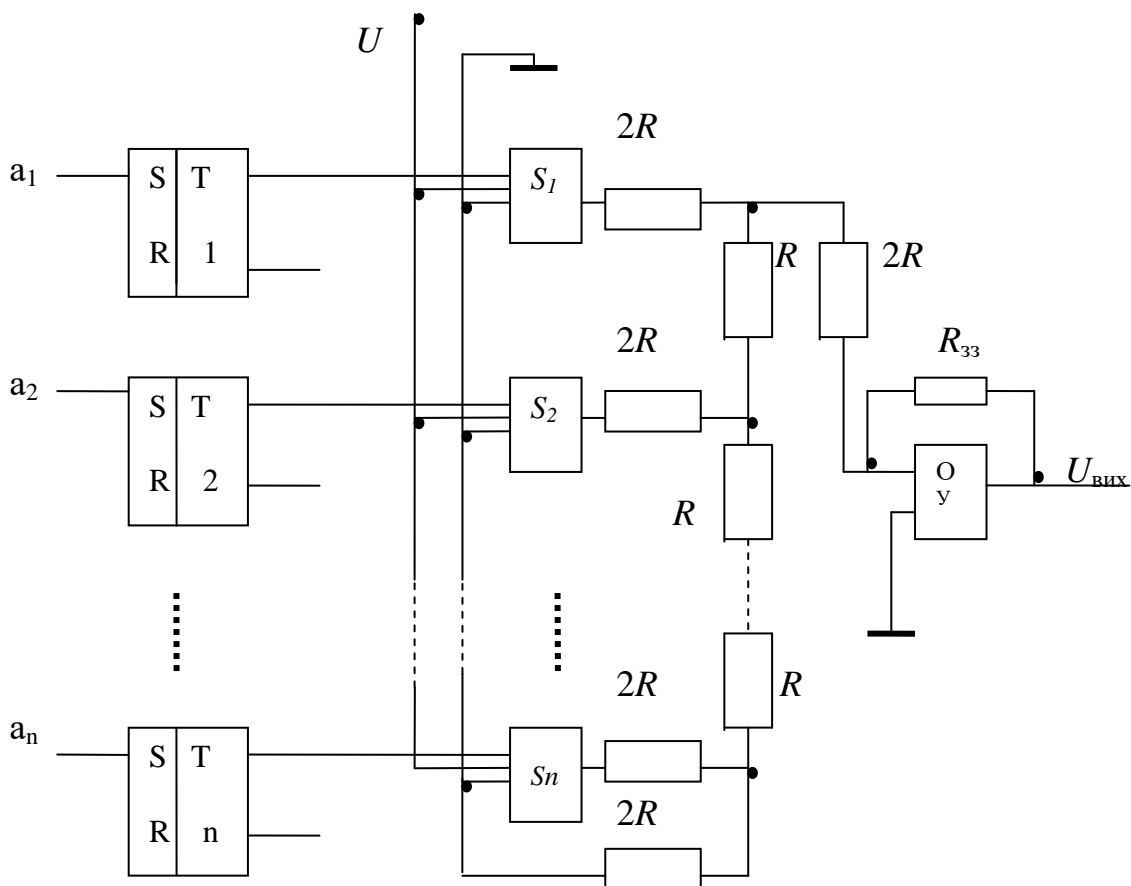


Рис.4.9 - Схема ЦАП з резистивною сіткою $R-2R$

Одним з основних елементів, що визначають точність і швидкодію розглянутих перетворювачів, є ключі, що приєднують джерело еталонної напруги до опорів схеми.

При інтегральному виконанні транзисторних ключів необхідно враховувати їхній опір у замкнутому стані, що включено послідовно з резисторами $2R$. Наявність ключів у схемі впливає на її швидкодію, тому що при їхньому перемиканні струми в резисторах міняють напрямок і необхідний час на перезаряд паразитних ємностей опорів. Підвищити швидкодію можна шляхом зменшення опорів резисторів, але це приводить до збільшення навантажувального струму еталонних джерел, а також до збільшення впливу на точність перетворення залишкових параметрів ключів. На графічному позначення ЦАП указують характер перетворення:

В або # - двійковий код;

А або Λ аналогова інформація.

4.4 Аналого-цифрові перетворювачі (АЦП)

АЦП розрізняються за принципом перетворення, швидкодії, розрядності, точностним параметрам, живлячим напругам, діапазонам вхідних напруг, кількості каналів. АЦП діляться на паралельні і послідовні. Перші після перетворення передають всі біти результату одночасно, кожний по своїй індивідуальній лінії. Це означає, що з 12-розрядним АЦП контролер повинен бути зв'язаний мінімум 12-ю провідниками (реально - на 3 - 5 більше згаданого числа за рахунок сигналів керування).

Послідовні АЦП пов'язані з контролером усього трьома-чотирма провідниками, незалежно від їхньої розрядності. Біти результату передають по одному провіднику, один за одним (послідовно). Керування передачею контролер здійснює по другому провіднику, третій, як правило, дає АЦП команду на початок перетворення. Ясно, що послідовні АЦП працюють повільніше паралельних, але досягнуті ними граничні швидкості перетворення і передачі інформації досить високі (і 12-14-розрядним АЦП потрібно менше 10 мкс на весь цикл перетворення/передачі даних).

Принцип роботи АЦП із послідовним рахунком показаний на діаграмах (рис.4.10).

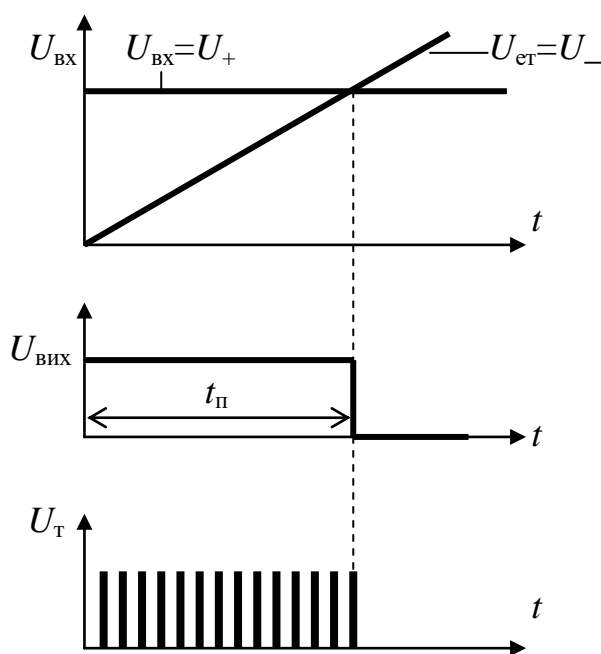


Рис.4.10 -Діаграми роботи АЦП із послідовним рахунком

АЦП із послідовним рахунком перетворить миттєве значення аналогового сигналу в цифровий двійковий код, пропорційний величині сигналу. Якщо на прямому і інверсному входах інтегрального компаратора ІК діють відповідно до вхідної ($U_{\text{вх}}$ - постійна напруга, рівна миттєвому значенню сигналу) і еталонний ($U_{\text{ет}}$ - еталонна напруга, що лінійно змінюється, із ГЛЗН) сигнали, то тривалість вихідного імпульсу $t_{\text{п}}$ буде пропорційно напрузі $U_{\text{вх}}$. У такий спосіб здійснюється перетворення типу "аналог - інтервал часу". В інтервалі $t_{\text{п}}$

імпульси U_T тактової частоти підсумуються двійковим лічильником, на виході якого одержимо двійковий код, пропорційний інтервалу t_{Π} і напрузі $U_{\text{вх}}$. Еталонна напруга $U_{\text{ет}}$ можна сформувати за допомогою як лінійної імпульсної схеми ГЛЗН, так і цифрової схеми ГЛЗН (рис.4.11).

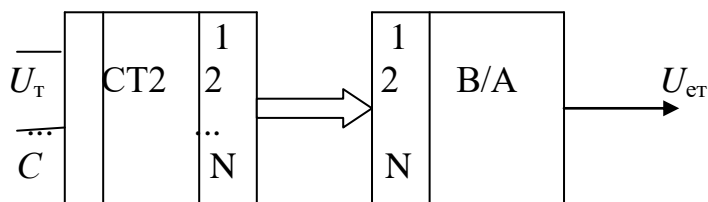


Рис.4.11 - Структурна схема цифрового ГЛЗН

В останньому випадку підсумовуючий лічильник СТ2 і ЦАП (В/А) формують східчасту напругу $U_{\text{ет}}$ (рис. 4.12), що при необхідності може бути перетворена в ЛЗН за допомогою фільтра нижніх частот.

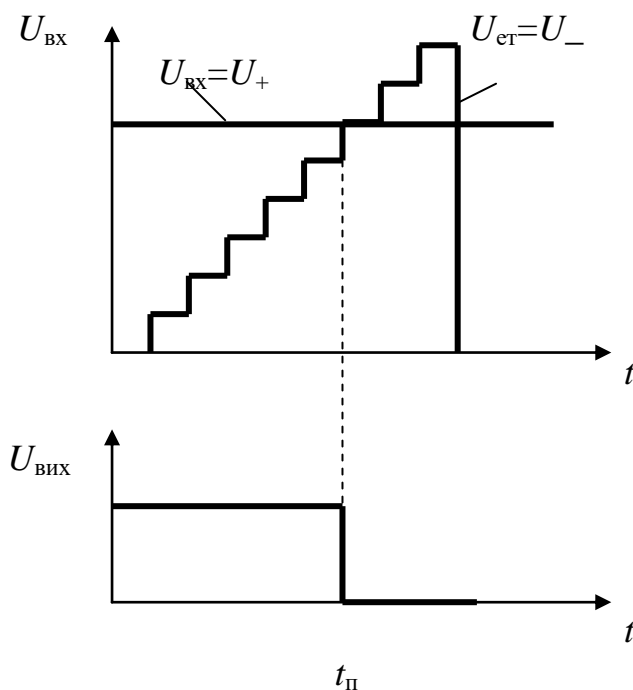


Рис. 4.12 - Діаграма роботи цифрової схеми ГЛЗН

Варіант функціональної схеми АЦП із цифровим формувачем $U_{\text{ет}}$ (рис. 4.13). Еталонна напруга для інверсного входу компаратора F формується лічильником СТ2 і ЦАП. На прямому вході компаратора миттєве значення вхідного сигналу $U_{\text{вх}}$ зберігається на накопичувальному конденсаторі $C_{\text{н}}$ після короткочасного замикання ключа SW на початку кожного циклу перетворення. При $U_{\text{ет}}=U_{\text{вх}}$ (у момент $t=t_{\Pi}$) зворотний перехід ($1 \rightarrow 0$) вихідного сигналу компаратора F переписує вміст лічильника СТ2 у вихідний регістр RG. Після переповнення лічильника перетворення буде повторюватися, якщо немає заборонного сигналу на вході R .

Загальний недолік АЦП із послідовним рахунком - низька швидкодія. Наприклад, при досить високій тактовій частоті $f_T=10$ МГц і числі розрядів $n=12$ максимальне число імпульсів заповнення лічильника $K=2^n-1=4095$. Тоді максимальна частота відліку $F_{от}=f_T/K$: $10000000/4095=2500$ Гц, а вища частота вхідного сигналу до 1250Гц, тому АЦП із послідовним рахунком знаходять застосування в пристроях з низькою швидкодією, наприклад, у цифрових вольтметрах.

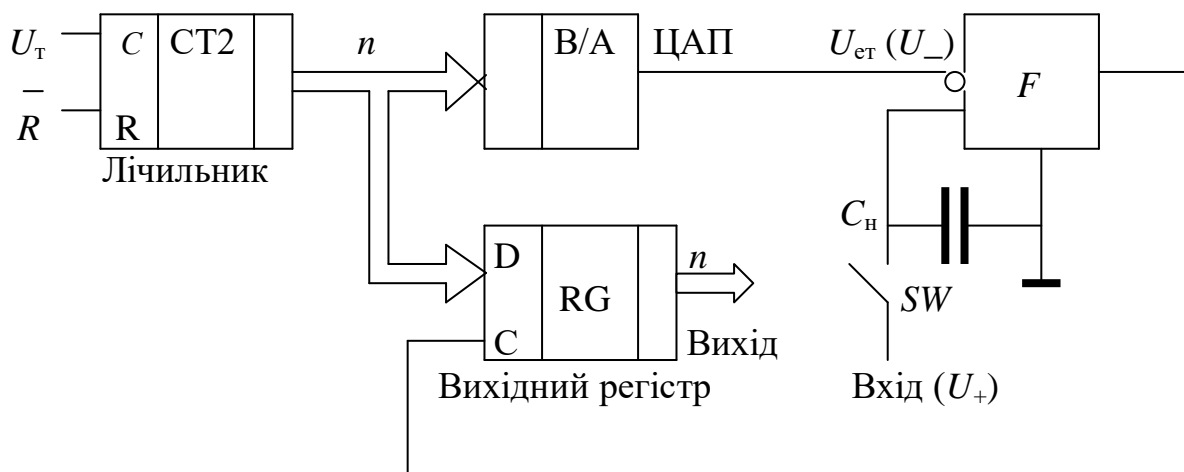


Рис. 4.13 - Функціональна схема АЦП із послідовним рахунком

АЦП із послідовним наближенням має більшу швидкодію. Функціональна схема такого АЦП відрізняється від попередніх тим, що замість двійкового лічильника СТ2 використовується реєстр послідовного наближення РПН (рис.4.14).

У РПН прямий (0→1) перехід тактового сигналу U_T послідовно підключає до входу D тригери реєстра (починаючи із тригера старшого розряду) і записує в них значення 1, а зворотний (1→0) перехід робить запис поточного значення D (0 або 1) у підключений тригер.

Принцип роботи можна пояснити по тимчасових діаграмах (рис. 4.15). Прямий перехід першого тактового імпульсу записує 1 у старший розряд РПН. На виході компаратора F при цьому з'являється 0, оскільки сигнал U_- (з виходу ЦАП) у цьому випадку перевищує напруга $U_{вх}$. З виходу компаратора сигнал 0 проходить на вхід D РПН і при зворотному переході U_T переписується із цього входу в тригер старшого розряду.

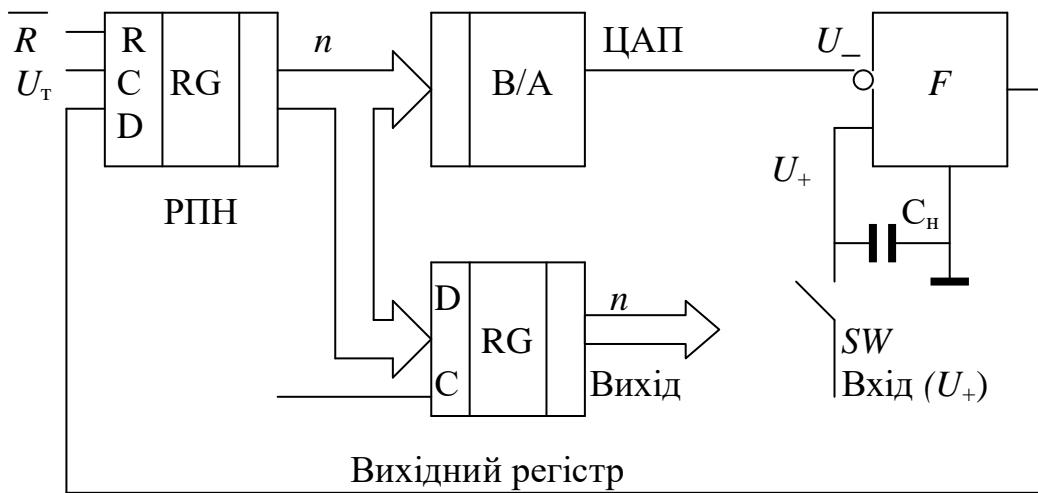


Рис. 4.14 - Функціональна схема АЦП із послідовним наближенням

При цьому напруга на виході ЦАП падає, і на виході компаратора знову з'являється сигнал 1.

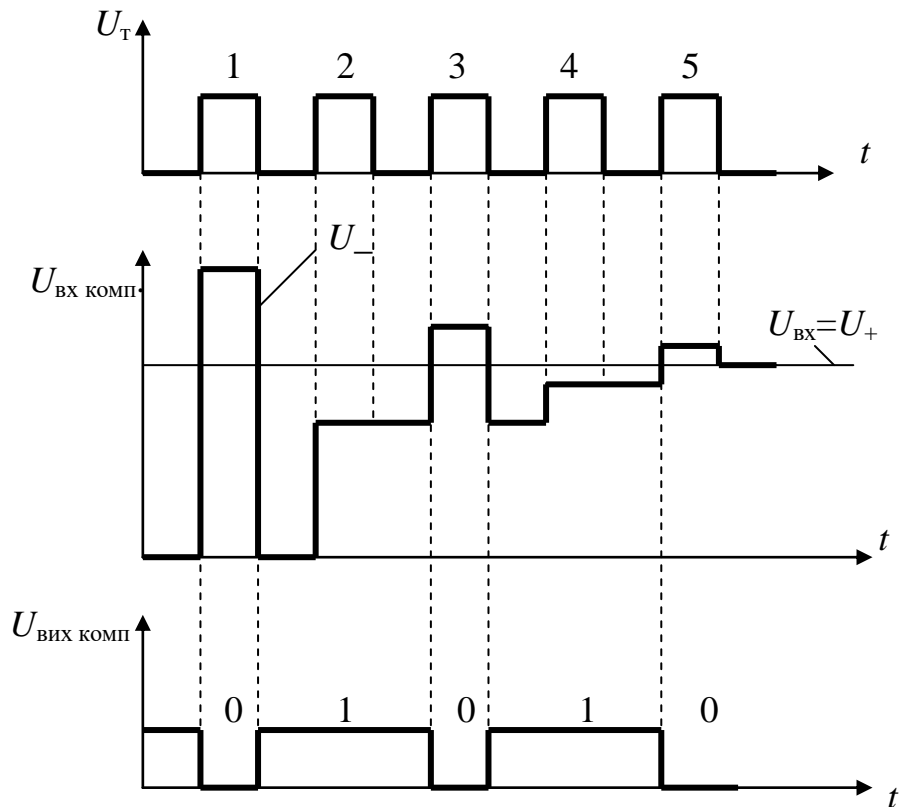


Рис. 4.15 - Діаграма роботи АЦП із послідовним наближенням

З появою другого імпульсу це значення привласнюється тригеру другого по старшинству розряду, а на виході ЦАП з'являється напруга, що відповідає "вазі" другого розряду, що у два рази менше першого.

При $U_- < U_+ = U_{\text{вх}}$ на компаратора зберігається 1, і це значення привласнюється другому тригеру при зворотному переході другого імпульсу U_T .

У такий спосіб здійснюється порозрядне зрівноважування коду в РПН із рівнем вхідного сигналу. Після тактового імпульсу з номером n (n - число розрядів РПН і всього АЦП) відбудеться запам'ятовування самого молодшого розряду РПН і вміст цього регістра можна переписувати у вихідний регістр по команді "Кінець перетворення" (сигнал $U_{\text{кп}}$ на динамічному вході C вихідного регістра. Швидкодія АЦП із РПН значно вище, ніж в АЦП із послідовним рахунком. За тих самих умов ($f_T=10$ МГц, $n=12$) заповнення РПН відбудеться за 12 періодів f_T і частота відліку може досягати $F = 10000000/12 = 830 \cdot 10^3$ Гц = 830 кГц.

АЦП паралельної дії характеризується високою швидкістю (рис. 4.16). Структурна схема 6-розрядного АЦП паралельної дії містить 63 вхідних компараторів (2^6-1), шифратор CD, що перетворить вихідні сигнали компараторів у двійковий код, і вихідний регістр RG, у якому цей код зберігається в проміжках між двома сусідніми вимірами миттєвих значень вхідного сигналу. Частота відліку дорівнює тактовій частоті сигналу U_T .

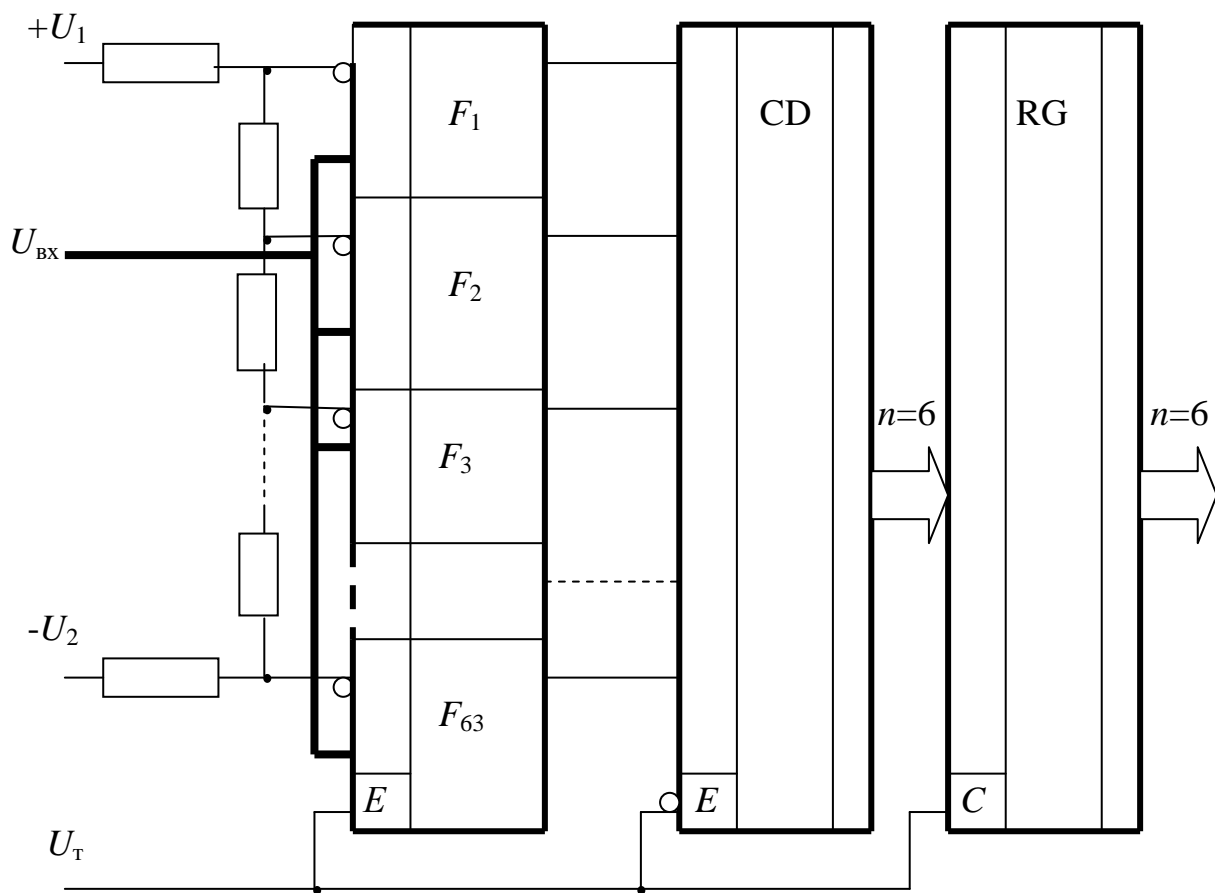


Рис. 4.16 - Функціональна схема АЦП паралельної дії

При $U_T=0$ виходи всіх компараторів закриті, На їхніх прямих входах постійно діє вхідний аналоговий сигнал $U_{\text{вх}}$, а на інверсні входи подана постійна опорна напруга з резисторів дільника, підключеного до джерел опорної напруги U_1, U_2 . Зміна рівнів напруги опорних джерел дозволяє в певних межах змінювати максимальний розмах (амплітуду) і середній рівень сигналу $U_{\text{вх}}$. Це обумовлено

тим, що на інверсні входи компараторів з дільника надходять напруги в діапазоні приблизно от U_1 до U_2 і компаратори, отже, будуть перемикатися при такому ж діапазоні змін вхідного сигналу. За межами цього діапазону всі компаратори будуть перебувати в одному стані (включені або виключені), що не залежить від зміни рівня сигналу $U_{вх}$ доти, поки він знову не виявиться в межах U_1, U_2 . При $U_T=1$ дозволяється робота компараторів і на їхніх виходах з'являються сигнали, рівні яких при деякому середнім значенні $U_{вх}$ рівні: 0 для компараторів $F_1...F_i$; 1 для компараторів $F_{i+1}...F_{63}$. Сигнали з компараторів надходять у шифратор CD, що при $U_T=1$ закритий по інверсному вході дозволу E . При зворотному переході ($1 \rightarrow 0$) сигналу U_T компаратори вимикаються, а шифратор виставляє двійковий код на входи вихідного регістра RG. При наступному прямому переході ($0 \rightarrow 1$) сигналу U_T відбувається запис двійкового числа (N -го відліку) в RG по прямому динамічному вході C , і не більш ніж через 50 нс це число заміняє попереднє ($N-1$)-е значення на виході АЦП. У цей же час ($U_T=1$) у закритому шифраторі CD зберігається код ($N+1$)-го відліку, а відкриті компаратори обробляють ($N+2$)-й відлік сигналу. Таким чином, у паралельному АЦП діє конвеєр і кожен функціональний вузол у кожному такті обробляє свою інформацію (свій відлік). При цьому період проходження відліку може бути дорівнювати часу затримки одного (гіршого по швидкодії) із трьох вузлів, а не сумі цих часів. Тактова частота (i - частота відліку) паралельних АЦП із конвеєром може перевищувати 20 МГц, що дозволяє перетворювати аналогові сигнали з вищою частотою більше 10 МГц. Порівняно невелике число розрядів у паралельних АЦП ($n=6...8$) не обмежує області їхнього застосування, оскільки є можливість нарощування розрядності паралельним включенням таких перетворювачів.

Контрольні питання:

1. У чому розходження характеристик функцій операційного підсилювача і компаратора?
2. З якою метою використовується ГЛІН у схемах АЦП?
3. Укажіть принципи роботи ГЛІН.
4. З якою метою вводиться зворотний зв'язок і операційний підсилювач у ланцюг ГЛІН?
5. Які функції виконує ЦАП, АЦП?
6. Укажіть принцип роботи ЦАП паралельної дії.
7. Укажіть принцип роботи АЦП із послідовним рахунком.
8. Які розходження в перетвореннях АЦП із послідовним рахунком і з послідовним наближенням?
9. Укажіть принцип роботи АЦП паралельної дії
10. З якою метою застосовується регістр послідовного наближення в АЦП?
11. Укажіть призначення компаратора в схемі АЦП.
12. Чим обумовлена точність перетворення сигналів в АЦП?

5 МІКРОПРОЦЕСОРНІ КОНТРОЛЕРИ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ

5.1 Типи і структурна схема контролера

При автоматизації технологічного устаткування широко використовуються пристрої локального керування - мікропроцесорні контролери (К), що працюють у режимі реального часу під керуванням робочих програм, які розміщаються в ПЗП. Існують чотири типи контролерів:

- програмувальні логічні (ПЛК), що реалізують логічні функції і призначені для керування послідовністю технологічного циклу;
- програмувальні регулюючі (ПРК), що реалізують алгоритми автоматичного керування і призначені для керування параметрами технологічного процесу;
- програмувальні комбіновані (ПКК), призначені для керування послідовністю технологічного циклу і параметрами технологічного процесу;
- спеціалізовані, реалізуючі спеціальні функції керування і призначені для керування спеціальними пристроями технологічного устаткування і периферійних пристроїв.

У цей час контролери будуються на основі МПК ВІС і по своїх характеристиках перевершують релейні схеми керування і аналогові регулятори. Наприклад, у схемах керування один програмувальний контролер заміняє від 10 до 500 реле, від 4 до 64 одноканальних аналогових регуляторів. Основні достоїнства програмувальних контролерів полягає в їхній високій надійності, універсальності, гнучкості. Можливість швидкого внесення різних змін у систему керування програмним шляхом без зміни апаратної частини забезпечує більшу гнучкість МПС і значно скорочує час проектування системи управління. До складу контролера входять (рис.5.1): мікропроцесор (МП), постійний запам'ятовувальний пристрій (ПЗП), у якому зберігаються програми керування; енергонезалежний оперативний запам'ятовувальний пристрій (ОЗП), у якому зберігаються поточні дані, необхідні для реалізації програм; пульт керування (ПК), за допомогою якого здійснюється програмування технологічного процесу; пристрій зв'язку з об'єктом (ПЗО); пристрій відображення інформації про стан вхідних і вихідних сигналів параметрів процесу (ПВ); контролер зовнішніх пристроїв; контролер локальної мережі (КЛМ).

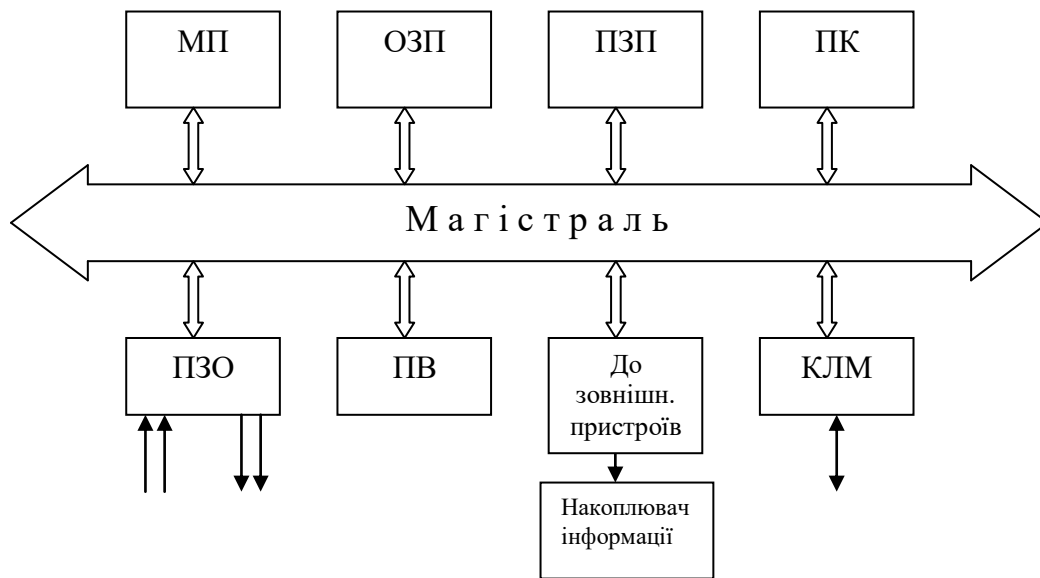


Рис.5.1 - Структурна схема програмувального контролера

Програмувальні логічні контролери (ПЛК) працюють у циклічному режимі, послідовно виконуючи операції введення даних про стан об'єкта керування, обробки даних і формування сигналів керування, видачі сигналів керування на виконавчі пристрої. Вихідні сигнали керування формуються на основі значень логічних функцій, що обчислюють по програмі, що зберігається в ПЗП. Обчислені значення логічних функцій зберігаються в певній області ОЗП. Після закінчення процесу обчислення (обробки) відбувається обмін даними між ОЗП і вихідними і вхідними регістрами ПЗО. Процеси вводу - виводу, обміну і обробки даних періодично повторюються. Однократне виконання контролером всієї програми називають циклом повного опитування пам'яті, а час, протягом якого цей цикл відбувається - часом циклу опитування. По ступені складності ПЛК розділяються на три класи.

ПЛК першого класу працюють по фіксованій програмі. Вони мають невелике число (5...20) входів і виходів і ЗП малої ємності. Робоча програма такого ПЛК звичайно "зашита" у ВІС ЗП і не може бути змінена оператором технологічної установки. Якщо потрібно змінити алгоритм керування, то ВІС ЗП відключають від спеціального контактуючого пристрою ПЛК і перепрограмують за допомогою автономного комплексу, програмне забезпечення якого містить мова програмування користувача, наприклад мова опису релейно-контактних схем на основі булевих функцій.

ПЛК другого класу мають до 150 входів і виходів, ЗП ємністю до 32 Кбайт, зовнішня мова завдання алгоритмів керування і засоби завантаження програм у ЗП. Логічні рівні всіх вхідних і вихідних сигналів відповідають рівням ТТЛ.

ПЛК третього класу служать для керування складними об'єктами, що мають до 1000 дискретних входів і виходів. Ці ПЛК сполучаються з ЕОМ верхнього рівня, мають розвинуту мова завдання алгоритмів керування, периферійні

пристрої (дисплей, друкувальний пристрій і ін.). Крім керування ПЛК виконують обчислювальні функції і видають інформацію на ЕОМ верхнього рівня. Керування об'єктом виконується циклічно. Протягом одного циклу відбувається опитування вхідних сигналів, їхня логічна обробка і видача керуючих сигналів.

Програмуючі регулюючі контролери (ПРК) призначені для реалізації більше складних алгоритмів, бібліотека програм komponується на базі стандартних алгоритмів: ПД-регулювання (пропорційно-інтегрально-диференціального алгоритму керування), статичного перетворення (підсумовування, множення і т.п.), управляючої логіки (операцій логічного додавання, множення, витримки часу і т.п.). Реалізація цих алгоритмів дозволяє будувати системи автоматичного керування технологічними процесами практично будь-якої складності.

До складу ПРК крім процесора входять багатоканальні АЦП і ЦАП для перетворення сигналів, ПЗП, у якому записані програми, що реалізують різні алгоритми регулювання. З панелі оператора здійснюється оперативне керування, змінюються значення сигналів завдання і ручного керування, параметри алгоритмів керування.

5.2 Основні етапи розробки контролера

Технологія проектування контролерів повністю відповідає принципу нерозривного проектування і налагодження апаратних і програмних засобів, прийнятому в мікропроцесорній техніці. Це означає, що перед розроблювачем такого роду МПС є завдання реалізації повного циклу проектування, починаючи від розробки алгоритму функціонування і закінчуючи комплексними випробуваннями в складі виробу, а, можливо, і супроводом при виробництві. Сформована до теперішнього часу методологія проектування контролерів може бути представлена так, як показано на рис.5.2.

У технічному завданні формулюються вимоги до контролера з погляду реалізації певної функції керування. Технічне завдання може мати вигляд текстового опису. На підставі вимог користувача складається функціональна специфікація, що визначає функції, виконувані контролером для користувача після завершення проектування, уточнюючи тим самим, наскільки пристрій відповідає пропонованим вимогам. Вона містить у собі опис форматів даних, як на вході, так і на виході, а також зовнішні умови, що управляють діями контролера.

Функціональна специфікація і вимоги користувача є критеріями оцінки функціонування контролера після завершення проектування. Може знадобитися проведення декількох ітерацій, що включають обговорення вимог і функціональної специфікації з потенційними користувачами контролера, і відповідну корекцію вимог і специфікації.

Етап розробки алгоритму керування є найбільш відповідальним, оскільки помилки даного етапу звичайно виявляються тільки при випробуваннях

закінченого виробу і приводять до необхідності дорогої переробки всього пристрою.

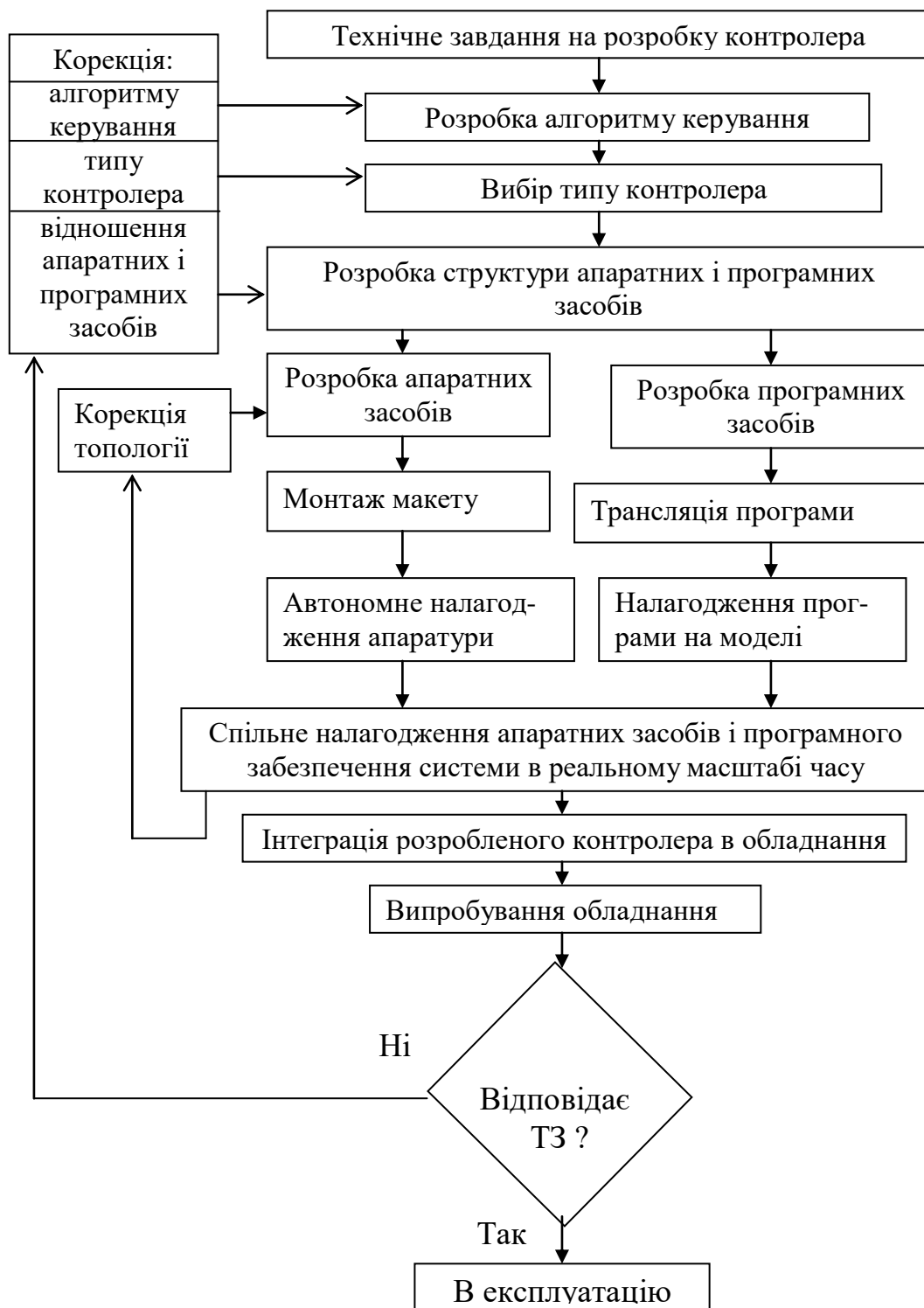


Рис.5.2 - Основні етапи розробки контролера

Розробка алгоритму звичайно зводиться до вибору одного з декількох можливих варіантів алгоритмів, що відрізняються співвідношенням обсягу

програмного забезпечення і апаратних засобів. При цьому необхідно виходити з того, що максимальне використання апаратних засобів спрощує розробку і забезпечує високу швидкість контролера в цілому, але супроводжується, як правило, збільшенням вартості і споживаної потужності. Зв'язано це з тим, що збільшення частки апаратних засобів досягається або шляхом вибору більш складного контролера, або шляхом використання спеціалізованих інтерфейсних схем. І те, і інше приводить до росту вартості і енергоспоживання. Збільшення питомої ваги програмного забезпечення дозволяє скоротити число елементів контролера і вартість апаратних засобів, але це приводить до зниження швидкості, збільшенню необхідного обсягу внутрішньої пам'яті контролера, збільшенню строків розробки і налагодження програмного забезпечення.

Критерієм вибору тут і далі є можливість максимальної реалізації заданих функцій програмними засобами при мінімальних апаратних витратах і за умови забезпечення заданих показників швидкості і надійності в повному діапазоні умов експлуатації.

Часто визначальними вимогами є можливість захисту інформації (програмного коду) контролера, необхідність забезпечення максимальної тривалості роботи в автономному режимі і інші. У результаті виконання цього етапу остаточно формулюються вимоги до параметрів використовуваного контролера.

При виборі типу контролера враховуються наступні основні характеристики:

- розрядність;
- швидкість роботи;
- набір команд і способів адресації;
- вимоги до джерела живлення і споживана потужність у різних режимах;
- обсяг ПЗП програм і ОЗП даних;
- можливості розширення пам'яті програм і даних;
- наявність і можливості периферійних пристроїв;
- можливість перепрограмування в складі пристрою;
- наявність і надійність засобів захисту внутрішньої інформації;
- можливість поставки в різних варіантах конструктивного виконання;
- вартість у різних варіантах виконання;
- наявність повної документації;
- наявність і доступність ефективних засобів програмування і налагодження контролера;
- кількість і доступність каналів поставки, можливість заміни виробами інших фірм.

Список цей не є вичерпний, оскільки специфіка проектуваного пристрою може перенести акцент вимог на інші параметри МК.

Номенклатура МК, що випускають, обчислюється тисячами типів виробів різних фірм. Сучасна стратегія модульного проектування забезпечує споживача розмаїтістю моделей контролерів з однаковим процесорним ядром. Така структурна розмаїтість відкриває перед розроблювачем можливість вибору оптимального контролера, що не має функціональної надмірності, що мінімізує

вартість комплектуючих елементів. Однак для реалізації на практиці можливості вибору оптимального контролера необхідне досить глибоке пророблення алгоритму керування, оцінка обсягу виконуючої програми і числа ліній сполучення з об'єктом на етапі вибору контролера. Допущені на даному етапі прорахунки можуть згодом привести до необхідності зміни моделі контролера.

На етапі розробки структури контролера остаточно визначається склад наявних апаратних модулів, протоколи обміну між модулями, типи з'єднувачів. Виконується попереднє пророблення конструкції контролера. У частині програмного забезпечення визначаються склад і зв'язки програмних модулів, мова програмування. На цьому ж етапі здійснюється вибір засобів проектування і налагодження.

Можливість перерозподілу функцій між апаратними і програмними засобами на даному етапі існує, але вона обмежена характеристиками вже обраного контролера. При цьому необхідно мати те, що сучасні контролери випускаються, як правило, серіями (сімействами) контролерів, сумісних програмно і конструктивно, але які розрізняються по своїх можливостях (обсяг пам'яті, набір периферійних пристроїв і т.д.). Це дає можливість вибору структури контролера з метою пошуку найбільш оптимального варіанта реалізації.

5.3 Контролери фірми B&R

Початок виготовлення контролерів B&R System 2003 (Bernecker+Rainer Industri-Elektronik) - 1995р. Серія контролерів 2003 реалізує принцип високої продуктивності у малих габаритних розмірах.

Цілий ряд позитивних якостей цих контролерів робить їх зручними для використання: модульна конструкція, робота із натуральним охолодженням, стійкість до вібраційних навантажень, гнучкі можливості розширення, наявність комунікаційних функцій, системи побудованих функцій, широкий спектр варіантів побудови систем локального і розподіленого вводу-виводу. Застосовувана операційна система є багатозадачною і працює в режимі реального часу. Склад контролера:

- CPU - модуль процесора. Працює в крайній лівій стороні касети модулів. На модулі є індикатори стану і сполучні з'єднувачі для інтерфейсів CAN і RS232. МП серії модулів характеризуються оперативною пам'яттю від 100 до 750 Кбайт, ПЗП-FlashPROM від 256Кбайт - до 1,5Мбайт. Типовий час циклу команди - 1,6 мкс,
- цифрові вхідні модулі - перетворюють двійкові сигнали регульованого процесу у внутрішній сигнал з рівнем, необхідним для МП. Вхідні модулі розрізняються по наступних параметрах: числу входів, вхідній напрузі, вхідній затримці, спеціальним функціям (наприклад, рахунковому входу), числу входів,
- цифрові вихідні модулі - для керування зовнішніми навантаженнями (реле, двигунами, електромагнітними механізмами і інше). Розрізняються

по наступними параметрами: числу виходів, типу (релейні, транзисторні), по комутації: напруги, струму,

- аналогові вхідні модулі - перетворюють змінні параметри (напруга, струм) у числові значення. Параметри модуля: число каналів, характеристика вхідного сигналу, дозвіл цифрового перетворення (у бітах),
- аналогові вихідні модулі - перетворюють внутрішні числові значення сигналу в змінні параметри: напругу або струм,
- температурні модулі - перетворюють вимірювані значення температури в числове значення, які можуть бути оброблені МП. Модуль забезпечує вимір температури із кроком $0,1^{\circ}\text{C}$,
- інтерфейсні модулі: у децентралізованій системі, де пункти вводу-виводу розміщені на деякій відстані від місця розміщення основної частини контролера (модуля процесора), то в цьому випадку є три основних варіанти інтерфейсу між складовими частинами контролера: використання системної шини, віддалений ввід-вивід або мережа. Довжина розширення системної шини обмежена відстанню 2-10 метрів, для мережі потрібен окремий модуль процесора на кожній станції (що збільшує вартість апаратної частини, коли необхідні тільки вилучені модулі вводу-виводу). І нарешті, віддалений модуль вводу-виводу дозволяє організувати доступ до модулів ввід-вивід на відстані до 1,2 км (або на ще більші відстані з використанням повторювачів) при невеликому збільшенні вартості.

Віддалений модуль вводу-виводу: контролер шини CAN. Установивши точки вводу-виводу CAN, можна розширити структуру системи на більші відстані, розміщаючи входи там, де це необхідно. Цей метод дозволяє реалізувати концепцію " віддаленого контролера". Можна приєднати максимум 64 станції CAN. Максимальна довжина шини - 1000 метрів. Швидкість передачі від 500 Кбод до 10 Кбод, залежно від відстані розширення. У головному вузлі можна використати будь-який процесор, що має інтерфейс CAN: V&R3003, V&R2005, V&R2010, PANELWARE. Кожна станція вводу-виводу CAN містить модуль підлеглого вузла шини CAN, що використовується замість CPU. Для з'єднання з окремою станцією використовується екранований трьохпровідний кабель.

Організувати доступ до модулів вводу-виводу в системі V&R також можливо із застосуванням шини віддаленого вводу-виводу - установивши точки віддаленого вводу-виводу, можна побудувати розподілену систему на значній площі, розміщаючи входи там, де це необхідно. Вимоги до прокладки кабелів мінімізуються при використанні 2-провідної шини. Число віддалених станцій - 31 і 121 з повторювачем. Довжина сегмента - до 1200 метрів. Максимальна відстань між першою і останньою станцією - 4800 метрів - з використанням 3 повторювачів. Швидкість передачі від 2 Мбод до 100 Кбод, залежно від відстані від вилученої системи. Як головний вузол вилученого вводу-виводу використовується CPU V&R 2005 або V&R 2010. Кожна підлегла станція

віддаленого вводу-виводу містить підлеглий вузол віддаленого вводу-виводу замість CPU.

З модулів комплектується необхідна конфігурація системи, модулі встановлюються в касеті, що має максимум 10 місць (2, 3, 4, 5, 6, 8 і 10). Операції зв'язку виконує CPU через дві серії інтерфейсів: RS232 і CAN. Інтерфейси програмно сумісні і можуть працювати як інтерфейси режиму online або інтерфейси даних. Інтерфейс RS232 призначений, насамперед, для програмування CPU. Він може бути також використаний як загальний інтерфейс (наприклад, для пристрою візуалізації, принтера, пристрою зчитування цифрового коду і т.п.). Інтерфейс CAN - стандартний інтерфейс шини для зв'язку з іншими системами керування, віддаленого розширення вводу-виводу з використанням модулів контролера і контролера шини CAN.

Модифікації контролерів B&R 2005 і B&R 2010 відрізняються від контролерів B&R 2003 розширенням апаратної частини контролерів для рішення більше складних завдань. Так, 2005 контролер оснащений касетою до 15 місць для модулів. Контролер 2010 оснащений: касетою - до 20 місць; із шиною вводу-виводу до 99 модулів; системна шина і шина вводу-виводу мають модульну конструкцію. Мінімальний час циклу 200 мкс. Висока ефективність CPU досягається за рахунок використання 16-розрядного процесора Pentium-3 500, Pentium 266 з оперативною пам'яттю від 512 Кбайт до 64 Мб, наявність змінної пам'яті прикладних програм: Compact Flash з ємністю пам'яті від 22 Мбайт до 2 Гбайт. Гнучкість, розширюваність, можливість сполучення контролерів всіх модифікацій в одній системі керування дозволяють створити найсучасніші концепції децентралізованого керування. Загальний вид модулів і основні параметри модулів контролера B&R 2003 дані в додатку А.

При програмуванні із внесенням значень різних змінних для даних контролерів прийнята система стандартних типів змінних і діапазони їх значень відповідно до таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 - Перелік стандартних типів змінних

Код чисел	Кількість біт	Область значень	Тип сигналів
BOOL	1	0...1	цифровий
DINT	32	-2 147 483 648...2 147 483 647	цифровий
INT	16	-32768...32767	аналоговий
SINT	8	-128...127	аналоговий
UDINT	32	0...4 294 967 295	аналоговий
UINT	16	0...65535	аналоговий
USINT	8	0...255	аналоговий
REAL	32	-3,4 E38...3,4 E38	аналоговий

Один із варіантів побудови мікропроцесорної системи розглянутий на прикладі контролю температури статора гідрогенератора.

Приклад 1: - Розробити структурну схему МПС контролю температурних параметрів статора гідрогенератора із застосуванням контролера V&R 2003, зробити вибір апаратної частини МПС.

Для захисту гідрогенератора у випадках підвищення температурного режиму здійснюється контроль температури за допомогою МПС, датчики якої поміщені у вузлах гідрогенератора. Для виміру температури статорів (із застосуванням повітряного охолодження обмоток) застосовується термоопір як первинний перетворювач температури. Для визначення температури стержнів обмотки вони містяться між верхнім і нижнім стержнем обмотки, а для визначення нагрівання магнітопровода - укладаються на дно пазів магнітопровода статора.

Кількість первинних перетворювачів температури вибирається з урахуванням особливостей контрольованого процесу щоб забезпечити надійність і вірогідність вимірів з мінімальною погрішністю.

Всі датчики програмно задіяні на видачу сигналу про перевищення температури і у випадку не вживання заходів - на аварійне відключення агрегату.

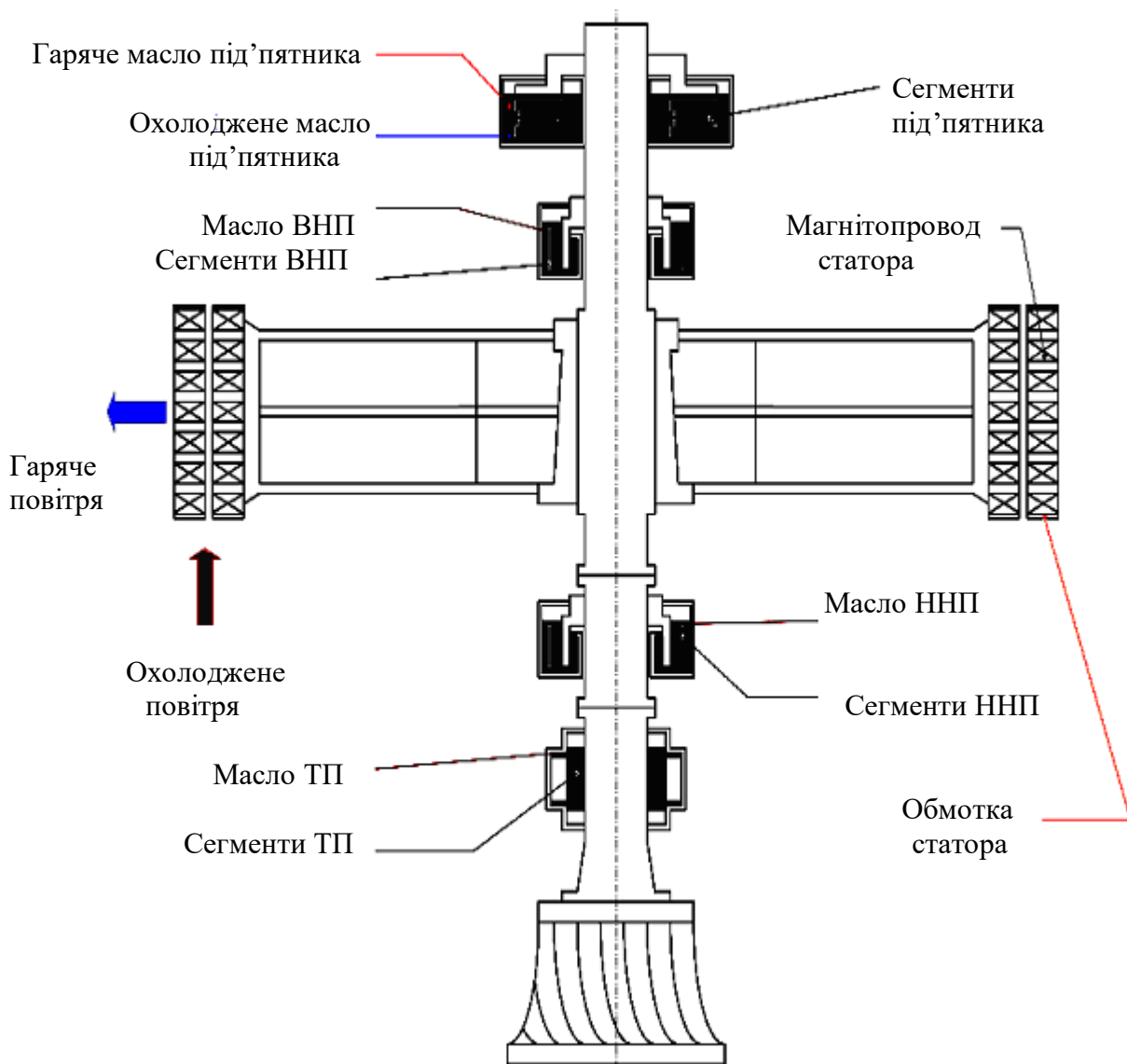
Датчики типу ТСМ-100 являють собою пластинки з ізоляційного матеріалу товщиною 2-2,5 мм, шириною близько 10 мм і довжиною 200-250 мм із обмоткою з мідного дроту, поміщених у захисний корпус із полімерного матеріалу. Виконання обмотки - біфілярне, для виключення впливу електромагнітного поля гідрогенератора на вимірювальний ланцюг перетворювального елемента. МПС системи автоматичного теплового контролю практично безупинно реєструє температуру в багатьох точках, сигналізує про досягнення небезпечного рівня нагрівання і, нарешті, відключає генератор при перевищенні припустимої температури. Циклічність контролю температури задається програмно. Для кожного гідроагрегата є карти температур. Підвищення температури понад робочу (номінальну), є головною ознакою появи несправності. У цьому випадку необхідно негайно виявити причину, що викликає це підвищення температури, і усунути її. Установка системи керування по температурі виконана: на $\approx 5 - 6$ °С вище робочого рівня - "на видачу попереджувального сигналу" і на $\approx 8 - 10$ °С - "на аварійне відключення".

Відповідно до схеми на рис.5.3 у пазах статора розміщені 6 датчиків для виміру температури обмотки у фазах: А - 2 шт., В - 2 шт., С - 2 шт., для виміру температури магнітопровода статора - 6 датчиків, рівномірно розподілених по окружності статора. Характер вихідних сигналів датчиків - аналоговий.

За даними додатка А робимо вибір необхідних для функціонування МПС модулів системи:

- 1 - модуль процесора 7CP430.60-1 - 1 шт.;
- 2- аналоговий вхідний модуль 7AI 261.7 - 12 шт.;

- 3- модуль адаптера 7 AF101.7 - 3 шт. (призначення - для установки модулів 7AI 261.7, по 4 шт. на кожен адаптер).
- 4- цифровий вихідний модуль 7D0 722.7
- 5- блок живлення - 1 шт.



ВНП – верхній направляючий підшипник
 ННП – нижній направляючий підшипник
 ТП – турбінний підшипник

Рис.5.3 - Схема розташування датчиків у вузлах гідрогенератора

Сполучення датчиків із вхідними аналоговими модулями виконується із застосуванням мостових схем, розглянутих у розділі 3. З'єднання 4-провідне. Вхідний струм - не більше 140 мА. Вимірювальний діапазон $\pm 1 \dots \pm 16$ мВ/В, встановлюється програмно. Робочий діапазон вимірювального датчика - 75-5000 Ом. Робоча напруга мосту -4,5 В.

Для швидкого і однозначного визначення місця несправності і вживання оперативних заходів передбачені виходи в ланцюг сигналізації для кожної фази окремо (3 виходи), а також вихід у ланцюг аварійної зупинки генератора (1 вихід).

Структурна схема МПС для контролю температури статора гідрогенератора представлена на рис.5.4.

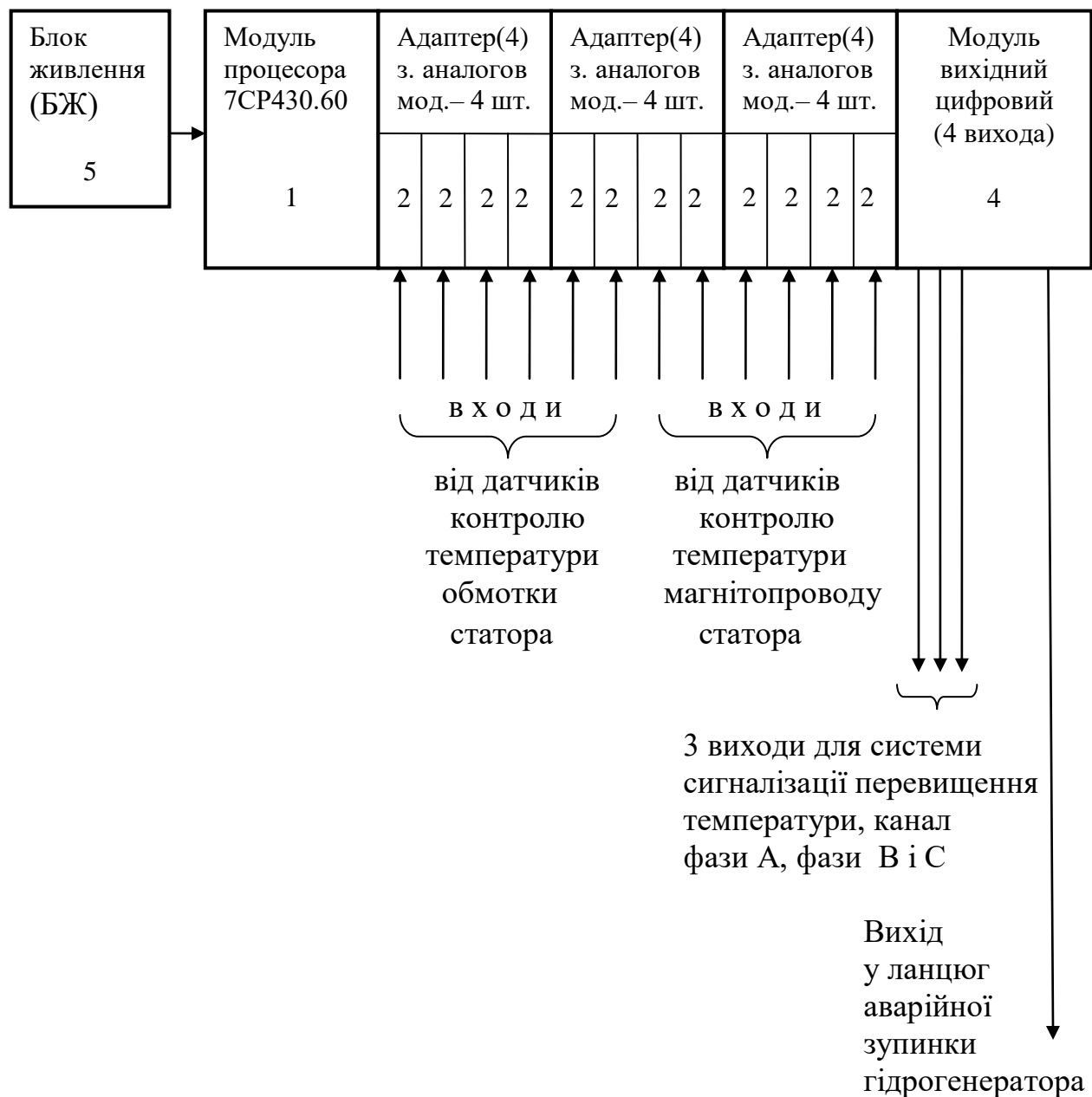


Рис.5.4 - Структурна схема МПС контролю температури статора

Приклад 2: Розробити структурну схему МПС контролю температурних параметрів статорів 3 гідрогенераторів гідроелектростанції із застосуванням контролера V&R 2003, зробити вибір апаратної частини МПС. Відстань між гідрогенераторами - 30 м.

При розробці структурної схеми МПС варто враховувати фактор топологічної децентралізації - просторового розподілу датчиків, генераторів, контролерів і виконавчих пристроїв. Місця установки контролерів вибирають так, щоб зменшити загальну довжину сполучних ліній, тому що при побудові розподілених МПС керування виникає проблема організації ефективної системи обміну інформацією між територіально рознесеними пристроями. Із цією метою керуючий контролер установлюється біля середнього генератора, а датчики крайніх генераторів приєднуються до додаткових входних модулів, розташованих біля крайніх генераторів разом з інтерфейсними модулями, призначених для передачі вимірювальної інформації від крайніх генераторів до модуля процесора керуючого контролера.

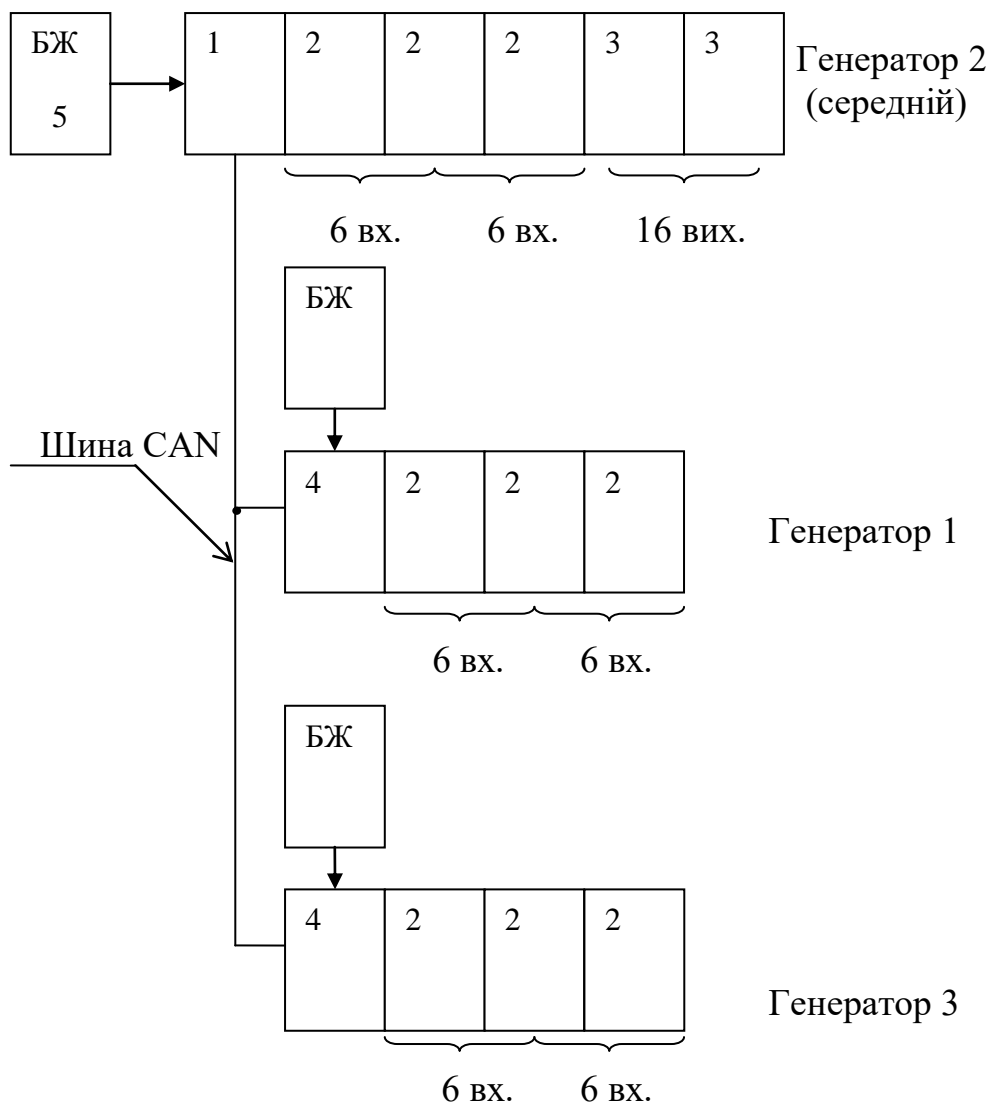


Рис.5.5 - Структурна схема МПС контролю температури статорів 3х генераторів

Вибір необхідних для функціонування МПС модулів системи (рис.5.5):

- 1- модуль процесора 7CP430.60-1 - 1 шт.;
- 2- модуль адаптера 7 AF101.7 - 9 шт. із вставними аналоговими вхідними модулями 7AI 261.7 (4 шт. на кожному адаптері).
- 3- цифровий вихідний модуль 7D0 720.7 - 2 шт.
- 4- модуль контролера шини CAN 7EX470.50-11 (інтерфейсний модуль) 2 шт.
- 5- блок живлення (БЖ) - 3 шт.

Вхідні модулі біля кожного генератора з'єднані з 6 датчиками для виміру температури обмотки у фазах: А - 2 шт., В - 2 шт., С - 2 шт., для виміру температури магнітопровода статора - 6 датчиків, рівномірно розподілених по окружності статора (див. приклад 1).

Для швидкого і однозначного визначення місця несправності і вживання оперативних заходів передбачені виходи в ланцюг сигналізації для кожної фази окремо 3 генераторів - 9 виходів, а також 3 виходи в ланцюг аварійної зупинки генераторів - кожного генератора окремо. Вихідних модулів встановлено 2, у яких з $8+8=16$ виходів - у роботі задіяні 12 виходів.

Потужність боку живлення вибирати по сумарній потужності модулів, живлення яких підключено до блоку живлення:

$$\sum_{i=1}^i P_i < P_{\text{бл.жив}}$$

де P_i - потужність i -го модуля,

$P_{\text{бл.жив}}$ - потужність блоку живлення.

Перелік блоків живлення дано у додатку В.

Контрольні питання:

1. Перелічіть типи контролерів, призначення і функціональні можливості кожного типу.
2. Укажіть склад і призначення пристроїв контролера.
3. Укажіть особливості роботи контролера, у чому відмінність від персонального комп'ютера?
4. Які основні етапи розробки контролера, у чому складається методологія проектування контролерів?
5. Укажіть критерії вибору контролера.
6. Укажіть при застосуванні яких пристроїв контролера можлива побудова децентралізованої (розподіленої) системи керування?
7. Як розрахувати потужність споживання електроенергії контролером?
8. Поясніть різницю між аналоговим входом/виходом і цифровим.

6 ІНТЕРФЕЙСИ МПС АВТОМАТИЗАЦІЇ

6.1 Класифікація інтерфейсів

Будь-яка виробнича технологія являє собою набір окремих кроків: від виміру параметра до сигналів керування системою, і всі операції повинні бути зв'язані інформаційними мережами. Мережі, що забезпечують інформаційні потоки між контролерами, датчиками сигналів і різноманітними виконавчими механізмами, поєднуються загальною назвою "промислові мережі". Промислові мережі повинні повністю задовольняти запитам споживачів по модульності, надійності, захисту від зовнішніх перешкод, простоті в побудові, монтажі і програмуванні логіки роботи. Розподілені системи керування стали невід'ємною частиною промислової автоматики. Постійно зростаюча складність промислового виробництва веде до автоматизації всіх процесів керування і децентралізації складних систем. Кожна станція вилученого вводу-виводу містить у собі мережний адаптер і модулі вводу-виводу. У деяких моделях вони об'єднані в єдиному модулі. Вибравши відповідний мережний адаптер, користувач може підключитися до найпоширеніших промислових мереж: Profibus, CAN, Modbus, Ethernet, Interbus, DeviceNet, і інших. Характеристики основних мереж, застосовуваних у МПС, дано в додатку Б.

Весь спектр пропонованих позитивних властивостей промислових мереж спрямований на рішення наступних основних положень:

- оптимальна структура системи розподіленого вводу-виводу, мінімальні монтажні обсяги для установки мережних компонентів, незначні витрати на прокладку кабельних ліній;
- ефективна система проектування, підтримка безлічі профілів передачі даних, потужна система діагностики;
- короткий час реакції, використання синхронного і асинхронного обміну даними, висока швидкість передачі інформації, підтримка функцій дистанційного налаштування параметрів приладів 1 рівня;
- вичерпна діагностична інформація.

Зрослі обсяги вимірів, технічне переозброєння виробництва із застосуванням мікропроцесорних систем автоматизації привели до широкого використання великої кількості програмно-керованих пристроїв виміру і обробки інформації. При цьому зросли вимоги до характеристик пристроїв які впливають на методи сполучення пристроїв у МПС. Для уніфікації систем сполучення між пристроями, що беруть участь в обміні інформації, став загальноприйнятим термін інтерфейс (interface).

Інтерфейс - пристрій сполучення, що забезпечує інформаційну, електричну і конструктивну сумісність, а також взаємодію технічних засобів у складі системи. Інтерфейс реалізує алгоритми взаємодії функціональних модулів відповідно до встановлених правил і норм (протоколів). З появою МП функціональна ємність модулів значно підвищилася. Всі види модулів повинні задовольняти вимогам сумісності по інтерфейсах, конструкції і програмному забезпеченню, що дозволяє споживачам створювати прикладні системи з

модулів, придбаних у різних виготовлювачів. Магістрально-модульний принцип побудови системи керування забезпечує можливість їхнього швидкого створення, нарощування, модернізації або реконструкції. Система компонується зі стандартних і уніфікованих функціонально і конструктивно закінчених сучасних модулів. Конструкція модулів забезпечує можливість їх механічного об'єднання у відповідному корпусі (касеті). Звичайно модулі вставляються по напрямних у корпус, причому для електричного об'єднання модулів використовуються роз'єднувачі, вмонтовані в корпуси модулів. Зв'язок між різними модулями МПС здійснюється за допомогою інтерфейсу. Застосування стандартних інтерфейсів при організації системи дозволяє забезпечити швидке компонування системи і розробку програмного керування. Основною структурною одиницею МПС є функціональний блок (ФБ), що являє собою декілька об'єднаних і взаємодіючих між собою модулів, вимірювальних перетворювачів (рис.6.1). Взаємодія функціональних блоків здійснюється через інтерфейсні модулі ІМ по командах, які організують обмін даними. Команди керування формуються в керуючому блоці КБ і впливають на інтерфейсні модулі через контролер К.

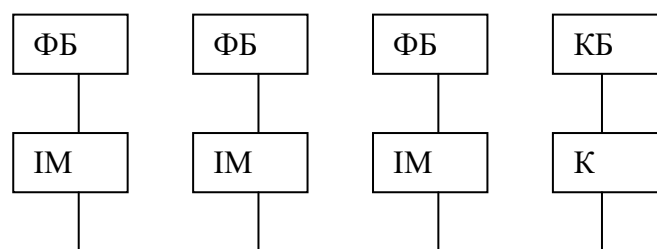


Рис.6.1 - Структурна схема інтерфейсу однорівневої системи керування

Між ФБ здійснюється обмін інформації і керуючими повідомленнями. Інформаційне повідомлення містить відомості про значення вимірюваного параметра, діапазоні вимірів, часу виміру, результатах контролю вимірювальних каналів і ін. Керуюче повідомлення містить відомості про режим роботи ФБ, порядку виконання або послідовності операцій у часі, команді контролю стану каналів зв'язку. Інтерфейс може бути загальним для пристроїв різних типів, найпоширеніші інтерфейси визначені міжнародними, державними і галузевими стандартами. Класифікація інтерфейсів:

- по способу з'єднання комплектів системи: магістральний, радіальний, ланцюговий, комбінований;
- по способу передачі інформації: паралельний, послідовний, паралельно-послідовний;
- за принципом обміну інформації: асинхронний, синхронний;
- по режиму передачі інформації: двостороння одночасна передача; двостороння почергова передача; однобічна передача.

Більше точна характеристика і систематизація інтерфейсів може бути виконана за умови класифікації по декількох сукупних ознаках: функціональному призначенню, логічній функціональній організації, фізичній реалізації.

Різновид інтерфейсів:

- машинні інтерфейси - для організації зв'язку між складовими компонентами ЕОМ;
- інтерфейси магістрально-модульних систем:
системи з розділеними шинами адреси і даних інтерфейсу;
системи зі сполученими шинами адреси і даних інтерфейсу;
- інтерфейси периферійного устаткування - системи сполучення для стандартної периферії, а також з багатьма цифровими вимірювальними приладами, датчиків, зовнішніми запам'ятовувальними пристроями;
- інтерфейси розподілених систем керування - призначених для інтеграції засобів обробки інформації, розміщених на значній відстані.

До основних характеристик інтерфейсів ставляться наступні:

функціональне призначення,
структура або тип організації зв'язку,
принцип обміну інформації,
спосіб обміну даними,
режим обміну даними,
номенклатура шин і сигналів,
кількість ліній,
кількість ліній для передачі даних,
кількість адрес,
кількість команд,
швидкість роботи,
довжина ліній зв'язку,
число пристроїв, що підключають, тип лінії зв'язку.

Завдання передачі масиву інформації від одного вузла до іншого здійснюється в мережах відповідно до протоколів передачі даних. Вони містять у собі визначення формату переданих даних, процедур передачі даних і керування каналом зв'язку.

З'єднання окремих приладів і блоків між собою здійснюється лініями зв'язку або лініями інтерфейсу. Лінії інтерфейсу можуть поєднуватися в групи для виконання однієї з операцій у програмно-керованому процесі передачі даних. Ці групи ліній називаються шинами інтерфейсу. Призначення окремих ліній і шин, їхня номенклатура і взаємне розташування в системі (топология) є базовими при розгляді функціонування будь-якого інтерфейсу. Найпоширенішим середовищем передачі є зв'язок за допомогою коаксіального кабелю або крученої пари провідників. Швидкість передачі по таких каналах становить звичайно 1 - 20 Мбод.

Для зв'язку датчиків інформації, виконавчих елементів, територіально вилучених від МП на десятки й сотні метрів, у МПС застосовуються інтерфейси: периферійних пристроїв, системні, локальних мереж. У таких інтерфейсах використовуються як паралельний, так і послідовний спосіб обміну

інформації. При цьому останній через істотне спрощення лінії зв'язку, а отже вартості, найбільш кращий, якщо при цьому забезпечується необхідна швидкість передачі інформації.

При побудові МПС повинні застосовуватися наступні структури з'єднання функціональних блоків між собою:

- ланцюгове з'єднання, при якому єдиний вихід попереднього блоку з'єднаний з єдиним входом наступного блоку так, що з'єднані блоки утворюють ланцюг;
- радіальне з'єднання, при якому один блок з'єднаний одночасно з декількома блоками, причому з кожним з них незалежною лінією;
- магістральне з'єднання, при якому входи і (або) виходи блоків, що сполучають, з'єднані однією загальною лінією.

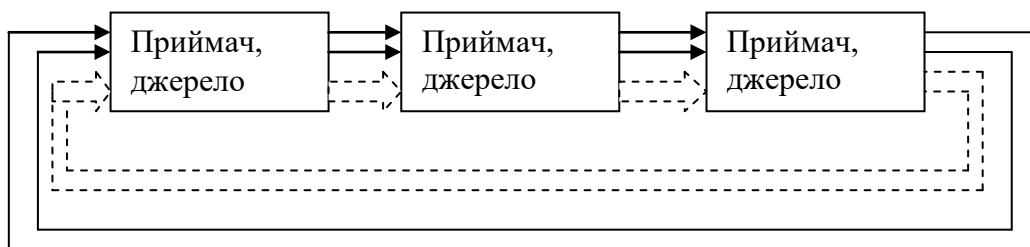


Рис.6.2 - Ланцюгова структура з'єднань функціональних блоків

У ланцюговій структурі (рис.6.2) кожна пара джерело-приймач з'єднані попарно лініями від входів попередніх ФБ до входів наступних, обмін даними відбувається безпосередньо між блоками. Функції керування розподілені між цими пристроями. Ланцюгову структуру інтерфейсів використовують, як правило, у нескладних системах з декількома ФБ.

При радіальному з'єднанні - центральний пристрій - контролер, з яким кожна пара джерело-приймач пов'язана з допомогою індивідуальної групи шин (рис.6.3).

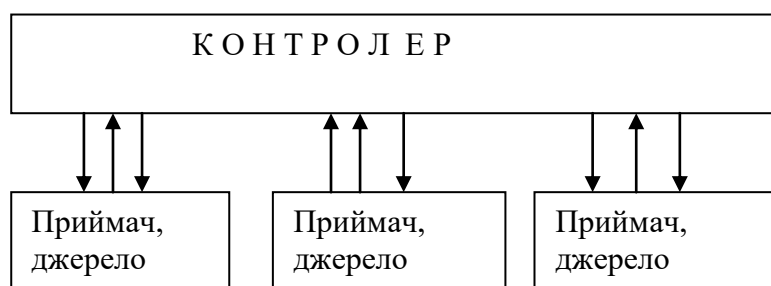


Рис.6.3 - Радіальна структура з'єднань функціональних блоків

Блоки, що підключають до контролера, можуть змінювати свої місця при відповідній зміні програми роботи контролера. Під управлінням контролера відбувається обмін даними між кожним пристроєм і контролером. Зв'язкою між керуючим пристроєм і одним із пристроїв джерел або приймачів сигналів може здійснюватися як з ініціативи контролера, так і з ініціативи пристроїв.

В останньому випадку один із пристроїв виробляє сигнал запиту на обслуговування, а контролер ідентифікує запитуваний пристрій. Коли контролер готовий до обміну даними, логічно підключаються ланцюги зв'язку і починається процес обміну. Ці ланцюги залишаються підключеними, поки не буде передана потрібна порція інформації. Контролер може робити обмін даними тільки з одним із пристроїв. У випадку одночасного надходження запитів від 2 і більше абонентів по системі пріоритетів буде встановлений зв'язок із пристроєм, що має найвищий пріоритет. Пріоритет устанавлюють залежно від типу приладу, технічних характеристик, важливості переданої інформації. В інтерфейсах з радіальною структурою найчастіше пріоритет залежить від місця підключення кабелю, що з'єднує абонента з контролером. Недолік - більша довжина сполучних ліній, а також складність контролера, що приводить до збільшення вартості системи.

У системах з магістральною структурою замість групи індивідуальних шин є колективні шини, до яких приєднуються всі джерела і приймачі інформації і контролер (рис.6.4). Для магістралі характерна доступність до всіх блоків, підключених до інтерфейсу. Однак у кожен момент часу тільки одне із джерел і один або декілька приймачів можуть бути пов'язані з інтерфейсом. Зв'язок устанавлюється з ініціативи блоків або контролера. У першому випадку - пристрій, що вимагає зв'язки, посилає в магістраль запит на обслуговування. Якщо інтерфейс вільний і пристрій одержує сигнал дозволу на зв'язок, то воно виробляє або направляє в інтерфейс сигнали, адресовані тому пристрою, що повинне прийняти ці дані (або видати дані).

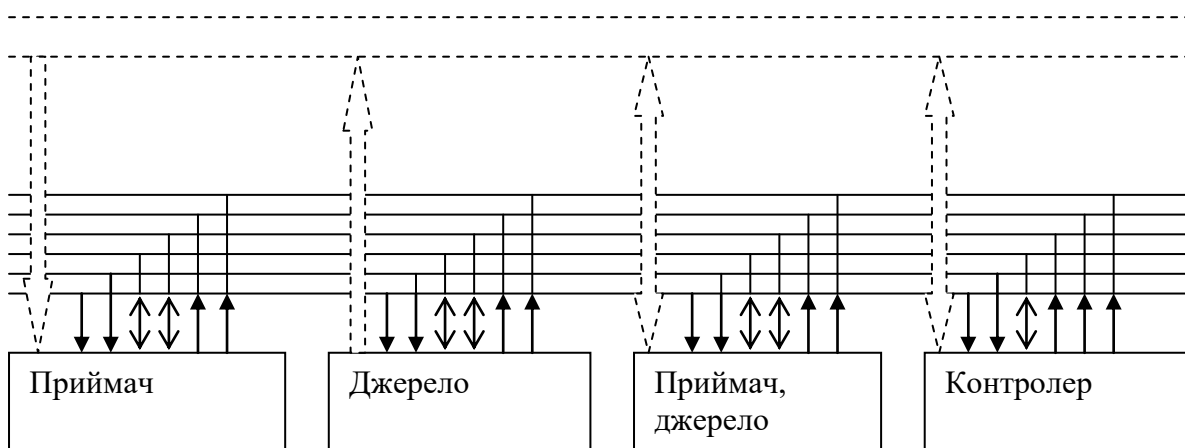


Рис.6.4 - Магістральна структура з'єднань функціональних блоків

При цьому встановлюється зв'язок між джерелом і приймачем інформації і потім здійснюється передача даних. Установлення сеансу між джерелом і приймачем і керування обміном даними здійснюється контролером. Вимірювальна інформація в магістралі на відміну від радіального інтерфейсу надходить від джерела даних у приймач, минаючи контролер. У деяких магістральних інтерфейсах контролер взагалі відсутній, а функції контролера розподілені між пристроями. У магістралі можливі одночасні запити на зв'язок

від 2 і більше пристроїв. Тому необхідно завдання пріоритетів, відповідно до яких контролер сортує вимоги на передачу даних і дозволяє зв'язок пристрою в першу чергу з найбільшим пріоритетом.

Система індивідуальних шин радіального інтерфейсу є більше надійною в порівнянні з колективною системою шин магістралі. Крім того, у радіальному інтерфейсі більш просто встановлюється зв'язок між пристроями. Однак малі витрати на встаткування роблять магістральні структури інтерфейсів більше кращими при організації зв'язку в системі з більшим числом пристроїв. Для зменшення недоліків, властивим радіальним і магістральним способам організації шин інтерфейсів, часто застосовують комбіновану систему індивідуальних і колективних шин. Така організація структури шин дозволяє підвищити швидкодію інтерфейсу і зменшити довжину кабелів зв'язку.

При паралельній передачі цифрових даних чисельне значення величини, що містить m біт, транслюють по m інформаційних лініях. Це повідомлення одночасно і повністю може бути уведене в інтерфейс, а також сприйнято приймачем. Інтерфейсні пристрої паралельного вводу-виводу інформації дозволяють погодити в часі процес обміну даними між МП і периферійними пристроями.

У послідовному інтерфейсі дані в цифровому виді передаються по одній інформаційній шині, а по іншій - тактові сигнали, що істотно знижує кількість зв'язків у периферійній частині системи. Тактові імпульси йдуть безупинно; відсутність у цей момент інформаційного імпульсу відповідає сигналу "0", а наявність імпульсу - сигналу "1". Дані можуть прямо вводиться (або виводиться) у контролер, для чого необхідна розробка програмних модулів прийому і перетворення форматів даних з відповідною синхронізацією. Для раціональної роботи мікроЕОМ при обміні даними в послідовному коді в мікропроцесорні комплекти входять спеціальні мікросхеми перетворювачів форматів даних. Схеми дозволяють організувати двонаправлений обмін даними між мікроЕОМ і периферійними пристроями в різних режимах. Початку передачі цифрової інформації в лінію зв'язку (див. рис.6.5) передують сигнал "старт" (біт - 0). Потім іде посилка біт слова (у цьому випадку 8-розрядний код). Для перевірки правильності передачі інформації використовується одна із двох перевірок на ознаку: парність або непарність. Посилка завершується одним або двома стоповими бітами, що завжди мають значення "1".

Введення сигналів СТАРТ і СТОП у кодову посилку дозволяє здійснювати синхронізацію приймача і передавача і правильно інтерпретувати сигнали даних. Інтерфейс послідовного типу застосовується для з'єднань великої довжини і при передачі даних з малою швидкістю. Швидкість визначається числом переданих символів у секунду ($1/T$) або числом бітових пересилань у секунду ($1/\tau$), (BOD).

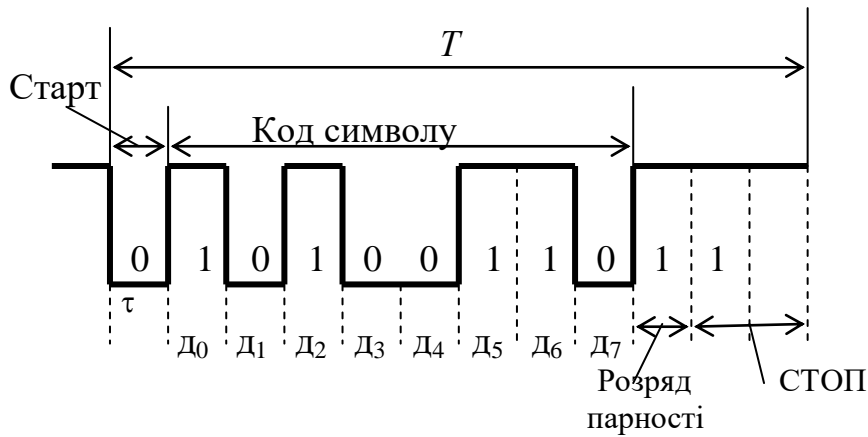
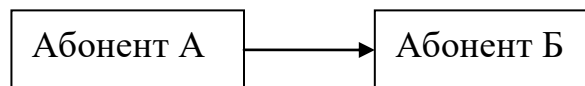


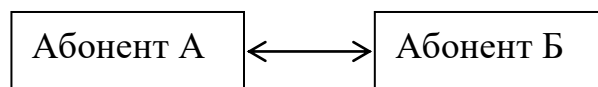
Рис.6.5 - Приклад формату послідовних інформаційних сигналів

За принципом обміну інформації розрізняють інтерфейси з наступними режимами роботи: симплексним, напівдуплексним, дуплексним, мультиплексним.

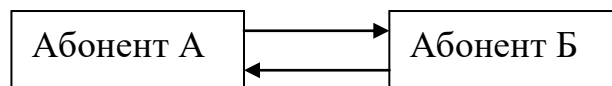
Симплексний режим - тільки один із двох абонентів може ініціювати в будь-який момент часу передачу інформації з інтерфейсу:



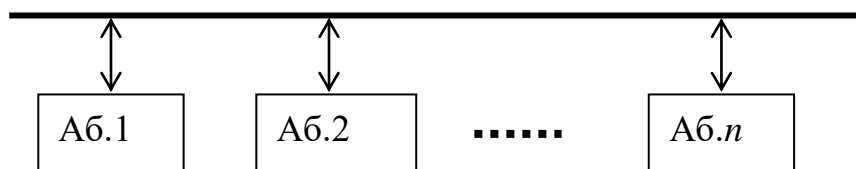
Напівдуплексний режим - кожний із двох абонентів може ініціювати в будь-який момент часу передачу інформації з інтерфейсу:



Дуплексний - кожен абонент може почати передачу інформації іншому в довільний момент часу:



Мультиплексний режим - у випадку зв'язку декількох абонентів у кожен момент часу зв'язок може бути здійснена між парою абонентів у будь-якому, але в єдиному напрямку від одного з абонентів до іншого:



По способі передачі інформації в часі розрізняють:

- інтерфейси із синхронною передачею даних (з постійною часовою прив'язкою в циклі збору інформації);
- інтерфейси з асинхронною передачею даних (без постійної часової прив'язки).

При синхронній передачі даних синхронізуючі сигнали задають певний часовий інтервал, протягом якого зчитується інформація з одного датчика первинної інформації. Часовий інтервал у цьому випадку визначається найбільшою тривалістю затримки в системі передачі даних і максимальним часом перетворення обмірюваного сигналу в цифровий код.

Асинхронна передача даних характеризується наявністю керуючих сигналів: ГОТОВНІСТЬ ДО ОБМІНУ, вироблюваних датчиком вихідної інформації, і ПОЧАТОК ОБМІНУ, КІНЕЦЬ ОБМІНУ, КОНТРОЛЬ ОБМІНУ, вироблюваних контролером при зборі інформації. При такій організації обміну автоматично встановлюється раціональне співвідношення між швидкістю передачі даних і часом затримки сигналів у каналах зв'язку. Сигнал КОНТРОЛЬ ОБМІНУ є результатом рішення задачі виявлення збою в процесі передачі і забезпечує розпізнавання сигналу перешкоди в каналі передачі. При синхронній передачі даних у порівнянні з асинхронною більш ефективно використовується канал. При асинхронній передачі досягається краща завадостійкість.

У МПС залежно від пропонованих вимог можуть також застосовуватися наступні режими обміну даними між функціональними блоками (асинхронна або синхронна передача):

- по командах функціонального блоку, що приймає дані або контролера;
- по запиті функціонального блоку, що видає дані;
- при якому дані видаються джерелом самостійно, без надходження зовнішніх команд.

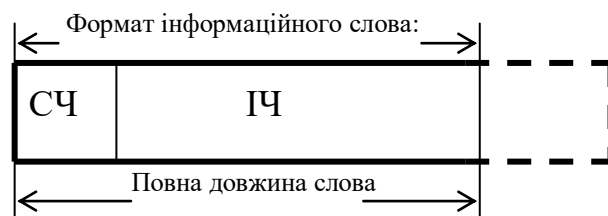
Інтерфейс може містити в собі адресні лінії, даних, керування, синхронізації, контролю і оповіщення. Склад і кількість ліній визначають можливі режими передачі інформації. Повідомлення, передані по інтерфейсу, можна розділити на дві основні групи:

- пов'язані з виконанням вимірів;
- необхідні для передачі даних (командні сигнали - настройка приладів або блоків на виконання певних операцій, задають режим роботи, змінюють основні характеристики приладів, наприклад: діапазони виміру).

Повідомлення інформаційного потоку повинні містити всі відомості (за винятком апріорно відомих які не змінюються в процесі одержання інформації), необхідні для оцінки значення вимірюваного параметра і визначення інформаційних характеристик. Повідомлення інформаційного потоку повинні при необхідності містити також допоміжні відомості, наприклад: повідомлення про результати тестового контролю і ін. Повідомлення керуючого потоку повинні містити всі відомості, що визначають режими роботи функціональних блоків і виконання ними необхідних операцій у заданій часовій послідовності.

Керування роботою інтерфейсу здійснюється адресними командами, командами сполучення і загального керування.

Адресні команди передаються по адресній шині. Команди сполучення і загального керування організують зв'язок між пристроями, що обмінюються інформацією, забезпечують узгодження роботи пристроїв у процесі обміну даними. Це здійснюється за допомогою керуючих і інформаційних сигналів. До керуючих сигналів ставляться сигнали запиту на обслуговування, команди очищення інтерфейсу, прийому і видачі даних, вибірки і ін. У відповідь на керуючі сигнали пристроями виробляються інформаційні сигнали про встановлення зв'язку, готовності пристрою до прийому або видачі даних, про прийняття даних, про наявність помилки в зчитувальній інформації. Команди можуть передаватися по інформаційній шині. У цьому випадку вводиться додатковий службовий символ ідентифікації. У деяких інтерфейсах по інформаційній шині передається адреса - у цьому випадку вводиться додаткова лінія ідентифікації сигналу. Значно скоротити кількість ліній в інтерфейсі дозволяє поділ у часі функціонального призначення тих самих шин (мультиплексування шин). Однак при цьому знижується швидкість передачі даних, ускладнюється програма передачі, збільшується кількість устаткування в каскадах сполучення, розташовуваних у блоках. Залежно від кількості ліній, по яких передаються команди, їх ділять на одно- і багатопровідне. Інформаційні і керуючі повідомлення можуть бути класифіковані по форматах:



В інформаційній частині ІЧ слова втримується результат виміру. Розмір ІЧ слова визначається видом вимірюваного параметра і необхідною точністю вимірів. У супровідній частині СЧ слова можуть утримуватися сигнали стану, адреси, діапазону виміру, ідентифікатора виду інформації. Супровідна частина слова може послідовно нарощуватись або переформовуватись при проходженні слова по вимірювальному тракту. Всі розділи одного слова повинні бути розташовані безпосередньо один за одним. Всі елементи слова повинні передаватися старшим розрядом уперед. Повна довжина слова на виході джерела повинна становити від 4 до 32 байт і відповідати ряду: 4, 8, 12, 16, 20, 24, 28, 32. Невикористані розряди повинні розташовуватись з боку молодших розрядів.

Інтерфейсні команди можуть бути універсальними і адресованими.

Універсальні команди сприймаються всіма пристроями, пов'язаними з інтерфейсом. Команди зобов'язують кожен прилад і блок, здатних розпізнати сигнали інтерфейсу і виконати операції, здійснити їх. Адресовані команди сприймаються тільки тими приладами, з якими був організований зв'язок. У

багатьох випадках інтерфейси також містять шини живлення функціональних блоків і лінії сигналізації про стан джерела живлення.

МПС можуть мати безліч зовнішніх інтерфейсів: стандартних (наприклад, для принтера або модему) і нестандартних (наприклад, для вимірювальних або керуючих модулів, приладів, установок). Найпоширеніші наступні інтерфейси: системна шина (магістраль) ISA, шина PCI, паралельний порт (принтерний, LPT-порт) Centronics, послідовний порт (COM-порт) RS-232C, RS-485, послідовний порт USB (Universal Serial Bus), шина CAN. Характеристика інтерфейсів RS-232C, CAN, USB, шини PCI дана в додатку Б.

Основні функції інтерфейсу полягають у забезпеченні інформаційної, електричної і конструктивної сумісності між функціональними елементами системи.

Інформаційна сумісність - це погодженість взаємодій функціональних елементів системи відповідно до сукупності логічних умов. Логічні умови визначають:

- структуру і склад уніфікованого набору шин;
- набір процедур по реалізації взаємодії і послідовності їхнього виконання для різних режимів функціонування;
- спосіб кодування і формати даних, команд, адресної інформації і інформації стану;
- тимчасові співвідношення між керуючими сигналами, обмеження на їхню форму і взаємодію.

Логічні умови визначають функціональну і структурну організацію інтерфейсу. Умови інформаційної сумісності визначають обсяг і складність схематичного устаткування і програмного забезпечення, а також основні техніко-економічні показники (пропускну здатність і надійність інтерфейсу).

Електрична сумісність - це погодженість статичних і динамічних параметрів переданих електричних сигналів у системі шин, з урахуванням використовуваної логіки і навантажувальної здатності елементів. Умови електричної сумісності визначають:

- тип елементів для прийому та передачі сигналів;
- співвідношення між логічним і електричним станами сигналів і межі їхньої зміни;
- коефіцієнти навантажувальної здатності приймально-передаючих елементів;
- схему узгодження лінії;
- допущену довжину ліній і порядок підключення ліній до з'єднувачів;
- вимоги до джерел і ланцюгів електроживлення;
- вимоги до завадостійкості і заземлення.

Конструктивна сумісність визначається:

- типом сполучних елементів (з'єднувачів, штекерів сполучних елементів);
- типами конструкцій плат, каркасів;

- конструкцією кабельних з'єднань.

Виконання інформаційних, електричних і конструктивних умов необхідно, але не досить для взаємного сполучення пристроїв і обміну даними між ними. Пристрої інтерфейсу повинні виконувати в певній послідовності операції, пов'язані з обміном інформації: розпізнавати адреса повідомлення, підключатися до ліній інтерфейсу, передавати повідомлення в інтерфейс, приймати його з інтерфейсу і ін. Інтерфейсні функції відрізняються від приладових, тому що вони зв'язані безпосередньо із проведенням виміру, тобто перетворенням даних, їхнім нагромадженням, первинною обробкою, поданням і ін.

Основні функції інтерфейсу, які необхідно реалізувати для забезпечення інформаційної сумісності, визначається функціональною організацією інтерфейсу. На канал керування покладені функції селекції інформаційного каналу, синхронізації обміну інформацією, координації взаємодії, а на інформаційний канал - функції буферного зберігання інформації, перетворення форми подання інформації.

При взаємодії елементів, що сполучають, можна виділити наступні операції: ініціювання запиту, виділення пріоритетного запиту, ідентифікація запиту.

Ініціювання запиту містить у собі процедури видачі, зберігання і сприйняття запиту на організацію процесу взаємодії. Сигнали запиту можуть зберігатися в реєстрі керуючого блоку (радіальна структура шини запиту) або на окремих тригерах кожного інтерфейсного блоку (магістральна структура шини запиту).

Функція виділення пріоритетного запиту здійснюється на основі аналізу сигналів зайнятості інформаційного каналу, дозволу пріоритетного переривання, запиту джерела повідомлення і залежить від числа рівнів пріоритету. Ідентифікація запиту полягає у визначенні адреси пріоритетного джерела запиту.

Рівні сполучення модулів і пристроїв у МПС представлені на рис.6.6.

Перший рівень сполучення забезпечується за допомогою системного магістрального інтерфейсу, по якому здійснюється обмін інформацією між всіма або основними модулями. Вибір цього інтерфейсу визначається архітектурою МП.

Другий рівень - малі інтерфейси периферійних пристроїв ПП і пристроїв зв'язку з об'єктом ПЗО. Малі інтерфейси використовують у тих випадках, коли ПП і ПЗО не мають убудованого системного інтерфейсу і не можуть підключатися безпосередньо до системної магістралі. Сполучення із системною магістраллю здійснюється контролером.

Третій рівень - інтерфейси датчиків Д и виконавчих пристроїв ВП, тобто інтерфейси для їхнього узгодження з УСО.

Четвертий рівень - інтерфейси пристроїв передачі даних ППД, тобто інтерфейси телеграфних телефонних, високочастотних оптоволоконних і інших каналів для передачі даних на великі відстані, у тому числі інтерфейси, застосовувані для побудови локальних, регіональних і ін. типів мереж.

П'ятий рівень - зовнішні відносно МПС інтерфейси. З'єднання зовнішнього інтерфейсу із системним здійснюється за допомогою спеціального адаптера інтерфейсів А.

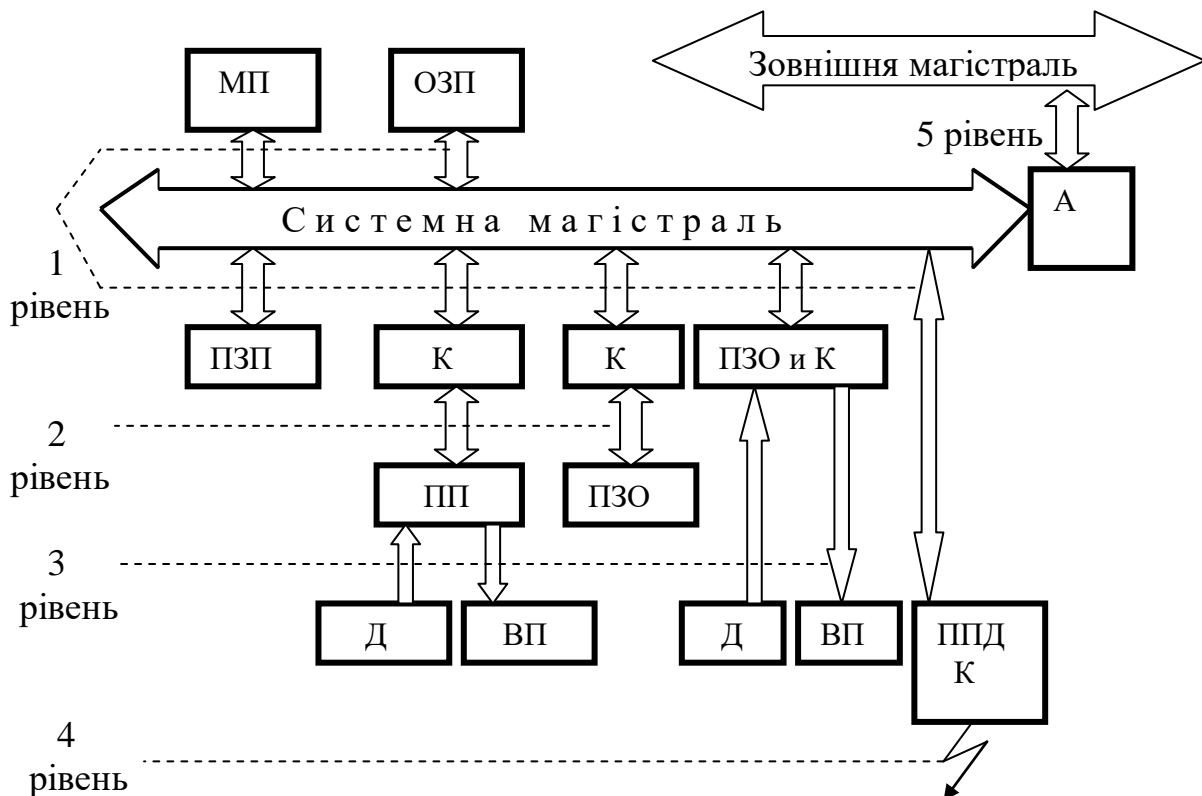


Рис.6.6 - Рівні сполучення модулів і пристроїв у МПС

6.2 Елементна база інтерфейсів

До складу МПК ВІС різних серій включаються ВІС регістрів, буферних каскадів, контролерів, шинних формувачів, пристроїв передачі інформації і деякі інші функціональні пристрої, призначені для організації не програмувальних і програмувальних інтерфейсів. Функції не програмувальних інтерфейсів не змінюються в процесі роботи МПС. Програмувальні інтерфейси можуть перебудовуватися під програмним керуванням МП із виконання однієї функції на іншу, завдяки чому забезпечується більше гнучка організація МПС.

6.2.1 Принципи побудови і застосування шинних формувачів ШФ

ШФ забезпечують розв'язку входів і виходів пристроїв, що працюють на двонаправлену магістраль і підвищують навантажувальну здатність магістралі [3].

Шинний формувач включає у свій склад (рис.6.7) дві групи ключів К і керуючу логіку, причому кожен ключ має два входи - керуючий і інформаційний і один вихід. На керуючі входи першої групи ключів подається сигнал U_1 , а на керуючі входи другої групи ключів - сигнал U_2 . Якщо сигнал на керуючому вході якого-небудь ключа має рівень логічного "0", то ключ закритий, тобто перебуває в пасивному стані з високим входним опором. Якщо на керуючий вхід ключа подається рівень логічний "1", то сигнали на інформаційному вході і виході

ключа мають однакові логічні рівні (активний стан ключа). У ШФ передбачені три групи (А, Б, С) інформаційних входів і виходів, причому кожна група входів і виходів з'єднана із чотирма лініями зв'язку, що утворюють чотирьохрозрядну шину. Сигнали на керуючих входах *ВШ* і *ВМ* шинного формувача керують вибором шини (напрямок передачі даних) і мікросхеми відповідно. Логічні вирази, що визначають стан ключів ШФ, мають такий вигляд: $Y_1 = \overline{ВМ} \cdot \overline{ВШ}$; $Y_2 = \overline{ВМ} \cdot ВШ$. Якщо на вхід *ВМ* подається рівень лог. "1" ($Y_1=0, Y_2=0$), то всі ключі закриті і всі входи і виходи ШФ розв'язані між собою. Якщо значення сигналів на входах *ВМ* і *ВШ* рівні "0" ($Y_1=1, Y_2=0$), то група входів А пов'язана із групою виходів В, тобто здійснюється передача даних у напрямку від А до В, причому виходи С перебувають у стані з високим вихідним опором. Якщо значення сигналу на вході *ВМ* дорівнює "0", а на вході *ВШ* – "1" ($Y_1=0, Y_2=1$), то група входів В пов'язана із групою виходів С, тобто здійснюється передача даних у напрямку від В до С, причому виходи ключів, на входи яких подається сигнал Y_1 , перебуває в стані з високим вихідним опором.

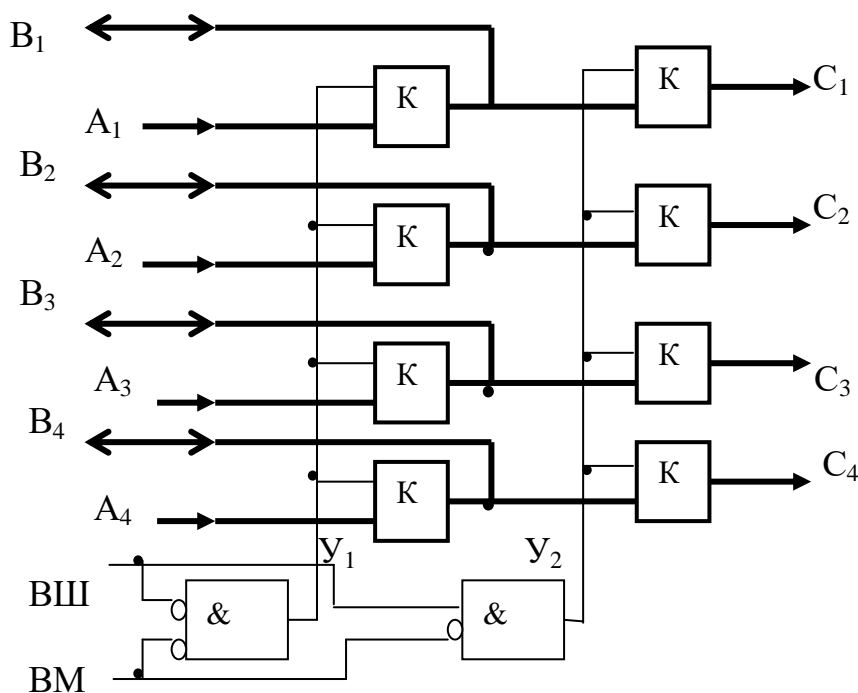


Рис.6.7 - Структурна схема ШФ

Таким чином, дані на ШФ можуть надходити по чотирьох-розрядним шинах А або В, а видаватися по шинах В і С відповідно. Вибір напрямку передачі даних здійснюється за допомогою сигналу, що подається на вхід *ВШ*.

6.2.2 Багаторежимний буферний регістр ББР

ББР являє собою універсальний 8-розрядний регістр (рис.6.8), вихідні каскади якого мають три стійких стани. Регістр доповнюється схемами керування режимами і формування сигналу запиту на переривання і призначений для

реалізації багатьох типів інтерфейсних схем і допоміжних пристроїв, включаючи буферні регістри, мультиплексори, двонаправлені шинні формувачі, що переривають канали вводу-виводу і т.д. ББР складається з восьми інформаційних D-тригерів, восьми вихідних ключів K з трьома стійкими станами ("0", "1", стан з високим входним опором) і схеми керування режимами регістра. Вхідні дані надходять на інформаційні входи $D_0 - D_7$, а зчитуються через ключі з виходів $Q_0 - Q_7$. ББР має наступні керуючі входи:

$VM1, VM2$ - входи вибору мікросхеми;
 BP - вхід вибору режиму;
 C - стробуючий вхід;
 R - вхід установки ББР в стан "0".

- $VM1, VM2$ - входи вибору мікросхеми;
- BP - вхід вибору режиму;
- C - стробуючий вхід;
- R - вхід установки ББР в стан "0".

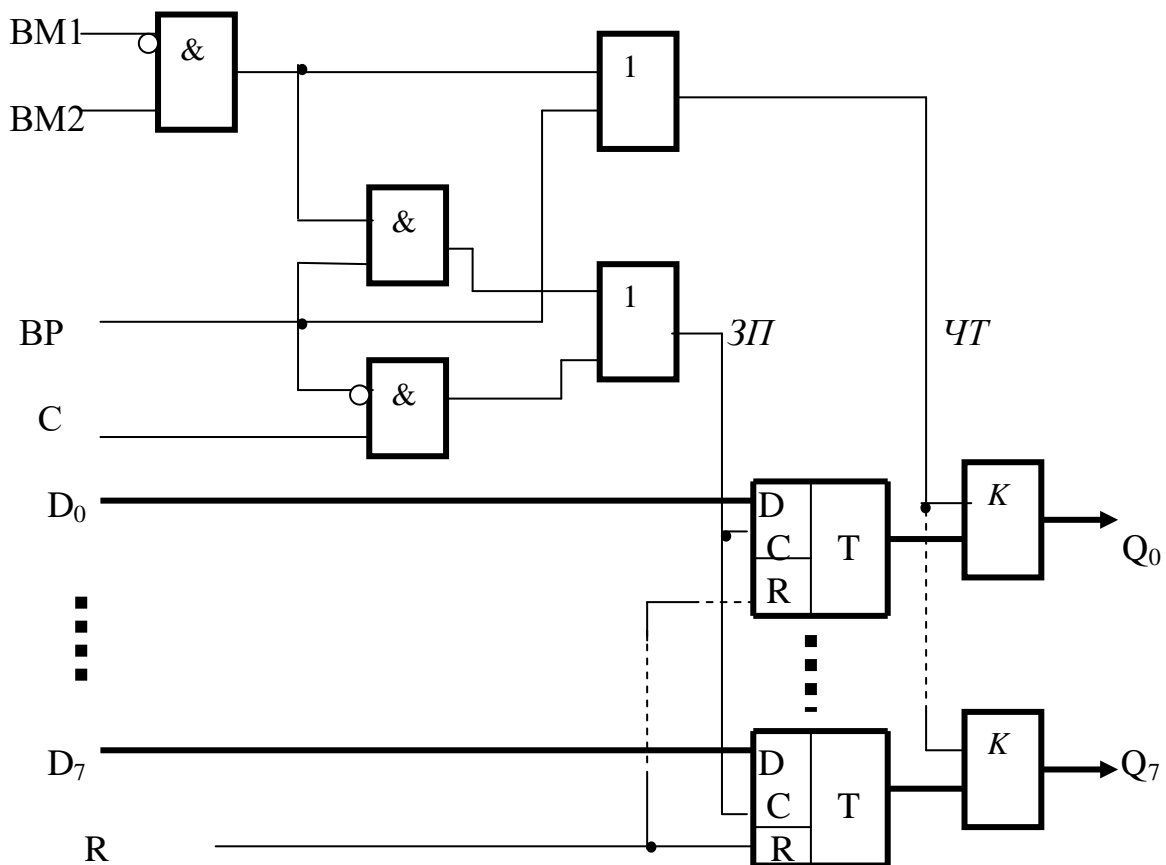


Рис.6.8 - Структурна схема багаторежимного буферного регістра

У режимі зчитування ключі K передають інформацію на виходи $Q_0 - Q_7$, якщо виконується умова:

$$ЧТ = BP \vee (\overline{VM1} \cdot VM2) = 1$$

де $ЧТ$ - значення двійкового сигналу на керуючих входах ключів;

BP - значення двійкового сигналу на однойменному вході;

$BM1, BM2$ - значення двійкових сигналів на однойменних входах.

Якщо $CT=0$, то ключі K перебувають у стані з високим вихідним опором, що відповідає відключенню ББР від вихідної шини й зчитування інформації не відбувається.

Режим запису інформації в ББР здійснюється при виконанні умови:

$$ЗП = (C \cdot \overline{BP}) \vee (\overline{BM1} \cdot \overline{BM2} \cdot BP) = 1$$

де $ЗП$ - значення двійкового сигналу на входах D-тригерів;

C - значення двійкового сигналу на однойменному вході ББР.

Якщо на вхід C поданий рівень лог. "1", а на вхід BP - рівень лог. "0" і умова вибору мікросхеми не виконується ($(BM1 \cdot BM2) = 0$), то: $C \cdot \overline{BP} = 1$, $ЗП=1$, $CT=0$, тобто здійснюється тільки запис інформації без зчитування. При виконанні умови: $BM1 \cdot BM2 = 1$, $BP=1$, $ЗП=1$, $CT=1$ відбувається запис інформації з одночасним зчитуванням, тобто інформація із входів $D_0 - D_7$ передається на виходи $Q_0 - Q_7$ ББР.

Установка інформаційних тригерів у стан "0" забезпечується вхідним сигналом $R=0$.

Контрольні питання:

1. Що таке "інтерфейс"?
2. Через які пристрої здійснюється зв'язок у МПС?
3. Укажіть класифікацію інтерфейсів:
 - по способу з'єднання комплектів системи;
 - по способу передачі інформації;
 - за принципом обміну інформації;
 - по режиму передачі інформації
4. Які різновиди інтерфейсів?
5. Які основні характеристики інтерфейсу?
6. Укажіть визначення шини інтерфейсу.
7. Укажіть позитивні сторони застосування магістральної структури з'єднання функціональних блоків (мультиплексний режим).
8. Укажіть принцип передачі інформації в послідовному інтерфейсі.
9. У яких випадках застосовується інтерфейс послідовного типу?
10. Укажіть спосіб організації асинхронного обміну інформації.
11. У чому різниця між інформаційним і керуючим повідомленням?
12. Які короткі характеристики найпоширеніших інтерфейсів?
13. Якими факторами характеризується інформаційна електрична і конструктивна сумісність інтерфейсу?
14. Укажіть призначення шинного формувача.
15. Які режими роботи багаторежимного буферного регістра?

7 ВИКОНАВЧІ ЕЛЕМЕНТИ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ

7.1 Виконавчі елементи системи. Призначення, класифікація

Виконавчі елементи систем призначені для посилення і відпрацювання керуючого впливу, що приводить до зміни регульованого параметра об'єкта керування. Сигнал на виконавчі пристрої звичайно надходить із підсилювачів потужності. Виконавчий елемент, як правило, є складовою частиною приводу або механізму, що містить підсилювальні, перетворюючі, коригувальні елементи, елементи зворотних зв'язків.

По виду використовуваної енергії виконавчі елементи систем можна розділити на: електричні, гідравлічні, пневматичні і комбіновані. Серед електричних виконавчих пристроїв широке поширення одержали електромагніти, електродвигуни постійного і змінного струму, крокові двигуни і електромагнітні муфти. Режим роботи виконавчих елементів визначається режимом роботи об'єкта керування. У системах, призначених для відпрацювання керуючих впливів, що мають випадковий характер і надходять на систему безупинно, виконавчі елементи працюють у короткочасних, повторно-короткочасних і тривалих режимах. Будучи кінцевим, найбільш потужним каскадом системи автоматичного керування, виконавчі елементи впливають на статичні і динамічні властивості системи в цілому.

У будь-якому режимі роботи статичні і динамічні характеристики виконавчих пристроїв повинні задовольняти умовам стійкості системи і вимогам якості керування.

У виконавчому пристрої сигнал керування підсилюється по потужності до рівня, достатнього для надавання руху регульовального органа. Поряд з посиленням у ньому відбувається перетворення керуючого сигналу у вихідний механічний вплив (швидкість, прискорення, кутове або лінійне переміщення). Таким чином, при проектуванні систем керування вибір виконавчого елемента здійснюють виходячи з наявності виду джерела енергії, характеру руху регульовального органа, рівня потужності вхідного і вихідного сигналів, забезпечення необхідної точності і показників якості системи керування. Як елемент системи автоматичного керування виконавчий пристрій повинен забезпечити необхідну амплітуду вихідних переміщень при зміні вхідного сигналу в робочому діапазоні частот.

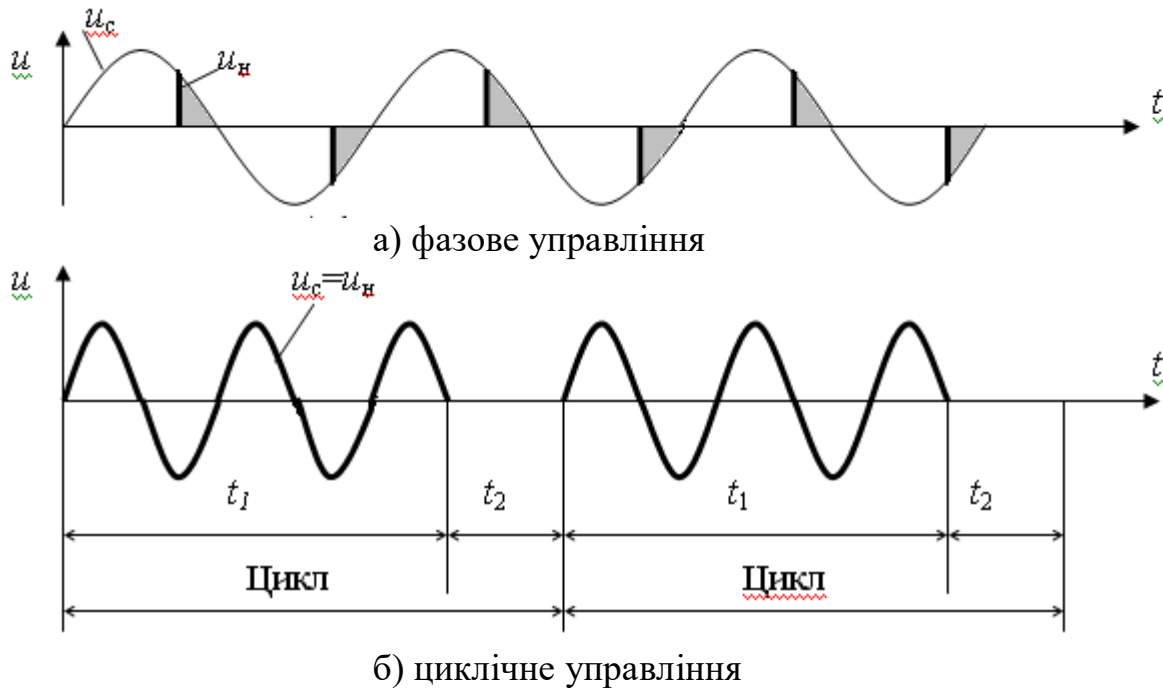
До технічних вимог виконавчих елементів систем відносяться: високий рівень потужності, що забезпечує необхідні значення величин переміщення, швидкості і прискорення регульовального органа; висока швидкодія; великий коефіцієнт підсилення по потужності, що забезпечує максимальне значення питомої потужності; лінійність статичних характеристик; плавність регулювання швидкості переміщення в широких діапазонах; малі маси, габаритні розміри, вартість; зручність в експлуатації, висока надійність.

Номенклатура пристроїв, що перетворюють і виконують команди мікропроцесорного блоку керування, досить широка. Для забезпечення плавної зміни потужності на навантаженні як підсилювачі потужності найбільше

поширення в технологічному устаткуванні одержали одно- і трифазні тиристорні підсилювачі, транзисторні і тиристорні ключі для комутації напруги на дискретних пристроях керування - електромагнітних клапанах, заслінках і т.п.

7.2 Тиристорні підсилювачі

Для регулювання напруги або потужності в навантаженні за допомогою тиристорів використовуються методи фазового або циклічного керування, епюри напруг яких наведені на рис. 7.1:



U_c - напруга мережі, U_n - напруга навантаження.

Рис.7.1 - Методи керування: а) фазового, б) циклічного

Найбільше поширення одержав метод фазового керування [3], тому що він забезпечує плавне регулювання, що досить важливо для малоінерційних об'єктів - рис.7.2.

Однак деякі особливості підсилювачів при фазовому керуванні можуть привести до погіршення роботи системи регулювання. Це, насамперед, наявність нелінійної залежності між сигналом керування і вихідним параметром (напруги або потужності на навантаженні). Характер цієї залежності визначається схемою включення тиристорів

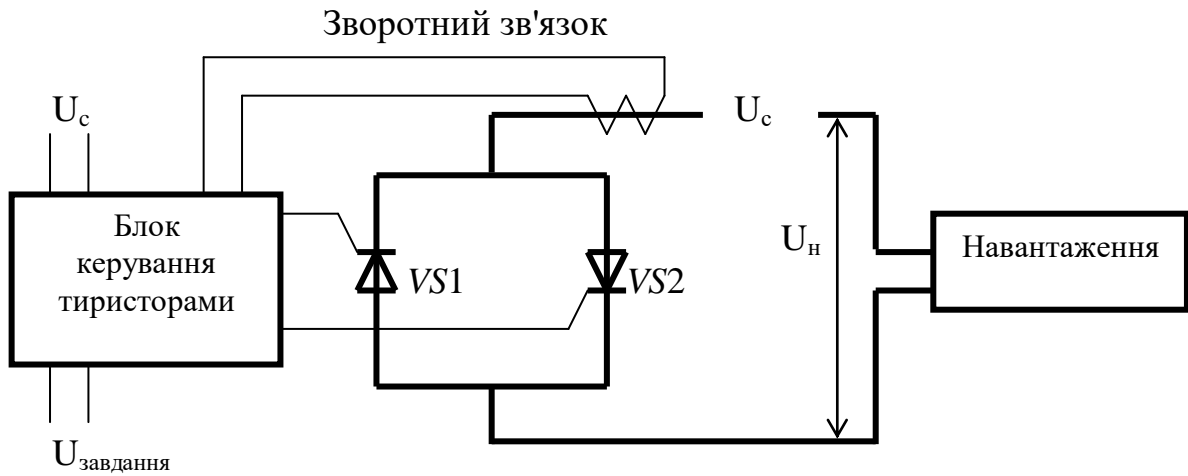


Рис.7.2 - Функціональна схема однофазного тиристорного підсилювача потужності

В однофазних підсилювачах потужності систем регулювання широкое застосування одержала схема із зустрічно-паралельним включенням тиристорів. Фазовий кут, відлічуваний від моменту проходження напруги мережі через нуль до моменту подачі керуючого імпульсу, називається кутом відкриття тиристора (рис.7.3). Фазовий кут, протягом якого тиристор залишається в провідному стані, називається кутом провідності.

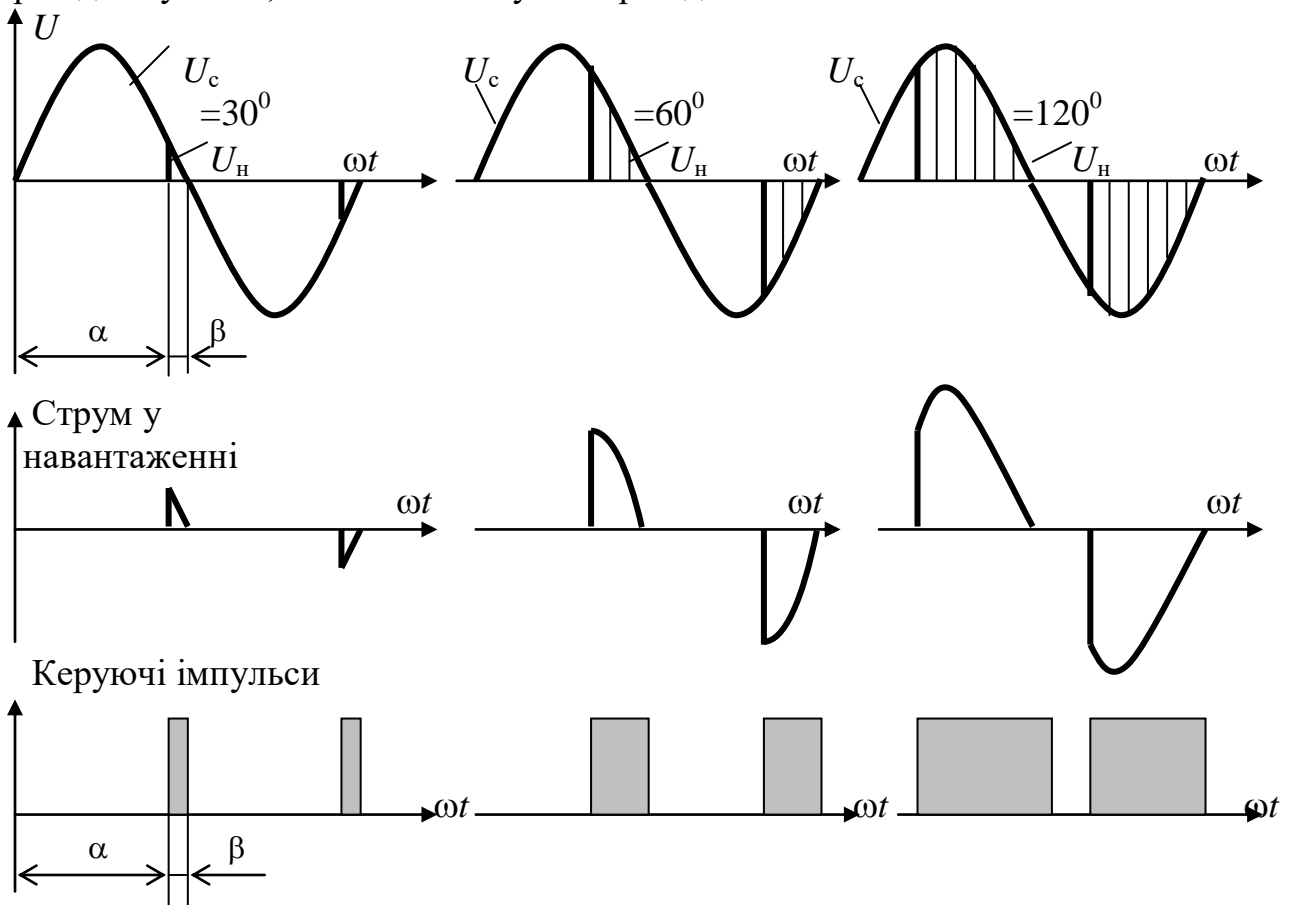


Рис.7.3 - Діаграма керування величиною струму тиристора

Кут відкриття визначається напругою, що подається на систему керування тиристорами, що формує керуючий імпульс і забезпечує його зміну по фазі в інтервалі $0 \dots \pi$. Для активного навантаження:

$$\alpha = \pi - \beta. \quad (7.1)$$

Серед промислових систем регулювання найпоширеніші системи регулювання температури різних об'єктів. Оскільки температура визначається переданою до об'єкта потужністю, тепловий режим у деяких випадках підтримується стабілізацією активної потужності. Залежність потужності в активному навантаженні (нагрівачі теплових об'єктів у більшості випадків являють собою активне навантаження) від кута відкриття або кута провідності може бути виражена наступним співвідношенням [3]:

$$P_H = P_m[\pi - \alpha + (\sin 2\alpha)/2] = V_m^2 / \pi R_n [\beta - (\sin 2\beta)/2] \quad (7.2)$$

де P_m - максимальна активна потужність;

V_m - амплітудна напруга на навантаженні;

R_n - опір навантаження.

Залежність між вхідною напругою підсилювача потужності $V_{зад}$ і кутом провідності β лінійна, можна записати:

$$\beta = \pi \frac{V_{зад}}{(V_{зад})_m} = \pi \mu \quad (7.3)$$

де $(V_{зад})_m$ - напруга на вході підсилювача потужності при $\beta = \pi$.

З урахуванням даної рівності можна P_H виразити в такий спосіб:

$$P_H = V_m^2 / \pi R_n [\pi \mu - (\sin 2\pi \mu) / 2] \quad (7.4)$$

Підсилювач потужності як елемент системи регулювання характеризується двома коефіцієнтами передачі - динамічним k_d і статичним k_c (постійна часу підсилювача в порівнянні з постійною часу об'єкта керування практично дорівнює нулю):

$$k_d = \frac{dP_H}{d\mu} = \frac{V_m^2}{R_H} (1 - \cos 2\pi \mu) \quad (7.5)$$

$$k_c = \frac{P_H}{\mu} = \frac{V_m^2}{R} \left(1 - \frac{1}{2\pi \mu} \sin 2\pi \mu\right) \quad (7.6)$$

Згідно рис.7.4 коефіцієнти передачі k_d і k_c змінюються від нуля (при $\mu=1$) до наступних значень: $k_d=2P_m$, $k_c=1$ (при $\mu=0,5$) і $k_d=0$ і $k_c=P_m$ (при $\mu=1$). Залежність значень статичного й динамічного коефіцієнтів передачі від рівня

посилюваного сигналу - один з найважливіших наслідків нелінійності характеристики підсилювача потужності із зустрічно-паралельним включенням тиристорів. Зміни, внесені зміною опору навантаження і напруги мережі, приводять до змін коефіцієнтів передачі підсилювача потужності.

Лінійну характеристику підсилювача потужності $P_H = kV_{\text{зад}}$ можна одержати за рахунок сигналу зворотного зв'язку, пропорційного потужності, виділеній в навантаженні. Одним з істотних недоліків фазового методу керування варто вважати порівняно високий рівень високочастотних перешкод, генеруємих у зовнішні ланцюги при комутації навантаження.

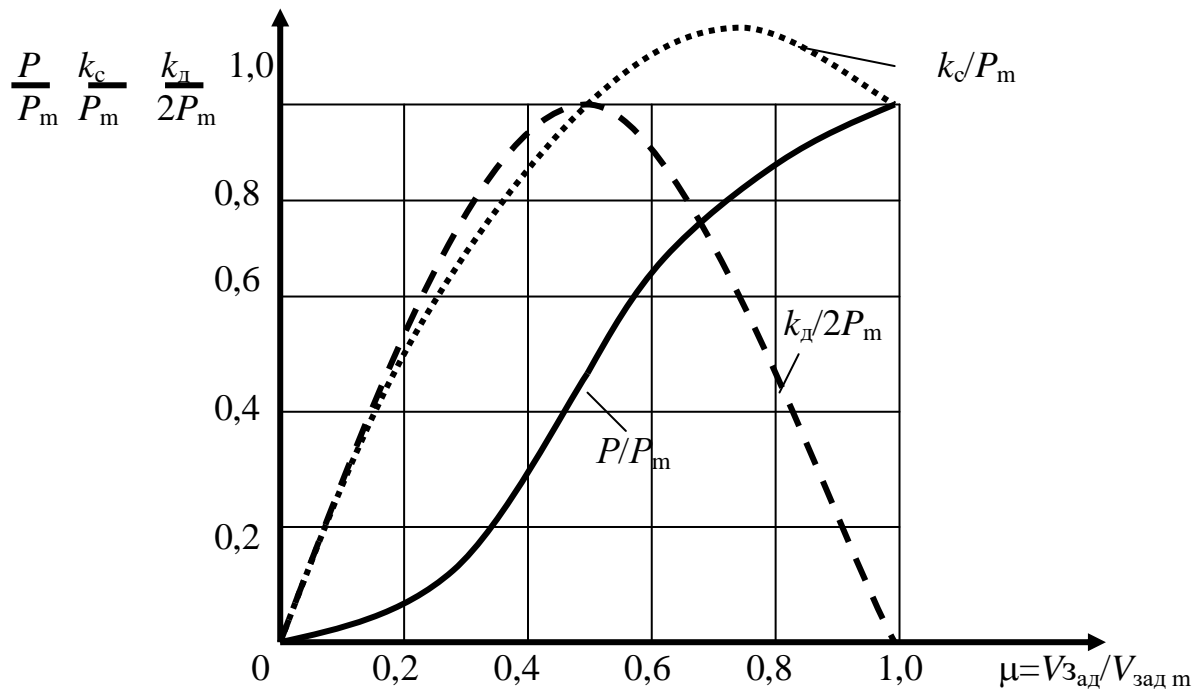


Рис.7.4 - Графік залежності потужності в навантаженні, статичного і динамічного коефіцієнтів передачі від відносного значення вхідного сигналу підсилювача потужності

Циклічний метод керування забезпечує лінійну функцію і при його реалізації практично відсутні високочастотні перешкоди, тому що комутація навантаження здійснюється в момент рівності нулю струму навантаження. Зміна потужності в навантаженні здійснюється шляхом зміни числа періодів напруги в циклі регулювання, що може містити від одного до десятків періодів. Від числа періодів у циклі залежить дискретність зміни електричної потужності в навантаженні. При двох періодах дискретність складе 50%, а при двадцятьох - 5%. Це положення необхідно враховувати при оцінці характеристик точності системи регулювання, наприклад температури об'єкта. Для малоінерційних об'єктів з постійною часу порядку одиниць секунд істотною обставиною при циклічному методі керування є час t_2 , протягом якого тиристори закриті і через навантаження не протікає струм. При двадцятьох періодах у циклі регулювання

цей час при мінімальній потужності становить близько 0,4 с, а при п'ятдесяти - близько 1 с.

Іншим комбінованим методом керування активною потужністю є циклічно-фазовий метод, при якому протягом циклу так само, як і у попередньому випадку, здійснюється циклічне керування, а в кожному періоді підключення навантаження до джерела змінного струму - фазове.

При цьому значення середньої за час циклу активної потужності визначається як: $P_n = P_\phi n / N$, де n - число періодів у циклі з регульованим фазовим керуванням, N - загальне число періодів у циклі, P_ϕ - середня за період потужність при фазовому керуванні.

7.3 Тиристорні ключі

Тиристорні ключі призначені для безконтактного включення навантаження, що працює на змінному струмі. Робота ключа розглянута на прикладі [3] логічного контролера, у якому застосовані модулі тиристорних ключів, комутуючі ланцюги змінного струму напругою 10...220 В і струмом 0,1...2 А (рис.7.5). Всі канали мають електронний захист від перевантажень при струмі 8...10 А. Тиристорні ключі працюють разом із пристроєм синхронізації.

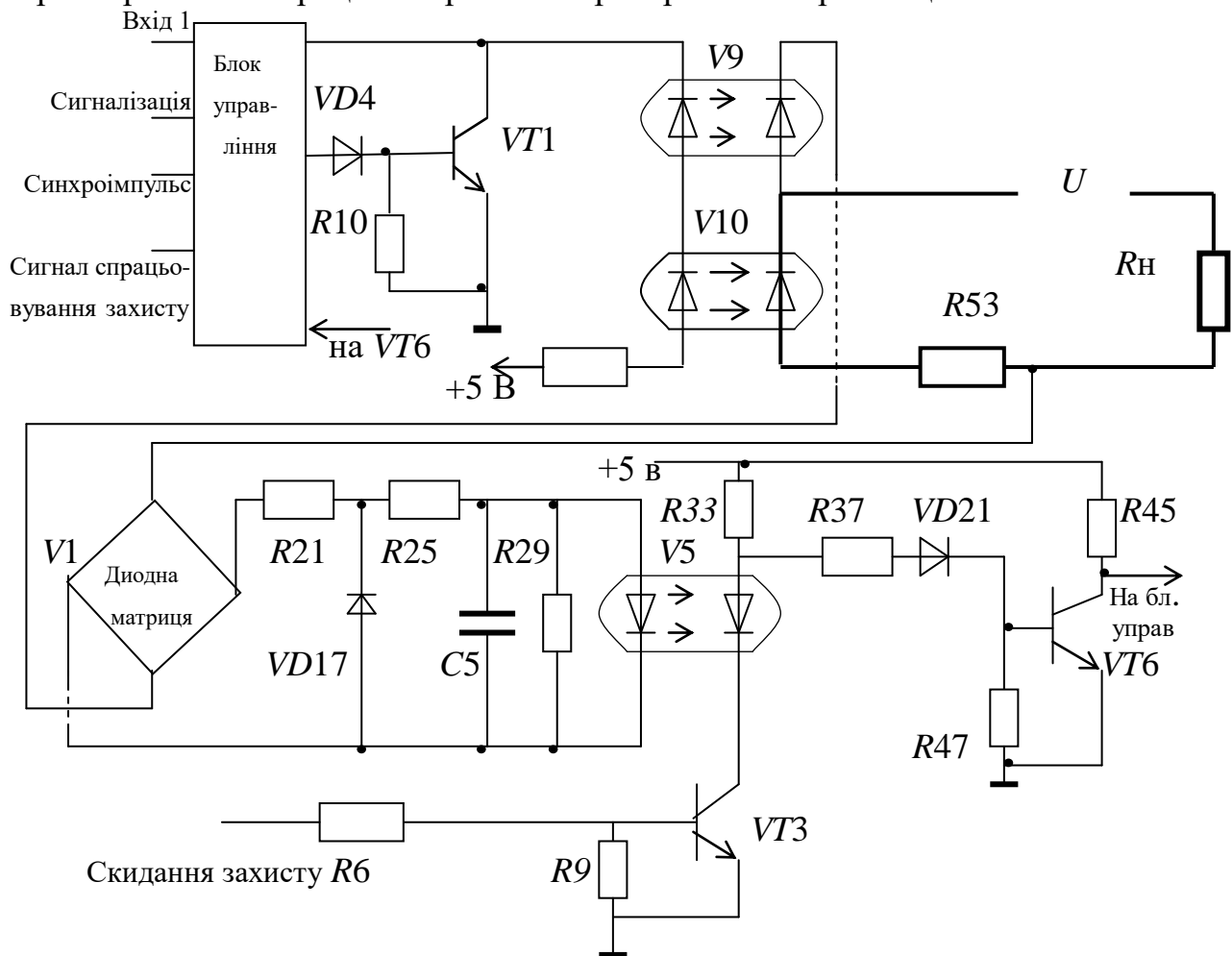


Рис.7.5 - Схема тиристорного ключа із захистом від струмових перевантажень

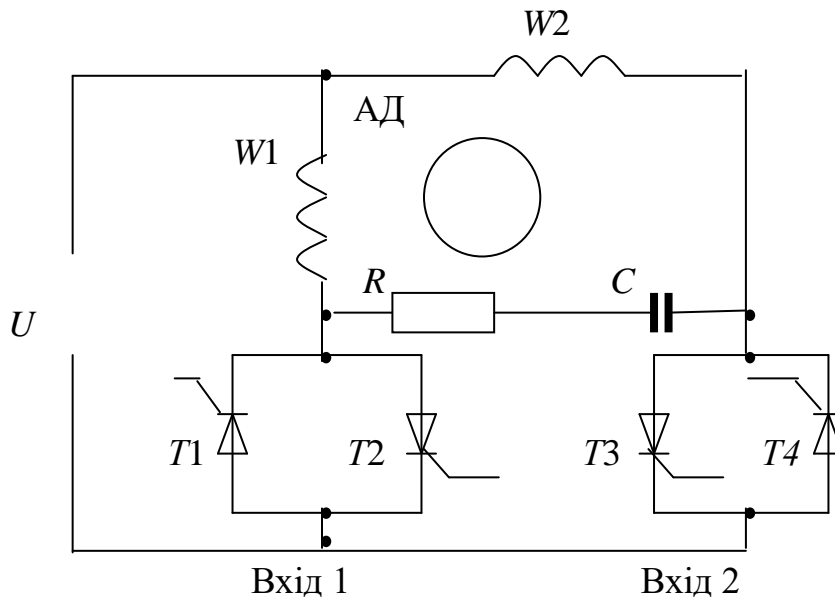
У пристрої формуються і надходять на всі канали тиристорного ключа імпульси: синхронізації, скидання захисту, що управляють сигналізацією.

При подачі на "Вхід 1" напруги лог. "0" на виході системи керування встановлюється лог. "1", транзистор $VT1$ відкривається і по світодіодам тиристорів $V9$, $V10$, включених в колекторний ланцюг транзистора $VT1$, протікає струм. Тиристори відкриваються, і в навантаженні, включеного в ланцюг тиристорів $V9$, $V10$, починає текти струм. На виході блоку керування з'являється сигнал "Сигналізація", що може використатися для сигналізації спрацьовування даного тиристорного ключа. При збільшенні струму в навантаженні до 8...10 А змінна напруга, що знімається з датчика струму, яким є включений у ланцюг навантаження - резистор $R53$, перетвориться на діодній матриці $V1$ у постійну, яка обмежується по амплітуді на стабілітроні $VD17$, згладжується фільтром $R25$, $C5$ і надходить на світодіод оптрона $V5$. Оптрон $V5$ відкривається, а транзистор $VT6$ закривається. Поріг спрацьовування оптрона $V5$ встановлюється за допомогою резистора $R25$.

Напруга лог. "1" з колектора $VT6$ надходить на блок керування, викликаючи закриття тиристора $VT1$. Тиристори $V9$ і $V10$ закриваються, і струм у навантаженні падає до нуля. Один раз протягом 4 с імпульс захисту закриває транзистор $VT3$, у колекторний ланцюг якого включений тиристор оптрона $V5$. Тиристор закривається, а транзистор $VT6$ відкривається, викликаючи при цьому відкриття транзистора $VT1$ і тиристорів $V9$, $V10$. Якщо струм у навантаженні знову перевищує 8..10 А, те знову спрацьовує електронний захист. При короткому замиканні в ланцюзі навантаження будь-якого каналу тиристорних ключів імпульс "Скидання захисту" надходить на схему включення за 10...15 електричних градусів до переходу синусоїди напруги через нуль, при цьому ударний струм перевантаження тиристорів не перевищує припустимих меж. Якщо перевантаження в ланцюзі навантаження усунута, то робота каналу ключа відбувається, як було описано вище.

Тиристорні ключі T дозволяють управляти асинхронним електродвигуном (рис.7.6). Схема керування складається з двох ланцюгів живлення, які підключаються до обмоток електродвигуна через тиристорні ключі по черзі, а також ємності C опором R для обмеження струму.

Для даної схеми відкриття тиристорів по входу 1 ($T1$, $T2$) при закритих тиристорах по входу 2 ($T3$, $T4$) приводить до обертання в одну сторону, а при відкритті тиристорів по входу 2 (при закритих тиристорах по входу 1) приводить до обертання в іншу сторону.



W1, W2 - обмотки електродвигуна АД

Рис.7.6 - Схема підключення тиристорних ключів до асинхронного двигуна

При цьому виконується перемикання конденсатора C у ланцюг однієї або іншої обмотки, що забезпечує:

- виникнення пульсуючої магніторушійної сили в магнітопроводі статора;
- просторове зрушення векторів струму з випередженням вектора однієї або іншої обмотки, таким чином, міняючи напрямок обертання електродвигуна.

Контрольні питання:

1. Укажіть фактор необхідності застосування перетворювачів і підсилювачів потужності.
2. Як діляться виконавчі елементи по виду використання енергії?
3. Які вимоги пред'являють до виконавчих елементів?
4. Укажіть методи регулювання напруги або потужності в електричному навантаженні.
5. Опишіть процес, що характеризується: кутом відкриття тиристора, кутом провідності тиристорного підсилювача потужності.

8 ОСОБЛИВОСТІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МПС АВТОМАТИЗАЦІЇ

Використання програмного керування істотно скорочує час розробки системи на основі мікропроцесора, полегшуючи завдання логічного проектування, спрощуючи внесення змін у ході роботи над проектом і при модернізації вже існуючих систем.

Під програмним забезпеченням розуміється сукупність програм, використовуваних у процесі підготовки і рішення завдань у МПС. Відповідно до виконуваних функцій програмне забезпечення МПС ділиться на загальне й спеціальне.

Загальне або системне (операційна система), тобто комплекс програмних засобів, що забезпечують розробку програм і організацію обчислювального процесу;

Спеціальне (прикладне) звичайно реалізується у вигляді пакетів прикладних програм (ППП):

ППП стандартного математичного забезпечення - сукупність програм реалізації стандартних методів (математичної статистики, обчислювальної математики, інтегрального вирахування та ін.) при рішенні різних прикладних завдань;

ППП спеціального призначення - сукупність програм, розроблювальних для рішення завдання або класу завдань (безпосередньо виконуюче керуванням об'єктом і обробку інформації), як правило, на базі ППП стандартного математичного забезпечення;

ППП метрологічного забезпечення - сукупність програм діагностики вимірювальних засобів МПС (вимірювальні модулі, канали) в автоматичному режимі в процесі експлуатації системи

Сукупність програм, реалізованих у даної МПС, називається її резидентним програмним забезпеченням. Програмне забезпечення, призначене для певної МПС, але реалізоване на інших, програмно не сумісних з нею обчислювальних засобах, називається кросовим програмним забезпеченням даної МПС. Для крос-систем автоматизації програмування неможливо врахувати всі особливості зовнішнього оточення МПС, тому необхідно додаткове налагодження на реальній МПС із урахуванням реального середовища. Резидентна система автоматизації програмування працює на тієї ж МПС, для якої створюється програмне забезпечення. Цей метод найпоширеніший при реалізації систем автоматизованого проектування.

Трудомісткість програмування і якість розроблювального програмного забезпечення в значній мірі визначається використовуваними розроблювачем мовами програмування, які прийнято ділити на три класи: машинні мови, мова асемблера і мови високого рівня.

Команди машинної мови представляються у вигляді цифрових кодів, безпосередньо сприйманих апаратними засобами. За допомогою машинних команд реалізують такі прості операції, як "Ввести в МП двійковий код із пристрою введення з певною адресою", "Зрівняти введений код з кодом, що

зберігається в осередку ЗП з певною адресою", "Переслати вміст регістра А в осередок ЗП із заданою адресою" і т.п.

Команди мовою асемблера мають вигляд мнемонічних позначень, а адреси із ЗП і константи можуть бути представлені не послідовністю битів, а символами [8]. Наприклад, команда пересилання даних з регістра А в регістр В мовою асемблера має вигляд: MOV А, В. При цьому для виконання операцій, які описуються всього декількома рядками природної мови людини, потрібно використати досить велику кількість команд мови асемблера. Асемблер являє собою мову символічного кодування для відповідної ЕОМ. Він заснований на системі команд і містить у собі ряд додаткових засобів для складання, зміни і оформлення програм. Між командами асемблера і командами (кодами) ЕОМ є взаємно однозначна відповідність.

У програмі, написаної на асемблері, замість кодів команд використовується їхнє мнемонічне позначення (як правило, скорочене назва команд), а адреси комірок пам'яті представляються символічними іменами. Тому програмістові неважко стежити за розміщенням команд і даних у пам'яті машини. У процесі трансляції символічні адреси перетворюються в дійсні машинні адреси відповідно до розподілу пам'яті, що автоматично виконує транслятор. Для того щоб позбавити програміста від необхідності написання однакових частин програм, у мову асемблера вводяться макрозасоби, які дозволяють програмістові задавати деяку послідовність команд як макровизначення, організувати бібліотеку макрофункцій. При написанні програми програміст ставить макрообіг із вказівкою фактичних параметрів у місцях, де потрібне виконання цієї послідовності, а асемблер при трансляції підставляє замість макрообігу макровизначення з відповідними фактичними параметрами або організує перехід до відповідної підпрограми-макрофункції з наступним поверненням в основну програму.

Час написання й налагодження програми, а також труднощі її розуміння і обслуговування пропорційні числу команд і складності кожної команди. Тому більшість програм записують на мовах високого рівня (Фортран, Бейсик, PL/M, Паскаль, СІ), які дозволяють виконувати найпоширеніші операції, такі як обчислення, присвоєння значень, умовні дії і ін., використовуючи в кожному випадку тільки один оператор даної мови високого рівня. Більш того, способи запису програм на мовах високого рівня полегшують їхню розробку, розуміння й обслуговування. У МПС реалізуються багато розповсюджених мов програмування високого рівня. Доцільність їхнього застосування в порівнянні з машинними мовами і мовою асемблера обумовлена підвищенням продуктивності праці програмістів, спрощенням супроводу програмних засобів, збільшенням мобільності програмного забезпечення і т.п.

Мови програмування високого рівня звичайно ділять на дві великі групи: процедурно- і проблемно-орієнтовані. Проблемно-орієнтовані мови спрямовані на рішення вузького класу завдань і спрощують розробку алгоритму. Програмування ведеться в поняттях, характерних для конкретної проблемної області. При цьому описується завдання, а не алгоритм її рішення. Створення

трансляторів із проблемно-орієнтованих мов вимагає більших затрат праці, тому їхнє застосування поки досить обмежене.

Процедурно-орієнтовані мови вищого рівня, створених для опису алгоритмів рішення завдань, діляться на машинно-залежні мови і алгоритмічні (машинно-незалежні).

Машинно-залежні мови високого рівня, наприклад PL/M, орієнтовані на наявні в МПС апаратні засоби, що перешкоджає їхньому широкому поширенню. Машинно-залежні мови по організації перебувають між кодами і проблемно-орієнтованими мовами високого рівня.

До алгоритмічних мов відносяться: Фортран, Бейсик, Модула-2, Паскаль, СІ і ін. Основні достоїнства програмування на цих мовах: висока продуктивність праці програміста, можливість переносу програм з однієї ЕОМ на іншу, простота експлуатації, наявність засобів контролю і т.п.

У цей час широке поширення одержала мова СІ, що має кілька основних типів об'єктів: символи (байти), цілі числа – короткі та довгі, обумовлені архітектурою МПС, а також числа із плаваючою комою. Це дозволяє застосовувати мову на різні види МПС із різною розрядною сіткою. Мова СІ - мова програмування середнього рівня. Вона набагато простіше у використанні і ефективніше асемблера. Іноді СІ називають мовою системного програмування, оскільки вона дуже зручна для написання відповідних програм, але фактично це універсальна мова - у ній відсутні засоби, що визначають спеціалізацію мови: дана підсистема вводу-виводу, в ній є операції над об'єктами високого рівня (масиви, записи), засоби для динамічного розподілу пам'яті.

Все це забезпечується зовнішніми підпрограмами (бібліотекою підпрограм).

На початкових етапах створення і впровадження обчислювальної техніки розробка прикладного програмного забезпечення виконувалась або в машинних кодах, або мовою асемблера. Програмування такого роду вимагає не тільки вільного володіння логіко-математичними прийомами мультипрограмування, обробки переривань, опису зв'язку із зовнішніми пристроями, але й глибокого знання архітектури і систем команд використовуваної мікроЕОМ і технічних засобів керування. Широке застосування мікропроцесорних засобів керування вимагає, щоб більшість фахівців, як розроблювачів, так і технологів, опанувало прийомами програмування завдань керування технологічним устаткуванням, а для цього необхідні доступні і відносно прості засоби (мови) опису програм керування. При створенні мов, орієнтованих на опис завдань керування, розроблювач зіштовхується з різноманітними і найчастіше суперечливими і неадекватними вимогами користувачів. Одним з перших кроків при розробці мов керування є вибір ступеня проблемної орієнтації мови. Проблемно-орієнтована мова користувача повинна дозволяти описати алгоритм функціонування устаткування (мова опису), запрограмувати цей алгоритм на конкретних мікропроцесорних технічних засобах (базова мова) і реалізувати алгоритм мовою мікроЕОМ (машинна мова)

Система керування технологічним устаткуванням повинна забезпечувати виконання двох основних функцій: керування циклом і параметрами.

Серед мов описів алгоритмів керування найбільш широке поширення одержали мови релейно-контактних символів. Даний спосіб програмування розглянутий у методичних вказівках до лабораторного практикуму "Мікропроцесорні системи автоматизації" [12]. Відносно простою, але досить ефективною є мова, заснована на принципі тимчасових інтервалів: "час - команда", "час - параметр". Програмне забезпечення системи керування устаткуванням, написане мовою високого рівня і оформлене у вигляді окремих програмних модулів, з яких компонується загальна програма, має природну мову користувача, що дозволяє в діалоговому режимі через функцію "меню" змінювати настроювання програми керування в досить вузьких межах, наприклад значення параметрів, тимчасові затримки, допусковий контроль і т.п.

Особливість сучасних МПС - застосування детермінованої багатозадачної операційної системи (ОС), що працює в реальному масштабі часу. Система характеризується ефективним використанням ресурсів, швидкою реакцією на події реального часу і забезпечує наступне:

- паралельну обробку декількох завдань у реальному масштабі часу;
- пріоритетну диспетчеризацію завдань і пріоритетний поділ ресурсів;
- детерміновану багатозадачність (точне пророкування часу);
- циклічність виконання завдань;
- використання і програмну підтримку широкого набору зовнішніх пристроїв;
- включення користувальницьких драйверів для нестандартних зовнішніх пристроїв;
- роботу з розширеною пам'яттю;
- перевірки працездатності і реєстрація помилок устаткування;
- виконання команд програми зв'язку з оператором.

Одиницею виконуваної роботи в ОС є завдання, що складається з одного або декількох об'єктних модулів, скомпонованих програмістом завдань у єдиний завантажувальний модуль - образ завдання. Черговість виконання кожного завдання визначається її пріоритетом.

Керуюча програма розпізнає існування завдання після її установки в системі. Процедура установки полягає в створенні блоку керування завданням у системному каталозі завдань.

Установлене завдання може бути в пасивному (пасивне завдання) або активному (активне завдання) стані. У першому завдання не має запиту на виконання, у другому має. Активне завдання може бути готове до виконання і блокуване. Готові до виконання завдання конкурують між собою за процесор і пам'ять на основі пріоритетів. Завдання з вищим пріоритетом одержують процесор. Завдання блокується через зайнятість необхідних ресурсів або закінчення часу, відведеного на її обслуговування.

Диспетчеризація завдань здійснюється на основі пріоритетів і забезпечує можливість циклічного виконання завдань.

Структура програмного забезпечення МПС, що складається з ядра і специфічних для контролера пакетів програм представлена на рис.8.1

Ядро операційної системи - це підтримуюча багатозадачний режим стандартна операційна система. Її основні функції - керування ресурсами прикладної програми і забезпечення багатозадачного режиму.

Специфічні для контролерів пакети програм розділяються на наступні класи:

- адміністратор системи;
- класи стандартних завдань;
- класи завдань підвищеної швидкості;
- програмне забезпечення для зв'язку;
- бібліотека функцій;
- системні завдання.

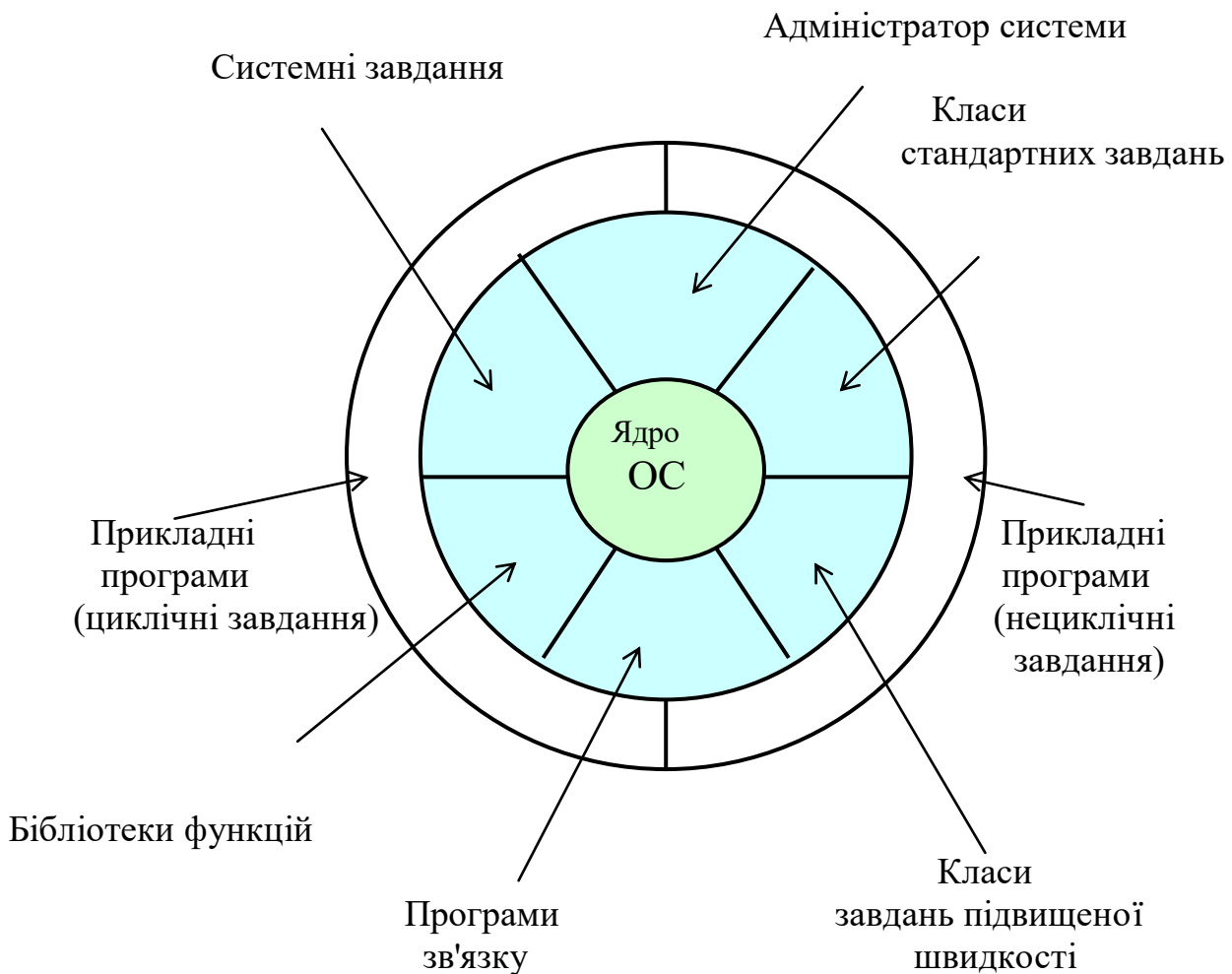


Рис. 8. 1 - Модульне програмне забезпечення МПС

Адміністратор системи активується через кожні 10 мс годинником операційної системи. На нього покладені функції: активація класів стандартних завдань відповідно до встановлених часів циклу, виконання системних

перевірок (наприклад, контроль часу циклу), відображення входів для окремих класів завдань, керування зв'язком із програматором або панелями оператора.

Класи стандартних завдань активуються адміністратором системи і виконують наступні функції: керування відображеннями входів-виходів для стандартних завдань, виклик завдань із класів стандартних завдань відповідно до порядку виконання завдань, фіксація значень входів і (або) висновків, виклик відображень виходів після обробки стандартних завдань.

Класи завдань підвищеної швидкості активуються перериваннями і виконують наступні функції: виклик і перевірка відображень входів-виходів для класу завдань підвищеної швидкодії, виклик завдань, фіксація значень входів і (або) висновків.

Програмне забезпечення для зв'язку активізується адміністратором системи або перериваннями зв'язку і виконує наступні функції: завантаження, зчитування (пересилання) змінних процесу, функції зв'язку.

Бібліотеки функцій - складається з великої кількості стандартних функцій для рішення стандартних завдань: математичних функцій, а також функцій доступу до апаратних засобів, системи, модулів. Більшість бібліотек функцій є розширеннями операційної системи (зберігаються в системному ПЗП) і повинні завантажуватися в контролер при необхідності.

Системні завдання керуються системою або прикладною програмою - це розширення операційної системи (яке зберігається в системному ПЗП). Прикладні програми управляються операційною системою і розділяються на дві групи: циклічні і нециклічні завдання. Циклічні завдання виконуються строго за певний інтервал часу (час циклу), нециклічні завдання - без контролю часу циклу. Час роботи МПС ділиться на окремі рівні проміжки – цикли: час, установлюваний користувачем виходячи з умов, необхідних для виконання завдання залежно від вимог періодичності контролю параметра або заданого часу на виконання алгоритму керування МПС. Нециклічні завдання виконуються тільки тоді, коли операційна система або завдання контролера не запитують час процесора на виконання циклічних завдань, наприклад, роздруківка звіту на принтері. Із цього висновок, що циклічні завдання мають більше високий пріоритет, чим нециклічні. Щоб визначити відносні пріоритети окремих завдань МПС установлені різні класи завдань: класи стандартних завдань, класи завдань підвищеної швидкості, а також різний час циклу для кожного класу завдань (таблиця 8.1). Всі завдання в даному класі завдань виконуються один раз протягом циклу, що контролюється адміністратором системи, щоб не перевищувалося встановлене користувачем час циклу. Класи стандартних завдань активізуються адміністратором системи (операційною системою), а класи завдань підвищеної швидкості - перериваннями. Пріоритет завдання не залежить від тривалості її виконання. У МПС фірми V&R завдання підвищеної швидкості представлені стандартними (Cyclic) і таймерними (Timer) завданнями [13], які можуть викликатися і контролюватися значно швидше (від 1 мс), чим стандартні завдання.

Таблиця 8.1 - Класи завдань, час циклу МПС B&R System 2003

Клас задачі	Час циклу	Допуск
Timer#1	3 мс	-
Cyclic#1	10 мс	20 мс
Cyclic#2	50 мс	50 мс
Cyclic#3	100 мс	100 мс
Cyclic#4	10 мс	30000 мс

Примітка: у таблиці 8.1 час циклу даний за замовчуванням, його можна при необхідності змінити в діалоговому вікні програми.

Обробка всіх завдань виконується за принципом "якнайшвидше", час запуску завдання завжди кратно 10 мс. До часу циклу додається допуск. Якщо перевищено повний час циклу (основний час плюс допуск) - адміністратор генерує порушення максимального часу циклу.

Приклад: - Розподіл часу виконання різних класів завдань.
У системі виконуються завдання кілька різних класів (таблиця 8.2).

Таблиця 8.2 - Початкові дані по класу задач, часу виконання і часу циклу завдань

Час виконання програми	Клас задачі	Час циклу класу завдань
0,8 мс	Cyclic#1	10 мс
1,6 мс	Cyclic#2	50 мс
20 мс	Cyclic#3	100 мс
2,2 мс	Cyclic#4	Якнайшвидше, коли система вільна

Черговість виконання завдань відповідно до їх пріоритету показана на діаграмі розподілу часу виконання різних класів завдань - рис. 8.2

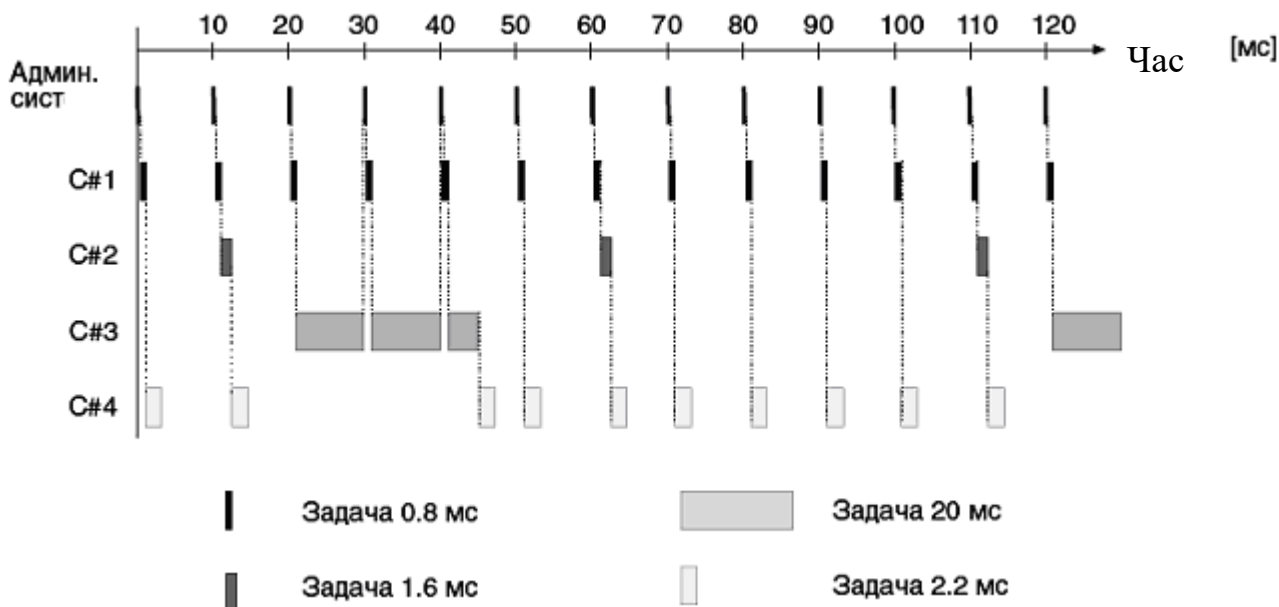


Рис. 8.2 - Діаграма розподіл часу виконання різних класів завдань

З наведеної діаграми маємо, що найвищий пріоритет із класів стандартних завдань має завдання Cyclic#1, потім Cyclic#2 і т.д., завдання з високим пріоритетом можуть переривати виконання завдань із більше низьким пріоритетом. Класи завдань із циклами, що відрізняються - запускаються із затримкою 10 мс.

Контрольні питання:

1. Укажіть склад програмного забезпечення МПС.
2. Які фактори впливають на трудомісткість програмування?
3. Укажіть 2 основні напрямки мов програмування високого рівня при рішенні вузького і широкого кола завдань.
4. Укажіть особливості програмного забезпечення, застосованого в МПС.
5. Як здійснюється диспетчеризація завдань при роботі МПС?
6. Опишіть структуру програмного забезпечення МПС.
7. По якій ознаці визначають різні пріоритети окремих завдань МПС?
8. З якою метою встановлюється час циклу?

ЛІТЕРАТУРА

1. Новиков Ю.В., Скоробогатов П.К. Основы микропроцессорной техники. -М.: БИНОМ, 2006. - 359с.
2. Костров Б. В., Ручкин В. Н. Микропроцессорные системы. -М.: ТЕХБУХ, 2005. - 208 с.
3. Микропроцессорное управление технологическим оборудованием микроэлектроники. Під ред. Сазонова А. А. –М.: Радио и связь, 1988. -264с.
4. Микроэлектронные устройства автоматики. Під ред. Сазонова А. А. - М.: Энергоатомиздат, 1991. - 384 с.
5. Полищук Е.С. Измерительные преобразователи. - К: Высшая школа, 1981г. - 296с.
6. Подлесный Н. И., Рубанов В. Г. Элементы систем автоматического управления и контроля. -К.: Вища школа, 1991. - 461 с.
7. Евреинов Э. В. Цифровая и вычислительная техника. –М.: Радио и связь, 1991. -378 с.
8. Задков В. Н., Пономарев Ю. В. Компьютер в эксперименте: архитектура и программные средства систем автоматизации. -М.: Наука, 1988. - 376 с.
9. Измерительно-вычислительные средства автоматизации производственных процессов. /Е. А. Чернявский, Д. Д. Недосекин, В. В. Алексеев. -Л.: Энергоатомиздат, 1989. — 272 с.
10. Сobotка З., Стары Я. Микропроцессорные системы. -М.: Энергоиздат, 1981. - 496 с.
11. Алиев Т. М., Тер-Хачатуров. Измерительная техника. -М.: Высшая школа, 1991. - 384 с.
12. Мікропроцесорні системи автоматизації. Методичні вказівки до лабораторного практикуму для студентів ЗДІА спеціальності «Гідроенергетика». /Чван В. М., Назаренко В. В. – ЗДІА, 2006. - 27 с.
13. Посібник програмного забезпечення контролерів фірми B&R System 2003. <http://www.mikroteh.zp.ua>.
14. Посібник апаратного забезпечення контролерів фірми B&R System 2003. [http// www.mikroteh.zp.ua](http://www.mikroteh.zp.ua).

ДОДАТОК А

Модулі контролера V&R System 2003 [14]

МПС V&R Sistem 2003 може бути використана як повна система керування так і як система віддаленого вводу-виводу для розширення промислових мікропроцесорних систем.

Модульна конструкція системи і різноманітні вставні модулі дозволяють приєднати до неї майже будь-який датчик і виконавчий механізм, забезпечує виконання конфігурації системи без надмірності апаратної частини, комплектуючи контролер пристроями (модулями) відповідно до вимог технічного завдання.

Основні складові частини пристрою системи:

1. модуль процесора (CPU) - рис.А.1-А.4,
2. модуль контролера шини - рис.А.5-А.7,
3. модуль вхідний - рис.А.8-А.9,
4. модуль вихідний - рис.А.10-А.12,
5. змішані модулі - рис.А.13-А.14,
6. аналогові модулі вхідні, вихідні й змішані - рис.А.15-А.17,
7. температурні модулі - рис.А.18,
8. комбіновані модулі - рис.А.19,
9. модулі мережі (модулі інтерфейсу) - рис.А.20,
10. модуль адаптера (використається як перехідна ланка для вставних модулів) - рис.А.21.

1 Модулі процесора (CPU)
2

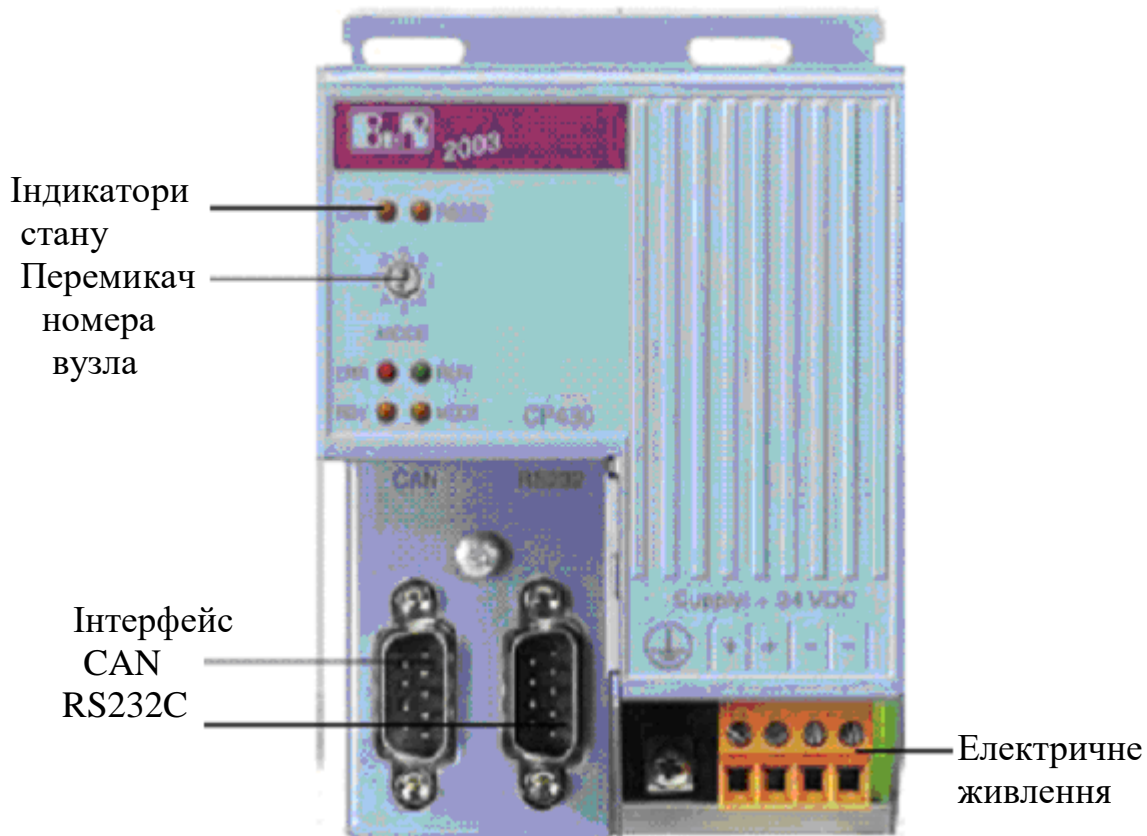


Рис. А.1 - Модуль процесора 7CP430.60-1, 7CP430.60-2, 7CP4770.60-1

Таблиця А.1 - Дані процесорів по рис.А.1

Номер моделі	ОЗП	ПЗП	Напруга живлення	Потужність модуля	Інтерфейс
7CP430.60-1	100 Кб	256 Кб	24 В	7 Вт	RS-232, CAN
7CP430.60-2	350 Кб	512 Кб	24 В	14 Вт	RS-232, CAN
7CP4770.60-1	100 Кб	256 Кб	100-240 В	14 Вт	RS-232, CAN

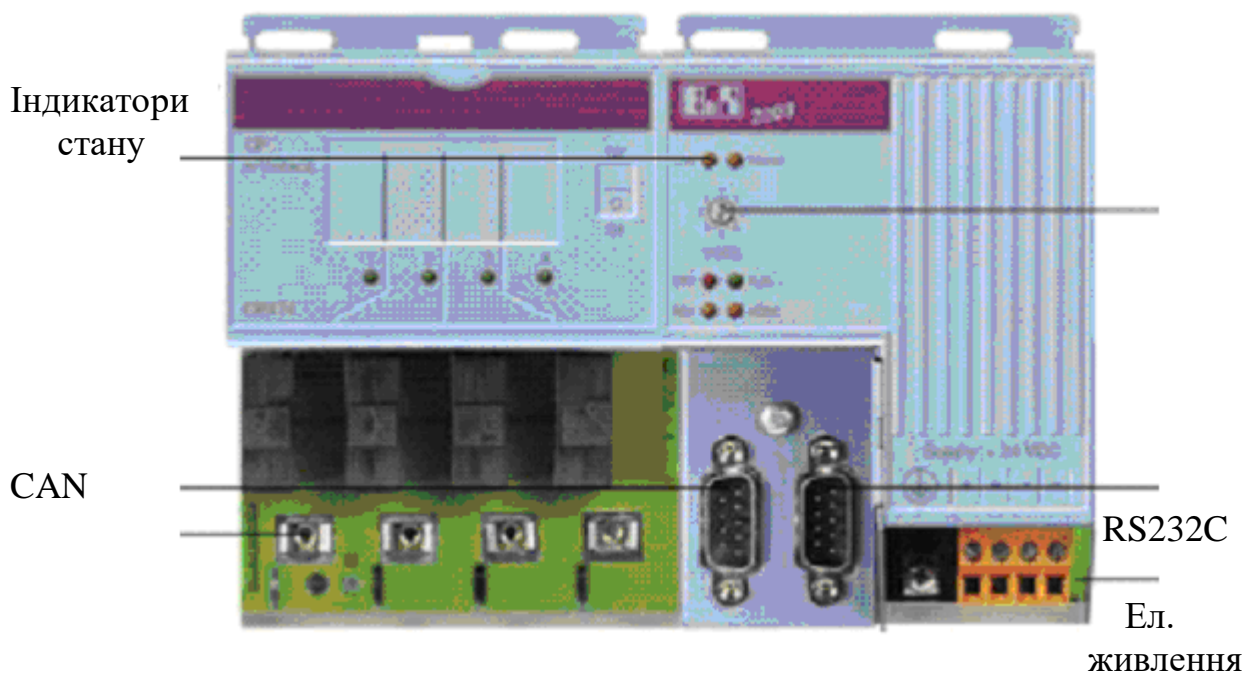


Рис. А.2 - Модуль процесора 7СР474.60-2, 7СР774.60-1, 7СР476.60-1

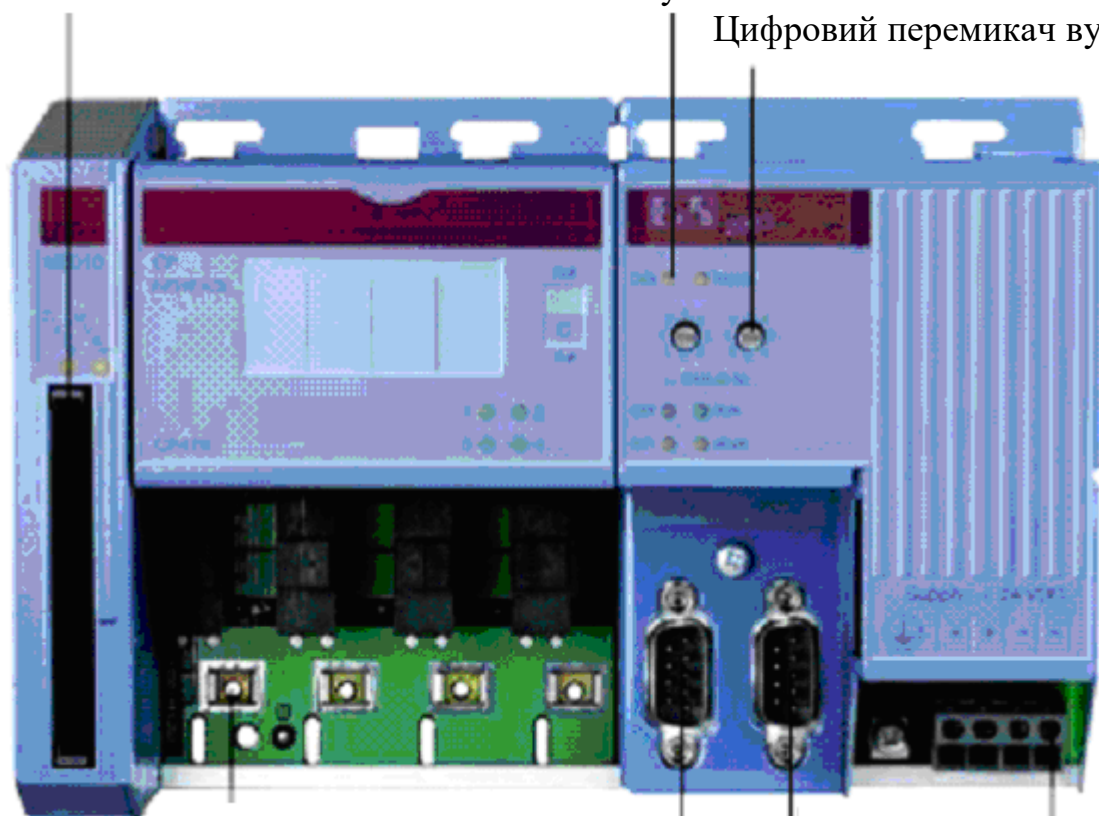
Таблиця А.2 - Дані процесорів по рис.А.2

Номер моделі	ОЗП	ПЗП	Напруга живлення	Потужність модуля	Інтерфейс
7СР430.60-1	750 Кб	512 Кб	24 В	12,6 Вт	RS-232, CAN
7СР430.60-2	100 Кб	512 Кб	100-240 В	12,6 Вт	RS-232, CAN
7СР4770.60-1	750 Кб	1,5 Мб	24 В	12,5 Вт	RS-232, CAN

Місце для карт пам'яті

Індикатори
стану

Цифровий перемикач вузла



Чотири локальних
місця для змінних
модулів

CAN

RS232C

Ел.
живлення

Рис. А.3 - Модуль процесора 7CP476.010-9, 7CP476.020-9

Таблиця А.3 - Дані процесорів по рис.А.3

Номер моделі	ОЗП	ПЗП	Напруга живлення	Потужність модуля	Інтерфейс
7CP476.010-9	750 Кб	1,5 Мб	24 В	12,15 Вт	RS-232, CAN
7CP476.020-9	750 Кб	1,5 Мб	24 В	11,8 Вт	RS-232, CAN

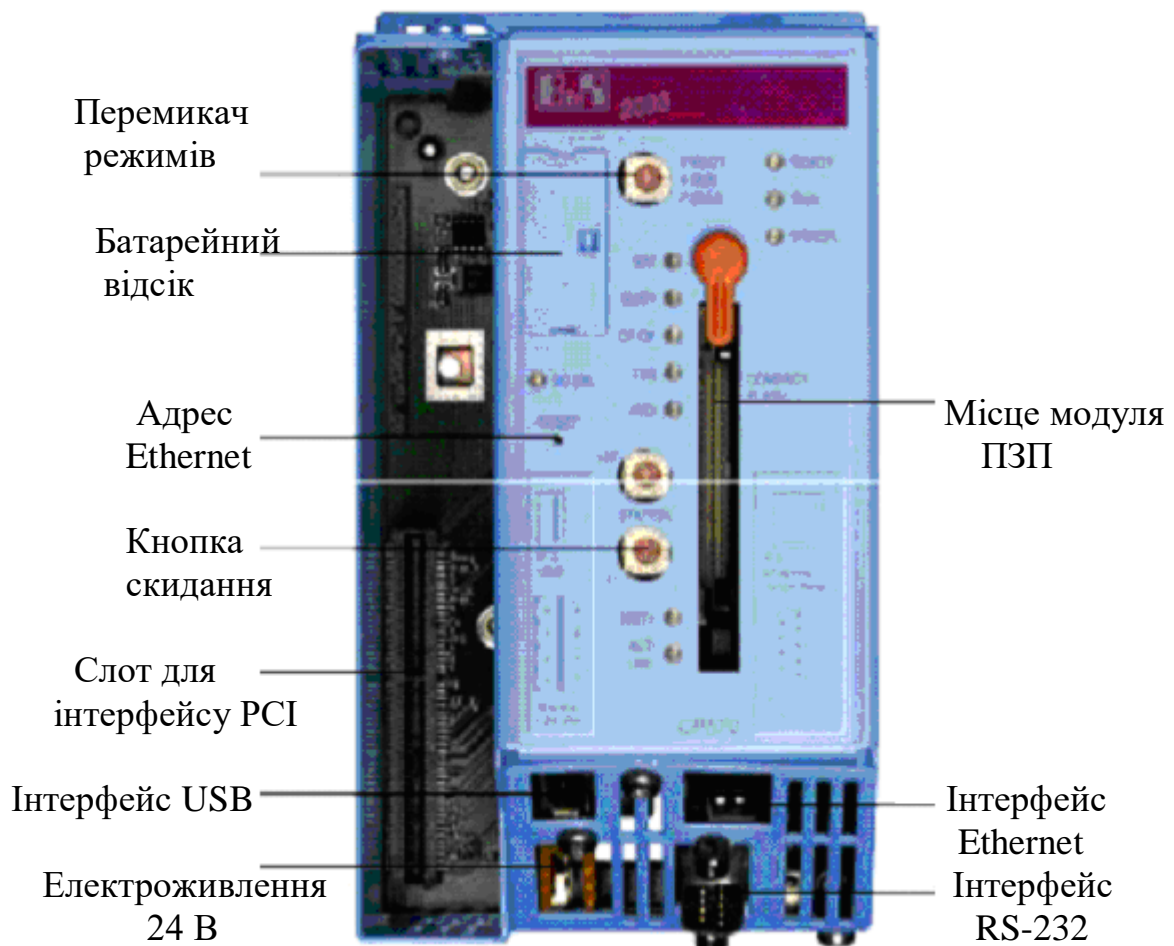


Рис. А.4 - Модуль процесора 7CP570.60-1

Таблиця А.4 - Дані процесорів по рис.А.4

Номер моделі	ОЗП	ПЗП	Напруга живлення	Потужність модуля	Інтерфейс
7CP570.60-1	512 Кб	16 Мб	24 В	15 Вт	RS-232, Ethernet, USB, інтерфейс модуля PCI

2. Модулі контролера шини



Рис. А.5 - Модуль контролера шини CAN 7EX270.50-1, вставний
Таблиця А.5 - Дані контролерів по рис.А.5

Номер моделі	Напруга живлення	Потужність модуля	Інтерфейс
7EX270.50-1	24 В	4 Вт	CAN



Рис. А.6 - Модуль контролера шини CAN 7EX470.50-11

Таблиця А.6 - Дані контролерів по рис.А.6

Номер моделі	Напруга живлення	Потужність модуля	Інтерфейс
7EX470.50-11	24 В; 100-240В	14,5 Вт	CAN – 2 шт.



РисА.7 - Модуль контролера шини ETNETNET 7EX481.50-1, 7EX484.50-1

Таблиця А.7 - Дані контролерів по рис.А.7

Номер моделі	Напруга живлення	Потужність модуля	Інтерфейс
7EX481.50-1	24 В	20 Вт	Ethernet
7EX484.50-1	24 В	20 Вт	Ethernet – 4 шт.

3. Цифровий вхідний вставний модуль



Рис. А.8 - Цифровий вхідний модуль 7DI 135.70, 7DI 138.70, 7DI 140.70

Таблиця А.8 - Дані вхідних цифрових модулів по рис.А.8

Номер моделі	Кіл. каналів	Параметри
7DI 135.70	4 входи 24 В	Цифровий вхід -1, режим лічильника подій – 2, режим інкрементного датчика положення -1. Споживана потужність – 0,4 Вт
7DI 138.70	10 входів 24 В	Режим лічильника подій – 2, цифрові входи – 8 Споживана потужність – 0,4 Вт
7DI 140.70	10 входів 24 В	Цифрові входи -6, функції лічильника подій – 4, Споживана потужність – 0,4 Вт



Рис. А.9 - Цифровий вхідний модуль 7DI 435.7, 7DI 439.7, 7DI 1645.7

Таблиця А.9 - Дані вхідного модуля по рис. А.9

Номер моделі	Кіл. каналів	Параметри	Споживана потужність
7DI 435.7	8 входів 24 В	Цифрові входи	0,2 Вт
7DI 439.7	16 входів 24 В	Цифрові входи	0,4 Вт
7DI 1645.7	8 входів 100-240 В	Цифрові входи	0,2 Вт

4 Цифрові вихідні модулі



Рис. А.10 - Цифровий вихідний модуль 7DO 135.70, 7DO 138.70, 7DO 139.70, 7DO 164.70

Таблиця А.10 - Дані вихідного модуля по рис. А.10

Номер моделі	Кіл. каналів	Параметри
7D0 135.70	4 виходи 10-24 В, 0,1 А	Цифрові виходи або виконання спеціальних функцій: а)широтно-імпульсна модуляція – періодичне включення\виключення виходів (можна задавати тривалість імпульсу, період і дозвіл; б) режим ТРУ –для швидкодіючої обробки сигналів. Споживана потужність –0,2 Вт
7D0 138.70	8 виходів 24 В 0,5 А	Вихідний ланцюг – джерело струму. Споживана потужність – 0,25 Вт
7D0 139.70	8 виходів 12-24 В 0,5 А	Цифрові виходи, живлення датчиків - зовнішнє. Споживана потужність – 0,25 Вт
7D0 164.70	4 семісторних виходи 48-125 В, 50 мА, частота 48-63 Гц	Застосування - для вироблення керуючих імпульсів для фазового керування потужними семісторами. Живлення датчиків –зовнішнє. Споживана потужність –0,6 Вт



Рис. А.11 - Цифровий вихідний модуль 7D0 435.7, 7D0 720.7

Таблиця А.11 - Дані вихідного модуля по рис. А.11

Номер моделі	Кіл. каналів	Параметри
7D0 435.7	До 8, 24 В, 2 А	Конфігуруються програмно як входи або як виходи. Живлення датчика – зовнішнє. Споживана потужність – 0,5 Вт
7D0 720.7	8 виходів 240 В \approx / 30 В \approx , 2 А	Живлення датчика – зовнішнє. Споживана потужність – 1,4 Вт



Рис. А.12 - Цифровий вихідний модуль 7D0 721.7, 7D0 722.7

Таблиця А.12 - Дані вихідного модуля по рис. А.12

Номер моделі	Кіл. каналів	Параметри
7D0 722.7	8 виходів 240 В \approx / 24 В \approx , 2,5 А	Живлення датчика -зовнішнє. Споживана потужність – 1,4 Вт
7D0 721.7	4 виходи 240 В \approx / 24 В \approx , 4 А	Живлення датчика -зовнішнє. Споживана потужність – 1,4 Вт

5 Цифрові змішані модулі



Рис. А.13 - Цифровий змішаний модуль 7DM 435.7

Таблиця А.13 - Дані вихідного модуля по рис. А.13

Номер моделі	Кіл. каналів	Параметри
7DM 435.7	8 входів, 8 виходів 24 В=, 0,5 А	Вхідний ланцюг - режим споживання або джерело струму, вихідний - джерело струму. Живлення датчика – зовнішнє. Споживана потужність – 0,5 Вт



Рис. А.14 - Цифровий змішаний модуль 7DM 465.7

Таблиця А.14 - Дані вихідного модуля по рис. А.14

Номер моделі	Кіл. каналів	Параметри
7DM 465.7	16 входів, 16 виходів 24 В= Вихідний струм 0,5 А	Вхідний ланцюг - режим споживання, вихідний - джерело струму. Живлення датчика – зовнішнє Споживана потужність – 1,1 Вт.

6 Аналогові модулі



Рис. А.15 - Аналоговий вхідний модуль 7AI 261.7, 7AI 1351.70, 7AI 1354.70, 7AI 1774.70

Таблиця А.15 - Дані вхідного модуля по рис. А.15

Номер моделі	Кіл. каналів	Параметри
7AI 261.7	1 вхід для підключення мостового тензодатчика	Дозвіл цифрового перетворювача - 24 біта. З'єднання 4-провідне. Вхідний струм - менше 140 ма. Вимірювальний діапазон $\pm 1 \dots \pm 16$ мВ/В, встановлюється програмно. Робочий діапазон вимірювального датчика - 75-5000 Ом. Робоча напруга моста -4,5 В. Споживана потужність - 0,6 Вт
7AI 1351.70	1 аналоговий вхід	± 10 В або 0-20 мА, конфігурується перемикачем, дозвіл 12 біт, вихідний формат INT. Споживана потужність - 0,3 Вт
7AI 1354.70	4 аналогових входи	± 10 В, дозвіл 12 біт, вихідний формат INT. Споживана потужність - 0,5 Вт
7AI 1774.70	4 аналогових входи	0-20 мА. , дозвіл 12 біт, вихідний формат INT. Споживана потужність - 0,4 Вт



Рис. А.16 - Аналоговий вихідний модуль 7АТ 352.70

Таблиця А.16 - Дані вихідного модуля по рис. А.16

Номер моделі	Кіл. каналів	Параметри
7АО 352.70	2 аналогових виходи	± 10 В або 0-20 мА, установка перемикачем, , дозвіл 12 біт. Споживана потужність - 1,2 Вт



Рис. А.17 - Аналоговий змішаний модуль 7АМ 351.70

Таблиця А.17 - Дані вихідного модуля по рис. А.17

Номер моделі	Кіл. каналів	Параметри
7АМ 351.70	2 аналогових: вводи, виводи – по одному каналу	± 10 В, дозвіл 16 біт. Споживана потужність - 1,4 Вт

7 Температурні модулі



Рис. А.18 - Температурний модуль 7AT 324.70, 7AT 352.70, 7AT 664.70

Таблиця А.18 - Дані вихідного модуля по рис. А.18

Номер моделі	Кіл. каналів	Параметри
7AT 324.70	4 вхідних канали	Використовується для обробки сигналів датчиків температури PT100 – (-200 ⁰ С...850 ⁰ С), PT1000 – (-200 ⁰ С...850 ⁰ С), КТУ10-6 – (-50 ⁰ С...150 ⁰ С), КТУ84-130 - (-40 ⁰ С...300 ⁰ С), дозвіл цифрового перетворювача - 16 біт, вимір опору у двопровідному режимі з живленням постійним струмом. Споживана потужність – 0,1 Вт
7AT 352.70	2 вхідних канали	Використовується для обробки сигналів датчиків температури PT100 – (-200 ⁰ С...850 ⁰ С), вимір опору в трьохпровідному режимі, дозвіл цифрового перетворювача - 16 біт Вимірювальний діапазон: -200 ⁰ С...327,67 ⁰ С, дозвіл 0,01 ⁰ С -200 ⁰ С...850 ⁰ С, дозвіл 0,1 ⁰ С Споживана потужність – 0,4 Вт
7AT 664.70	4 входи для термопар	Вимірювальний діапазон: FeCuNi Тип J -210...1200 ⁰ С NiCrNi Тип К -270 1372 ⁰ С PtRhPt Тип S -50 1768 ⁰ С Компенсація температури виводів термопарі конфігурується. Споживана потужність-0,4 Вт

8 Комбіновані модулі



Рис. А.19 - Комбінований модуль 7CM211.7, 7CM411.70-1

Таблиця А.19 - Дані комбінованого модуля по рис. А.19

Номер моделі	Кіл. каналів	Параметри
7CM211.7	8 цифрових входів, 8 цифрових виходів, 2 аналогових входи, 2 аналогових виходи, спеціальні функції	Вхід – 24 В, вихід – 24 В, 0,5 А. Аналоговий вхід - ± 10 В/0...20мА, установлюється перемикачем. Аналоговий вихід - ± 10 В. Дозвіл цифрового перетворювача 12 біт. Додаткові функціональні можливості для входів - 3 лічильники подій, 3 зміна періодів, 3 зміна часу стробування, 2 інкрем. датчики положення. Споживана потужність - 1,5 Вт
7CM411.70-1	3 цифрових входи, 2 цифрових виходи, 3 аналогові входи, 3 аналогові виходи спеціальні функції	Вхід – 24 В, вихід – 24 В, 0,5 А. Аналоговий вхід - ± 10 В, 1 – інкр. датчик положення, 2 лічильники подій, Споживана потужність – 2,4 Вт

9 Інтерфейсні модулі



Рис. А.20 - Інтерфейсний модуль 7IF311.7, 7IF321.7

Таблиця А.20 - Дані інтерфейсного модуля по рис. А.20

Номер моделі	Кіл. каналів	Параметри
7IF311.7	1 x RS232	Максимальна швидкість передачі – 115,2 Кбит/с. Споживана потужність – 0,5 Вт
7IF321.7	1 x RS485/ RS422	Максимальна швидкість передачі – 115,2 Кбит/с. Споживана потужність – 1,4 Вт

11. Модуль адаптера



Рис. А.21 - Модуль адаптера 7 AF101.7

Таблиця А.21 - Дані модуля адаптера по рис. А.21

Номер моделі	Кіл. каналів	Параметри
7 AF101.7	4 слота для вставних модулів	Вставні модулі уставляються в слоти адаптера і закріплюються гвинтами. Споживана потужність - 0,3 Вт

ДОДАТОК Б

Характеристика основних мереж МПС автоматизації

Б.1 Мережі, застосовувані для зв'язку в МПС

Profibus - широко використовувана в Європі і США -промислова шина для систем автоматизації і контролю. PROFibus-DP - це оптимізований по продуктивності протокол, розроблений спеціально для підтримки критичного в часі доставки обміну інформацією між розподіленими інтелектуальними вузлами вводу/виводу на нижніх ієрархічних рівнях системи PROFibus. Організація мережі - лінійна шина із централізованою процедурою доступу типу "ведучий - ведений".

Тільки головні станції, називані "активними", мають доступ до шини. Підлеглі або пасивні станції можуть тільки відповідати на запити. Максимальна кількість "ведених" пристроїв - 126. Середовище передачі: екранована кручена пара, волоконно-оптична, інфрачервона. Швидкість передачі/довжина сегмента: від 9,6Кбит/с/1200м до 12Мбит/с/100м.

CANopen - послідовна шина, використовувана в розподілених системах керування (а також в інших областях автоматизації і контролю) для об'єднання інтелектуальних датчиків, інтелектуальних приводів і високорівневих систем. Має високу завадостійкість. Низька вартість визначається гарним співвідношенням ціна/продуктивність, а також широкою доступністю CAN-контролерів на ринку. Надійність визначається лінійною структурою шини і рівноправністю її вузлів, при якій кожен вузол CAN може одержати доступ до шини. Будь-яке повідомлення може бути послано одному або декільком вузлам. Всі вузли одночасно зчитують із шини інформацію, і кожний з них вирішує прийняти дане повідомлення або ігнорувати його. Одночасний прийом дуже важливий для синхронізації в системах керування. Вузли, що відмовили, відключаються від обміну по шині. Максимальна кількість "ведених" пристроїв - 127. Середовище передачі: екранована кручена пара або волоконно-оптична лінія. Швидкість передачі/довжина сегмента: від 10 Кбит/с/5000м до 1 Мбит/с/30м.

Industrial Ethernet - шина Ethernet знаходить все більше поширення в системах керування виробничим устаткуванням (більше 80% мережних рішень в усій світі створюється на основі Ethernet). Підтримка Ethernet, протоколів TCP/IP і SNMP реалізується в пристроях і контролерах, що дозволяє включати їх у мережу Ethernet або забезпечує взаємодію з устаткуванням різного класу. Поступове впровадження технологій Ethernet допоможе виключивши додаткові протоколи, побудувати більше однорідні мережі. Розвиток технології і поліпшення характеристик у багатьох випадках дозволяє ефективно використати її як промислову мережу. Завдяки підвищеній пропускну здатності, високопродуктивним пристроям комутації і маршрутизації, рішення проблеми детермінізму, ця технологія стає сильним конкурентом іншим локальним промисловим мережам і шинам. У рішеннях Siemens і VIPA (Німеччина) Industrial Ethernet представлені напрямком Simatic Net. Мережа

Industrial Ethernet використовується для обміну даними між програмувальними контролерами, а також між програмувальними контролерами і інтелектуальними партнерами по зв'язку (комп'ютерами, процесорами і т.д.). Середовище передачі: екранована кручена пара, волоконно-оптична лінія. Швидкість передачі/довжина сегмента: від 10 Кбит/с/3000м до 100Мбит/с/500м.

Б.2 Характеристика інтерфейсів Centronics, RS-232C, CAN, USB, шини PCI [1]

Б.2.1 Інтерфейс Centronics

Основним призначенням інтерфейсу Centronics (вітчизняний аналог - стандарт ИРПР-М) є підключення до комп'ютера принтерів різних типів (через що його називають принтерним портом). Тому розподіл контактів, призначення сигналів, програмні засоби керування інтерфейсом орієнтовані саме на таке застосування. У той же час, за допомогою даного інтерфейсу можна підключати до комп'ютера і багато інших стандартних зовнішніх пристроїв (наприклад, сканери, дисководи і т.д.), а також нестандартні зовнішні пристрої.

Призначення 36 контактів з'єднувачів Centronics і відповідних їм контактів з'єднувачів принтера наведено в табл. Б.1. У таблиці символ І позначає вхідний сигнал комп'ютера, а ОБ - вихідний сигнал.

Сигнали інтерфейсу Centronics мають наступне призначення:

- D0...D7 - 8-розрядна шина даних для передачі з комп'ютера в принтер (передбачається і можливість двонаправленої передачі даних).
- STROBE - сигнал стробування даних. Дані дійсні як по передньому, так і по задньому фронту цього сигналу. Сигнал сигналізує приймачу (принтеру) про те, що можна приймати дані із шини даних.
- ACK - сигнал підтвердження прийняття даних і готовності приймача (принтера) прийняти наступні дані. Тобто реалізується асинхронний обмін.
- BUSY - сигнал зайнятості принтера обробкою отриманих даних і неготовності прийняти наступну порцію даних. Активний також при переході принтера в стан off-line, при помилці і при відсутності паперу. Комп'ютер починає новий цикл передачі тільки після зняття -ACK і після зняття BUSY.
- AUTO FD - сигнал автоматичного перекладу рядка. Одержавши його, принтер переводить каретку на наступний рядок тексту.

Інші сигнали не є обов'язковими.

- PE - сигнал кінця паперу. Одержавши його, комп'ютер переходить у режим очікування. Якщо в принтер вставити аркуш паперу, то сигнал знімається.

- SLCT - сигнал готовності приймача. З його допомогою принтер повідомляє про те, що він обраний і готовий до роботи. У багатьох принтерів має постійно високий рівень.
- SLCT IN - сигнал, за допомогою якого комп'ютер повідомляє принтеру про те, що той обраний, і піде передача даних.
- ERROR - сигнал помилки принтера. Активний при внутрішній помилці, переході принтера в стан off-line або при відсутності паперу. Як бачимо, тут багато сигналів дублюють один одного.
- INI - сигнал ініціалізації (скидання) принтера. Його тривалість становить не менш 2,5 мкс. По ньому відбувається очищення буфера пам'яті.

Таблиця Б.1 - Характеристика сигналів інтерфейсу Centronics

Призначення контактів	Сигнал	I/O	Контакт з'єднувача принтера
1	-STROBE	O	1
2	DO	O	2
3	D1	O	3
4	D2	O	4
5	D3	O	5
6	D4	O	6
7	D5	O	7
8	D6	O	8
9	D7	O	9
10	-ACK		10
11	BUSY		11
12	PE		12
13	SLCT		13
14	-AUTO FD	0	14
15	-ERROR	I	32
16	-INIT	0	31
17	-SLCT IN	0	36
18...25	GND	-	16, 17, 19...30, 33

Тимчасова діаграма циклу передачі даних представлена на рис. Б.1. Перед початком циклу передачі даних комп'ютер повинен переконатися, що знято

сигнали BUSY і -ACK. Після цього виставляються дані, формується строб, знімається строб, і знімаються дані. Принтер повинен встигнути прийняти дані з обраним темпом. При одержанні строба принтер формує сигнал BUSY, а після закінчення обробки даних виставляє сигнал -ACK, знімає BUSY і знімає -ACK. Потім може починатися новий цикл.

Максимальна довжина сполучного кабелю по стандарті - 1,8 м. Максимальна швидкість обміну - 100 Кбайт/с.

Формування і прийом сигналів інтерфейсу Centronics виробляється шляхом запису і читання виділених для нього портів вводу/виводу. У комп'ютері може використатися три порти Centronics, позначуваних LPT1 (базова адреса 378), LPT2 (базова адреса 278) і LPT3 (базова адреса 3BC).

Базова адреса порту використовується для передачі принтеру байта даних. Установлені на лініях дані можна вважати із цього ж порту.

Наступна адреса (базовий + 1) служить для читання битів стану принтера (біт 3 відповідає сигналу -ERROR, біт 4 - сигналу SLCT, біт 5 - сигналу PE, біт 6 - сигналу -ACK, біт 7 - сигналу BUSY). Остання використовувана адреса (базовий + 2) застосовується для запису битів керування принтером (біт 0 відповідає сигналу -STROBE, біт 1 - сигналу -AUTO FD, біт 2 - сигналу -INI, біт 3 - сигналу -SLCT IN і, нарешті, біт 4, дорівнює одиниці, дозволяє переривання від принтера).

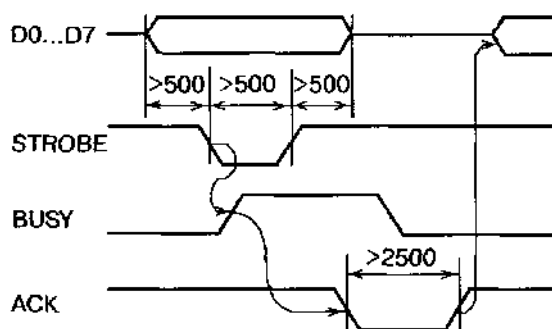


Рис.Б.1 - Тимчасові діаграми циклу передачі даних в Centronick (всі тимчасові інтервали зазначені в наносекундах)

При сполученні з комп'ютером через паралельний порт LPT якого-небудь іншого пристрою (не принтера) призначення сигналів і порядок обміну можуть бути іншими, але тоді необхідні спеціальні програмні драйвери, що реалізують обрані протоколи обміну. При розробці нестандартних зовнішніх пристроїв, що сполучають із комп'ютером через Centronics, можна самостійно вибрати як призначення сигналів, так і протокол обміну.

Б.2.2 Інтерфейс RS-232C

Розроблений EIA (США) в 1969 році інтерфейс застосовується для синхронної і асинхронної передачі даних при двоточечному або багатоточечному з'єднанні пристроїв у дуплексному режимі обміну. При передачі використовуються рівні сигналів +12 В. Інтерфейс RS-232C призначений для підключення до

комп'ютера стандартних зовнішніх пристроїв (принтера, сканера, модему, маніпулятора і ін.), а також для зв'язку комп'ютерів між собою. Основними перевагами використання RS-232C у порівнянні з Centronics є можливість передачі на більші відстані (довжина сполучного кабелю може доходити до 15 метрів) і набагато більше простий кабель (з меншою кількістю проводів). Дані в інтерфейсі RS-232C передаються в послідовному коді (біт за бітом) побайтно. Кожен байт обрамляється стартовим і стоповим бітами. Дані можуть передаватися як в одну, так і в іншу сторону по різним проводам (дуплексний режим). Швидкість передачі - до 14,4 Кбайт/с (115,2 Кбит/с).

Комп'ютер має 25-контактне рознімання (типу DB25P) або 9-контактне рознімання (типу DB9P) для підключення кабелю інтерфейсу RS-232C.

Призначення контактів рознімання наведено в табл. 8.8 (у таблиці застосовані позначення: I - вхідний сигнал комп'ютера, O - вихідний сигнал комп'ютера).

Таблиця Б.2 - Призначення контактів рознімань інтерфейсу RS-2323

Сигнал	Контакт DB25P	Контакт DB9P	I/O
FG	1	-	-
-TxD	2	3	O
-RxD	3	2	I
RTS	4	7	O
CTS	5	8	I
DSR	6	6	I
SG	7	5	-
DCD	8	I	I
DTR	20	4	O
RI	22	9	I

Призначення сигналів інтерфейсу RS-232C наступне:

- FG - захисне заземлення (екран).
- Tx - дані, передані комп'ютером у послідовному коді (логіка негативна).
- Rx - дані, прийняті комп'ютером у послідовному коді (логіка негативна).
- RTS - сигнал запиту передачі. Активний в весь час передачі.
- CTS - сигнал скидання (очищення) для передачі. Активний в весь час передачі. Означає про готовність приймача.
- DSR - готовність даних. Використовується для завдання режиму модему.
- SG - сигнальне заземлення.
- DCD - виявлення несучої даних (детектування прийнятого сигналу).
- DTR - готовність вихідних даних.
- RI - індикатор виклику. Означає про прийом модемом сигналу виклику по телефонній мережі.

Найчастіше використовується трьох- або чотирьохпровідний зв'язок (для двонаправленої передачі). Схема з'єднання двох пристроїв при чотирьохпровідній лінії зв'язку показана на рис. Б.2.

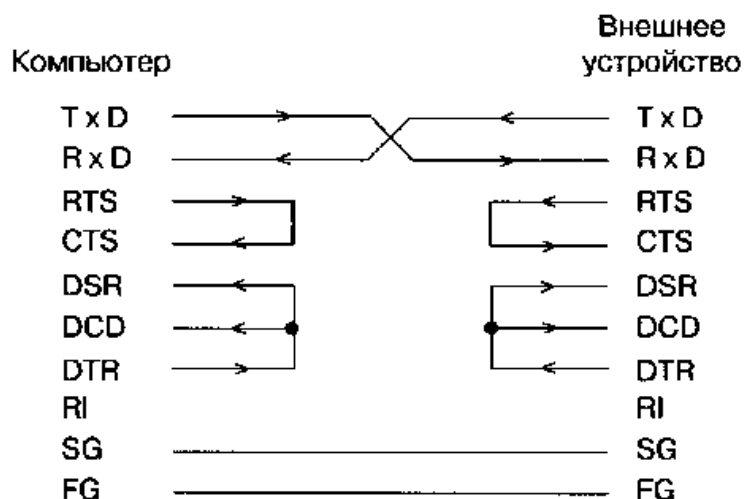


Рис.Б.2 - Схема чотирьохпровідної лінії зв'язку для RS-232C

Для двопровідної лінії зв'язку у випадку передачі з комп'ютера в зовнішній пристрій використовуються сигнали SG і Tx. Всі 10 сигналів інтерфейсу задіюються тільки при з'єднанні комп'ютера з модемом.

Формат переданих даних показаний на рис. Б.3. Дані (утримуючі 5, 6, 7 або 8 біт) супроводжуються стартовим бітом, бітом парності і одним або двома стоповими бітами. Одержавши стартовий біт, приймач вибирає з лінії біти даних через певні інтервали часу. Дуже важливо, щоб тактові частоти приймача і передавача були однаковими (припустима розбіжність - не більше 10%). Швидкість передачі по RS-232C може вибиратися з ряду: 110, 150, 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600, 115200 біт/с.

Всі сигнали RS-232C передаються спеціально обраними рівнями, що забезпечують високу завадостійкість зв'язку. Відзначимо, що дані передаються в інверсному коді (логічній одиниці відповідає низький рівень, логічному нулю - високий рівень).

Обмін по RS-232C здійснюється комп'ютером за допомогою обігів по спеціально виділеним для цього портам COM 1 (адреси 3 F8...3 FF, переривання IRQ4), COM2 (адреси 2F8...2FF, переривання IRQ3), COM3 (адреси 3E8...3EF, переривання IRQ10), COM4 (адреси 2E8...2EF, переривання IRQ11).

Для реалізації інтерфейсу застосовуються мікросхеми універсальних асинхронних прийомопередатчиків (УАПП, UART - Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) типу 18250, 16550A або їхні аналоги. Комп'ютер за допомогою посилки керуючих кодів може вибрати швидкість обміну, формат переданих послідовностей (кількість бітів даних, перевірка парності, використання стопових бітів), дозволити або заборонити переривання, а також установити

або скинути керуючі сигнали. Є також можливість прочитати слово стану UART для визначення джерела переривання або станів прапорів.

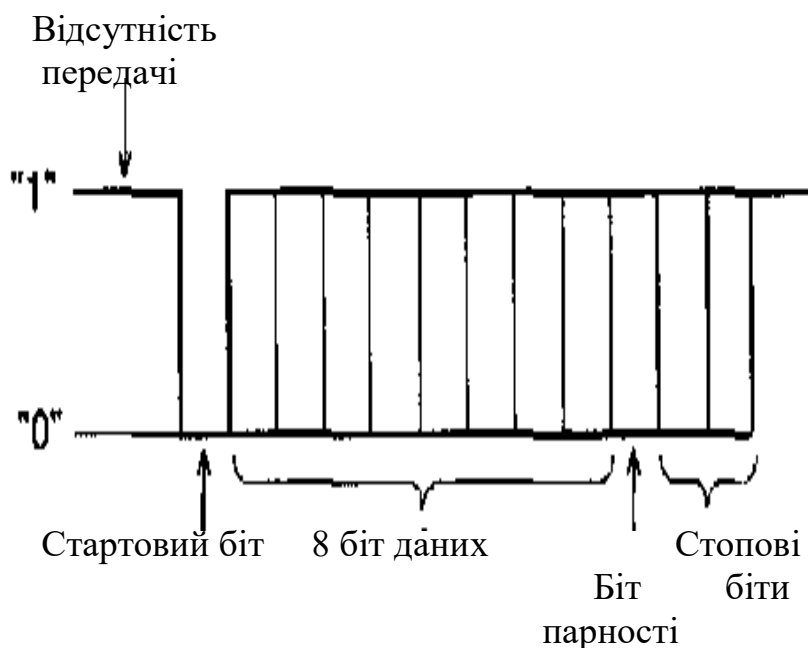


Рис.Б.3 - Формат даних RS232C

Б.2.3 Інші інтерфейси комп'ютера

Інтерфейс шини PCI (Peripheral Component Interconnect bus) став широко застосовуватися з появою процесорів Pentium. Шина PCI дає комп'ютеру можливість найбільш швидко спілкуватися із зовнішнім середовищем, тому що вона істотно перевершує по швидкодії шину ISA. Запропонована на початку як локальна шина для доповнення до основної магістралі, PCI проте, має всі достоїнства універсальної системної магістралі.

Шина PCI має два варіанти: 32-розрядна (у ньому використовується 124-контактне рознімання) і 64-розрядна (188-контактне рознімання). При цьому гарантується як пряма, так і зворотна сумісність 32- і 64-розрядних пристроїв. Найчастіше застосовується 32-розрядний варіант PCI. Тактова частота PCI становить 33 МГц (однак допускається й частота 66 МГц). Максимальна теоретично можлива швидкість обміну при тактовій частоті 33 МГц досягає 132 або 264 Мбайт/с для 32 і 64 розрядів даних, відповідно, що в 20 разів перевищує пропускну здатність ISA. Передбачено можливість включення плат з напругою живлення як 5 В, так і 3,3 В. На магістралі передбачений арбітраж, тобто можливість почергового захоплення шини декількома абонентами, з дозволом конфліктів між ними. Передбачено високошвидкісний обмін по магістралі без участі процесора. Можлива автоконфігурація, тобто автоматичний розподіл ресурсів між включеними платами. Кожне із пристроїв шини може захопити її й провести необхідний обмін.

Шина PCI являє собою відкритий непатентований стандарт, що підтримують всі основні виробники персональних комп'ютерів і периферійних контролерів.

Зараз вона розглядається як основа для таких розповсюджених комп'ютерних платформ, як DOS/ Windows, Macintosh і UNIX. Провідні виробники мікросхем уже випускають спеціальні комплекти мікросхем для її підтримки. Незалежність від типу процесора обіцяє шині PCI велике майбутнє. Зараз вона посідає друге місце по популярності після ISA. Більшим недоліком шини PCI в порівнянні з ISA є обмежена кількість пристроїв на шині (не більше чотирьох), для більшої кількості пристроїв необхідне застосування мостів PCI-PCI.

В комп'ютері одним з PCI-пристроїв є контролер шини (тобто центральний процесор), для підключення карт розширення залишається всього три слота. Один з PCI-слотів, як правило, використовується для підключення контролера дисплея, інший найчастіше застосовується для включення контролера локальної мережі. Тому, незважаючи на потенційно більші можливості PCI, у комп'ютері для додаткових карт розширення залишається всього один слот. До того ж треба врахувати, що розробка і налагодження PCI- пристроїв набагато складніше, ніж ISA- пристроях, а більша швидкодія PCI в порівнянні з ISA потрібно далеко не для всіх завдань. Тому про повне витиснення шини ISA поки що мова не йде.

Шина PCI відноситься до мультиплексованих шин, вона має повністю мультиплексовану шину адреси/даних. При цьому адреса може бути 32 розрядною або 64-розрядною (передається по 32-розрядній шині за два такти, спочатку молодші розряди, потім старші) Точно так само і дані можуть передаватися як 32-розрядні, так і 64-розрядні (за два такти при 32-розрядній шині). В 64-розрядній версії PCI шина адреси/даних має 64 розрядів.

Основний режим обміну по шині - синхронний, тактуємий позитивними фронтами тактового сигналу шини, але можливий і асинхронний обмін (як і у випадку ISA). У цикл обміну (або транзакцію) входить фаза адреси (на початку) тривалістю один такт і фаза даних тривалістю в один або кілька тактів.

Основні сигнали шини PCI наступні:

- AD0...AD31 - шина адреси/даних. Адреса передається на початку циклу, потім - дані;
- $\overline{3}/\text{BEO} \dots \overline{3}/\text{BI3}$ (Command/Byte Enable) - чотири лінії, які у фазі адреси визначають один з 16 можливих типів циклу передачі даних (табл. 8.9), а у фазі даних визначають дійсність байтів даних;
- FRAME - строб адреси, активний під час передачі даних;
- IRDY (Initiator Ready) - готовність задатчика (ініціатора обміну) до обміну даними;
- TRDY (Target Ready) - готовність виконавця (цільового пристрою) до обміну даними;
- DEVSEL (Device Select) - підтвердження впізнання адреси від виконавця;
- STOP - запит на останов поточного циклу від виконавця до задатчика;
- RST - скидання всіх пристроїв;
- CLK - тактовий сигнал шини;
- PAR - біт парності для ліній AD0...AD31 і $\overline{3}/\text{BEO} \dots \overline{3}/\text{BI3}$;

- PERR - сигнал помилки парності;
- REQ0...-REQ3 - запит від PCI- пристроїв на захоплення шини;
- GNT0...- GNT3 - надання шини PCI- пристроям;
- REQ64 - запит на 64-бітний обмін;
- ASK64 - підтвердження 64-розрядного обміну;
- INTRA, -INTRB, -INTRC, -INTRD - лінії запитів переривань;
- IDSEL - вибір устрою-виконавця в циклах запису і читання конфігурації.

Таблиця Б.3 - Типи циклів обміну PCI

Сигнали C/BE	Команда
0000	Підтвердження переривання
0001	Спеціальний цикл
0010	Читання порту ввід/виводу
0011	Запис у порт ввід/виводу
0100...0101	Зарезервовано
0110	Читання з пам'яті
0111	Запис в пам'ять
1000...1001	Зарезервовано
1010	Читання конфігурації
1011	Запис конфігурації
1100	Множинне читання пам'яті
1101	Подвійний цикл адреси
1110	Читання рядка пам'яті
1111	Запис на згадку і перевірку

Операція конфігурування (цикли запису і читання конфігурації) служить для автоматичного розподілу ресурсів комп'ютера при включенні живлення. У цих циклах для вибору (адресації) конфігуруемого виконавця застосовується спеціальний сигнал IDSEL, переданий у фазі адреси. Кожному PCI-пристрою відповідає 256-байтна область конфігурації, де перебуває інформація як про самий пристрій, так і про виділені йому ресурси. Область конфігурації не відноситься ні до адресного простору пам'яті, ні до адресного простору пристроїв вводу/виводу. Комп'ютер розподіляє ресурси між пристроями відповідно до їх особливостей, потребами і обмеженнями.

При синхронному обміні на початку циклу (адресна фаза) по шині AD передається код адреси, а по лініях C/BE - код типу циклу (команда). Дійсність адреси визначається сигналом -FRAME (по позитивному фронті CLK після початку сигналу -FRAME). Після впізнання адреси виконавець виставляє сигнал підтвердження вибірки -DEVSEL, після чого починається фаза даних. Тобто можна сказати, що адреса передається асинхронно. У фазі даних по шині

даних передаються слова даних, тактуємих позитивними фронтами сигналу CLK. Сигнали готовності -IRDY й -TRDY виставляються на початку фази даних і залишаються активними до закінчення циклу. По лініях -C/BE у фазі даних передаються сигнали дозволу байтів (тобто визначається формат переданих даних). Перед останнім тактом передачі даних задатчик знімає сигнал -FRAME, після чого знімаються сигнали -IRDY, -TRDY й -SELDEV.

Послідовний інтерфейс USB (Universal Serial Bus) спеціально розроблявся для простого підключення периферійних пристроїв.

Шина USB являє собою 4-провідну лінію зв'язку із пропускну здатністю 1,5 Мбайт/с (12 Мбит/с). До неї можна підключати до 127 пристроїв за деревоподібною схемою з використанням одного або декількох розподільних пристроїв. Довжина сполучного кабелю між окремими пристроями USB може досягати 5 метрів. У шині USB реалізована можливість "гарячого" підключення (без вимикання живлення). У даному стандарті вже випускаються модеми, клавіатури, маніпулятори, сканери, цифрові фотокамери і т.д. Важливо, що в шині передбачена подача на пристрій, що підключається, напруги живлення (у послідовному інтерфейсі RS-232C, наприклад, цього немає).

Б.2.4 Інтерфейс CAN

Мережний інтерфейс CAN (Controller Area Network) був розроблений в 1987р. (версія 1.0) фірмами BOSCH і INTEL для створення бортових мультипроцесорних систем реального часу. Остання специфікація інтерфейсу 2.0, розроблена фірмою BOSCH в 1992р., є доповненням попередньої версії. У міжнародній організації по стандартизації зареєстрований ISO 11898 (для високошвидкісних додатків) і ISO 11519-2 (для низькошвидкісних додатків).

CAN є високоінтегрованим мережним інтерфейсом передачі даних зі швидкістю до 1 Мбит/сек. Пристрої в CAN-системі з'єднуються по шині, що складається з 3-х проводів (2 сигнальних і один загальний) - рис.Б.4.

Повідомлення даних, передані з будь-якого вузла по CAN-шині, можуть містити від 1 до 8 байт. Кожне повідомлення позначене ідентифікатором, що у мережі є унікальним (наприклад: "Нагрівання до 240", "Відмова нагрівання", "Бункер завантажений", і т.д.). При передачі інші вузли мережі одержують повідомлення і кожний з них перевіряє ідентифікатор. Якщо повідомлення має відношення до даного вузла, то воно обробляється, у противному випадку - ігнорується. CAN-контролер кожного із пристроїв може обробляти одночасно кілька ідентифікаторів (наприклад, контролери SIEMENS і INTEL можуть обробляти до 15). Таким чином, у кожному із пристроїв можна легко організувати декілька "віртуальних" каналів обміну інформацією з різними пристроями, включаючи канали одночасного одержання повідомлень.

Ідентифікатор визначає тип і пріоритет повідомлення. Більше низькому числовому значенню ідентифікатора відповідає більше високе значення пріоритету. Повідомлення, що має більше високий пріоритет, передається раніше повідомлення, що має більше низький пріоритет.

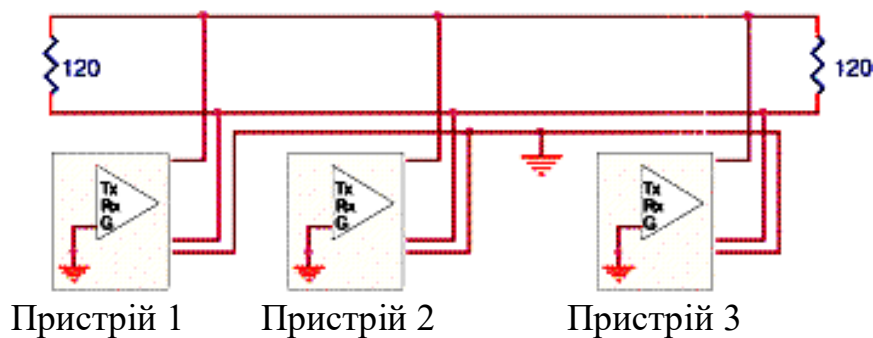


Рис.Б4 - З'єднання пристроїв по CAN-шині

Після повідомлення з високим пріоритетом передається повідомлення з низьким пріоритетом, якщо під час передачі не з'явиться повідомлення з більш високим пріоритетом, потім передається повідомлення із ще більш низьким пріоритетом і т.д.

Шина являє собою кручену пару (екрановану або неекрановану) і загальний провід. Плоска пара (телефонний тип кабелю) також працює добре, але більше чутлива до зовнішніх перешкод.

Для забезпечення безвідмовної роботи в тяжких умовах по стандарті ISO11898 CAN-контролер забезпечує роботу в мережі в наступних випадках:

- любий з 3-х проводів у шині обірваний,
- любий провід - закорочений на живлення,
- любий провід - закорочений на загальний провід.

При обриві 2-х проводів частина функцій основної системи може бути реалізована в кожній з підсистем, створених обривом. Прийнята в CAN-мережі схема передачі повідомлень забезпечує більші можливості при створенні, розширенні й модернізації систем.

Нові пристрої, призначені для прийому даних, можуть додаватися до мережі без зміни вже існуючих програмних засобів, якщо їхнє підключення не приводить до перевищення навантажувальної здатності й максимальної довжини шини. При цьому нові мережні пристрої здатні обмінюватися інформацією між собою, не порушуючи працездатність старої системи, якщо в протоколі обміну були використані нові ідентифікатори.

В CAN-мережі є можливість одночасної передачі повідомлень відразу декільком пристроям. Ця особливість дозволяє передавати по ній синхросигнали.

У будь-якій системі деякі з параметрів змінюються швидше, ніж інші. Наприклад, швидкість ротора двигуна, як правило, змінюється за менший проміжок часу, чим температура його корпусу або положення заслінки. Параметри, що змінюються швидко, повинні передаватися більш часто і, отже, вимагають більше високого пріоритету. Під час роботи також можлива поява аварійних повідомлень, які повинні передаватися з найвищим пріоритетом

(наприклад, перевищення припустимої температури, обрив керуючого соленоїда, коротке замикання в ланцюзі і т.д.).

Вузли CAN-мережі є рівноправними при обміні, і кожний з них у будь-який момент часу може мати повідомлення, що вимагає невідкладної передачі. Імовірність одночасної вимоги передачі від різних пристроїв не є чимсь надзвичайним, а трапляється регулярно. Для дозволу подібного конфлікту потрібен швидкодіючий механізм розподілу черговості передачі повідомлень. Для цього в CAN-системі використовується порозрядний арбітраж. Пріоритет CAN-повідомлення визначається двійковим значенням його ідентифікатора.

Числове значення кожного ідентифікатора повідомлення призначається в початковій фазі проектування системи. Ідентифікатор з найнижчим числовим значенням ідентифікатора має найвищий пріоритет. Передача логічного нуля по CAN-шині здійснюється струмовою послідовністю, а стан логічної одиниці визначається по відсутності струму. У процесі передачі кожний із джерел повідомлень, що має необхідність у передачі, починає передавати свій ідентифікатор, одночасно перевіряючи його на лінії. Якщо в процесі передачі виявляється розбіжність (тобто "зайвий" нуль), то передавач, що виявив цю невідповідність, припиняє передачу свого ідентифікатора і перемикається на прийом. Конфлікту на шині при цьому немає, тому що значення біта з рівнем логічної одиниці фактично не передається, і в результаті повідомлення з найвищим пріоритетом проходить по шині так, начебто воно єдине. У наступному циклі шини буде передане повідомлення з більше низьким пріоритетом, і т.д. У такий спосіб досягається максимальна пропускна здатність шини і мінімальна затримка для "гарячих" повідомлень.

CAN містить 5-східчастий механізм виявлення помилок:

- циклічний контроль по надмірності (CRC),
- контроль переданого поля бітів,
- контроль сигналу "Підтвердження прийому",
- поточний контроль логічного рівня бітів,
- контроль заповнення бітів.

Кожне передане повідомлення містить контрольний код (CRC), обчислений передавачем на основі змісту переданого повідомлення. Приймні вузли виконують аналогічну операцію, позначають виявлені помилки і встановлюють відповідні прапори. Любий передавач автоматично контролює і порівнює фактичний логічний рівень бітів на шині з рівнем, що він передає. Якщо рівні не збігаються, позначається помилка логічного рівня бітів. (Примітка: цей механізм також використовується при арбітражі шини для визначення пріоритету повідомлення, однак помилка в цьому випадку, природно, не виникає).

У складі CAN-повідомлення передаються визначені бітові комбінації, які контролюються при прийомі. Якщо приймач виявляє неприпустимий біт в одній із цих комбінацій, то встановлюється прапор помилки формату.

CAN використовує методику додавання заповнюючого біта, для додаткового контролю переданих повідомлень. Після передачі п'яти послідовних бітів з

однаковим рівнем передавач автоматично вводить у розрядний потік біт протилежного значення. Приймачі повідомлення автоматично видаляють такі біти перед обробкою повідомлення. Якщо виявляється шостий біт однакової полярності, то позначається помилка заповнення битів.

Кожне передане повідомлення підтверджується приймачем, і якщо цього не відбулося, тоді встановлюється прапор помилки підтвердження прийому.

У випадку якщо виявлено помилку, то вузол, що виявив помилку, перериває передачу посилкою прапора помилки. При цьому передавач автоматично повторно ініціалізує передачу повідомлення, що запобігає виникненню помилок і гарантує несуперечність даних у мережі.

Стандартний CAN-протокол (версія 2.0A) підтримує формат повідомлення з 11-розрядними ідентифікаторами (стандартне повідомлення).

Розширений CAN-протокол (версія 2.0B) підтримує 11-бітовий і 29-бітовий формати ідентифікаторів (розширене повідомлення).

Більшість контролерів версії 2.0A передають і приймають тільки повідомлення стандартного формату, хоча частина з них можуть тільки одержувати повідомлення розширеного формату.

Контролери версії 2.0B можуть посилати й одержувати повідомлення в обох форматах

У версії 2.0B поле битів ідентифікатора складається із двох частин.

Перша частина (основна частина ідентифікатора) має довжину одинадцять битів для сумісності з версією 2.0A, друга частина - вісімнадцять битів (розширення ідентифікатора), що дає загальну довжину ідентифікатора у двадцять дев'ять біт.

Для розрізнення форматів використовуються біти Identifier Extension (IDE) і Substitute Remote Request (SRR) у полі арбітражу.

ДОДАТОК В

Джерела живлення МПС В&R System 2003



Рис.В.1 - Однофазне джерело живлення OPS102.0

Вхідні параметри: вхідна напруга - 115/230 В, 85-375 В \pm , струм - не більше 1 А.

Вихідні параметри: потужність на виході - 50 Вт, напруга 24 В \pm , струм - не більше 2 А. Стійкість до перевантажень до 1,5 кратності номінального струму.



Рис.В.2 - Однофазне джерело живлення OPS104.0

Вхідні параметри: вхідна напруга - 115/230 В, 220-375 В \pm , струм - не більше 2 А.

Вихідні параметри: потужність на виході - 100 Вт, напруга 24 В \pm , струм - не більше 4 А. Стійкість до перевантажень.



Рис.В.3 - Однофазне джерело живлення OPS105.1

Вхідні параметри: вхідна напруга - 115/230 В, 210-375 В \pm , струм - не більше 2,6 А.

Вихідні параметри: потужність на виході - 120 Вт, напруга 24 В \pm , струм - не більше 5 А. Стійкість до перевантажень.



Рис.В.4 - Однофазне джерело живлення OPS110.1

Вхідні параметри: вхідна напруга - 115/230В 240-375 В \pm , струм - не більше 6 А.

Вихідні параметри: потужність на виході - 240 Вт, напруга 24 В \pm , струм - не більше 12 А. Стійкість до перевантажень.

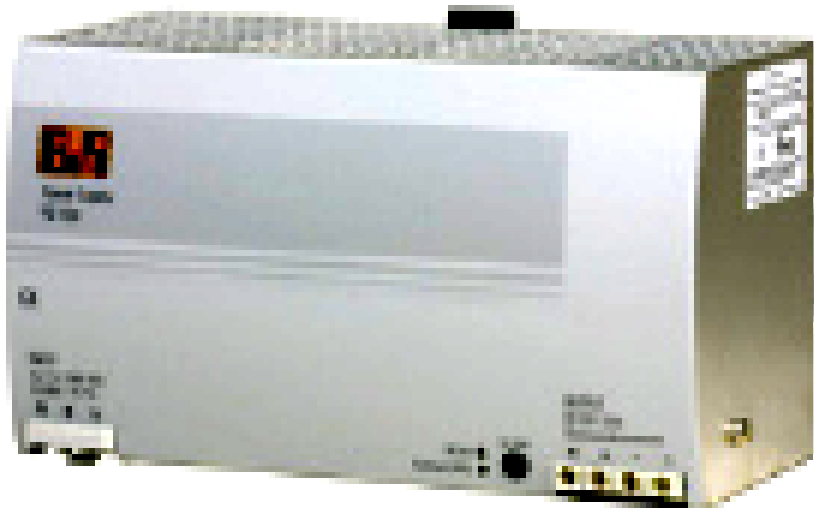


Рис.В.5 - Однофазне джерело живлення OPS120.1

Вхідні параметри: вхідна напруга - 115/230В, струм - не більше 10 А в діапазоні 115 В, 5 А в діапазоні 230 В.

Вихідні параметри: потужність на виході - 480 Вт, напруга 24 В \pm , струм - не більше 20 А



Рис.В.6 - Трифазне джерело живлення OPS305.1

Вхідні параметри: вхідна напруга - 3x380 В, 450-820 В \pm , струм -3x0,5 А

Вихідні параметри: потужність на виході - 120 Вт, напруга 24 В \pm , струм - не більше 5 А



Рис.В.7 - Трифазне джерело живлення OPS310.1

Вхідні параметри: вхідна напруга - $3 \times 380 \text{ В}$, $450\text{-}820 \text{ В}$,
струм – не більше $3 \times 0,8 \text{ А}$

Вихідні параметри: потужність на виході - 240 Вт , напруга 24 В , струм -
не більше 10 А



Рис.В.8 - Трифазне джерело живлення OPS320.1

Вхідні параметри: вхідна напруга - $3 \times 380 \text{ В}$, $450\text{-}820 \text{ В}$,
струм - не більше $3 \times 1,5 \text{ А}$. Вихідні параметри: потужність на виході - 490 Вт ,
напруга 24 В , струм - не більше 18 А . Резерв потужності до 600 Вт .



Рис.В.9 - Трифазне джерело живлення OPS340.1

Вхідні параметри: вхідна напруга - 3×380 В, струм - не більше 3×3 А
Вихідні параметри: потужність на виході - 960 Вт, напруга 24 В \pm , струм - не більше 35 А. Резерв потужності до 1080 Вт.