

ПРОЕКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Методичні вказівки для виконання практичних занять

Для студентів спеціальності 8.05010101 –
«Інформаційні управляючі системи і технології»

„Затверджено”
на засіданні кафедри АСМНС
протокол № ____ від " ____ " _____ 2014 р.
Завідувач кафедри
_____ Б.В. Перелигін

ОДЕСА 2014

Методичні вказівки для виконання практичних занять з дисципліни «Проектування інформаційних систем моніторингу навколишнього середовища» для студентів спеціальності 8.05010101 – «Інформаційні управляючі системи і технології»

Кафедра автоматизованих систем моніторингу навколишнього середовища Одеського державного екологічного університету.
ОДЕКУ, Одеса, 2014 р.

Укладачі: Великий Віктор Іванович, доцент, кандидат технічних наук,
Перелигін Борис Вікторович, доцент, кандидат технічних наук.

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Узагальнена структурна схема інформаційно-вимірювальної системи як складової частини систем моніторингу навколишнього середовища.....	5
2 Структури, склад і характеристики аналого-цифрової частини ІВС.....	13
(Практичні заняття №1,2)	
3 Стандартний інтерфейс та його функції.....	28
(Практичне заняття №3)	
4 Загальні питання функціонування і застосування датчиків.....	47
(Практичне заняття №4)	
5 Питання проектування температурних датчиків.....	56
(Практичні заняття №5,6)	
6 Вимірювальні комутатори амплітудно-модульованих сигналів.....	67
(Практичне заняття №7)	
Література.....	80

ВСТУП

Методичні вказівки по проведенню практичних занять з дисципліни «Проектування інформаційних систем моніторингу навколишнього середовища» призначені для студентів спеціальності 8.05010101 – «Інформаційні управляючі системи і технології».

Методичні вказівки включають шість розділів, які вивчаються у вищевказаній дисципліні у першому семестрі магістратури, і містять інформацію, необхідну для виконання практичних завдань по розглянутій тематиці.

Перший розділ методичних вказівок має загальноінформаційний характер і не містить в собі практичних завдань.

У даній методичній розробці основна увага приділена сучасному підходу до питань проектування інформаційних систем моніторингу навколишнього середовища (ІСМНС). При цьому інформаційні системи моніторингу розглядаються як складні технічні структури, що включають у свій склад, крім програмного забезпечення, широкий спектр технічних засобів від датчиків і первинних перетворювачів до потужних мікропроцесорних пристроїв збору й обробки інформації.

У процесі засвоєння курсу студенти:

- знайомляться з узагальненою структурою інформаційно-вимірювальної системи (ІВС) як складовою частиною автоматизованої системи моніторингу;
- вивчають структури, склад і характеристики аналого-цифрової частини ІВС на двох практичних заняттях;
- освоюють на практичних заняттях стандартні інтерфейси;
- розглядають питання функціонування й застосування датчиків;
- на трьох практичних заняттях, ґрунтуючись на отриманих знаннях, проектують температурні датчики;
- розглядають на практичному занятті питання проектування вимірювальних комутаторів амплітудно-модульованих сигналів,
- знайомляться із практичними структурами ІВС.

Практичні заняття припускають закріплення знань по організації проектування інформаційних систем моніторингу навколишнього середовища.

Мета проведення практичних занять – засвоєння теоретичної частини курсу, викладеної в розділах 1-6 вказівок. Для цього по кожному із шести розділів необхідно ознайомитися з основними питаннями. Потім, використовуючи рекомендовану на лекціях літературу, розширити свої знання з даної теми. Це дозволить виконати практичне завдання в письмовому вигляді (а в деяких випадках і у вигляді усної відповіді) відповідно до варіанту.

Виконуючи практичне завдання, необхідно правильно, коротко й чітко викладати навчальний матеріал. Текст роботи й ілюстровані матеріали повинні бути виконані акуратно, з дотриманням вимог стандартів.

Методичні вказівки можуть бути також використані при вивченні відповідних розділів дисципліни «Проектування автоматизованих систем моніторингу навколишнього середовища».

1 Узагальнена структурна схема інформаційно-виміральної системи як складової частини системи моніторингу

Для опису ІВС, пояснення складу функціональних частин і елементів, їх призначення і взаємозв'язку в системі широко застосовуються структурні схеми. Опис ІВС і входних у них функціональних елементів може також вироблятися за допомогою функціональних і принципових схем. Слід зазначити, що в зв'язку з розширеним застосуванням у ІВС багатфункціональних інтегральних мікросхем принципові схеми можуть виявитися навіть менш докладними, чим структурні.

Структурні і функціональні схеми застосовуються переважно для розгляду принципів побудови пристроїв і при системному аналізі. Принципові схеми призначені для схемотехнічного пророблення системи.

Розглянемо узагальнену структурну схему ІВС (рис. 1.1) для того, щоб одночасно познайомитися з умовними графічними позначеннями типових функціональних перетворювачів.

В структурній схемі показано багато датчиків 1, розміщених постійно у визначених точках простору, або що переміщаються (сканують) в просторі, або сприймаючих одночасно поле досліджуваної величини, багато аналогових 2 і аналого-цифрових перетворювачів 3, цифрові частини 4 і 5, багато цифро-аналогових перетворювачів 6. Функціональні блоки можуть з'єднуватися між собою через стандартні інтерфейси, технічні засоби яких містять системи шин 7.1 інтерфейсних вузлів ІФП 7.2 і пристроїв керування 8. На рис.1.1 показана також можливість з'єднання функціональних блоків жорстко встановленими зв'язками.

Пристрій керування може формувати командну інформацію $\{\Phi^o\}$, приймати інформацію $\{I^*\}$ від функціональних блоків і подавати команди на виконавчі пристрої 9 для формування впливу на об'єкт дослідження.

Впливи можуть бути, наприклад, у вигляді електричних U , механічних P , теплових T^o , оптичних O , гідравлічних G і акустичних A величин. Впливи можуть організовуватися, по-перше, з метою створення відповідних умов для проведення експерименту і, по-друге, для зрівноважування величин, що діють на входи датчиків. В останньому випадку система називається замкнутою з компенсаційним зворотним зв'язком, а формовані впливи — величинами, що компенсують.

Багато аналогових перетворювачів 2 містить перетворювачі 2.1 і нормувальні перетворювачі 2.2 аналогових сигналів, (наприклад, масштабні перетворювачі, перетворювачі виду модуляції), комутатори аналогових сигналів 2.3, аналогові обчислювальні пристрої (F) 2.4, аналогові пристрої пам'яті 2.5, пристрої порівняння аналогових сигналів 2.6, аналогові канали зв'язку (KC_n) 2.7, аналогові вимірвальні прилади 2.8, що показують і реєструють.

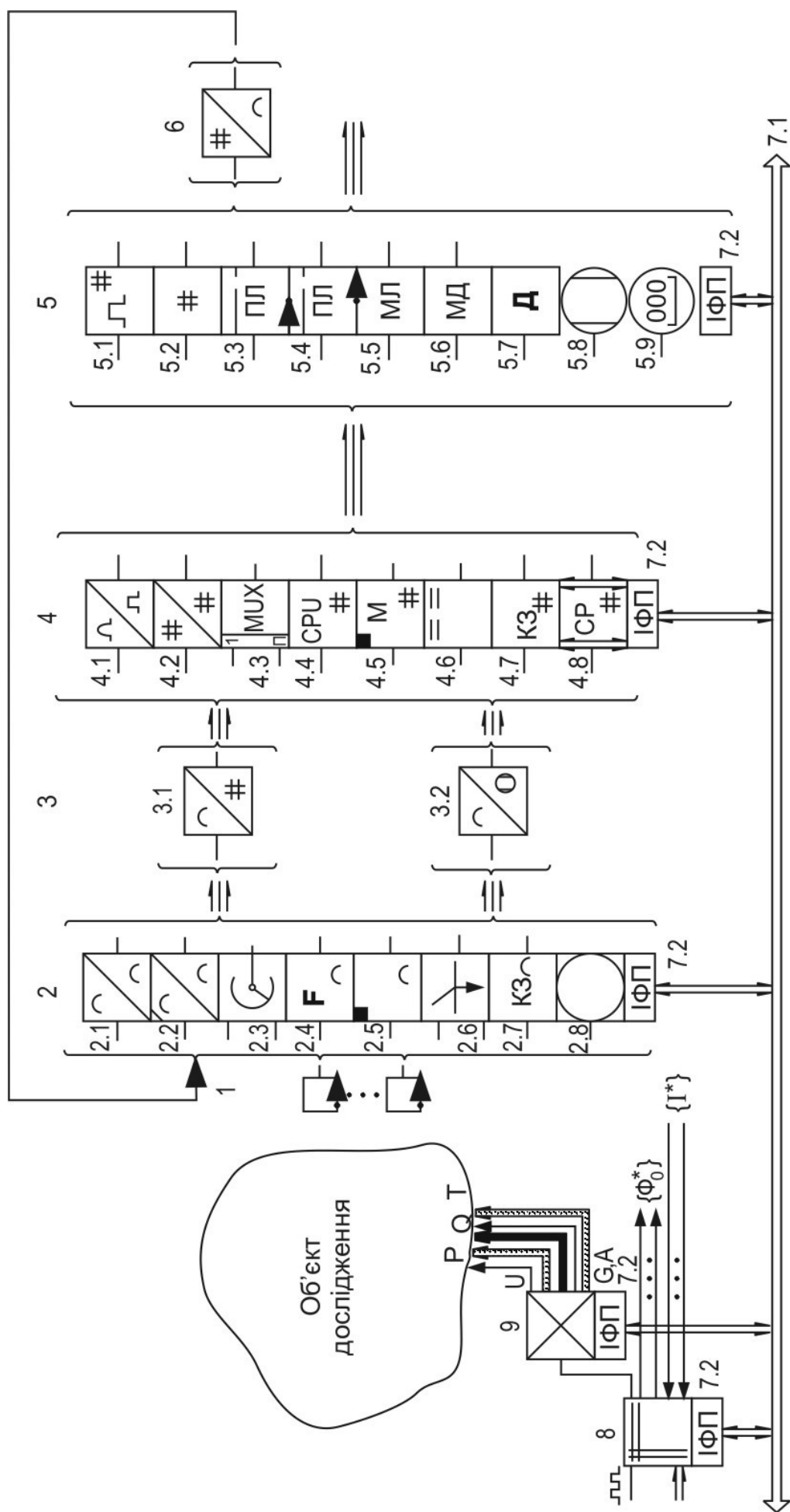

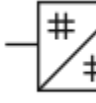
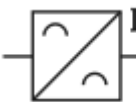
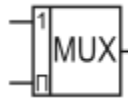

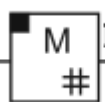
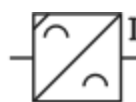


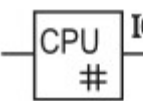
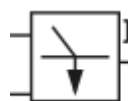


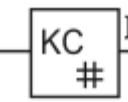

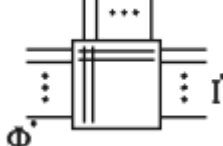

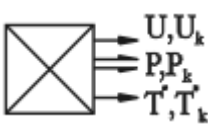

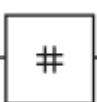



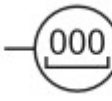

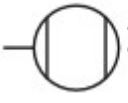




Рисунок 1.1 – Узагальнена структурна схема ІВС

Таблиця 1.1. Позначення ФБ і перетворювань

Назва блоку	Умовне позначення	Назва блоку	Умовне позначення
Датчик	 $I(x_0/x_1)$	Перетворювач кодів	 $I(x_1/x_2)$
Аналоговий перетворювач	 $I(x_1/x_{n+1})$	Цифровий комутатор, мультиплексор	 $I(Z/z_1)$
Аналоговий комутатор	 $I(I/x_1)$	Цифровий ЗП	 $I(S:Z)$
Нормуючий аналоговий перетворювач	 $I(x_1/x_2)$	Цифровий пристрій порівняння	 $I(CR:z_1:z_2)$
Аналоговий ЗП	 $I(S:X)$	Цифровий обчислювальний пристрій	 $I(CP:Z)$
Аналоговий пристрій порівняння	 $I(CR:x_1:x_2)$	МікроЕОМ	 $I(CP:Z), \Phi(\Phi^n)$
Аналоговий обчислювальний пристрій	 $I(F:X)$	Цифровий канал зв'язку	 $I(Z)$
Аналоговий канал зв'язку	 $I(X)$	Пристрій управління	 I'
Реєструючий прилад	 $I(W:x)$	Виконавчий пристрій	 U, U_k, P, P_k, T, T_k
Показуючий прилад	 $I(R:x)$	Цифровий реєструючий пристрій	 $I(W:Z)$
Аналого-цифровий перетворювач	 $I(x/z)$	Дисплей (екранний пульт)	 $I(R:X:Z), I(W:X:Z)$
Цифро-аналоговий перетворювач	 $I(z/x)$	Цифровий індикатор	 $I(R:z)$
Накопичувач на магнітних дисках	 $I(S:Z), I(R:Z)$	Індикатор результатів контролю	 $I(R:CHn)$
Накопичувач на магнітній стрічці	 $I(S:Z), I(R:Z)$	Таймер	 $I(T)$

Інтерфейсні пристрої ІФП аналогових блоків головним чином служать для прийому командних сигналів і передачі інформації про стан блоків. Наприклад, через ІФП можуть передаватися команди на зміну режиму роботи, на підключення заданого ланцюга за допомогою комутатора. Між аналоговими і цифровими пристроями включено багато аналого-цифрових перетворювачів 3.1 і аналогових пристроїв контролю 3.2.

До цифрових пристроїв 4 відносяться формувачі імпульсів 4.1, перетворювачі кодів 4.2, комутатори 4.3, спеціалізовані цифрові обчислювальні пристрої 4.4 (з позначенням CPU), пристрою пам'яті 4.5, пристрою порівняння кодів 4.6, канали цифрового зв'язку 4.7 (з позначенням КС#), універсальні програмувальні обчислювальні пристрої — мікропроцесори, мікроЕОМ 4.8.

Група цифрових пристроїв виводу, відображення і реєстрації 5 містить формувачі кодоімпульсних сигналів 5.1, друкувальні пристрої 5.2, пристрої запису на перфострічку 5.3 (ПЛ) і зчитування з перфострічки 5.4 (також з позначенням ПЛ), нагромаджувачі інформації на магнітній стрічці 5.5 (МЛ) і магнітних дисках 5.6 (МД), дисплеї 5.7 (Д), сигналізатори 5.8, цифрові індикатори 5.9.

У структурних схемах далі використовуються також позначення елементів цифрової обчислювальної техніки, установлені ДСТ. Зокрема, застосовуються наступні позначення: реєстр — RG, лічильник — СТ, пристрої затримки в часі — DL, генератор — G (серії імпульсів — Gn, безперервної послідовності імпульсів — GN, сигналу, що лінійно змінюється — G/, синусоїдального сигналу — GSIN, одиночного імпульсу — G1), дешифратор — DC, тригер — Т, пам'ять — М (ОЗП — RAM, SAM, ПЗП — ROM, ППЗП — PROM), мультиплексор (цифровий комутатор) — MUX, демультимплексор — DMX і ін.

Крім зазначених на рис.1.1 умовних графічних позначень, у структурних схемах використовуються позначення, наведені в таблиці 1.1.

Доречно відзначити, що комп'ютери 4.8 можуть узяти на себе ряд перетворень, виконуваних, наприклад, у блоках 2.4, 2.5, 2.6, 4.2, 4.4, 4.6, 5.1, а також функції керування (блок 8). Ці перетворення, природно, будуть виконуватися програмним шляхом.

Звичайно, не у всякої ІВС потрібні всі наведені на рис.1.1 блоки. Для кожної конкретної системи кількість блоків, склад функцій і зв'язку між блоками повинні встановлюватися особливо.

Відзначимо, що в технічній літературі можна зустріти назву компонентів ІВС, що є об'єднанням декількох функціональних блоків. Так, наприклад, об'єднання комутаторів аналогових сигналів і аналого-цифрових перетворювачів іноді називають багатоканальними АЦП.

Структурні схеми містять важливу інформацію про систему, але ця інформація не дозволяє судити про послідовність, режими, взагалі про алгоритми роботи даної системи. Це особливо відноситься до систем, заснованих на використанні обчислювальних комплексів, цифрових інтерфейсів, що містять мікропроцесори, ЕОМ і інші багатифункціональні пристрої. Зазначену інформацію необхідно приводити додатково.

1.1 Загальна класифікація ІВС

Залежно від виконуваних функцій ІВС реалізується у вигляді вимірювальних систем (ВС), систем автоматичного контролю (САК), систем технічної діагностики (СТД), систем розпізнавання або ідентифікації образів (СРО).

У СТД, САК, СРО вимірювальна система входить як підсистема.

Інформація, що характеризує об'єкт виміру сприймається ІВС, обробляється по деякому алгоритмі, у результаті чого на виході системи отримується **кількісна інформація**, що відбиває стан даного об'єкта. ІВС істотно відрізняється від інших типів ВС і систем автоматичного керування. Використання інформації для керування не входить у функції ІВС. Але інформація, одержана на виході ІВС, може використовуватися для прийняття будь-яких рішень. Наприклад, для керування конкретним експериментом.

Кожному конкретному виду ІВС властиві численні особливості, обумовлені вузьким призначенням систем і їх технологічно-конструктивним призначенням.

Поширеною є класифікація ІВС по функціональному призначенню. За цією ознакою різняться ВС, САК, СТД, СРО.

За характером взаємодії системи з об'єктом дослідження й обміну інформації між ними ІВС можуть бути розділені (рис.2.1) на:

- активні;
- пасивні.

Пасивні системи тільки сприймають інформацію від об'єкта, а активні, діючи на об'єкт через пристрій зовнішніх впливів, дозволяють автоматично й найбільш повно за короткий час вивчити його поведінку. Такі структури широко застосовуються при автоматизації наукових досліджень різних об'єктів.

Залежно від характеру обміну інформацією між об'єктами й активними ІВС розрізняють:

- ІВС без зворотного зв'язку;
- ІВС зі зворотним зв'язком по впливу.

Вплив на об'єкти може здійснюватися по заздалегідь установленій твердій програмі, що враховує реакцію об'єкта.

У першому випадку реакція об'єкта не впливає на характер впливу, а отже й на хід експерименту, його результати можуть бути видані оператором після закінчення експерименту.

У другому випадку результати реакції відбиваються на характері впливу, тому обробка ведеться в реальному часі. Такі системи повинні мати розвинену обчислювальну мережу. Крім того, необхідне оперативне подання інформації оператору у формі, зручній для сприйняття, щоб він міг втручатися в хід процесу.

Велике значення в ІВС мають методи обробки вимірювальної інформації. Операція обробки вимірювальної інформації виконується в пристроях, таких як спеціалізовані ЕОМ або персональні комп'ютери. У деяких випадках обробка

результатів вимірювань може здійснюватися безпосередньо у вимірювальному тракті, тобто в реальному масштабі часу.

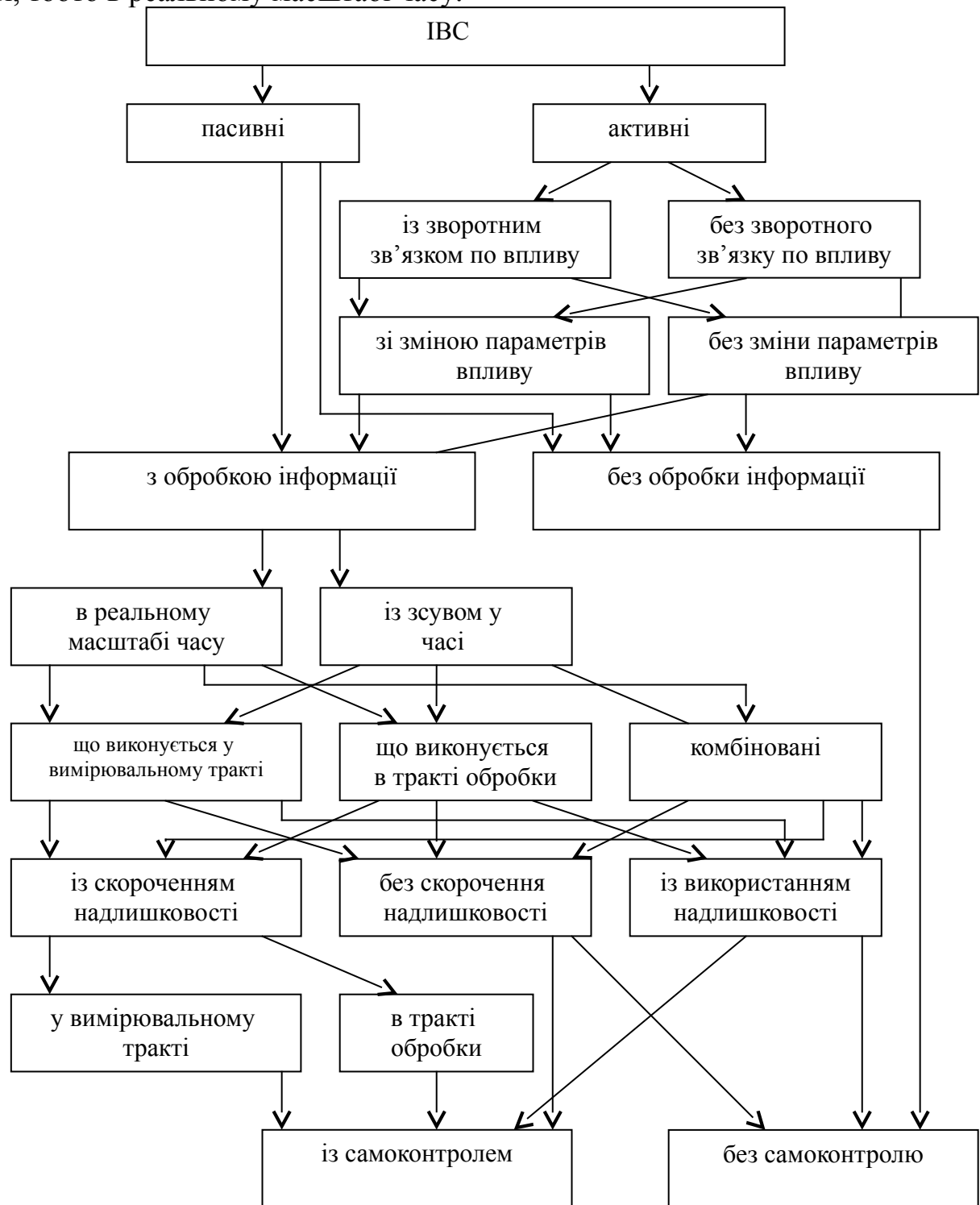


Рисунок 2.1 – Загальна класифікації IBC

У системах, що мають обчислювальні пристрої, обробка інформації може здійснюватися як у реальному часі, так і з попереднім нагромадженням інформації в пам'яті ЕОМ, тобто зі зсувом у часі.

При дослідженні складних об'єктів або при виконанні багатofакторних експериментів застосовують вимірювальні системи, що сполучають високу швидкодiю з точністю, так звані комбіновані. Такі ІВС характеризуються більшими потоками інформації на їхньому виході.

Значно підвищити ефективність ІВС у деяких випадках можна за рахунок скорочення надмірності інформації, тобто скорочення інтенсивності потоків вимірювальної інформації. Виключення надлишкової інформації, несуттєвої з погляду її споживача, дозволяє зменшити ємність пристроїв пам'яті, завантаження пристроїв обробки даних, знижує вимоги до пропускнуої здатності каналів зв'язку.

При проектуванні й реалізації ІВС велика увага приділяється проблемі підвищення вірогідності вихідної інформації. Цього можна досягти, якщо покласти на ІВС функції самоконтролю шляхом здійснення тестових перевірок працездатності блоків системи. Завдяки цьому можна зберігати метрологічні характеристики блоків системи вірогідність результатів обробки інформації.

1.2 Класифікація ІВС за функціональним призначенням

Залежно від функціонального призначення структури ІВС підрозділяються за принципом побудови.

Вимірювальні системи використовуються для комплексних досліджень наукового характеру. Вони призначаються для роботи з об'єктами, що мають до початку експерименту мінімум апіорної інформації. Мета створення таких систем полягає в одержанні максимальної кількості достовірної інформації про об'єкт для складання алгоритмічного опису його поведінки.

У цьому випадку зворотний зв'язок системи з об'єктом відсутній або носить допоміжний характер. Інформація, отримана на виході ІВС, може використовуватися для прийняття будь-яких рішень, створення збуджуючих впливів, але не для керування об'єктом. ІВС призначена для створення додаткових умов проведення експерименту, для вивчення реакції об'єкта на ці впливи.

Для вимірювальних систем характерно:

більш високі, стосовно систем іншого виду, вимоги до метрологічних характеристик;

більш широкий спектр вимірюваних фізичних величин і особливо їхня кількість;

необхідність у засобах подання інформації. Визначальною вимогою є неспотворена наочна інформація й оперативне подання поточної інформації з урахуванням її швидкодії й динаміки відновлення;

великий об'єм зовнішньої пам'яті для систем, у яких обробка й аналіз результатів експерименту проводиться після завершення самого експерименту.

Класифікація за функціональним призначенням представлена на рис.1.3.

Статистичні ВС призначені для виміру статистичних характеристик вимірюваних величин. ВС для прямих вимірів призначені для незалежних вимірів дискретних значень безперервних величин. Вхідними в ВС для прямих вимірів є величини, відтворені датчиками або іншими вхідними пристроями системи. Задачі таких ВС полягають у виконанні аналогово-цифрових перетворень множини величин і видачі отриманих результатів виміру. У таких ВС основні типи вимірюваних вхідних величин можуть бути зведені до множини величин, що змінюються в часі, $\{x_i(t)\}_{i=\overline{1,n}}$, або до зміни в часі t і розподіленої у просторі Ω безперервної функції $x(t, \Omega)$. При вимірі вона представляється множиною дискрет $\{x_{ij}\}_{i=\overline{1,n}, j=\overline{1,m}}$.

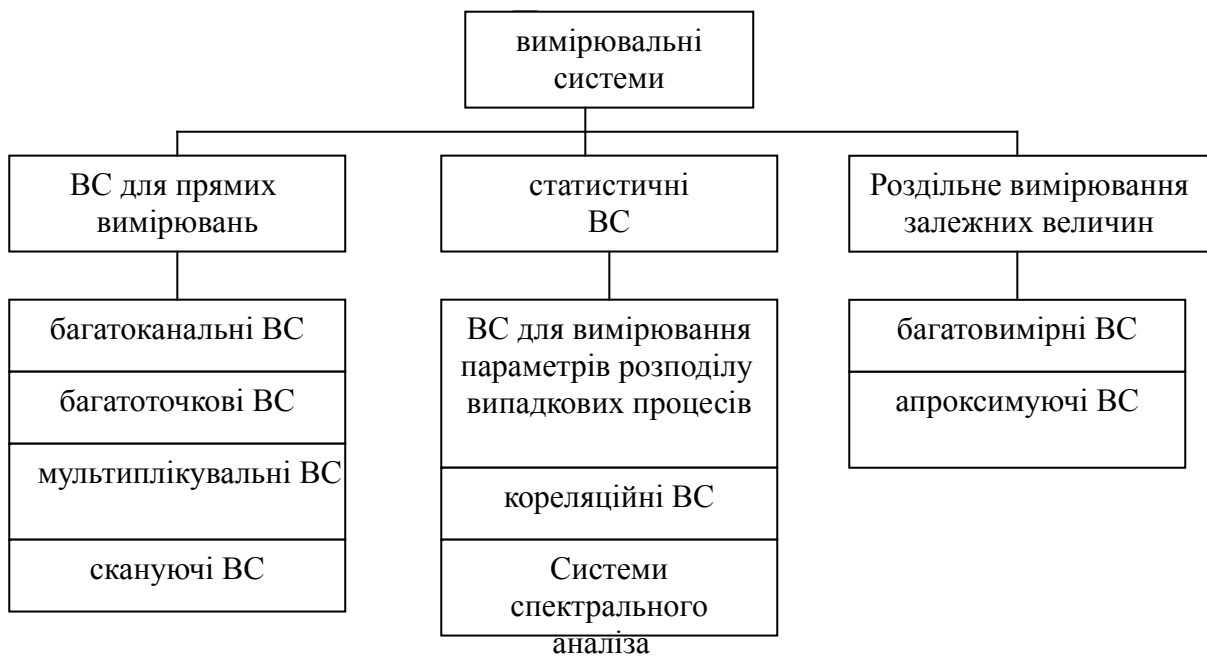


Рисунок 1.3 – Класифікація ІВС за функційним призначенням

Вимірювальні системи, що виконують вимір дискрет функції $x(t, \Omega)$, засновані на використанні багатоканальних, багатоточкових, мультиплікувальних і скануючих структур.

2 Структури, склад і характеристики аналого-цифрової частини ІВС

Практичне заняття №1

Основні структури аналого-цифрової частини ІВС

Дати загальну характеристику й представити схеми основних структур аналого-цифрової частини ІВС:

- а – паралельного принципу дії (багатоканальні);
- б – паралельного принципу із загальним набором зразкових мір (мультиплікувальні);
- в – паралельно-послідовного принципу дії (багатоточкові);
- г – послідовного принципу дії (скануючі або розгортаючі структури).

Практичне заняття №2

Порівняльна характеристика структур аналого-цифрової частини ІВС

Порівняти між собою дві структури у відповідності із заданим варіантом по кількості обладнання, швидкодії, пропускній здатності, надійності, особливостях функціонування, застосування і т.п.

Таблиця варіантів

Варіант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Структури	а,б	а,в	а,г	б,в	б,г	в,г	в,а	г,а	г,б	в,б

2.1 Побудова аналого-цифрової частини інформаційно-вимірювальних систем

Склад аналого-цифрової частини ІВС і призначення елементів

Аналого-цифрова частина (АЦЧ) ІВС складається з аналогових вимірювальних каналів і системних аналого-цифрових пристроїв (САЦП). Аналогові вимірювальні канали призначені для сприйняття вхідних величин, їхнього перетворення у вимірювальні сигнали й наступне перетворення аналогових сигналів за допомогою вимірювальних ланцюгів, а системні аналого-цифрового пристрою служать для виконання заданої безлічі аналого-цифрових перетворень у складі самих систем.

Виділимо основні елементи систем, без яких неможливе одержання вимірювальної інформації, і на цій елементній базі визначимо можливі структури АЦЧ. До основних елементів будь-яких АЦЧ ставляться датчики й аналогові вимірювальні ланцюги, які позначимо через Д, пристрої М, що формують значення зразкових мір, пристрої порівняння аналогових сигналів і зразкових мір ПП (або УС).

Пристрій автоматичного керування роботою елементів АЦЧ також є необхідним елементом, але його можна вважати рівноцінним для всіх варіантів структур і тому не включати до складу базису елементів, що визначає основні структури.

Основні структури аналого-цифрової частини ІВС

Для виявлення основних структур АЦЧ припустимо, що необхідно виміряти n величин. Максимальна кількість датчиків у цьому випадку повинна дорівнювати n , мінімальне – одному. В останньому випадку датчик повинен послідовно сприймати всі n величин.

Прийmemo в першому наближенні, що максимальна кількість пристроїв порівняння й зразкових мір дорівнює n , а мінімальне – одиниці. У той же час будемо мати на увазі, що в деяких структурах при вимірі окремих величин можуть бути використані перераховані вище способи виконання операцій порівняння й видачі інформації.

У табл.2.1 показані граничні кількості основних елементів ВС, а в табл.2.2 – основні структури для розглянутого випадку. Необхідно ще раз підкреслити, що тут не представлено, але можуть бути синтезовані численні проміжні (комбіновані) варіанти. Варто пояснити, що під елементами УС і М тут мається на увазі набір пристроїв порівняння й формування мір, необхідних для реалізації прийнятого алгоритму аналого-цифрового перетворення. Цей набір може бути у вимірювальних каналах різним. Формування результату аналого-цифрового перетворення в табл.2.2 і на рис. 2.1 не відбито, тому що вважається, що воно виробляється в пристрої керування.

Таблиця 2.1 – Гранична кількість основних елементів структур АЦЧ

Аналогові ланцюги	Паралельна робота	Послідовна робота
Датчики – Д	n	1 (з скануючим пристр.)
Пристрої порівняння – ПП(УС)	n	1
Зразкові міри – М (магазини або набори)	n	1

Таблиця 2.2 – Основні структури АЦЧ

№ структур и	Кількість елементів			№ структури	Кількість елементів		
	Д	ПП(УС))	М		Д	ПП(УС)	М
1	n	n	n	5	1	n	n
2			1	6			1
3		1	n	7		1	n
4			1	8			1

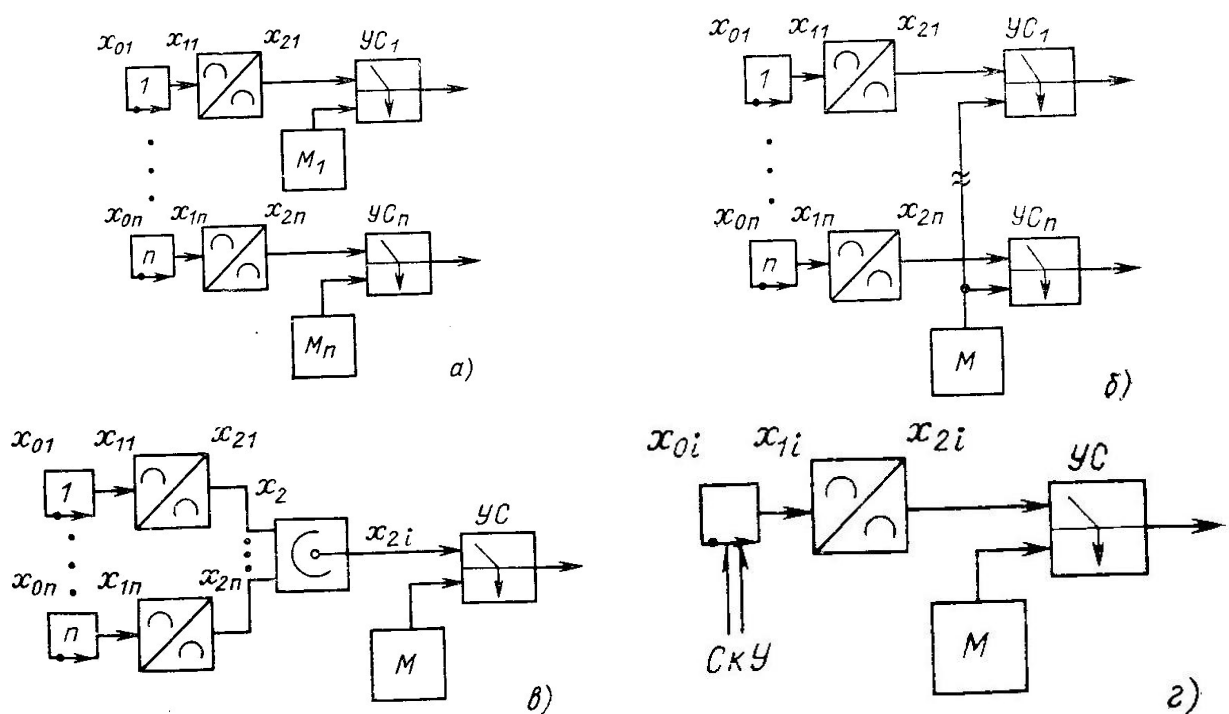


Рисунок 2.1 – Основні варіанти структур аналого-цифрової частини ІВС:

- а) – паралельної дії (багатоканальна); б) – паралельної дії із загальним набором зразкових мір (мультиплікувальна);
в) – паралельно-послідовної дії (багатоточкова);

г) – послідовного принципу дії

На рис.2.1 представлені структури, що знайшли найбільше поширення. До них ставляться структури АЦЧ паралельного принципу дії (рис. 2.1,а), паралельного принципу із загальним набором зразкових мір (рис. 2.1,б), паралельно-послідовного (рис. 2.1,в) і послідовного (рис. 2.1,г) принципів дії.

Перераховані варіанти структур мають сталі на практиці назви: а) – багатоканальні, б) – мультиплікувальні, в) – багатоточкові, г) – скануючі або розгортаючі структури.

Характеристики найбільш застосовуваних структур

Зіставимо між собою в табл.2.3 структури послідовної, паралельної, паралельно-послідовної дії, а також мультиплікувальну структуру за кількістю елементів S , а в табл.2.4 – за часом виміру T , пропускної здатності C і ймовірності безвідмовної роботи P . Через СкУ й К у табл.2.3 і 2.4 позначені відповідно скануючі й комутаційні пристрої.

При зіставленні цих структур приймемо, що характеристики однотипних елементів у них однакові й структури відрізняються одна від інший кількістю елементів і функціональних зв'язків між ними, що всі АЦЧ призначено для перетворення n величин, розміщених у просторі.

У табл.2.4 наведені вирази для S , T , C і P з індексами, що ставляться до відповідних типів структур. Під $\min C$ розуміється найменша із пропускних здатностей елементів системи (Д, М, УС, СкУ й К), під T – постійна часу елементів.

Таблиця 2.3 – Зіставлення структур за кількістю елементів

Варіант структури		Тип структури	Кількість елементів S				
По рис. 3.1	По табл. 3.2		Д	УС	К	М	СкУ
а	1	Паралельної дії (багатоканальна)	n	n	-	n	-
б	2	Мультиплікувальна	n	n	-	1	-
в	4	Паралельно-послідовної дії	n	-	n	1	-

Г	8	Послідовної дії	1	1	-	1	1
---	---	-----------------	---	---	---	---	---

Таблиця 2.4 – Характеристики найбільше застосовуваних структур

Варіант структури		Швидкодія Т	Пропускна здатність С	Імовірність безвідмовної роботи Р
По рис 1	По табл 1			
а	1	$\tau_d + \tau_{yc} + \tau_m$	$\min_i C_i$	$(P_d P_{yc} P_m)^n \leq P_{\parallel} \leq 1 - (1 - P_d P_{yc} P_m)^n$
б	2	$\tau_d + \tau_{yc} + \tau_m$	$n \min_i C_i$	$(P_d P_{yc})^n P_m \leq P_{\#} \leq [1 - (1 - P_d P_{yc})]^n P_m$
в	4	$\tau_d + n(\tau_m + \tau_{yc} + \tau_k)$	$\min_i C_i$	$P_d^n P_{yc} P_m \leq P_{-} \leq [1 - (1 - P_d)]^n P_{yc} P_m$
Г	8	$n(\tau_d + \tau_{yc} + \tau_m + \tau_{cky})$	$\min_i C_i$	$P_{-} = P_d P_{yc} P_m P_{cky}$

Необхідно відзначити, що наведені в табл.2.4 дані можуть бути використані лише для грубої оцінки характеристик структур АЦЧ і повинні уточнюватися залежно від типу й режиму роботи систем. Так, при оцінці ймовірності безвідмовної роботи системи можна вважати, що вихід з ладу кожного з елементів у системі послідовної дії приведе до виходу з ладу всієї системи. У той же час у системі паралельної дії відмова одного елемента приведе тільки до неповноцінної роботи системи – відмові одного з n каналів виміру. Час роботи окремих елементів в АЦЧ різного типу не може вибиратися довільно, між їхньою роботою повинна бути певний взаємозв'язок, що буде ясна з подальшого.

Зупинимося на особливостях функціонування основних структур аналого-цифрових частин ІВС.

2.2 Структура паралельної дії (багатоканальна)

Схема багатоканальної структури (рис. 2.1,а) відбиває паралельну одночасну роботу n самостійних вимірювальних каналів:

Для виконання аналого-цифрових перетворень можуть використовуватися будь-які з алгоритмів АЦП (розгортаючого, порозрядного, стежачого перетворення, збігу) і їхніх різновидів. При цьому, звичайно, повинна бути зроблена відповідна логічна обробка сигналів від пристрою порівняння й значень мір, що беруть участь в операціях порівняння. Основні переваги багатоканальних структур пов'язані з можливістю виміру різнорідних фізичних величин, використання одноканальних вимірювальних пристроїв, досягнення максимальної швидкодії й високого ступеня надійності.

Надійність багатоканальних структур залежить від пропонованих до них вимог. Якщо вважати, що структура працездатна при справності всіх елементів, що входять у неї, то тоді (при однакових вимірювальних каналах) імовірність безвідмовної роботи такої структури може бути відносно низькою:

$$P_{\parallel} = (P_d P_{uc} P_M)^n$$

Але якщо вважати, що вимірювальні канали резервують один одного, то ймовірність безвідмовної роботи структури дорівнює

$$P_{\parallel} = 1 - (1 - P_d P_{uc} P_M)^n$$

Реальна надійність такої структури буде між надійностями цих двох крайніх ситуацій:

$$(P_d P_{uc} P_M)^n \leq P_{\parallel} \leq 1 - (1 - P_d P_{uc} P_M)^n$$

Основний недолік структури пов'язаний з найбільшою (у порівнянні з іншими структурами) кількістю формуючих її елементів.

2.3 Мультиплікувальна структура (із загальною зразковою величиною)

Мультиплікувальні структури (рис.2.1,б) засновані на принципі вимірювального розгортаючого перетворення, широко використовуваного при вимірі однієї величини.

Відмінні риси мультиплікувальної структури полягають у тім, що в цій структурі виробляється «колективне» перетворення всіх n аналогових сигналів від вимірювальних ланцюгів за один цикл зміни зразкової величини X_k і при цьому можуть виконуватися операції перетворення й обробки інформації. Зупинимося на властивостях мультиплікувальних структур більш докладно.

При лінійній в часі зміні X_k мультиплікувальна структура може використовуватися для колективного перетворення n АМ-сигналів у ШИМ-сигнали, для аналого-цифрового перетворення однорідних величин без застосування комутаторів, для виділення й аналого-цифрового перетворення екстремальних сигналів, ранжирування сигналів по їхніх розмірах, виділення сигналів, що перебувають у заданих зонах, і т.п. Помітимо, що цифрове керування зміною зразкової величини дає більш широкі можливості побудови ефективних автоматичних мультиплікувальних структур.

У мультиплікувальних структурах є можливість поділу загальної кількості датчиків n на p груп. Кожна із груп датчиків охоплюється своїм діапазоном зміни зразкової величини. На виході пристроїв порівняння в момент рівності вимірюваної величини й відомого поточного значення X_k зразкової величини з'являються сигнали, що дозволяють одержати результати перетворення.

Слід зазначити, що зразкова величина може бути відома при її формуванні й (або) може бути обмірювана за допомогою додаткового пристрою.

Мультиплікувальні структури особливо зручно використовувати для виявлення точок поля, у яких досліджувана величина дорівнює заданому значенню.

При необхідності виділення й фіксації значень вимірюваних величин у заданих точках (адресний режим) є можливість підключати до пристрою подання інформації виходи відповідних пристроїв порівняння.

Пристрій формування зразкової величини може генерувати лінійно залежну від часу функцію. Тоді в мультиплікувальній структурі виробляється, по суті, час-імпульсне перетворення вимірюваних величин. Якщо генерується східчасто наростаюча функція, наприклад, за допомогою ЦАП, то істотно спрощується одержання цифрового результату виміру. Якщо зразкова величина формується залежно від лінійного або кутового переміщення якогось пристрою, що задає, то спрощуються можливості подання результатів виміру в графічному вигляді.

Вид пристроїв порівняння й генераторів, що формують зразкову величину, у мультиплікувальних структурах залежить головним чином від типу модуляції сигналів.

Найбільш широко в мультиплікувальних структурах використовуються датчики з вихідними АМ-сигналами. Тоді в більшості випадків використовуються пристрої порівняння релейного типу, а генератор зразкової величини формує лінійно зростаючу в часі або східчасту компенсаційну напругу.

Можливо також використання сигналів параметричних датчиків для зміни настроювання резонансних контурів або режимів роботи частотно-частотно-залежних ланцюгів, а як генератор зразкової величини – генератора хитної частоти.

Перспективне використання мультиплікувальних систем, що працюють із генератором хитної частоти, датчиками, що мають вихідні ЧМ-сигнали, і пристроями порівняння, що фіксують рівність частот коливань сигналів датчиків і генератора.

Відомі структури, у яких під впливом досліджуваних величин змінюються й виділяються амплітудні або фазо-частотні характеристики – особливі точки (наприклад, екстремум, перегин характеристики) пристроїв порівняння (наприклад, резонансного контуру).

2.4 Загальна характеристика структур паралельно-послідовної дії

Багатоточкові структури АЦЧ (рис.2.1,в), у яких органічно сполучаються паралельний принцип одержання й послідовний спосіб перетворення вимірювальних сигналів, мають найбільш широке застосування в ІВС.

Найбільш типова й розповсюджена ситуація, у якій використовуються структури паралельно-послідовної дії, складається в необхідності одержання вимірювальної інформації про задану кількість однорідних або різнорідних величин, сприйманих за допомогою датчиків. На такі структури

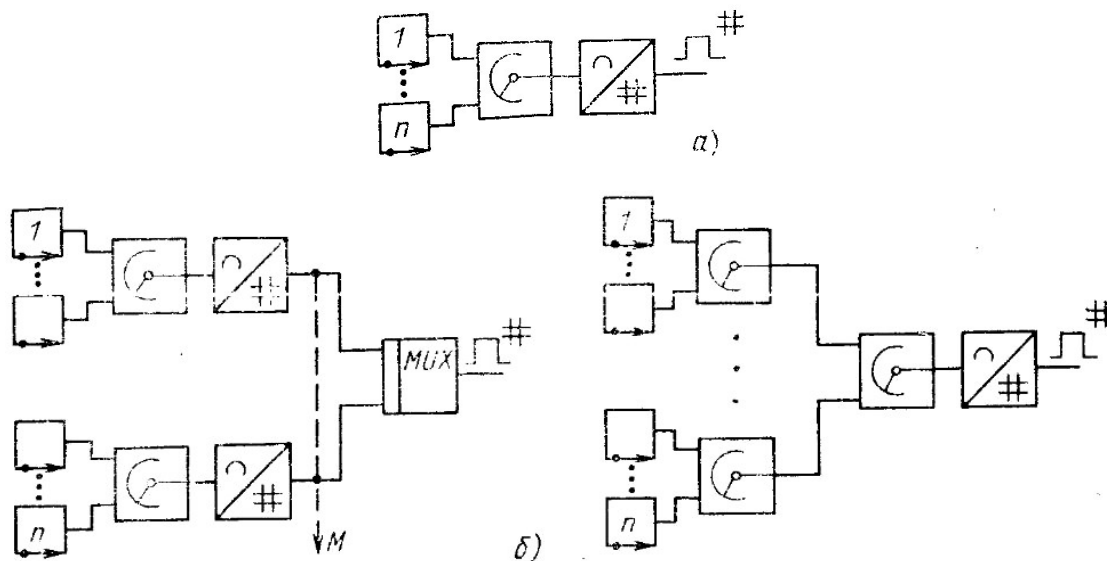
накладаються обмеження, які зв'язані в більшості випадків з вимогами послідовної (програмної) або вибіркової (адресної) видачі результатів аналого-цифрових перетворень, при цьому повинні задовольнятися вимоги по метрологічних і експлуатаційних характеристиках при мінімальній складності й вартості.

Прагнення до зменшення складності структури приводить до багаторазового послідовного використання окремих пристроїв вимірювального тракту, а отже, до застосування структур паралельно-послідовної дії, які називаються *багатоточкові* структури (рис.2.2).

Можливість послідовного виконання аналого-цифрових перетворень з'являється лише за умови, що сумарний час цих перетворень не буде перевищувати найменшого інтервалу дискретизації преутворених величин.

Варто підкреслити, що найбільш інерційні елементи вимірювального каналу (датчики) включені паралельно. Тому можна вважати в першому наближенні, що час, необхідний для виконання n аналого-цифрових перетворень, дорівнює:

$$T = \tau_d + n(\tau_m + \tau_{uc} + \tau_k) . \quad (2.1)$$



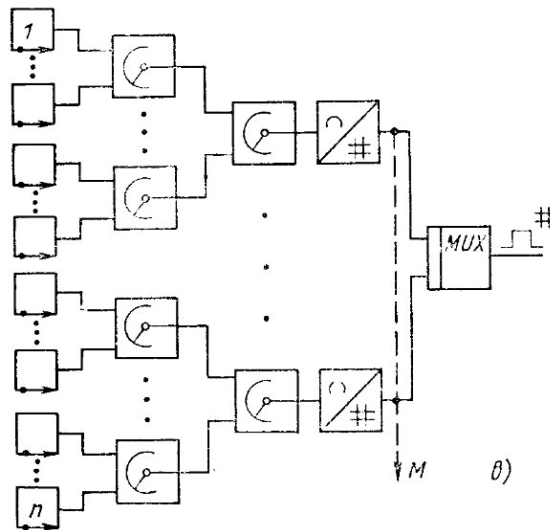


Рисунок 2.2 – Паралельно-послідовні структури:

- а) – одноступінчаста;
- б) – двоступінчаста;
- в) – триступінчаста

У виразі (2.1) τ_d , τ_k , $\tau_{вус}$, τ_m , — часи, що характеризують тривалість перетворень датчиків, комутації, порівняння й формування мір відповідно.

Отже, можна систематизувати багатоточкові структури (табл. 2.5). Кількість різновидів таких структур велике. Крім основних типів, обумовлених ознаками, наведеними в табл. 2.5, ці структури різняться по видах і параметрах вхідних сигналів (у тому числі й по виду модуляції), по типах комутаторів, АЦП і т.п.

Таблиця 2.5 – Класифікація багатоточкових структур

Класифікаційна ознака	Характеристики ознак	
	1	≥ 2
Кількість ступенів структури		
Послідовність роботи	Жорстко запрограмована	Адресна
Видача вимірювальної інформації	В процесі експеримента	З проміжним запам'ятовуванням
Застосовувані з'єднання	Магістральні	Радіальні

2.5 Загальна характеристика структур послідовної дії (скануючих систем)

У структурах послідовної дії операції одержання інформації виконуються послідовно в часі за допомогою одного каналу аналого-цифрового перетворення (рис. 2.1,г).

Якщо вимірювана величина розподілена в просторі або об'єктом виміру є властиво координати деякої точки або області простору, то сприйняття

інформації в таких структурах виконується за допомогою одного скануючого датчика. Такі структури звуться скануючими. Цей тип структур входить у більш загальний клас інформаційних систем, що називаються скануючими системами, й призначених для відтворення просторових образів на відстані (телебачення), для різноманітних перетворень просторових образів з метою, наприклад, виділення контурів, характерних точок і т.п.

Приклад скануючої структури по виміру місця розташування точки

Скануючі структури можуть класифікуватися по кількості вимірюваних величин. Вони можуть виконувати операції аналого-цифрового перетворення місця розташування деякої точки (рис. 2.3) на прямій лінії L , точки або кривій на площині або в просторі. Як система координат, звичайно, можуть бути використані різні, у тому числі нелінійні системи. Для виявлення основних закономірностей скануючих структур далі зупинимося на прямокутній системі координат.

При дослідженні параметричних полів (температур, тисків, механічних напруг та ін.) скануючі структури повинні дати кількісну оцінку цих параметрів у заданій системі координат.

Однак не у всіх випадках необхідно знати точне кількісне значення величин у багатьох точках простору. Іноді достатньо знайти екстремум досліджуваного параметра й виміряти його або знайти місця рівних значень досліджуваного параметра.

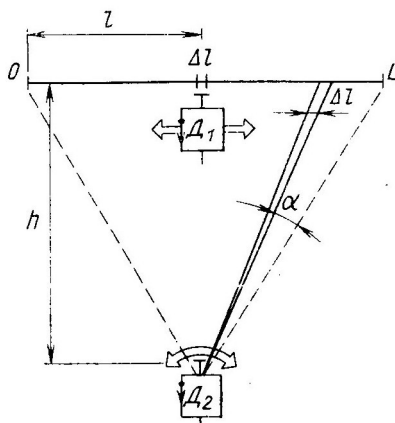


Рисунок 2.3 – Вимір місця розташування точки на лінії $[0, L]$

Δl – розв'язна здатність датчика; L – переміщення датчика;

α – кут сканування; h – відстань від датчика D_2 до лінії спостереження

Варіанти використання датчиків:

D_1 – вимірювання l та Δl ;

D_2 – вимірювання α , l , Δl , h

У скануючих ВС з метою поліпшення деяких характеристик систем (наприклад, швидкодії) досить часто виробляється перетворення області сканування й досліджуваного параметра в проміжну фізичну величину (наприклад, в електричний потенціал). При такому проміжному

перетворенні можуть виконуватися й деякі операції обробки (наприклад, перетворення Фур'є, диференціювання й т.д.).

Дуже важливою є можливість візуалізації таких видів випромінювань, як, наприклад, теплові, високочастотні електромагнітні, рентгенівські. Це дозволяє не тільки наочно представляти розподіл таких параметрів у просторі, але й використовувати методи кількісної оцінки візуальної інформації. При проміжних перетвореннях часто виявляється корисним для зниження похибок виміру робити одночасне перетворення невідомої і відомої зразкової величин.

Скануючі датчики можуть бути виконані таким чином, що вони при виконанні операцій сприйняття інформації входять у безпосередній контакт із досліджуванним параметром або областю сканування або сприймають вимірювані величини при відсутності безпосереднього контакту («безконтактні» датчики).

Прикладами «контактних» датчиків можуть служити термопари або термометри опорів, «безконтактних» – радіаційні пірометри.

Сканування шляхом переміщення «контактного» датчика D_1 (рис. 2.3) уздовж об'єкта виміру широко використовується при геофізичних дослідженнях, в океанологічних дослідженнях, при вивченні космічного простору.

Дистанційне сканування за допомогою «безконтактних» датчиків D_2 з постійним полем їхнього сприйняття застосовуються при телевізійних методах виміру геометричних розмірів, у радіолокаційних системах виміру дальності, в ультразвуковій дефектоскопії, при вимірі параметрів теплових полів по інфрачервоному випромінюванню, при використанні лазерів для оцінки параметрів високотемпературної плазми (розсіювання променя при цьому пропорційно температурі, а зміна інтенсивності — щільності плазми).

Знаходження екстремума вимірюваної величини

При виділенні й вимірі екстремумов вимірюваних величин можна виконувати пасивне й активне сканування. При пасивному скануванні траєкторія руху променя визначена заздалегідь і не змінюється в процесі сканування.

Активне сканування пов'язане зі зміною траєкторії сканування залежно від інформації про вимірювану величину, одержуваною системою в процесі сканування. Активні скануючі структури здійснюють пошук певного значення вимірюваної величини з урахуванням результатів пробних рухів.

Знаходження екстремума вимірюваної величини, розподіленої в просторі й маючої безперервний характер, з використанням активного сканування дозволяє різко зменшити довжина траєкторії сканування в порівнянні з довжиною траєкторії пасивного сканування.

Коли величина x розподілена в просторі і є функцією координат простору y_1, y_2, \dots, y_n , то може бути реалізовано кілька методів пошуку її екстремального значення.

У цьому випадку алгоритм роботи скануючої структури повинен включати збір і аналіз вимірювальної інформації з метою визначення найкращого шляху до досягнення заданої характерної області досліджуваної величини. У загальному вигляді при знаходженні екстремального значення величини x , при якому $\Sigma(\partial x/\partial y_i) = 0$, виробляється оцінка $F[\Sigma(\partial x/\partial y_i)]$ і приймається на підставі встановленого вирішального правила висновок про продовження або закінчення пошуку екстремума.

Метод, при якому сканування відбувається по напрямку градієнта зміни величини, називається методом градієнта. Градієнт зміни вимірюваної величини є вектором і визначається в такий спосіб:

$$\text{grad } x = \sum_{i=1}^n k(\partial x/\partial y_i) ,$$

де k – одиничні вектори осей координат y_i .

В точці екстремума $\text{grad } x = 0$, тобто всі часткові похідні функції x в цій точці дорівнюють нулю. Траєкторія сканування по методу градієнта визначається послідовним виконанням пробних рухів, аналізом напрямку $\text{grad } x$ і скануючим рухом у цьому напрямку.

Якщо величина x є функцією одної змінної y і має одне екстремальне значення, при якому $\partial x/\partial y = 0$, то напрямок руху до екстремуму визначається знаком поточної похідної $\partial x/\partial y$ (рис. 2.4).

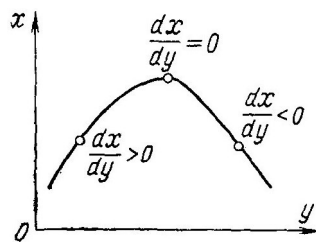


Рисунок 2.4 – До пошуку екстремума кривої $x(y)$ по методу градієнта

Більш прості в реалізації, а в ряді випадків не менш ефективні методи найшвидшого спуску, Гаусса - Зейделя й сліпого пошуку.

При використанні методу найшвидшого спуску виробляються визначення значення y напрямку $\text{grad } x$ у даній точці й сканування в отриманому напрямку доти, поки похідна від x по прийнятому напрямку не стане дорівнювати нулю. Це трапиться в точці торкання напрямку руху з лінією $x = \text{const}$. У цій точці знову визначається $\text{grad } x$ і змінюється напрямок сканування (рис. 2.5).

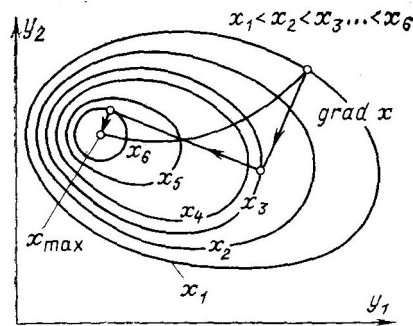


Рисунок 2.5 – До пошуку екстремума поверхні $x(y_1/y_2)$ по методу найшвидшого спуска

Метод Гаусса-Зейделя пов'язаний зі скануванням по прямокутній координаті y_i до моменту $\partial x / \partial y_i = 0$, рухом по іншій координаті й знаходженням частки екстремума x (рис. 2.6). Помітимо, що цей метод використовується при зрівноважуванні мостів змінного струму.

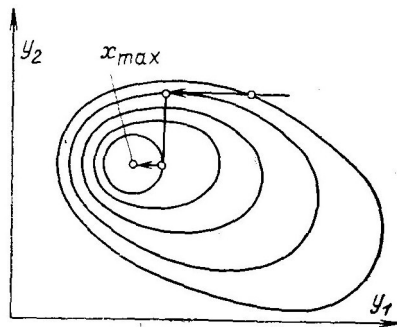


Рисунок 2.6 – До пошуку екстремума поверхні $x(y_1/y_2)$ по методу Гаусса - Зейделя

При великому числі змінних використовується метод випадкового пошуку. У цьому випадку траєкторія сканування визначається шляхом аналізу випадкових переміщень (кроків). Якщо при виконанні пробного кроку збільшення $\partial x / \partial y_i < 0$, то відбувається повернення в колишню точку траєкторії й виконується наступний пробний рух.

Апаратні реалізації пошуку екстремальних значень величин, розподілених у просторі, розроблені для відносно простих випадків. Найбільш повно розглянуті методи побудови «екстрематорів» для однієї величини, розподіленої по ділянці прямої довжини й по площині.

Слід зазначити, що доцільно в багатьох випадках перетворити в скануючій структурі просторово розподілену величину у функцію часу й потім знайти екстремальне значення цієї функції.

Пошук і виявлення об'єктів, що створюють температурне поле (наприклад, об'єктів, що рухаються з тепловими двигунами), можна також робити методами пасивного й активного сканування. Останнє можливо, якщо температурне поле об'єкта перебуває в зоні сприйняття скануючого датчика. Якщо температурне поле об'єкта перебуває поза зоною сприйняття датчика, то повинне здійснюватися пасивне сканування простору, у якому

може перебувати об'єкт. Траєкторії сканування у випадку відсутності апіорних даних про ймовірність знаходження об'єкта в просторі повинні забезпечити рівномірний «огляд» усього простору.

Різновиди траєкторій пасивного сканування на площині

Можливі різні реалізації траєкторії сканування на площині. Вони показані на рис.2.7. Вибір виду траєкторії сканування при відсутності апіорних даних визначається, як правило, простотою апаратної реалізації скануючого пристрою.

Найбільш поширення в техніці скануючих систем має коливально-коливальний рух.

Наявність апіорної інформації про розподіл імовірності знаходження об'єкта на площі дозволяє вирішувати завдання оптимальної організації скануючих рухів.

Вище були коротко розглянуті лише найпоширеніші способи організації пошуку екстремумов унімодальних функцій без обліку випадкових похибок вимірів. У той же час реально вимірювані величини можуть мати локальні екстремуми й інші особливості (наявність «ярів», «гребенів» і т.п.), що впливають на вибір того або іншого способу пошуку; при пошуку повинні враховуватися мірність досліджуваного простору, похибки вимірів, зміни вимірюваної величини в часі й інші фактори.

Потрібно помітити, що теорія пошуку знаходить досить широке застосування в ІВС. У зв'язку з цим при викладанні матеріалу по структурах вимірювальних систем, системам розпізнавання образів і системам технічної діагностики використовуються результати, отримані в теорії пошуку.

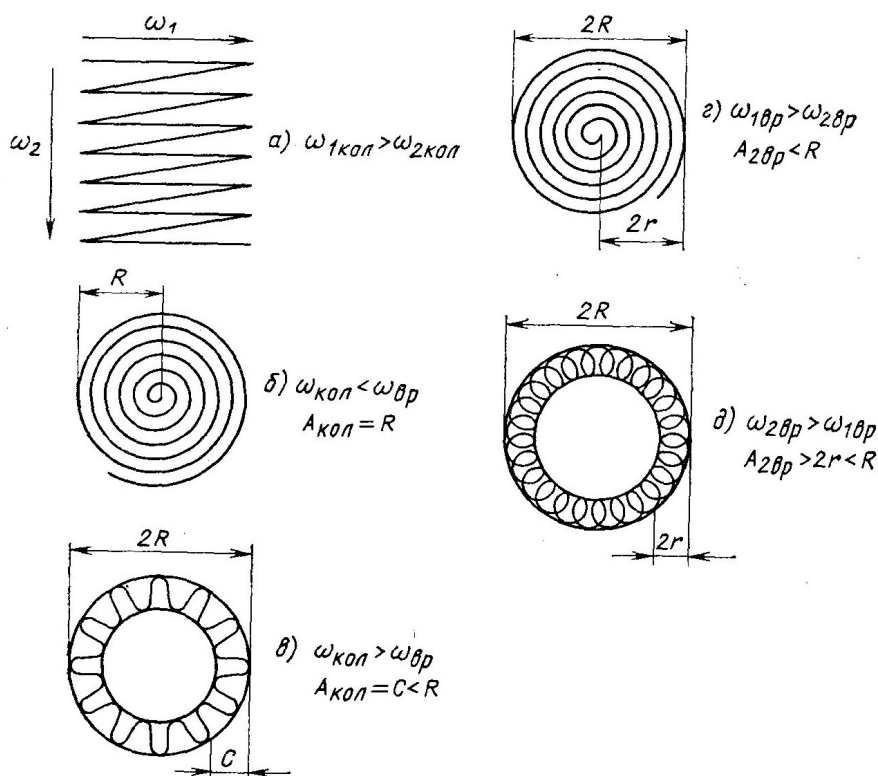


Рисунок 2.7 – Траєкторії пасивного сканування на площині:

а – коливально-коливальний рух; б – спіральне обертально-коливальне; в – розеточне обертально-коливальний рух; г – спіральний обертально-обертальний рух; д – розеточно обертально-обертальний рух; $\omega_{\text{КОЛ}}$, $\omega_{\text{ВР}}$, $A_{\text{КОЛ}}$, $A_{\text{ВР}}$ – кругові частоти й амплітуди коливального й обертового рухів

У табл. 2.6 зведені основні різновиди скануючих структур.

Таблиця 2.6 – Основні різновиди скануючих структур

Класифіційна ознака	Характеристики ознак	
Мірність вимірюваних величин	1	≥ 2
Характер операцій вимірювання	Вимірювання по всіх точках	Вимірювання екстремальних значень, визначення еквіпотенційних ліній
Тип скануючого датчика	Контактної дії	Безконтактної дії
Проміжне перетворення скануємої області	З перетворенням	Без перетворення
Вид скануючих рухів	Пасивний	Активний

Варто помітити, що властиво операції виміру в скануючих структурах можуть виконуватися різними методами. Серед них найбільше поширення має метод зрівноважування, що розгортає.

Крім мінімальної кількості елементів у порівнянні з іншими, скануючі структури мають перевагу, що полягає в тім, що канал виміру використовується багаторазово. Тому при певній стабільності характеристик цього каналу можна з підвищеною точністю робити відносні виміри величини, розподіленої в просторі.

Найбільш серйозний недолік структур послідовної дії – підсумовування інтервалів часу послідовно виконуваних операцій виміру по всіх вимірюваних величинах – при застосуванні сучасних швидкодіючих засобів сприйняття інформації (телевізійні датчики, оптико-електронні перетворювачі й т.п.) не проявляється, і в багатьох випадках скануючі структури мають не меншу швидкодію, чим структури паралельної дії.

3 Стандартний інтерфейс та його функції

Практичне заняття №3

Призначення і функціонування стандартних інтерфейсів

Вивчити вказані розділи теми і відповісти на запитання по вибору викладача:

1. Призначення послідовного інтерфейсу і його склад.
2. Методи підвищення перешкодостійкості послідовних інтерфейсів.
3. Інтерфейс RS-232C, його призначення і функціонування.
4. Надайте опис стандарту RS-232C.
5. Стандартні рознімання інтерфейсу RS-232C.
6. Компоненти формату даних в RS-232C, що передаються.
7. Основні відміни стандартів RS-422 і RS-232C.
8. Основні відміни інтерфейсу RS-449 від RS-232C.
9. Промисловий стандарт RS-485 і його можливості.
10. Інтерфейси периферійної частини комп'ютера.
11. Характеристика спеціалізованого інтерфейсу USB.
12. Лінії зв'язку.

3.1 Магістралі інтерфейсів

Будь-яка інформаційно-вимірювальна система (ІВС) має складну структуру і містить у собі багато пристроїв різного призначення – датчики, контролери, вимірювальні перетворювачі і т.д. Для того, щоб ці пристрої могли функціонувати спільно, вони повинні мати загальний стандартний інтерфейс.

Під стандартним інтерфейсом мається на увазі сукупність правил (протоколів) і програмного забезпечення процесу обміну інформацією між функціональними блоками (ФБ), а також відповідних технічних засобів сполучення в системі.

Основна функція інтерфейсів – забезпечувати:

- інформаційну;
- електричну;
- конструктивну сумісність компонентів системи.

Інформаційна сумісність – погодженість дій функціональних елементів відповідно до сукупності логічних умов.

Електрична сумісність – погодженість статичних і динамічних параметрів електричних сигналів у системі шин з урахуванням обмежень на просторове розміщення пристроїв інтерфейсу і технічну реалізацію приймально-передавальних елементів.

Конструктивна сумісність – погодженість конструктивних елементів, призначених для забезпечення механічного контакту з'єднань і механічної заміни схемних елементів, блоків і пристроїв.

При побудові інтерфейсів використовують наступні принципи: принцип модульності, принцип програмного управління і принцип магістральності.

Будь-яка ІВС є об'єднанням аналогових, цифрових і аналого-цифрових ФБ. Отже, для ІВС потрібно мати інтерфейси, що забезпечують спільну дію всіх названих ФБ. Однак у даний час достатньо повно розроблені лише цифрові інтерфейси, що забезпечують спільну роботу цифрових ФБ і цифрових частин аналогових і аналого-цифрових ФБ. Це пов'язано з тим, що в сучасних ІВС велика частка службової інформації, необхідної для управління роботою блоків системи, представляється в цифровій формі.

В інтерфейсах виділяються дві магістралі: інформаційного каналу і управління інформаційним каналом. По інформаційній магістралі передаються коди адрес, команд, даних, стану. Аналогічні назви мають відповідні шини інтерфейсів.

Шина адреси призначена для вибірки в магістралі вузлів, пристроїв, комірок пам'яті.

Шина команд використовується для управління операціями на магістралі.

Шини даних використовуються для передачі в двійкових кодів. Як правило, у паралельних інтерфейсах дані кратні байту (8, 16, 24, 32 розрядів), у деяких інтерфейсах байти супроводжуються бітами парності (паритету), а також

ідентифікаторами розрядності (по кількості байтів) переданих даних (1, 2, 3, 4 байт).

Шина стану використовується для передачі повідомлень, що описують результат виконання операції на інтерфейсі або стану пристроїв сполучення.

У більшості інтерфейсів коди адрес, даних, команд, станів передаються по шинах інтерфейсу з поділом часу в режимі часового мультиплексування сигналу. Передача проводиться по одних і тих же лініях з використанням додаткових ліній для ідентифікації типу переданої інформації. При цьому істотно скорочується кількість ліній інформаційної магістралі, однак відбувається зниження швидкодії передачі даних.

Магістраль управління інформаційним каналом по функційному призначенню поділяється на наступний ряд шин: управління обміном, передачі управління, переривання, управління режимом роботи, спеціальних сигналів.

Шина управління обміном містить у собі лінії синхронізації передачі інформації.

Шина передачі управління використовується для реалізації операцій пріоритетного заняття магістралі.

Шина переривання застосовується в основному в системних інтерфейсах ЕОМ і програмно-модульних системах управління і виміру для ідентифікації пристроїв, що запитують сеанс зв'язку.

Шина управління режимом роботи і спеціальних сигналів управління містить лінії, що забезпечують працездатність інтерфейсу.

Різноманіття інформаційних систем є основною причиною того, що в даний час розроблено і продовжується розробка великої кількості інтерфейсів.

3.2 Класифікація інтерфейсів

Виділяють наступні основні класифікаційні ознаки інтерфейсів:

- характер управління (централізований, децентралізований);
- система шин для інформаційних і службових потоків (об'єднана, роз'єднана);
- спосіб з'єднання компонентів (магістральний, радіальний, ланцюговий, змішаний або комбінований);
- спосіб передачі інформації (паралельний, послідовний);
- режим передачі інформації (двосторонній, односторонній);
- принцип обміну інформацією (асинхронний, синхронний);
- тип ЕОМ, що використовується (будь-який, проблемно-орієнтований);
- джерела живлення (уніфіковані, спеціалізовані);
- наявність або відсутність уніфікації конструкції.

Зазначені ознаки характеризують тільки визначені аспекти організації інтерфейсів. Більш повна характеристика і класифікація інтерфейсів базується на сукупності декількох основних ознак: область поширення або функціональне призначення; логічна і функціональна організація; фізична реалізація.

Розглянемо більш докладно перераховані вище основні ознаки класифікації інтерфейсів.

У централізованих інтерфейсах здійснюється програмне управління роботою усіх ФБ і є можливість зміни не тільки алгоритмів роботи, але і складу ФБ, використовуваних у ІВС.

В інтерфейсах з децентралізованим управлінням обробка інформації й обмін інформацією між ФБ проводиться без особистої участі пристрою управління. У системі визначаються пріоритети для кожного активного ФБ, і виділяється «суддя» – ФБ, що визначає в необхідних випадках послідовність роботи ФБ. Таку роль виконує центральний процесор.

Система шин може бути використана для обміну як інформаційними, так і службовими сигналами. Це – об'єднана система шин. Але в деяких інтерфейсах для проходження інформаційних і службових потоків сигналів використовується роздільна система шин. Організація обміну інформацією в таких системах шин може відрізнятися одна від другої.

Об'єднання ФБ між собою може бути виконане в наступних варіантах: ланцюгова структура, радіальна структура, магістральна і радіально-магістральна (змішана) структури.

Магістральна структура може бути як з централізованим, так і з децентралізованим управлінням.

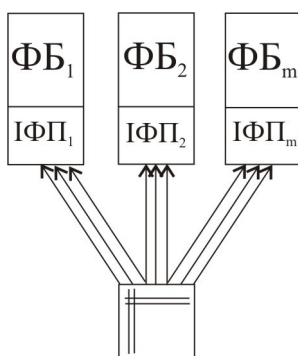


Рисунок 3.1 – Радіальна структура шин

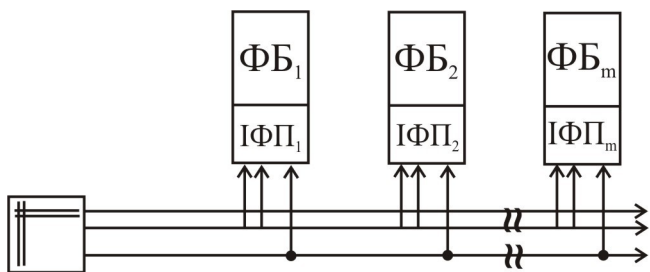


Рисунок 3.2 – Магістральна структура з централізованим управлінням

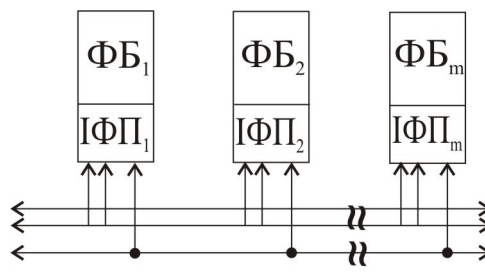


Рисунок 3.3 – Магістральна структура з децентралізованим управлінням

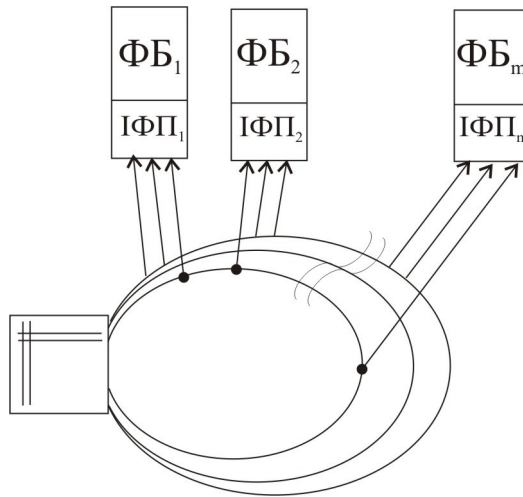


Рисунок 3.4 – Магістральна структура форми петлі з централізованим управлінням

Обмін інформацією між ФБ у централізованих ІВС може бути здійснений по індивідуальним (радіальним) або колективним (магістральним) системам шин. Шина – кілька ліній сигналів, що виконують визначені функції (передача даних, команд, адреси і т.п.).

В індивідуальній (радіальній) системі для обміну інформацією використовуються шини, що пов'язують блок управління системою з кожним ФБ (рис. 3.1).

Колективна або магістральна система шин передбачає її використання для обміну інформацією між ФБ послідовно, з поділом переданих повідомлень за часом (рис. 3.2, рис. 3.3, рис. 3.4).

Варто помітити, що в інтерфейсах використовуються і змішані індивідуально-колективні системи шин, що дозволяють (за рахунок збільшення технічних засобів у порівнянні із системою колективних шин) спростити управління, програмне забезпечення і підвищити швидкодію (рис. 3.5).

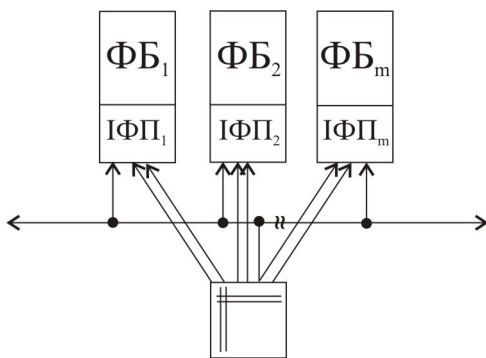


Рисунок 3.5 – Радіально-магістральна структура з централізованим управлінням

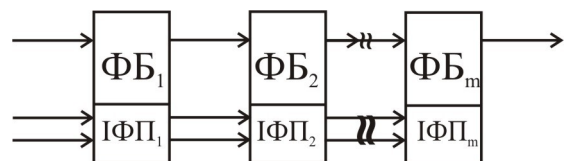


Рисунок 3.6 – Ланцюгова структура

Ланцюгова структура відноситься до структур з децентралізованим управлінням, у якій управління роботою наступного ФБ проводиться тільки після закінчення перетворення в попередньому ФБ. Як правило, ланцюгова

структура містить інтерфейсні пристрої і шину управління (рис.3.6). При жорсткому з'єднанні блоків схема управління практично може бути відсутньою.

Операції обміну інформацією між ФБ можуть виконуватися послідовно (по бітах) або паралельно (по n біт одночасно). При послідовному виконанні таких операцій для обміну інформацією використовується одна лінія зв'язку і відбувається поділ сигналів у часі, а при паралельному – декілька ліній зв'язку, тобто реалізується поділ сигналів у просторі.

Існує також байт-послідовний – біт-паралельний спосіб обміну інформацією: у кожному байті біти розташовуються паралельно, але байти передаються послідовно.

Стосовно інформаційних потоків можна виділити наступні основні різновиди функціональних блоків:

- ФБ-джерела інформації (ФБД), призначені для видачі інформації іншим ФБ системи;
- ФБ-приймачі інформації (ФБП), призначені для одержання інформації від інших ФБ системи.

Для ФБД і ФБП характерний однобічний режим передачі інформації.

ФБ-приймачі і джерела інформації, призначені для прийому і, після виконання визначених перетворень, видачі інформації. Характеризуються двостороннім режимом передачі інформації.

ФБ можуть бути активними (ініціюючими), що виступають ініціаторами в обміні інформаційними сигналами, і пасивними, що виконують операції обміну інформацією тільки по командах, що надходять ззовні.

Для передачі цифрової інформації між ФБ можливо використовувати синхронний і асинхронний методи.

При синхронній передачі сигналів у ланцюзі передача і прийом проводяться у фіксовані моменти часу, обумовлені синхронізуючими (стробуючими) імпульсами. При цьому розмір інтервалів між цими імпульсами трохи перевищує час, необхідний для передачі сигналу. Використання синхронного обміну інформацією підвищує перешкодостійкість передачі інформації і спрощує алгоритм дії системи.

Темп обміну інформацією при асинхронному методі визначається ФБП шляхом передачі від нього на ФБД сигналу квітірування про закінчення прийому інформації.

Деякі інтерфейси розраховані на те, що в системі можуть бути використані будь-які засоби обробки інформації – універсальні ЕОМ, спеціалізовані обчислювальні пристрої. Частіше інтерфейс забезпечує обмін інформацією в основному тільки з даною ЕОМ.

Уніфікація живлення ФБ, пов'язана з наявністю загальних джерел живлення на групу ФБ, істотно спрощує ФБ, але, як правило, ускладнює самі джерела живлення. Це пояснюється тим, що джерела живлення повинні мати визначену потужність, достатню для живлення повного набору ФБ.

Під конструктивною сумісністю мається на увазі стандартизація в рамках системи використовуваних рознімань, плат, модулів та інших конструктивів.

Існують інтерфейси, що не накладають обмеження на конструктивне оформлення ФБ і їхньої сукупності.

3.3 Загальна характеристика послідовних інтерфейсів

Відповідно до прийнятої класифікації, інтерфейс з послідовним виконанням операцій обміну інформацією, або послідовний інтерфейс, має магістральну систему шин, що складається з однієї двоспрямованої або двох односпрямованих ліній сигналів, по яких передаються й інформаційні, і керуючі потоки.

Зменшення обсягу службової інформації можна домогтися шляхом регламентації послідовності і розмірів переданих сигналів. Підвищення швидкодії можна домогтися (не збільшуючи кількість ліній) завдяки використанню ліній зв'язку, що мають підвищену швидкість передачі інформації.

Наявність невеликої кількості ліній зв'язку в послідовному інтерфейсі дозволяє виконати їх з поліпшеним захистом від впливу перешкод. Зокрема, використання скручених і екранованих дротів, коаксіального кабелю й інших засобів дозволяє забезпечити, як відомо, достатній для багатьох випадків практики захист ліній зв'язку від поперечних перешкод (перешкод наведення). Для зменшення впливу подовжніх перешкод (обумовлених різницею потенціалів точок заземлення) можуть бути застосовані відомі методи гальванічного поділу ланцюгів за допомогою, наприклад, імпульсних трансформаторів, розділових конденсаторів, оптронів. Для поліпшення завадостійкості в таких інтерфейсах доцільно підвищувати до припустимої межі рівень використовуваних сигналів.

Послідовні інтерфейси можуть бути виконані з розімкнутою або замкнутою (петлевою) магістраллю, з одноступінчатою або багатоступінчастою адресацією поєднуваних ФБ. Петлева структура магістралі дозволяє підвищити надійність роботи системи, а багатоступінчаста адресація – зосередити у визначених місцях значну кількість ФБ.

Розглянемо найбільш розповсюджені послідовні інтерфейси.

3.4 Характеристика і функціонування інтерфейсу RS-232C

Інтерфейс RS-232C призначений для підключення апаратури, що передає або приймає дані (АПД – апаратура передачі даних), до кінцевої апаратури каналів даних (АКД), а також для зв'язку підсистем із пристроєм більш високого ієрархічного рівня. У ролі АПД може виступати комп'ютер, принтер, плотер і інше периферійне устаткування. У ролі АКД звичайно виступає модем. Кінцевою метою підключення є з'єднання двох пристроїв АПД. Повна схема з'єднання наведена на рис. 3.1. Інтерфейс дозволяє виключити канал віддаленого зв'язку разом з парою пристроїв АКД, з'єднавши пристрої

безпосередньо за допомогою нуль-модемного кабелю. Нуль-модемний кабель – кабель, за допомогою якого з'єднуються два пристрої по послідовних портах (рис. 3.2).

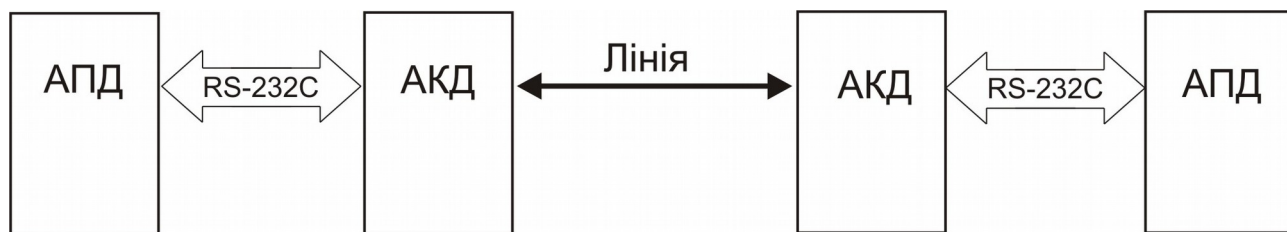


Рисунок 3.1 – Повна схема з'єднання по RS-232C

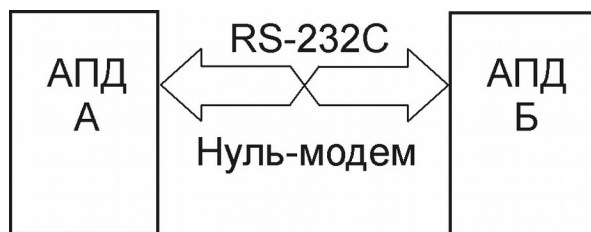


Рисунок 3.2 – З'єднання по RS-232C нуль-модемним кабелем

Стандарт описує керуючі сигнали інтерфейсу, пересилання даних, електричний інтерфейс і типи рознімів. Даний інтерфейс широко застосовується для синхронної й асинхронної передачі даних при двоточечному або багатоточечному з'єднанні периферійних пристроїв у дуплексному режимі обміну. Для керування з'єднаними пристроями використовується програмне підтвердження (введення в потік переданих даних відповідних керуючих символів). В RS-232C можлива організація апаратного підтвердження шляхом введення додаткових ліній для забезпечення функцій визначення статусу і керування.

Стандарт RS-232C описує несиметричні передавачі і приймачі – сигнал передається щодо загального дроту – схемної землі (симетричні диференціальні сигнали використовуються в інших інтерфейсах, наприклад, RS-422). Інтерфейс не забезпечує гальванічної розв'язки пристроїв.

Інтерфейс припускає наявність захисного заземлення для пристроїв, що з'єднуються, якщо вони живляться від мережі перемінного струму і мають мережні фільтри.

Стандарт RS-232C регламентує типи застосовуваних рознімів.

На апаратурі АПД прийнято встановлювати вилки DB25P або більш компактний варіант – DB9P. Дев'ятиштирькове рознімання не має контактів для додаткових сигналів, необхідних для синхронного режиму, хоча в більшості 25-штирькових рознімань ці контакти не використовуються (рис.3.3). На модемах установлюють розетки DB25S або DB9S.

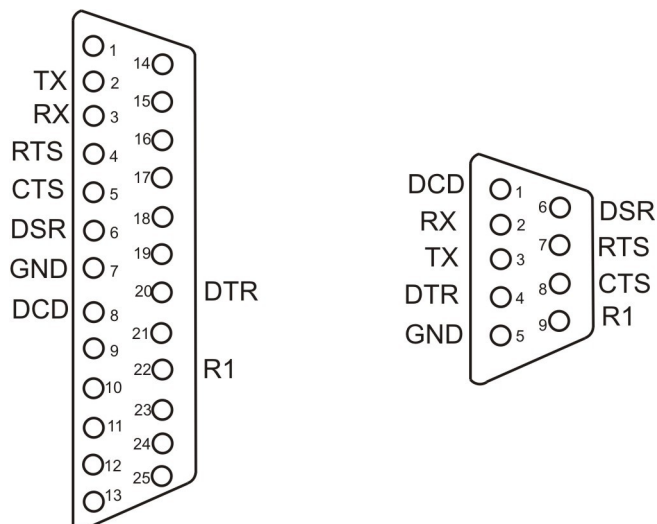


Рисунок 3.3 – Стандартні рознімання для підключення RS-232C

Призначення контактів рознімання приведені нижче:

- FG – захисне заземлення (екран);
- Tx – передані дані в послідовному коді;
- Rx – прийняті дані в послідовному коді;
- RTS – сигнал запиту передачі. Активний весь час передачі;
- CTS – сигнал скидання (очищення) для передачі. Активний весь час передачі.

Повідомляє про готовність приймача;

DSR – готовність даних. Використовується для завдання режиму модему;

SG – сигнальне заземлення, нульовий дрот;

DCD – виявлення носія даних (детектування прийнятого сигналу);

DTR – готовність вихідних даних;

RI – індикатор виклику.

Найчастіше використовується трьох- або чотирьохпровідний зв'язок (для двоспрямованої передачі). Схема з'єднання для чотирьохпровідної лінії зв'язку показана на рис. 3.4.

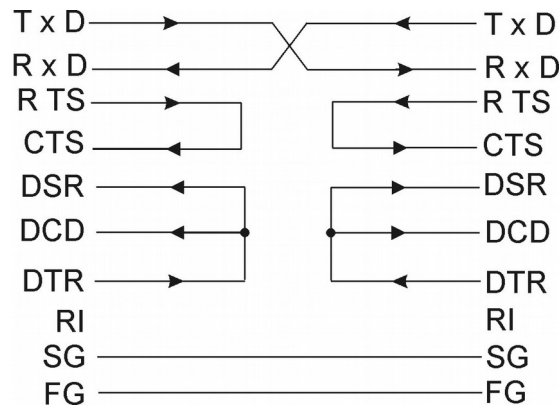


Рисунок 3.4 – Схема 4х-провідної лінії зв'язку для RS-232C

Формат даних, що передаються, показаний на рис. 3.5. Власне дані (5, 6, 7 або 8 біт) супроводжуються стартовим бітом, бітом парності й одним або двома стоповими бітами. Одержавши стартовий біт, приймач вибирає з лінії біту даних через визначені 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.

Усі сигнали RS-232C передаються спеціально обраними рівнями, що забезпечують високу перешкодостійкість зв'язку.

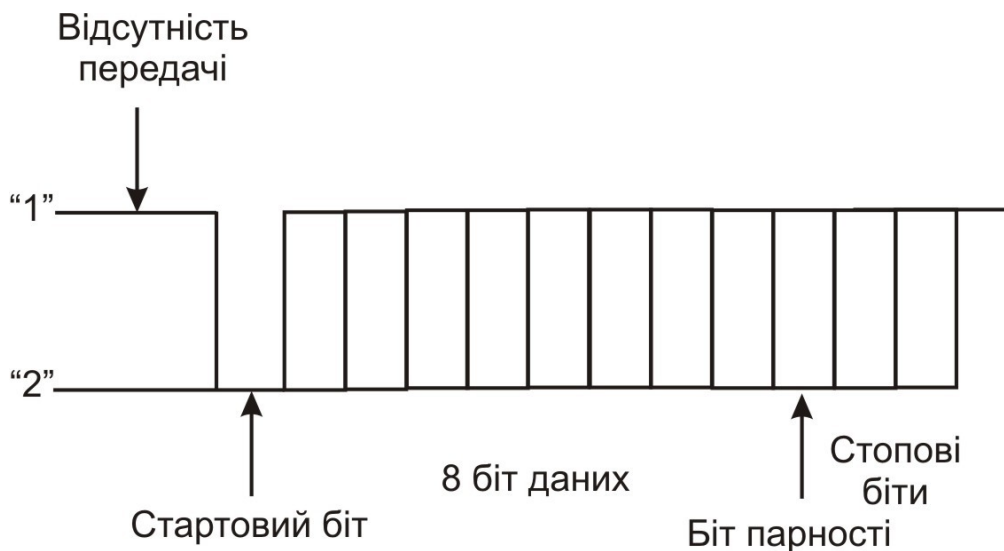


Рисунок 3.5 – Формат даних RS-232C

Асинхронний режим передачі є байт-орієнтованим (символьно-орієнтованим): мінімальна одиниця інформації, що пересилається – один байт (один символ).

Для асинхронного режиму прийнятий ряд стандартних швидкостей обміну: 50, 75, 110, 150, 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600 і 115200 біт/с. Іноді замість одиниці виміру “біт/с” використовують “бод” (baud), але при розгляді двійкових переданих сигналів це некоректно. У бодах прийнято вимірювати частоту зміни стану лінії. Однак, при недвійковому способі кодування, широко застосовуваному в сучасних модемах, швидкості передачі біт (біт/с) і зміни сигналу (бод) можуть відрізнятися в кілька разів.

3.5 Загальна інформація про інтерфейси RS-422, RS-423 та RS-449

Інтерфейс RS-422 є розвитком стандарту RS-232C для високошвидкісної передачі даних на далеку відстань. Типові швидкості передачі даних по інтерфейсу RS-422 – 90 кбіт/с на відстань до 1200 м. По показникам топології, вартості, гнучкості, загальних технічних вимог і забезпечення засобами програмування інтерфейс RS-422 еквівалентний інтерфейсу RS-232C. В даний час інтегральні схеми реалізації інтерфейсів RS-422 (стик C2) і RS-423 (стик C2-ИС) істотно розширюють застосування інтерфейсів для сполучення різних компонентів ІВС між собою і з зовнішнім устаткуванням підвищеної швидкодії.

Симетричний ланцюг RS-422 складається із симетричного генератора, з'єднаного симетричним провідником із приймачем, і схеми порівняння. Максимальна довжина провідника кабелю обмежується в основному допустимим напруженням сигналу на прийомному кінці, впливом перешкод і різницею потенціалів заземлених точок передавача і приймача. Несиметричні ланцюги RS-423 складаються з несиметричного генератора, з'єднаного з приймачем з допомогою дроту і загального зворотного дроту. Електричні характеристики розраховані на спільне використання симетричних і несиметричних ланцюгів в одному інтерфейсі, а також взаємне з'єднання пристроїв, що використовують симетричні і несиметричні генератори і приймачі. При цьому враховується, що довжина сполучного кабелю обмежується характеристиками несиметричних ланцюгів.

Інтерфейс RS-449 передбачає більшу кількість проводів в порівнянні з RS-232C, оскільки він забезпечує додаткові функціональні можливості.

3.6 Промисловий стандарт RS-485

Інтерфейс RS-485 – удосконалений варіант інтерфейсу RS-422. Він забезпечує можливість збільшення довжини зв'язків, числа точок у

багатоточковій конфігурації при поліпшенні завадостійкості. Прийомопередавачі, що випускаються, сумісні по цоколівці виводів корпусів із прийомопередавачами для RS-422. Диференціальна передача сигналу в системах на основі RS-485 і RS-422 забезпечує надійну передачу даних у присутності шумів, а диференціальні входи їхніх приймачів, крім того, можуть придушувати значні синфазні напруги.

Інтерфейс RS-485 є найбільш широко використовуваним промисловим стандартом, що використовує двоспрямовану збалансовану лінію передачі. Стандарт RS-485 підтримує напівдуплексний зв'язок (рис. 3.6).

У RS-485 передбачені наступні швидкості передачі: передача зі швидкістю 62,5 кбіт/с використовується при низькосортному зборі даних, 375 кбіт/с – при координації взаємодії елементів багатоточечної конфігурації, 2400 кбіт/с – для високошвидкісної синхронної передачі на короткі відстані, в основному команд керування. Стандарт передбачає застосування 10-провідного плоского кабелю для додатків, де потрібні додаткові зв'язки по живленню, і сигнали контролю. Інтерфейс дозволяє приєднання до 250 вузлів у фізично розподіленій області із довжинами зв'язків від 30 м до декількох км.

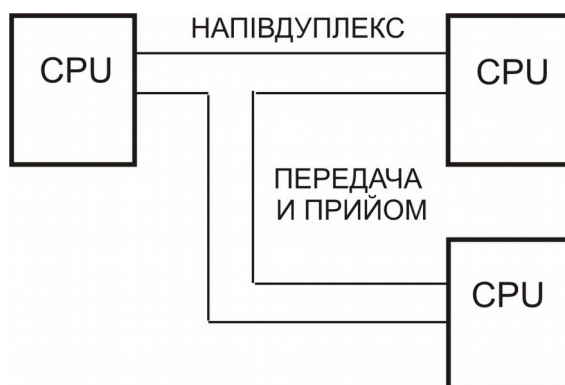


Рисунок 3.6 – Схема двоспрямованої передачі даних і напівдуплексного зв'язку в інтерфейсі RS-485

На закінчення необхідно підкреслити, що послідовні інтерфейси доцільно використовувати головним чином при необхідності забезпечити обмін інформацією між ФБ при впливі сильних перешкод, а також при передачі інформації на відносно великі відстані при невисоких вимогах до швидкості обміну інформацією.

3.7 Інтерфейси периферійної частини комп'ютера, що використовуються у ІВС

Використання різних функціональних класів периферійних пристроїв, що відрізняються фізичними принципами роботи, швидкодією, рівнями сигналів, обумовили уніфікацію інтерфейсів периферійних пристроїв відповідних функціональних класів. Ці інтерфейси класифікують як спеціалізовані або малі.

Вимога мінімізації числа типів контролерів, периферійних пристроїв, пристроїв введення-виводу і зовнішніх запам'ятовуючих пристроїв різних типів обумовили подальшу уніфікацію малих інтерфейсів і стандартизацію і/або застосування універсальних інтерфейсів різного призначення і швидкодії.

Інтерфейси периферійних пристроїв розділяються на дві великі категорії: радіального і магістрального підключення. У свою чергу інтерфейси радіального і магістрального підключення розділяються на групи: локального і віддаленого, послідовного і рівнобіжного підключення. Основне призначення інтерфейсів периферійної частини ЕОМ – сполучення ЕОМ з іншими блоками ІВС.

Слід зазначити, що в периферійній частині ЕОМ використовуються інтерфейси, що у найбільшій мірі враховують особливості даної машини. При цьому автономна робота периферійних пристроїв, об'єднаних машинними інтерфейсами, не передбачається.

Стандартні послідовний і паралельний інтерфейси часто називають портами введення/виводу. Паралельний порт звичайно використовується для підключення принтера і працює в односпрямованому режимі, хоча може застосовуватися і як двоспрямований. До послідовних портів частіше підключаються двоспрямовані пристрої, що повинні як передавати інформацію в комп'ютер, так і приймати її.

Найбільш поширені інтерфейси, в основному використовувані для підключення функціональних груп периферійних пристроїв. Приведемо найбільш розповсюджені з них:

- універсальні – centronics (радіальний паралельний), RS-232 C (радіальний послідовний), IEEE-488 (паралельний магістральний локальний), SCSI (магістральний загального призначення), RS-422, RS-423, RS-485 (послідовні магістральні загального призначення);
- спеціалізовані – USB, IEEE 1394, FDDI, IBM PC, та ін.

Деякі з перерахованих вище інтерфейсів розглядалися нами докладно раніше, тому зупинимося на деяких універсальних і спеціалізованих інтерфейсах периферійної частини комп'ютера.

Асинхронний послідовний інтерфейс – це основний тип інтерфейсу, за допомогою якого здійснюється взаємодія між ЕОМ і периферійними пристроями. Термін “асинхронний” означає, що при передачі даних не використовуються ніякі синхронізуючі сигнали і окремі символи можуть

передаватися з довільними інтервалами, як, наприклад, при введенні даних із клавіатури.

Кожному символу, переданому через послідовне з'єднання, повинний передувати стандартний стартовий сигнал, а завершувати його передачу повинний стоповий сигнал. Стартовий сигнал – це нульовий біт, названий стартовим бітом. Його призначення – повідомити приймаючий пристрій про те, що наступні вісім бітів є байтом даних. Після символу передаються один або два стопових біти, що сигналізують про закінчення передачі символу. У приймаючому пристрої символи розпізнаються по появі стартових і стопових сигналів, а не по моменту їхньої передачі.

Асинхронний інтерфейс орієнтований на передачу символів (байтів), а при передачі використовується приблизно 20% інформації тільки для ідентифікації кожного символу. Термін “послідовний” означає, що передача даних здійснюється по одиночному провіднику, а біти при цьому передаються послідовно, один за іншим. Такий тип зв'язку характерний для телефонної мережі, у якій кожен напрямок обслуговує один провідник.

До послідовних портів можна підключити різноманітні пристрої: модеми, плотери, принтери, інші комп'ютери, пристрої зчитування штрих-коду або схему керування пристроями. В основному у всіх пристроях, для яких необхідний двоспрямований зв'язок з комп'ютером, використовується послідовний порт RS232C, що став стандартом, який дозволяє передавати дані між несумісними пристроями.

У рівнобіжних портах для одночасної передачі байта інформації використовується вісім ліній. Цей інтерфейс відрізняється високою швидкістю, часто застосовується для підключення до комп'ютера принтера, а також для з'єднання комп'ютерів.

До рівнобіжних портів може підключатися усе: від накоплювачів на магнітній стрічці до CD-ROM. Часто двоспрямований паралельний порт використовується для передачі даних між двома EOM.

3.8 Характеристика універсального інтерфейсу SCSI

SCSI – Small Computer Systems Interface (системний інтерфейс для малих комп'ютерів) – інтерфейс, розроблений для об'єднання на одній шині різних по своєму призначенню пристроїв, таких як тверді диски, нагромаджувачі на магнітооптичних дисках, стримери, сканери і т.д. Інтерфейс призначений для з'єднання пристроїв різних класів: пам'яті прямого і послідовного доступу, CD-ROM, оптичних дисків одноразового і багаторазового запису, пристроїв автоматичної зміни носіїв інформації, принтерів, сканерів, комунікаційних пристроїв і процесорів. Застосовується в різних архітектурах комп'ютерних систем. Стандарт визначає не тільки фізичний інтерфейс, але і систему команд, що керує пристроями SCSI.

Існує багато варіантів класифікації інтерфейсу SCSI, тому приведемо тільки одну з них: SE – інтерфейс, LVD – інтерфейс, HVD – інтерфейс, а в

стандарті SCSI-2 навіть передбачена можливість виготовлення пристроїв зі змішаним інтерфейсом – LVD/SE.

У SCSI-системах прийнято поділяти всі пристрої на ініціатори (Initiator) і виконавці (Target).

У шині SCSI використовуються дев'ять сигналів керування, активним рівнем яких є низький рівень сигналу. Зосередимо увагу на сигнали I/O (Введення/Вивід), REQ (Запит), ACK (Підтвердження).

Асинхронна передача даних є обов'язковою для всіх пристроїв SCSI і усіх фаз передачі інформації. Target керує напрямком передачі інформації за допомогою сигналу I/O.

Синхронна передача даних є опцією і може використовуватися у фазах Data Out і Data In і тільки за результатами попередньої домовленості, що реалізується за допомогою повідомлень «Synchronous Data Transfer Request».

Система команд SCSI включає загальні команди, застосовні для пристроїв усіх класів, і специфічні для кожного класу. Усі команди поділяються на три категорії: обов'язкові, додаткові і фірмові.

3.9 Характеристика спеціалізованого інтерфейсу USB

В даний час для настільних і портативних комп'ютерів розроблено два високошвидкісних пристрої з послідовною шиною, що одержали назву USB (Universal Serial Bus – універсальна послідовна шина) і IEEE 1394, називана також Link або FireWare.

Можливості цих високошвидкісних комунікаційних портів набагато вищі стандартних рівнобіжних і послідовних портів, що встановлені в більшості сучасних комп'ютерів. Перевага нових портів полягає в тому, що їх можна використовувати як альтернативу SCSI для високошвидкісних з'єднань з периферійними пристроями, і в тому, що до них можуть приєднуватися всі типи зовнішніх периферійних пристроїв.

Рівнобіжне з'єднання має ряд недоліків, одним із яких є фазовий зсув сигналу, через що довжина рівнобіжних каналів, наприклад SCSI, обмежена (не повинна перевищувати 3 м).

Можливості USB впливають з її технічних характеристик:

- Висока швидкість обміну (full-speed signaling bit rate) – 12 Мбайт/з;
- Максимальна довжина кабелю для високої швидкості обміну – 5 м;
- Низька швидкість обміну (low-speed signaling bit rate) – 1,5 Мбайт/з;
- Максимальна довжина кабелю для низької швидкості обміну – 3 м;
- Максимальна кількість підключених пристроїв (включаючи множники) – 127;
- Можливе підключення пристроїв з різними швидкостями обміну.

Тому доцільно підключати до USB практично будь-які периферійні пристрої, крім цифрових відеокамер і високошвидкісних жорстких дисків. Особливо зручний цей інтерфейс для підключення приладів, що часто підключаються/відключаються, таких як цифрові фотокамери, флеш і т.д. Конструкція рознімань для USB розрахована на багаторазове

зчленування/розчленування.

Можливість використання тільки двох швидкостей обміну даними обмежує застосовність шини, але істотно зменшує кількість ліній інтерфейсу і спрощує апаратну реалізацію. Живлення безпосередньо від USB можливо тільки для пристроїв з малим споживанням, таких як клавіатури, миші, джойстики.

3.10 Лінії зв'язку

З лініями зв'язку пов'язана найбільша кількість несподіваних проблем. З зростанням відстані, на яке передається сигнал, неминуче падає відношення сигнал-шум. Тому безпосередня передача сигналів по дротам і кабелям обмежена порівняно малими дистанціями. На відстані більше 500 м інформація повинна передаватися з використанням спеціального кодування, частотної модуляції й інших спеціальних мір захисту.

У межах об'єкта (цеху, ділянки, установки) найкраще використовувати зв'язки з диференційними двохранівними лініями або передачу струмовими сигналами.

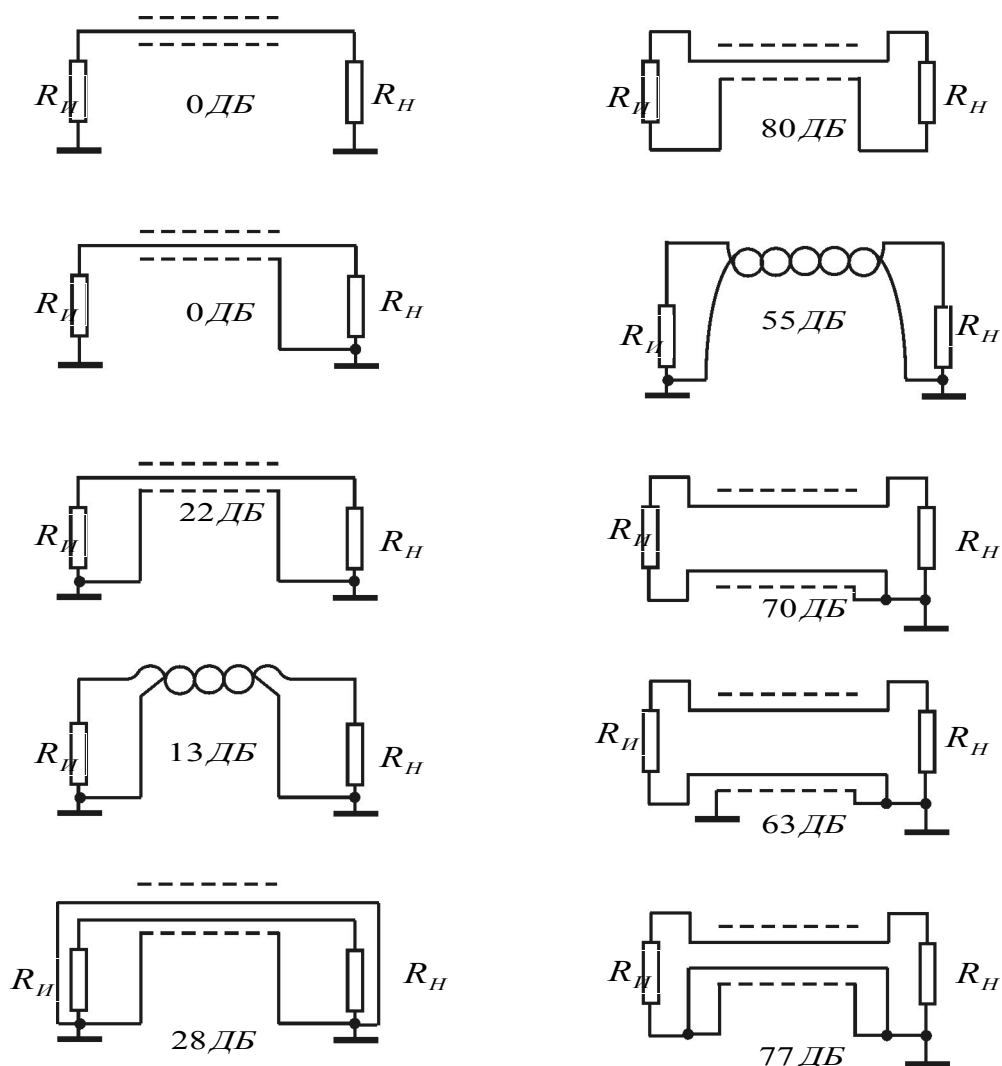


Рисунок 3.7 – Схема екранування ліній зв'язку (вказано подавлення індуктивних перешкод порівняльно з простою однопровідною схемою)

При цьому треба врахувати рівні ослаблення перешкод для низьких частот при різних способах екранування, орієнтовні відносні значення яких дані на рис. 3.7. При прокладці ліній зв'язку варто врахувати, що існують три основних типи перешкод:

а) перешкоди від мережі й силового встаткування. Це типові індуктивні перешкоди ближнього електромагнітного поля. Їхня інтенсивність залежить від струму, що породжує поле, і від площі контуру, утвореного провідниками, пересіченими полем. Тому основний метод боротьби з мережними перешкодами – зменшення числа замкнутих контурів з малими повними опорами (особливо небезпечні контури в шині землі). При скрутці дротів диференційної пари (або сигнального проведення із земляним) не тільки мінімізується площа контуру, але проведення на кожній ділянці скрутки виявляються орієнтованими в різні сторони стосовно перешкоди;

б) електричні або ємнісні перешкоди. Ці перешкоди часто викликаються ємнісними зв'язками між провідниками самої системи. Площинне розташування елементів, плоскі багатожильні джгути (випускаються в готовому виді) і найпростіше екранування заземленими металевими екранами звичайно досить ефективні.

При малих відстанях між паралельно встановленими друкованими платами зі швидкодіючими цифровими елементами фронти перемикачів цих елементів «пролазять» із плати на плату у вигляді коротких імпульсів – «голок». Кращий спосіб боротьби із цим явищем – установка між монтажними платами плат, що екранують, з фольгированного текстоліту із заземленим шаром фольги. Для передачі струмових аналогових сигналів можуть служити перетворювачі «напруга-струм» і «струм-напруга».

Якщо лінія служить для керування потужними імпульсними пристроями, наприклад кроковими двигунами, силовими реле й т.п., то крім перешкод, що попадають із лінії, багато проблем виникає з перешкодами від самих цих пристроїв. У цих умовах варто використовувати оптрону гальванічну розв'язку на відповідних логічних виходах. Є серійні логічні елементи з оптронами парами на вході (наприклад, К262). Приклад використання такої схеми на рис. 3.8, а. У цій схемі гарантується замикання будь-яких струмів навантаження в контурі її джерела живлення E_H .

На рис. 3.8, б приклад використання оптронаї пари для зв'язку локального вимірювального пристрою із центральним процесором. Так само, як і в схемі рис. 3.8 а, тут передача логічних рівнів ведеться фактично струмом, і контури струмів джерела сигналу й прийомного пристрою замикаються незалежно.

При організації зв'язків треба уважно ставитися до рознімань. У кращих типів сигнальних рознімань пружинні контакти розеток виконуються у вигляді не однієї пластини, а ряда паралельних тонких пружинок, тому забезпечується

безліч контактних точок у кожному з'єднанні. Проте, окісна плівка може однаково перешкоджати проходженню сигналів низького рівня й вносити в ланцюг термо-ЕДС. Тому бажано використовувати для сигналів низького рівня рознімання із золоченими контактами. Проходження ВЧ-сигналів низького рівня через рознімання можна полегшити, пропускаючи через той же контакт в одному напрямку постійний струм силою 0,5-1 мА.

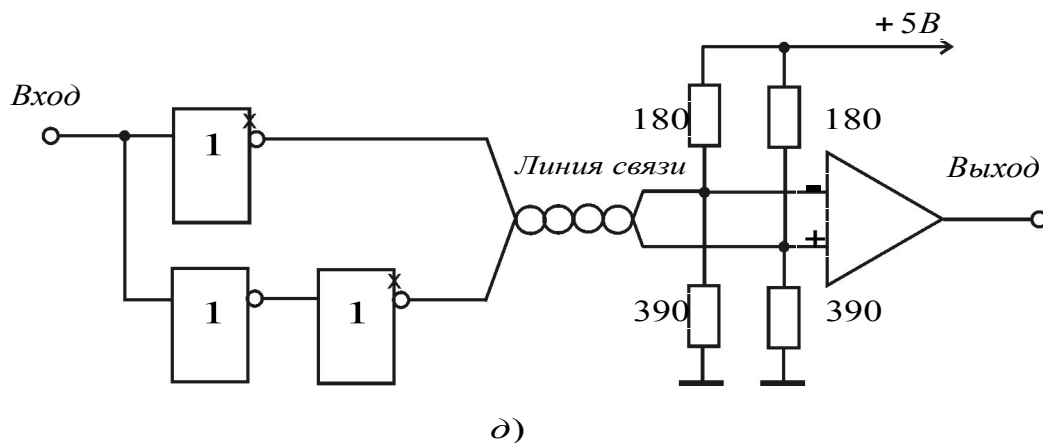
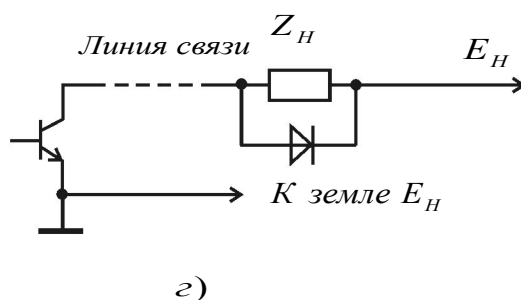
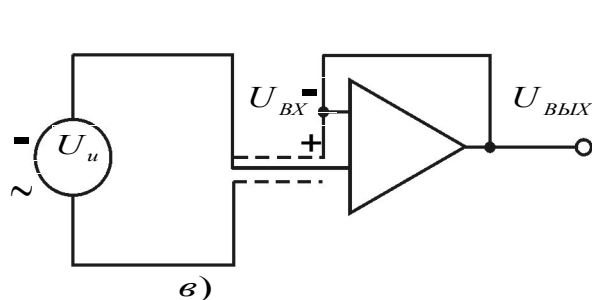
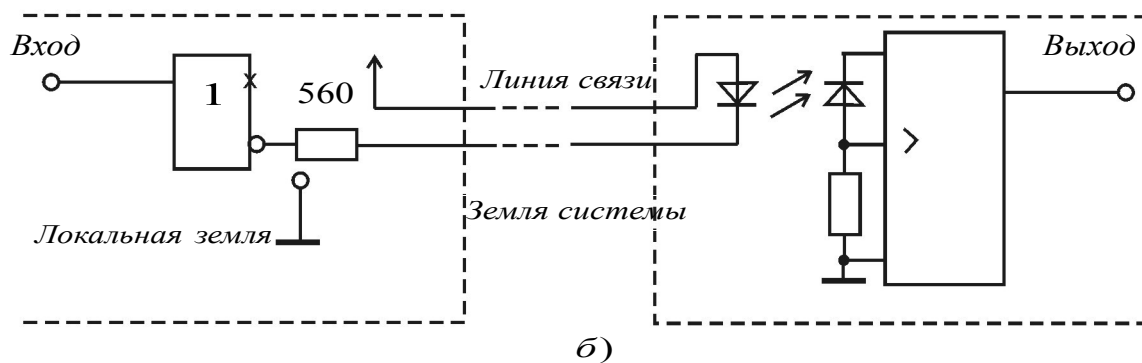
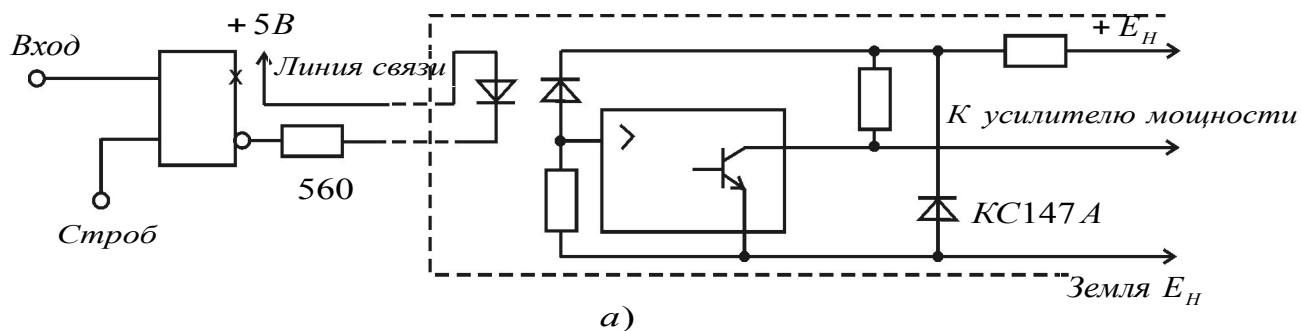


Рисунок 3.8 – Схема завадостійкого зв'язку

При організації зв'язків треба уважно ставитися до рознімань. У кращих типів сигнальних рознімань пружинні контакти розеток виконуються у вигляді не однієї пластини, а ряда паралельних тонких пружинок, тому забезпечується безліч контактних точок у кожному з'єднанні. Проте, окісна плівка може однаково перешкоджати проходженню сигналів низького рівня й вносити в ланцюг термо-ЕДС. Тому бажано використовувати для сигналів низького рівня рознімання із золоченими контактами. Проходження ВЧ-сигналів низького рівня через рознімання можна полегшити, пропускаючи через той же контакт в одному напрямку постійний струм силою 0,5-1 мА.

в) високочастотні радіоперешкоди від ближніх телевізійних станцій, радіоапаратури, рентгенівських установок і т.п. Їхній рівень залежить від довжини дротів-антен. Екранування тут звичайно малоефективне, і кращий спосіб боротьби з ними – установка феритових «бус» на довгі дроти. Помітимо, що на частотах до сотень кілогерців ці «бусини» не впливають на роботу самої схеми. При використанні екранованих кабелів варто враховувати велику ємність, внесену ними, і навантажуючу джерело сигналу.

Деякі способи формування й прийому сигналів у лініях зв'язку також дані на рис. 3.8. На рис. 3.8, г наведене правильне підключення навантаження (зокрема, потужного реле, шукача, обмотки крокового двигуна, світлового сигналу) до системи. Каскад посилення потужності розташовується в джерела сигналу, а не в навантаження, тому остання фактично управляється струмом, а не напругою. При індуктивному навантаженні необхідно поставити діод для демпфірування викиду, показаний на схемі.

На рис. 3.8, д зображена схема організації зв'язку для логічних або Чим-сигналів з використанням диференційної пари, у якій можуть використовуватися звичайні ТТЛ- або ТТЛШ-схеми й швидкодіючий компаратор. Установка резисторів на прийомному кінці обов'язкова: кручена пара діє як довга лінія із хвильовим опором близько 100-200 Ом, і резистори погасять можливі відбиття. До ліній зв'язку не можна безпосередньо приєднувати тактуючі елементи (тригери, одне-вібратори й т.п.), вони обов'язково повинні відділятися від лінії буферними каскадами.

4 Загальні питання функціонування і застосування датчиків

Практичне заняття №4

Загальні питання використання датчиків різних типів

Вивчити відповідні розділи теми та відповісти на запитання викладача

1. Які алгоритми збору й обробки даних ви знаєте?
2. Що називається циклічним опитом датчиків? Надайте схему алгоритму циклічного опиту датчиків.
3. Що називається адресним опитом датчиків? Надайте схему алгоритму адресного опиту датчиків.
4. Як визначаються істинні значення вимірюваних величин за показниками датчиків?
5. Сформулюйте умову рівномірного наближення апроксимуючого полінома до шуканої функції.
6. Дайте стислий огляд основних типів датчиків.

4.1 Алгоритми збору й обробки даних

Алгоритми збору й обробки даних призначені для реалізації завдань автоматичного збору даних з датчиків (вимірювальних перетворювачів) і наступної обробки їх в ІВС. Вони можуть використовуватися як самостійно, наприклад, у системах реєстрації й автоматичного контролю, системах обробки вимірювальної інформації, так і як складові частини загальної системи алгоритмів, призначених для реалізації завдань управління або інших складних завдань обробки даних.

Розглянемо лише деякі з алгоритмів цієї групи, що є найбільш типовими для неї.

4.2 Циклічне й адресне опитування датчиків

Режим одержання даних, коли всі або деяка група датчиків, установлених на об'єкті, періодично опитується в строго певній і заздалегідь заданій послідовності, називається *циклічним опитуванням датчиків*.

Режим одержання даних, при якому опитується один або кілька датчиків, адреса (номер) яким указується оператором або визначається автоматично в ході виконання деякого алгоритму обробки даних, називається *адресним опитуванням датчиків*.

Для реалізації циклічного опитування датчиків необхідно вказати число опитуваних датчиків n , періодичність опитування кожного датчика й тривалість циклів $T_{ци}$.

Розглянемо задачу алгоритмізації циклічного опитування датчиків при постійному й однаковому для всіх періоді опитування з фіксацією результату опитування на документ. Припинення роботи алгоритму задається спеціальною умовою $z = 1$. Ця ознака формується оператором.

На рис. 4.1 наведена схема алгоритму, яка отримана в результаті першого етапу алгоритмізації. Схема вирішує задачі організації виконання циклічності опитування датчиків і виконання заданих параметрів тривалості циклу. Вона не розкриває процес опитування кожного з датчиків, це є змістом наступного етапу алгоритмізації.

Як видно з рисунку 4.1, алгоритм опитування датчиків на першому етапі будується із двох типових структур – лінійної й циклічної.

На рисунку 4.2 наведена схема алгоритму циклічного опитування датчиків, отримана в результаті виконання другого етапу алгоритмізації. Алгоритм адресного опитування датчиків будується аналогічно.

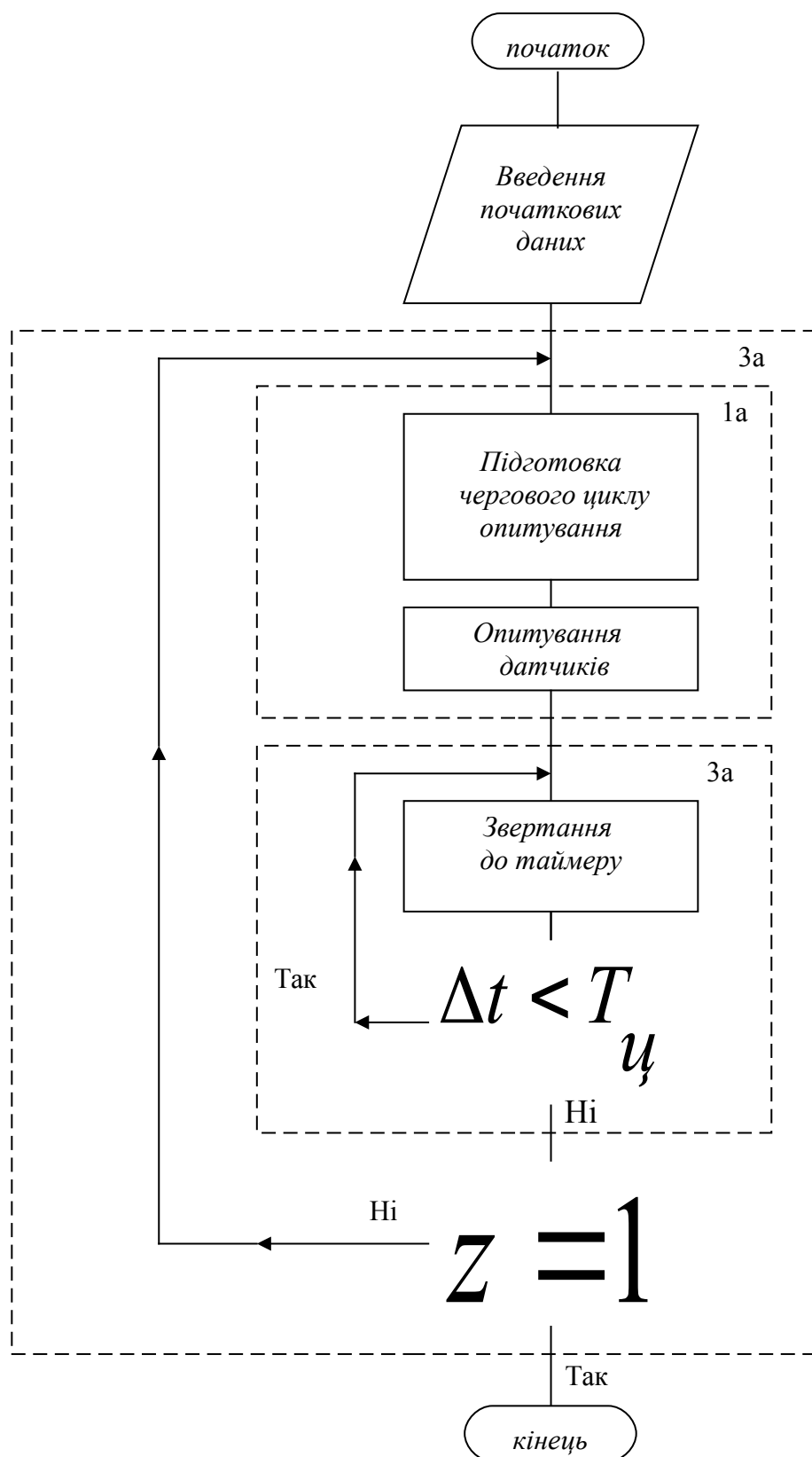


Рисунок 4.1 – Схема алгоритму циклічного опитування датчиків (1-й етап)

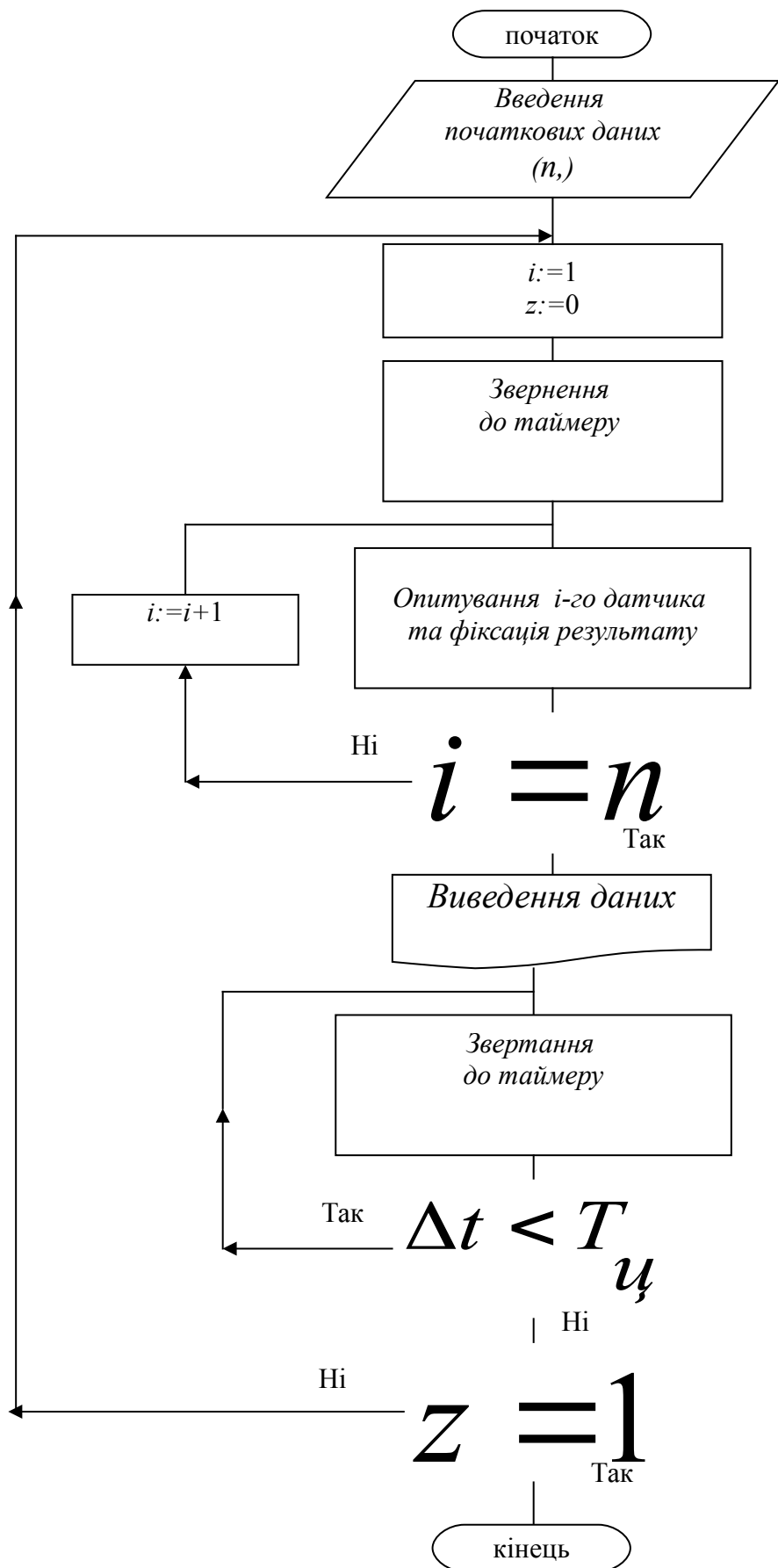


Рисунок 4.2 – Схема алгоритму циклічного опитування датчиків (2-й етап)

4.3 Визначення істинних значень вимірюваних величин за показниками датчиків

Як правило, інформація, що знімається з датчика, пов'язана з істинним значенням вимірюваної змінної x залежністю виду

$$y = \varphi(x),$$

де y – сигнал датчика; $\varphi(x)$ – у загальному випадку нелінійна функція.

Вимірюваною величиною є x , а не y . Тому значення x можна одержати, розв'язавши рівняння

$$x = \varphi^{-1}(y).$$

Розглянемо способи вирішення його при різних видах функції $\varphi(x)$.

У випадку лінійної функції зв'язок між x й y визначається як

$$y = y_0 + \alpha x,$$

де y_0 – початкове значення функції; α – постійний коефіцієнт, звідки

$$x = (y - y_0)\alpha^{-1}. \quad (4.1)$$

Для одержання x в пам'ять комп'ютера необхідно записати значення y_0 і α^{-1} , а потім обчислити їх по формулі (4.1).

У випадку нелінійної функції датчика істинне значення вимірюваної змінної залежить від характеру нелінійності. Якщо нелінійність аналітична, наприклад, виду $y = x^2$, то для одержання $x = \sqrt{y}$ можливе використання відомих методів наближеного обчислення \sqrt{y} . При іншому виді функції $\varphi^{-1}(y)$ також можна скористатися одним з відомих методів.

Якщо функція $\varphi^{-1}(y)$ не аналітична, то істинне значення вимірюваної змінної визначається з використанням або таблиць, або полінома, що апроксимує.

При використанні таблиць залежність $y = \varphi(x)$ визначається попередньо (звичайно експериментальним шляхом) і задається у формі таблиці значень:

$$x_1, y_1; x_2, y_2; \dots; x_n, y_n.$$

Алгоритм одержання істинного значення x будується у вигляді впорядкованого перебору табличних значень $y_i (i = 1, \bar{n})$ і порівнянні їх з вихідним значенням датчика. При виконанні умови $y_i \leq y \leq y_{i+1}$

$$y := y_i \text{ або } y := y_{i+1}.$$

Вибір значень y_i або y_{i+1} визначається прийнятим методом округлення. Наприклад, якщо $|y - y_i| \geq |y - y_{i+1}|$, то $y := y_{i+1}$, інакше $y := y_i$.

Знаючи номер y_i , найближчого до обмірюваного значення y , можна з таблиці визначити відповідне йому значення x_i .

Для зменшення обсягу таблиці число точок, що визначають характеристику датчика, намагаються задавати порівняно невеликим. У цьому

випадку для підвищення точності визначення істинного значення вимірюваної величини можна скористатися різними способами інтерполяції. Одним з найпоширеніших способів інтерполяції є лінійна інтерполяція, при якій проміжне значення вимірюваної змінної визначається таким чином:

$$x = x_i + \Delta x(y - y_i)/(y_{i+1} - y_i),$$

де Δx - крок по змінній x .

Звичайно

$$\begin{aligned} \Delta x &= x_{i+1} - x_i = \text{const} \text{ і тоді } \Delta x = h, \\ x &= x_i + h(y - y_i)/(y_{i+1} - y_i). \end{aligned} \quad (4.2)$$

У цьому випадку алгоритм визначення x буде складатися із двох частин:

- 1) пошук найближчої до y пари значень y_i, y_{i+1} і відповідного їм x_i ;
- 2) знаходження по формулі (2) значення x . У пам'ять комп'ютера при цьому необхідно, крім таблиць, записати також і значення кроку h .

Основний недолік табличного способу – трудомісткість підготовки й заповнення таблиць.

При використанні апроксимуючого полінома залежність $\varphi^{-1}(y)$ представляється у вигляді

$$x = P_n(y) = a_n y^n + a_{n-1} y^{n-1} + \dots + a_1 y + a_0, \quad (4.3)$$

де y – значення сигналу, що знімається з датчика; a_i – постійні коефіцієнти ($i = \overline{0, n}$).

При цьому способі коефіцієнти також заносяться в пам'ять комп'ютера. Число цих коефіцієнтів відносно невелике. Тому використання апроксимуючого полінома $P_n(y)$ для наближеного подання залежності $\varphi^{-1}(y)$, в порівнянні з табличним способом, дає істотне зменшення часу підготовки. Коефіцієнти полінома підбираються таким чином, щоб похибка апроксимації $\delta_i = P_n(y) - x_i$ не перевершувала припустимого значення $\delta_{\text{доп}}$.

У цьому випадку для всіх точок таблиці буде виконуватися умова

$$|\delta_{\text{доп}}| - |\delta_i| \geq 0, \quad (4.4)$$

яка називається *умовою рівномірного наближення* апроксимуючого полінома до шуканої функції.

Якщо нерівність (4.4) не вдається виконати, то необхідно збільшити ступінь полінома на одиницю. Однак збільшувати ступінь полінома можна лише до значення, що не перевищує число точок n у таблиці завдання характеристики датчика. У протилежному випадку коефіцієнти полінома не можуть бути визначені. Якщо при максимальному значенні n не вдається виконати нерівність (4), варто розбити таблицю на групи й для кожної групи знаходити відповідний поліном, або (для збільшення числа точок) провести лінійну інтерполяцію табличних даних. Поліном (3) найкраще обчислити за схемою Горнера. Перетворимо його до вигляду

$$P_n(y) = ((\dots(a_n y + a_{n-1})y + a_{n-2})y + \dots + a_1)y + a_0.$$

Рекурентну формулу обчислення $P_n(y)$ можна записати таким чином:

$$P_{n-i+1}(y) = S_{n-i+1}(y) = S_{n-1}y + a_{i-1}. \quad (4.5)$$

У якості початкових даних в (5) приймаються: $i = n, S_0 = a_n$.

4.4 Стислий огляд основних типів датчиків

Різноманіття датчиків дуже велике, і тут будуть коротко охарактеризовані тільки деякі основні типи.

Вибір датчика або первинного перетворювача накладає помітний відбиток на всю систему – з ним пов'язані гранично досяжна точність, стабільність, надійність системи.

Для виміру температур, особливо високих температур і в великих діапазонах, термопари дотепер перебувають поза конкуренцією й по точності, і, головне, по стабільності характеристик. При їхньому використанні основна проблема – це забезпечення стабільної температури холодного (точніше, опорного) спаю.

Схема виміру температури за допомогою термопари показана на рис. 4.1.

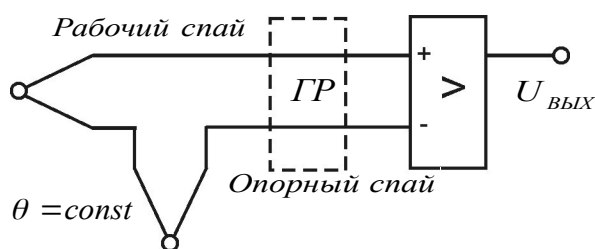


Рисунок 4.1 – Схема включення термопари

Якщо вимірюється висока температура (більше 1000°C), холодний спай при коливаннях температури $15\text{--}35^{\circ}\text{C}$ дасть невелику помилку. У відповідальних випадках і при вимірі температур менше 1000°C холодні спаї термопар містяться в термостат або у ванночки з льодом, що тане. Інший варіант схеми

компенсації полягає у вимірі температури холодного спаю низькотемпературним датчиком і завданні компенсуючої напруги струму у вимірювальну систему.

Вихідний опір термопар внаслідок високого питомого опору сплавів (копель, хромель) часто досягає десятків ом, а їхні сигнали становлять одиниці й десятки мілівольтів. Тим часом за умовами роботи зовнішні синфазні наведення на дроти термопар можуть досягати сотень вольтів на частоті мережі, так само як і поздовжня перешкода постійного струму. Тому в більшості випадків термопари мають потребу в чутливих вимірювальних підсилювачах з гальванічним поділом.

Для виміру температури в діапазоні до 300°C ефективно використовувати термометри опору й напівпровідникові термоопору. Ці датчики є резисторами з фіксованою каліброваною залежністю опору від

температури; $TCS = \Delta R / R \Delta \theta$ становить у них від 0,1 до 0,003 K^{-1} . Їх включають звичайно в мостову схему вимірів рис. 4.2, на виході якої потрібен підсилювач з більшим КОСС на постійному струмі. Істотно, щоб струм живлення датчика не викликав його розігріву, порівнянного з вимірюваними відхиленнями температури.

При температурах від -40 до $+60$ $^{\circ}C$ найбільш ефективні напівпровідникові датчики температури. Дія більшості з них засновано на тих же ідеях, що й інтегральний φ_3 - стабілітрон, але в них домагаються не мінімального, а максимального ТКН. Зокрема, використовується той факт, що розбаланс напруг на двох однакових р-п-переходах становить $\Delta U_{БЭ} = \varphi_T \ln I_1 / I_2$. Якщо $I_1 / I_2 = 17,7$, то $\Delta U_{БЭ} / \Delta \theta = 250$ мкВ/К у широкому діапазоні температур. «Вимірювальні» структури одночасно й підсилюють сигнал, так що виходить двохвивідний датчик-стабілітрон із ТКН-10 мВ/К, що живиться від джерела струму. Цей «стабілітрон» виготовляється так, щоб при $0^{\circ}C$ його вихідна напруга була 2,732 В, тоді легко безпосередньо відраховувати температуру по шкалі Кельвіна.

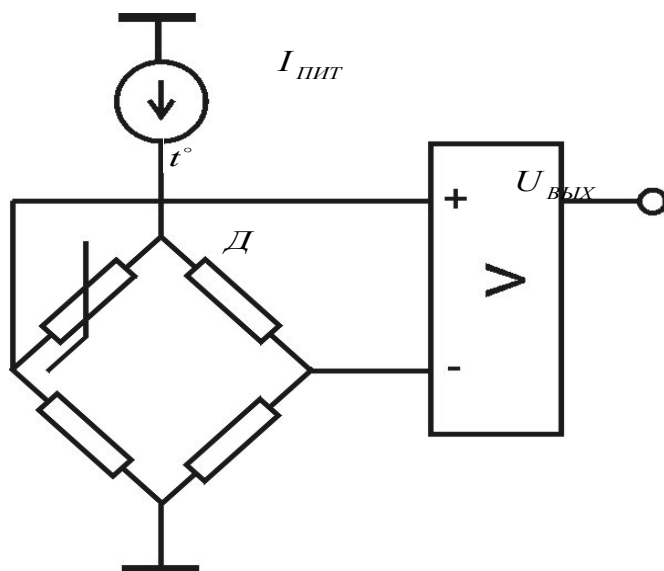


Рисунок 4.2 – Мостова схема виміру

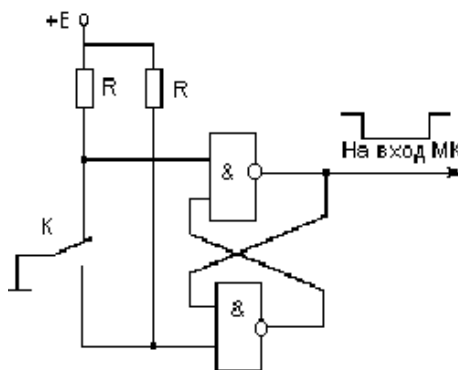


Рисунок 4.3 – Схема захисту від дребезга контактів

Для виміру тиску й зусиль у промисловій автоматичі широко використовуються тензометри опору. Це тонкі пластинки напівпровідникового матеріалу, що міняють свій опір під дією мікродеформацій. Їх звичайно наклеюють на пружний металевий носій, що змінює свою форму під дією зусилля або тиску. Сам датчик включають у мостову схему по типу рис. 4.2. Секрет успіху тут, головним чином, полягає в підборі клею, яким датчик кріпиться на пружний носій, і в забезпеченні мінімальної залишкової деформації самого носія.

Поряд з датчиками постійного струму широко використовуються частотні датчики. Особливу точність і стабільність у вимірах зусиль, деформацій і прискорення забезпечують кварцові пьезодатчики, що включаються в контур ФАПЧ.

Для виміру значних переміщень застосовуються датчики змінного струму, засновані на змінах взаємної індукції між котушками при переміщенні загального осердя або на змінах ємності повітряного конденсатора.

При фіксації невеликих відхилень і вимірі швидкостей обертання з більшим успіхом можуть застосовуватися фотодатчики, що представляють собою оптрону пару, зв'язок у якій здійснюється відбиттям від поверхні, що переміщається. Такі датчики випускаються серійно у вигляді ИМС.

Ще один важливий клас датчиків – контактні датчики положення (кінцеві вимикачі – «концевики») і кнопки ручного уведення. Основна неприємна особливість, пов'язана з ними, — дребезг контактів. Тому бажано для сприйняття цих сигналів установлювати RS -тригер, як це показано на рис. 4.3. Тим самим забезпечується фіксація стану вихідних ліній незалежно від роботи контактів.

5 Питання проектування температурних датчиків

Практичне заняття №5

Масштабування вхідного аналогового сигналу датчика

Вивчити наступні розділи теми і відповіді на запитання викладача

- 1.Короткі відомості про температурні датчики.
- 2.Принципи використання терморезисторів.
3. Структурна схема підсистеми введення аналогової інформації ІВС.
4. Операція масштабування й схема масштабуючого підсилювача.
- 5.Вивід формул посилення й зсуву сигналу датчика.
- 6.Розрахунок параметрів елементів масштабуючого підсилювача.
- 7.Складання таблиці залежностей результату перетворення від температури діапазону:

Практичне заняття №6:

Постанова задачі та необхідна інформація для її вирішення

Провести масштабування вхідного аналогового сигналу датчика відповідно до вхідного діапазону 10-розрядного АЦП підсистеми введення аналогової інформації ІВС. Для цього:

- представити структурну схему підсистеми введення аналогової інформації ІВС;
- представити схему масштабуючого підсилювача;
- вивести формули посилення й зсуву сигналу датчика;
- розрахувати параметри елементів масштабуючого підсилювача.

Вхідний діапазон АЦП, з урахуванням запасу по 0,5В на границях

$$U_{\text{АЦП}} = (0,5 \dots 4 \dots 4,5) \text{В.}$$

Діапазон вимірюваних датчиком температур і відповідний діапазон сигналів датчика представлені в таблиці 5.1.

Опорна напруга для терморезистора й ланцюгів масштабуючого підсилювача

$$V_{\text{REF}} = V_R = 2,5 \text{ В}$$

Таблиця 5.1 – Варіанти до задачі

№ вар	дин/діап сигналу датчиків, В (діапазон темпер, °С)	№ вар	дин/діап сигналу датчиків, В (діапазон темпер, °С)
0	2,438-2,198 (-50..-20)	5	1,844-1,132 (0..30)
1	2,389-2,042 (-40..-10)	6	1,369-0,914 (20..50)
2	2,312-1,844 (-30..0)	7	1,132-0,725 (30..60)
3	2,198-1,613 (-20..10)	8	0,976-0,570 (40..70)
4	2,042-1,369 (-10..20)	9	0,914-0,466 (50..80)

5.1 Короткі відомості про температурні датчики

Датчики створюють «вікно», крізь яке інформаційно-вимірювальні системи «спостерігають» за зовнішнім миром. У цьому завданні розглядаються пасивні температурні датчики, їхнє застосування й можливість сполучення з динамічним діапазоном ІВС.

Таку характеристику зовнішнього середовища, як температура, доводиться вимірювати досить часто. Хід багатьох виробничих процесів, від виплавки стали до виробництва напівпровідників, залежить від температури. Деякі електронні прилади мають потребу у вимірі власної температури: персональні комп'ютери, наприклад, відслідковують температуру процесорів, контролери двигунів повинні знати температуру ВС драйверів і т.д. У всіх перерахованих прикладах температуру вимірюють температурні датчики.

5.2 Терморезистори

Терморезистор – це температурний датчик, опір якого залежить від температури.

Термісторами називаються терморезистори з негативним температурним коефіцієнтом опору (negative temperature coefficient, NTC), тобто опір таких терморезисторів зростає зі спадом температури.

Позисторами або кремнієвими датчиками температури, за назвою технології їхнього виготовлення, називається інша група терморезисторів з позитивним температурним коефіцієнтом опору (positive temperature coefficient, PTC). Опір таких терморезисторів зростає зі збільшенням температури.

Із всіх пасивних температурних датчиків терморезистори мають найбільшу чутливість (зміна опору на градус зміни температури). Однак залежність опору від температури у терморезисторів - нелінійна.

Характеристики терморезисторів залежать від технологій і використовуваних матеріалів. Терморезистори одного сімейства, як правило, мають подібні залежності опору від температури. Їхній опір може змінюватися по всій шкалі в 10 або в 100 разів, але характеристики збігаються. Для опису характеристик виробники звичайно приводять таблиці, у яких указують відношення опору на даній температурі до опору при температурі 25°C. Типові залежності для термістора – NTC-резистора – наведені в табл. 5.2.

Ці дані є типовими для будь-яких термісторів (NTC-Терморезисторов). Опір у таблиці визначається по відношенню R_t/R_{25} . Термістор цього сімейства з опором 10 кому при температурі 25°C (R_{25}) мав би при температурі 0°C опір

$$R_{t0}=10 \text{ кому} \times 2,81 = 28,1 \text{ кому},$$

а при 60°C – опір

$$R_{t60} = 10 \text{ кОм} \times 0.4086 = 4.086 \text{ кОм}.$$

Таблиця 5.2 – Залежність опору від температури типового терморезистора NTC

Температура, t°C	R _t /R ₂₅	Температура, t°C	R _t /R ₂₅
-50	39,03	30	0,8276
-40	21,47	40	0,6406
-30	12,28	50	0,5758
-20	7,28	60	0,4086
-10	4,46	70	0,2954
0	2,81	80	0,2172
10	1,82	90	0,1622
20	1,21	100	0,1229
25	1	110	0,09446

На рис. 5.1 наведений графік залежності термоопору від температури, побудований за даними з табл. 5.2.

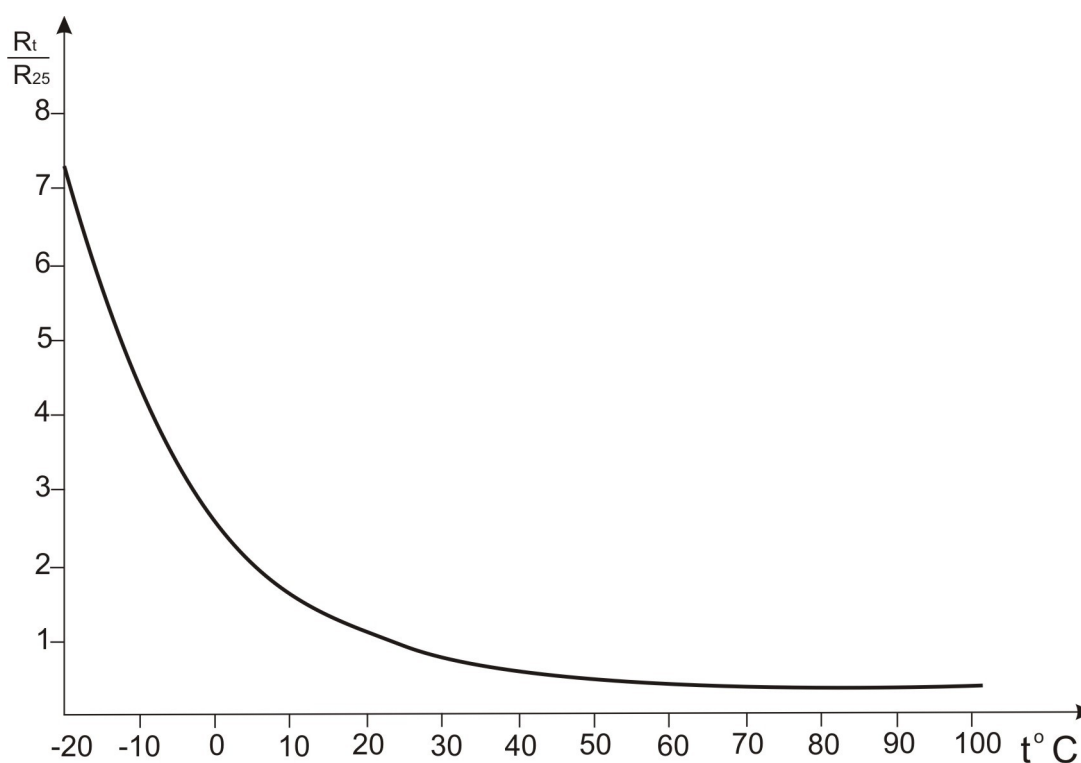


Рисунок 5.1 – Графік залежності опору термистора від температури

Дана характеристика має нелінійний характер експонентного виду, що добре видно на графіку рис. 5.1. Для зазначеного типу терморезистора дані надані із кроком 10°C, а деякі фірми надають дані із кроком 5°C або навіть 1°C.

На рис. 5.2 показане типове підключення терморезистора R_t до операційного підсилювача.

На обмежувачий резистор R₁ подається деяка напруга. Величина цієї напруги звичайно збігається з V_{REF} – опорною напругою АЦП – і в більшості випадків становить 2.5 В. Ланцюг з резистора R₁ і терморезистора R_t утворить

дільник напруги, і зміна опору терморезистора приводить до зміни напруги в точці з'єднання. Точність цього ланцюга залежить від точності параметрів резистора, терморезистора й напруги V_{REF} . Буферний підсилювач із одиничним коефіцієнтом передачі й високим входним опором запобігає шунтування резистора-датчика R_t наступними схемами.

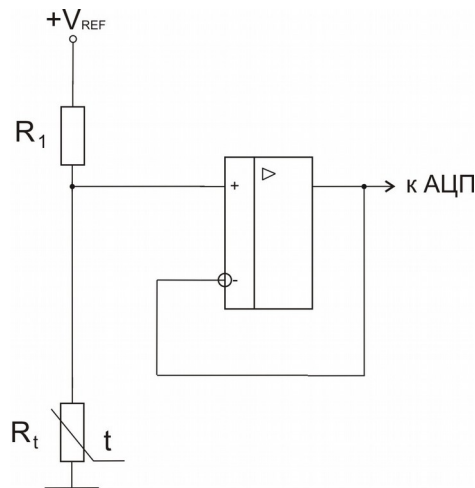


Рисунок 5.2 – Схема включення термістора

Розглянемо на конкретному прикладі послідовність дій при рішенні поставленого завдання

5.3 Структурна схема підсистеми уведення аналогової інформації ІВС

Підсистема аналогового уведення здійснює перетворення аналогових фізичних величин у форму, прийнятну для використання в ІВС. За допомогою відповідних датчиків аналогові величини різної фізичної природи перетворюються в більшості випадків у постійний струм або напругу, використовувані в підсистемі аналогового уведення. Діапазон сигналів датчиків постійного струму може коливатися від 0 до $\pm 10\text{мВ}$ і від 0 до $\pm 10\text{В}$. Сигнали менш 100мВ вважаються низькорівневими, а більше 100мВ – середньорівневими. Така границя обрана тому, що більша частина датчиків має вихідні сигнали або в мілівольтовому діапазоні, або в діапазоні (1 - 10)В. Крім того, запобіжні заходи, використовувані при конструюванні схем для сигналів мільвівольтового рівня, відрізняються від відповідних мір для схем із сигналами середнього рівня.

Основними функціями устаткування, використовуваного в різних підсистемах аналогового введення, є:

1. Нормалізація й посилення сигналу, фільтрація, ослаблення, зсув рівня, перетворення струму в напругу, посилення й ін. У підсистемах аналогового введення застосовуються підсилювачі трьох типів:

- підсилювач низького рівня. Більшість АЦП працює в діапазоні 5В або 10В, а сигнали датчиків є сигналами низького рівня. Для усунення цієї невідповідності використовують підсилювачі сигналів низького рівня з

коефіцієнтом підсилення по напрузі 5 - 1000, що дозволяють ефективно використовувати розв'язну здатність аналого-цифрових перетворювачів АЦП;

- високорівневий буферний підсилювач БП, що має високий вхідний, низький вихідний опори й одиничний коефіцієнт підсилення. БП використовується для узгодження датчиків, що мають високий вихідний опір, з АЦП, що мають низький вхідний опір;

- підсилювач спостереження-запам'ятовування, що представляє собою аналоговий запам'ятовувальний пристрій. Його вихід пропорційний входу доти, поки не піде команда запам'ятовування. Після цього вихідний сигнал залишається постійним до закінчення дії команди. При використанні декількох підсилювачів спостереження-запам'ятовування можна одночасно зафіксувати значення сигналів на декількох входах, подаючи команди запам'ятовування одночасно на всі підсилювачі групи.

2. Комутація сигналів за допомогою електронного або електромеханічного перемикача. Комутатори класифікуються по рівнях сигналів, швидкодії й числу дротів у каналі (диференційні або однопровідні).

3. Аналого-цифрове перетворення. Швидкість роботи відповідних перетворювачів змінюється від одиниць до десятків тисяч перетворень у секунду, а їхня вхідна шкала звичайно становить 5 або 10В.

Комбінації описаних функцій дозволяють одержувати підсистеми аналогового введення різного призначення, критеріями класифікації яких служать звичайно швидкість опитування й рівень вхідних сигналів. Природно, що швидкість опитування підсистеми аналогового введення менше швидкості роботи використовуваного в ній АЦП, оскільки необхідно враховувати час установаження напруг (струмів) підсилювача й комутатора.

У високорівневих підсистемах ефекти, викликані термоелектричними потенціалами й контактними опорами, позначаються незначно. Використовуваний у високорівневих підсистемах тип АЦП залежить головним чином від вимог, пропонованих до швидкодії й розв'язної здатності (точності) підсистеми.

У низькорівневих підсистемах повинні бути додатково враховані термоелектричні потенціали, контактні опори й т.п., тобто всі названі функції. Використовувані після нормалізації диференційні підсилювачі забезпечують одержання на виході однополярного сигналу (5 - 10)В. Коефіцієнти підсилення цих підсилювачів можуть уставлятися оператором вручну або програмно.

Підсистеми середньої й низької швидкодії поширені серед підсистем аналогового введення для сигналів низького рівня. Основне розходження між підсистемами низької й середньої швидкодії полягає не в конфігурації, а у використанні пристроїв комутації каналів і в характеристиках підсилювачів сигналів середнього рівня. Тут комутатор повинен здійснювати перемикання сигналів низького рівня без помітної помилки, тому він звичайно виконується як диференційний комутатор на герконах або польових транзисторах.

Процес одержання аналогового сигналу з якого-небудь датчика, його попередня обробка, перетворення в цифрову форму й уведення в пам'ять ІВС називається *збором даних*.

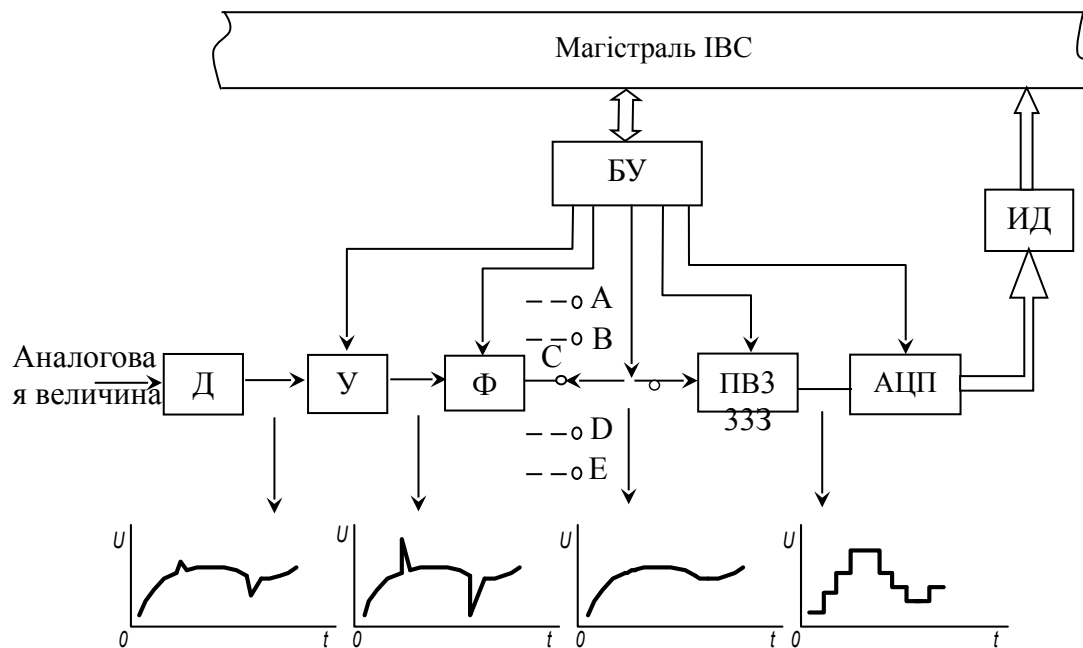


Рисунок 5.3 – Схема підсистеми аналогового введення

Рисунок 5.3 ілюструє загальну схему підсистеми збору даних.

Контрольований параметр – рівень напруги, струм, тиск, температура й т.п. – за допомогою відповідного датчика Д перетвориться в електричний сигнал. Якщо сигнал на виході датчика недостатній для наступної обробки, то він підсилювачем У підсилюється до необхідного рівня. Далі за допомогою активного фільтра Ф із сигналу віддаляються небажані низькочастотні й високочастотні складові (необхідність у попередній фільтрації буде пояснена пізніше).

Відфільтрований сигнал надходить через аналоговий мультиплексор на пристрій спостереження-запам'ятовування ПСЗ (ПВЗ). Застосування мультиплексора дозволяє в режимі поділу часу використовувати один аналого-цифровий перетворювач АЦП для багатьох каналів, заощаджуючи тим самим устаткування.

Перетворення аналогової величини в цифрову завжди відбувається за деякий кінцевий проміжок часу. Протягом цього проміжку часу сигнал на вході АЦП повинен підтримуватися незмінним.

Цю функцію виконує пристрій спостереження-запам'ятовування ПСЗ (ПВЗ), сигнал на виході якого пропорційний сигналу на вході доти, поки не піде команда запам'ятовування. Після цієї команди сигнал на виході залишається постійним протягом проміжку часу, необхідного для перетворення сигналу в цифрову форму.

Аналого-цифровий перетворювач перетворить рівень напруги на вході у відповідну цифрову величину. Далі цифрові дані через інтерфейс даних надходять у загальну магістраль ІВС.

З наведеної схеми збору даних видно, що вхідний сигнал, що безупинно змінюється, замінюється сукупністю дискретних періодично обмірюваних значень, причому усередині кожного інтервалу амплітуда сигналу зберігається незмінною. Процес квантування спотворює вхідний сигнал. Теорема Котельникова про дискретне подання затверджує, що для точного відновлення первісного сигналу з дискретного частота опитування повинна, принаймні, удвічі перевищувати саму високочастотну гармонійну тридцятилітній вхідного сигналу. Частота квантування обмежена зверху швидкістю роботи АЦП. Якщо у вхідному сигналі є гармонійні складові з більш високою частотою, чим частота квантування, то при відновленні аналогового сигналу вони викличуть різницеві частоти більше низької частоти. Для запобігання такого переключування варто використовувати фільтр нижніх частот, який би не пропускав складові сигналу, що мають частоту вище $\frac{1}{2}$ частоти квантування. Тільки при цих умовах процес квантування не викличе втрат інформації, що втримується у вхідному сигналі.

Слід зазначити, що через обмежену розв'язну здатність цифрового подання виникає також і амплітудна похибка, яку необхідно враховувати.

5.4 Операція масштабування й схема масштабуючого підсилювача

При функціонуванні ІВС необхідно змінити діапазон аналогового сигналу датчика для приведення у відповідність із вхідним діапазоном АЦП, тобто провести операцію масштабування.

На рис.5.2 представлена подібна ситуація. Сигнал з терморезистора R_t – напруга V_t – повинен бути поданий, наприклад, на аналоговий вхід АЦП інформаційно-вимірювальної системи з динамічним діапазоном 0...5 В.

Знову розглянемо типовий терморезистор NTC з попереднього приклада. Спадання напруги V_t на терморезисторі R_t може бути обчислене по наступній формулі:

$$V_t = \frac{2.5 \times R_t}{R_t + R_1}$$

Таблиця 5.3 – Падіння напруги V_t на терморезисторі

Температура, °C	R_t , кОм	V_t , В
-10	44,6	2,04
0	28,1	1,84
10	18,2	1,61
25	10	1,25
30	8,276	1,13
40	6,406	0,976
60	4,08	0,7244
70	2,954	0,569
100	1,229	0,273

Нехай величина обмежуючого резистора R_1 становить 10 кОм (рис.5.2). Використовуючи це рівняння й дані таблиці 5.2 (залежність опору терморезистора від температури), можна обчислити V_t у якімсь температурному діапазоні, наприклад -10...100°C (Табл.5.3).

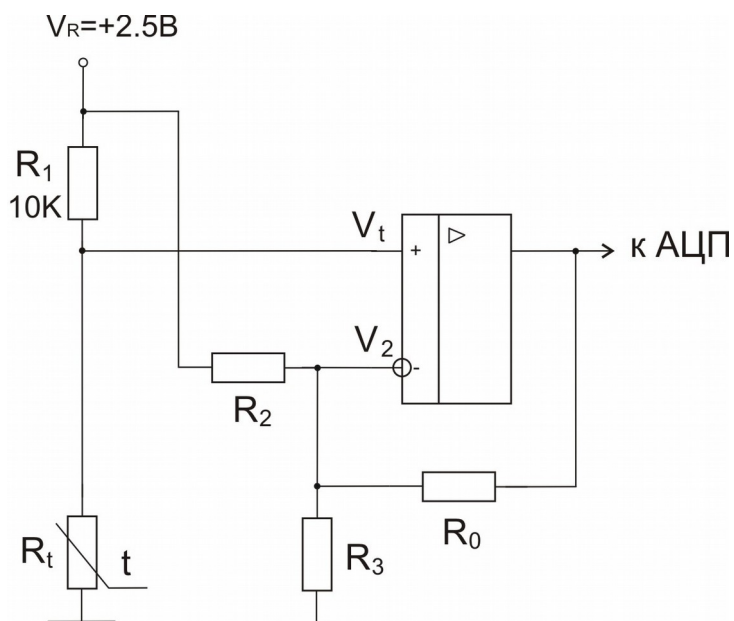


Рисунок 5.4 – Масштабуючий підсилювач

Тепер допустимо, що знадобилося виміряти температуру в діапазоні 10...40°C.

Масштабування має на увазі, що при температурах (10...40°C) вихідний сигнал датчика повинен відповідати всьому діапазону вхідних напруг АЦП. При цьому буде отримана максимальна точність вимірів.

Задамо невеликий запас по 0,5В на границях діапазону, щоб не вийти за його межі при використанні резисторів зі стандартними номіналами. Тоді діапазону температур (10...40...40)C, т.е. в 30 градусів, буде відповідати діапазон напруг АЦП (0,5...4,5)В, тобто розмахом в 4 вольти.

У даному прикладі діапазон температур 10...40°C відповідає діапазону вихідних напруг датчика (0,976...1,61)В (табл.5.3), при цьому весь розмах сигналу датчика дорівнює

$$1,61\text{В} - 0,976\text{В} = 0,634\text{ В}.$$

Можна встановити розмах рівним 4В множенням даного діапазону напруг на коефіцієнт

$$K = 4\text{В}/0,634\text{В} = 6,3 \quad (*)$$

Результат такого множення встановлює для діапазону 10...40°C вхідні напруги для АЦП у діапазоні

$$(0,976...1,61)\text{В} \times 6,3 = (6,14...10,143)\text{В} \quad (**)$$

При цьому розмах сигналу дорівнює

$$10,14\text{ В} - 6,14\text{ В} = 4\text{ В} ,$$

але перебуває він поза заданим вхідним діапазоном АЦП (0,5...4,5)В. Отже, для правильного масштабування необхідно, крім посилення вхідного сигналу

(операція множення на коефіцієнт К), зрушити його долілиць (операція вирахування величини ΔV) до вхідного діапазону АЦП.

Схема операційного підсилювача, що реалізує такі операції, представлена на рис. 5.4.

5.5 Вивід формул посилення й зсуву сигналу датчика

Нехай вихідна напруга операційного підсилювача ОУ, зображеного на рис.5.4, дорівнює V_0 . Тоді величину V_0 можна обчислити з рівняння, складеного за правилом Кирхгофа:

$$\frac{V_0 - V_2}{R_0} + \frac{V_R - V_2}{R_2} = \frac{V_2}{R_3} \quad (1)$$

Якщо ОУ працює в лінійному режимі, то $V_t = V_2$, і рівняння можна переписати в такий спосіб:

$$\frac{V_0 - V_t}{R_0} + \frac{V_R - V_t}{R_2} = \frac{V_t}{R_3} \quad (2)$$

Вирішуючи це рівняння відносно V_0 , одержимо наступний вираз:

$$V_0 = V_t \left(1 + \frac{R_0}{R_3} + \frac{R_0}{R_2} \right) - \frac{V_R \times R_0}{R_2} \quad (3)$$

У рівнянні (3) посилений сигнал представлений виразом

$$V_t \left(1 + \frac{R_0}{R_3} + \frac{R_0}{R_2} \right) \quad (4)$$

де V_t – вхідний сигнал від датчика, а вираз в скобках – коефіцієнт посилення:

$$K = \left(1 + \frac{R_0}{R_3} + \frac{R_0}{R_2} \right) \quad (5)$$

Зсув ΔV в рівнянні (3) представляється виразом

$$\Delta V = \frac{V_R \times R_0}{R_2} \quad (6)$$

5.6 Розрахунок параметрів елементів масштабуючого підсилювача

Використовуємо отримані вирази для розрахунку параметрів схеми масштабуючого підсилювача.

Рівняння (5), з врахуванням (*), можна переписати у вигляді:

$$6.3 = 1 + \frac{R_0}{R_3} + \frac{R_0}{R_3} \quad (7)$$

Тепер потрібно визначити зсув.

Зсув ΔV можна знайти вирахуванням з кожної з розрахованих напруг (**)
відповідної заданої напруги (0,5У; 4,5У):

$$\Delta V = 6,14В - 0,5В = 5,64В \quad \text{або} \quad \Delta V = 10,14В - 4,5В = 5,64В$$

В обох випадках повинен вийти однаковий результат, якщо немає помилок у попередніх обчисленнях.

Рівняння (6), з врахуванням отриманого вище значення $\Delta V=5,64\text{В}$, можна записати в наступному вигляді:

$$5.64 = \frac{V_R \times R_0}{R_2} \quad (8)$$

Зараз можна вирішити одночасно рівняння посилення (7) і зсуву (8) щодо величин резисторів.

У даному прикладі, як показано на схемі (рис.5.4), величина опорної напруги $V_R=2,5\text{ В}$ встановлена одночасно й для ланцюгів ОУ, і терморезистора. Опорна ж напруга самого АЦП у даному прикладі (без врахування запасу на границях діапазону) становить 5 В .

В отриманій вище системі із двох рівнянь невідомі три величини опорів резисторів. Отже, потрібно задати величину одного з резисторів.

Виберемо опір $R_0 = 100\text{ кОм}$ й урахуємо, що $V_R = 2,5\text{ В}$, тоді одержимо наступну систему рівнянь:

$$6.3 = 1 + \frac{100\text{ кОм}}{R_3} + \frac{100\text{ кОм}}{R_2};$$

$$5.64 = \frac{250\text{ кОм}}{R_2}$$

Вирішуючи систему цих рівнянь, одержимо:

$$R_2 = 44,32\text{ кОм};$$

$$R_3 = 32,85\text{ кОм}.$$

Наступний крок – вибір стандартних номіналів резисторів з ряду E192.

Для резисторів з 1% -ой точністю – це $44,2\text{ кОм}$ й $33,2\text{ кОм}$. Підставляючи для перевірки ці величини з розкидом $\pm 1\%$ у рівняння (5) і (6), одержуємо коефіцієнт посилення $K=6,27$ і величину зсуву $\Delta V=5,65\text{ В}$.

Тепер ми можемо скласти залежність результату перетворення від будь-якої температури діапазону:

Таблиця 2.4 - Залежність результату перетворення від температури діапазону для 8-розрядного АЦП

Температура, °C	R_t , кОм	Вихід ОУ, В	Десяткове значення
10	18,2	4,44	227
25	10	2,18	111
30	8,276	1,44	74
40	6,406	0,467	23

Десятковий відлік D_{10} аналогової напруги визначається виразом

$$D_{10} = 2^N \times V_0 / V_{REF}, \text{ де}$$

N – розрядність АЦП;

V_{REF} – опорна напруга АЦП;

V_0 – вихідна напруга АЦП.

Наприклад, для 8-розрядного АЦП із $V_{REF}=5\text{В}$ и $V_0 = 4,44\text{В}$ $D_{10}=227$.

Ця залежність необхідна, тому що терморезистор – нелінійний елемент, і програма повинна буде вирішити, якому результату на виході АЦП яка

температура відповідає. Для реальних схем подібні характеристики варто обчислювати із кроком 1°C.

У розглянутому прикладі вихідний сигнал ОУ проходить майже весь діапазон від 0 до 5 В, отже на практиці треба або вибрати двуполярний ОУ, або однополярний ОУ з розширенням повного розмаху вихідної напруги ОУ майже до напруги живлення. Розв'язна здатність даного ланцюга становить $(227-23)/30^{\circ}\text{C}=6,8$ відліків на градус.

Номінальний ряд E192

E192	E192	E192	E192	E192	E192
1,00	1,47	2,15	3,16	4,64	6,81
1,01	1,49	2,18	3,20	4,70	6,90
1,02	1,50	2,21	3,24	4,75	6,98
1,04	1,52	2,23	3,28	4,81	7,06
1,05	1,54	2,26	3,32	4,87	7,15
1,06	1,56	2,29	3,36	4,93	7,23
1,07	1,58	2,32	3,40	4,99	7,32
1,09	1,60	2,34	3,44	5,05	7,41
1,10	1,62	2,37	3,48	5,11	7,50
1,11	1,64	2,40	3,52	5,17	7,59
1,13	1,65	2,43	3,57	5,23	7,68
1,14	1,67	2,46	3,61	5,30	7,77
1,15	1,69	2,49	3,65	5,36	7,87
1,17	1,72	2,52	3,70	5,42	7,96
1,18	1,74	2,55	3,74	5,49	8,06
1,20	1,76	2,58	3,79	5,56	8,16
1,21	1,78	2,61	3,83	5,62	8,25
1,23	1,80	2,64	3,88	5,69	8,35
1,24	1,82	2,67	3,92	5,76	8,45
1,26	1,84	2,71	3,97	5,83	8,56
1,27	1,87	2,74	4,02	5,90	8,66
1,29	1,89	2,77	4,07	5,97	8,76
1,30	1,91	2,80	4,12	6,04	8,87
1,32	1,93	2,84	4,17	6,12	8,98
1,33	1,96	2,87	4,22	6,19	9,09
1,35	1,98	2,91	4,27	6,26	9,19
1,37	2,00	2,94	4,32	6,34	9,31
1,38	2,03	2,98	4,37	6,42	9,42
1,40	2,05	3,01	4,42	6,49	9,53

1,42	2,08	3,05	4,48	6,57	9,65
1,43	2,10	3,09	4,53	6,65	9,76
1,45	2,13	3,12	4,59	6,73	9,88

6 Вимірювальні комутатори амплітудно-модульованих сигналів

Практичне заняття №7

Вибір структури комутатора амплітудно-модульованих сигналів

Розробити структуру електронного комутатора з послідовним включенням комутаційних елементів. Визначити абсолютну величину похибки роботи комутатора. Представити схеми, дати пояснення.

Параметри варіантів комутаторів зазначені в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 - Варіанти завдання

№ вар	n	Опір ключа (Ом)		r _{внутр} (Ом)	U _{коммут} (В)	δU _{допуст} (%)
		r _{замк}	r _{разомк}			
0	10 ⁴	50	10 ⁸	100	5	0,1
1	10 ⁴	10	10 ⁷	100	10	0,5
2	6400	30	10 ⁸	200	5	0,1
3	8100	50	10 ⁸	150	10	0,5
4	2 ¹²	20	10 ⁷	150	5	0,5
5	2 ¹⁰	10	10 ⁷	100	10	0,1
6	4900	60	10 ⁸	200	5	0,5
7	3600	30	10 ⁸	250	10	0,1
8	2 ¹⁰	50	10 ⁷	100	5	0,5
9	2 ¹²	40	10 ⁸	200	10	0,1

n – число комутуємих джерел напруги;

r_{замк} – опір замкнутого ключа;

r_{разомк} – опір розімкнутого ключа;

r_{внутр} – внутрішній опір джерел сигналу;

U_{коммут} – величина комутуємої напруги;

δU_{допуст} – припустима відносна похибка комутатора.

У всіх варіантах число виходів комутатора дорівнює 1.

6.1 Основні типи комутаторів і їхні характеристики

Основне призначення комутаторів – утворення між блоками з'єднань, що забезпечують проходження сигналів у заданих напрямках.

На відміну від цифрових комутаторів (мультиплексорів), у яких не відбувається втрат інформації при передачі цифрових сигналів, аналоговий мультиплексор – більш складний пристрій.

Комутатори, призначені для роботи у вимірювальній частині ІВС, зв'язують між собою ділянки аналогових вимірювальних ланцюгів, що працюють у паралельному й послідовному режимах.

Особливе значення для ІВС представляють вимірювальні комутатори, що служать для перемикання аналогових вимірювальних сигналів. При їхній розробці основна мета полягає в тому, щоб у вимір аналогового сигналу не вносилися помилка. Ця вимога може бути виконана при використанні ідеального або близького до нього ключа.

Вимірювальні комутатори АМ-сигналів характеризуються наступними параметрами:

- динамічним діапазоном величин, що комутуються;
- похибкою коефіцієнта передачі аналогового сигналу
 $\delta = (A_{\text{вх}} - A_{\text{вих}})/A_{\text{вх}}$, где $A_{\text{вх}}$ и $A_{\text{вих}}$ – відповідно вхідний та вихідний сигнали комутатора;
- швидкодією, або швидкістю комутації. Для комутаторів ці параметри оцінюються кількістю перемикань у секунду (комутатори циклічної дії) або часом, необхідним для виконання однієї комутаційної операції;
- числом сигналів, що комутуються – входів n , числом виходів h і числом одночасно утворених каналів k ; у більшості випадків $n > h$, $k \leq h$, найбільше поширення мають вимірювальні комутатори з $h=k=1$;
- кількістю комутуючих вимірювальних N і керуючих M елементів комутатора; звичайно при проектуванні комутаторів прагнуть до зменшення N і M ;
- терміном служби, обчислювальним граничною кількістю операцій перемикання, при якому основні характеристики комутаторів залишаються незмінними в заданих межах.

Комутатори різняться також послідовністю (програмою) перемикання вхідних сигналів. У комутаторах можуть бути реалізовані циклічний і адресний режими. При циклічному режимі комутація виробляється по заздалегідь установленій програмі з заданою комутаційною функцією, що визначає послідовність з'єднання входів з виходами комутатора. При адресній роботі комутатора послідовність перемикання заздалегідь, як правило, не визначається.

Залежно від типу використовуваних у комутаторі комутаційних елементів різняться контактні й безконтактні комутатори.

Динамічні характеристики аналогових комутаторів визначаються часом перемикання. Це час для ключів на МОП – транзисторах становить сотні наносекунд.

Під впливом паразитних ємностей C_0 ключів час установлення комутатора може істотно зрости. Якщо сумарний опір щодо входу відкритого каналу дорівнює R_0 , то навіть при відсутності затримок у самих ключах час установлення комутатора $t_{уст.до}$ з похибкою $\epsilon_{до}$ буде

$$t_{уст.к} = R_0 C_0 \ln 1/\epsilon_k$$

Наприклад при $\epsilon_k = 10^{-3}$, $R_0 = 1$ кОм, $C_0 = 50$ пФ час $t_{уст.к} = 350$ нс.

Отже, якщо при включенні каналу комутатора сигнал на його вході зміниться, то після закінчення інтервалу $t_{уст.до}$ сигнал на виході комутатора буде повторювати вхідний сигнал з деяким запізнюванням. При подальшій обробці сигналу (наприклад, аналого-цифровому перетворенні) це запізнювання необхідно враховувати.

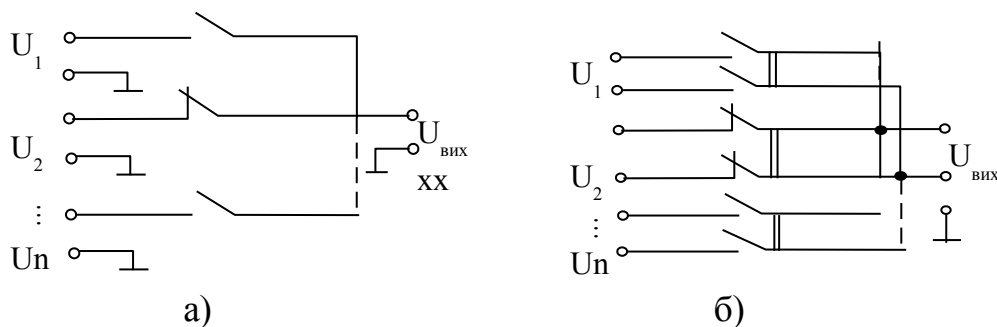


Рисунок 6.1 – Схеми аналогового мультиплексора з однодротовими (а) та диференційними (б) входами

Основні способи підключення джерел вхідного сигналу до аналогового мультиплексору наступні:

1. Всі аналогові сигнали $U_{вх i}$ мають загальну точку («землю»), щодо якої відлічується й вихідний сигнал мультиплексора (рис.6.1,а). Недоліком цього способу є незахищеність від синфазної перешкоди.

2. Мультиплексор має диференційні входи й, відповідно, два виходи (рис.4.1,б). Наступний за подібним мультиплексором пристрій повинний також мати диференційний вхід. Перевагою підсилювача з диференційним входом є його властивість подавляти синфазну перешкоду. Тому в тих випадках, коли вимірювані сигнали невеликі, а вимоги до точності виміру досить високі, варто застосовувати диференційні схеми.

6.2 Комутаційні елементи

Будь-який комутаційний елемент складається із ключа й керуючого елемента. Під ключем розуміється двохполосний елемент електричного кола, що може знаходитися в замкнутому стані, коли провідність ключа велика, або розімкнутому, коли провідність мала.

Як ключі використовуються елементи, що мають нелінійні вольт-амперні характеристики. Перехід ключа з одного стану в інший виконується за допомогою керуючого елемента.

Найбільш важливими розрахунковими характеристиками ключів для електричних сигналів є:

- опір або провідність в замкнутому та розімкнутому станах (r_z або u_z , r_p або u_p); широко використовується також відношення r_p/r_z , яке має назву комутаційного коефіцієнта;
- власні ЕДС та струм ключа e_0 та i_0 , виникаючі в комутуючому ланцюгу під дією керуючих сигналів, власних шумів, паразитних наведень, контактних різниць потенціалів і інше;
- динамічний діапазон, рівний відношенню максимальної та мінімальної амплітуд вхідного сигналу: $D_d = A_{\max}/A_{\min}$;
- максимальна частота перемикань або час переходу ключа з одного стану в друге;
- гранична кількість перемикань, до якої характеристики ключів залишаються в межах нормального стану.

По комутаційному коефіцієнту у ідеального ключа повинне бути $r_p = \infty$, $r_z = 0$, $e_0 = 0$, $i_0 = 0$. Найбільш близькі до таких ідеальних ключів по своїх параметрах контактні ключі, у яких $r_p = 10^8 \div 10^{12} \text{ Ом}$; $r_z = 0,005 \div 0,1 \text{ Ом}$, власні ЕДС мають значення порядку часток і одиниць мікрвольт, $D_d = 10^7$.

У більшості контактних елементів, керованих електромагнітними механізмами (електромагнітні й поляризовані реле, крокові шукачі й т.п.), найбільша швидкість перемикань становить від одиниць до десятків перемикань у секунду, гранична кількість перемикань не перевищує 10^6 — 10^7 , а потужність, необхідна для керування ключем, дорівнює приблизно 0,1—10 Вт.

Підвищеними, в порівнянні з контактними елементами, керованими електромагнітними механізмами, швидкістю роботи й терміном служби володіють магнітокровані герметичні контакти. Такі контакти, що випускаються промисловістю, можуть спрацьовувати до 100 разів у секунду (окремі екземпляри до декількох сотень спрацьовувань у секунду) і мають термін служби, обумовлений 10^8 спрацьовуваннями. Потужність керування в них порядку десятих часток вата. Через те, що контактна група в таких контактних елементах мініатюрна й контактні зусилля малі, опір замкнутих контактів може досягати 0,1 Ом, а опір розімкнутих контактів (опір ізоляції) може бути порядку 10^8 Ом .

Великий термін служби (до 10^{12} спрацьовувань за рекламними повідомленнями виготовлювачів) мають ртутні контакти (контакти, що змочуються ртуттю по капілярах). Швидкодія їх відносно невелика – приблизно

10 спрацьовувань у секунду. Технологія їхнього виготовлення складна, вартість висока, тому ртутні контакти застосовуються не так широко, як магнітокеровані контакти.

Характеристиками, що заслуговують уваги, мають комутаційні елементи, засновані на використанні ефекту надпровідності. Вони мають комутаційний коефіцієнт порядку 10^{10} – 10^{12} при опорі контакту в ненадпровідному стані приблизно 10 Ом.

Перспективними є розробки контактних комутаційних елементів з швидкодією до 10^4 – 10^5 спрацьовувань у секунду, терміном служби більше 10^8 спрацьовувань і невеликою потужністю керування.

Сучасні контактні комутаційні елементи застосовуються переважно для комутації параметричних датчиків і малих за рівнем струмів і напруг (порядку декількох мілівольтів і часток міліампера) при відносно невеликих швидкостях комутації.

Для побудови безконтактних комутаторів ІВС використовуються елементи, у яких під впливом зовнішнього керуючого сигналу стрибкоподібно змінюється опір.

Як правило, безконтактні перемикаючі елементи мають великий термін служби, висока швидкодія, вимагають малої потужності керування, але в них невеликий комутаційний коефіцієнт, менший динамічний діапазон. Крім того, вони більшою мірою, чим контактні елементи, піддані впливу зовнішніх збурювань; при їхньому використанні необхідно вживати заходи до поділу інформаційних і керуючих ланцюгів.

Найбільше застосування в безконтактних комутаційних елементах знайшли напівпровідникові транзистори й діоди.

Такі елементи мають опір в замкнутому стані – r_z – від 2 до 100 Ом, в розімкнутому – r_p – від 10^6 до 10^8 Ом (комутаційний коефіцієнт від 10^4 до 10^8), e_0 від 1 до 100 мкВ, i_0 від 0,01 до 0,05 мкА, міжелектродну ємність від 5 до 50 пФ, частоту комутації до 10^6 спрацьовувань в секунду.

Серед напівпровідникових перемикачів найкращі характеристики мають аналогові ключі на польових транзисторах з р – n-переходами й на МОП-транзисторах. Опір закритого (розімкнутого) ключа досягає тисяч мегом ($r_p = 10^8 \dots 10^{10}$ Ом), і він стає близьким до ідеального ключа, що знаходиться в розімкнутому стані.

У порівнянні з іншими напівпровідниковими ключами польовий транзистор з р – n-переходом і МОП-транзистор характеризуються повною відсутністю напруги зсуву у відкритому стані, мають близькі до нуля власні ЕДС і струми. Відкритий (замкнутий) ключ у цьому випадку подібний лінійному омичному резистору від декількох десятків до декількох сотень Ом ($r_z = 20 \dots 2000$ Ом). Джерелами похибок таких ключів є опори відкритого ключа, струм витоку й перехідні процеси.

Комутаційні елементи із застосуванням оптронів дозволяють гальванічно розділити вимірювальний ланцюг і тим самим усунути вплив поздовжніх перешкод, але поки мають відносно невисокі метрологічні характеристики.

Оптрон з закритим оптичним каналом загального призначення 4N35 має час включення й вимикання порядку 10 мкс, таким чином, він може передавати сигнали на частотах вище 10 кГц. Однак при наближенні швидкості проходження сигналів до граничної швидкості спрацьовування оптрона вихідний сигнал все більше відрізняється від вхідного. Тому там, де потрібна висока швидкість передачі даних, варто використовувати швидкодіючий оптрон, наприклад 6N136, що здатний працювати на частотах до 1 МГц. У цьому оптроні для досягнення високої швидкості спрацьовування використана схема включення фотодіода послідовно з вихідним транзистором.

Оптрони з поліпшеними метрологічними характеристиками використовуються у вимірювальних комутаторах.

Основна область застосування електронних комутаційних елементів – комутація з високими швидкостями щодо великих напруг і струмів (приблизно ± 5 , ± 10 У; ± 5 мА).

6.3 Похибки комутаторів напруг з послідовним включенням комутаційних елементів

Комутаційні елементи можуть розташовуватися в комутуючому ланцюгу послідовно, паралельно опору навантаження й комбінованим способом (рис. 6.2).

Найбільше застосування мають комутатори з послідовним включенням елементів.

Розглянемо похибки, викликувані впливом комутаційних елементів, в одноступінчастому комутаторі з n входами й одним виходом ($h=1$).

Будемо розрізняти наступні складові похибок:

- похибки, обумовлені відмінністю опорів r_3 і r_p від нуля й нескінченності відповідно;
- похибки від власних ЕДС ключів;
- похибку через варіації r_3 і r_p .

Обмежимося розглядом випадку, коли всі ключі комутатора мають однакові опори: $r_3 = \text{const} \neq 0$, $r_p = \text{const} \neq \infty$.

Якщо комутатор призначений для роботи з генераторними датчиками (рис. 6.3), що мають внутрішній опір $r_1 = r_2 = \dots = r_n = r_B$ і ЕДС E_i , то можна показати, що при замкнутому j -м ключі відносна похибка δU передачі вхідної напруги комутатора визначається по формулі

$$\delta U = \frac{1}{1 + (r_B + r_p)/(r_B + r_3)(n - 1)} 100\% \quad (6.1)$$

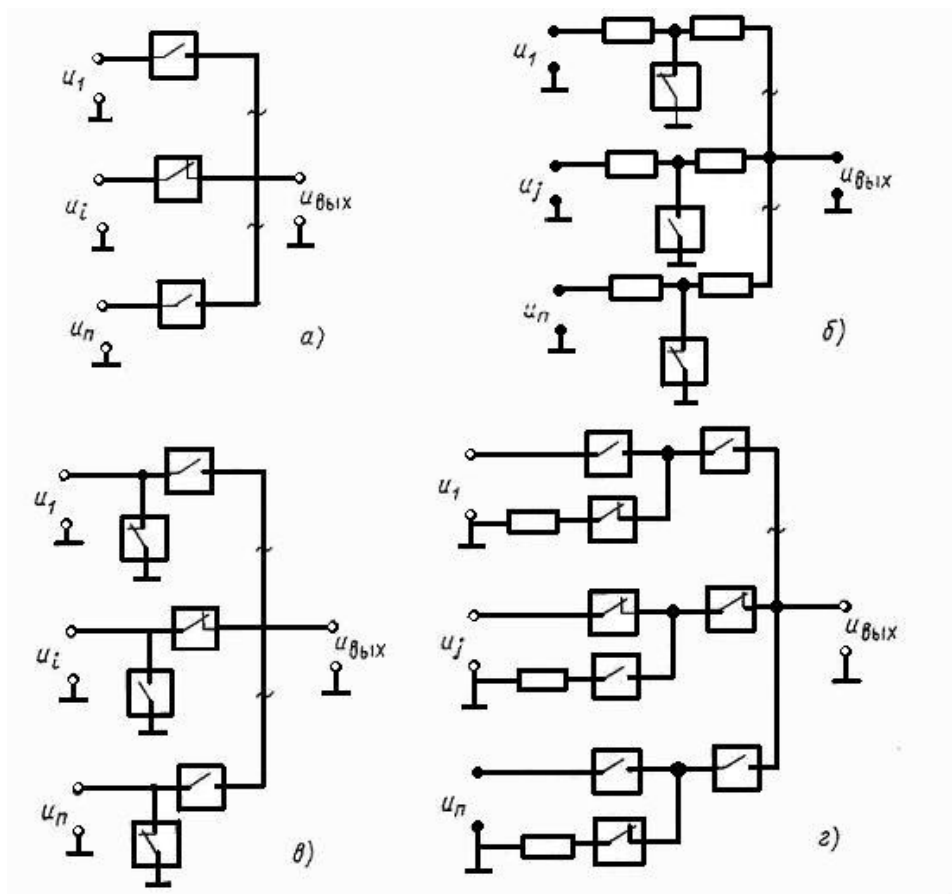


Рисунок 6.2 – Схеми комутаторів з послідовним (а), паралельним (б) та комбінованим (в, г) включенням комутаційних елементів

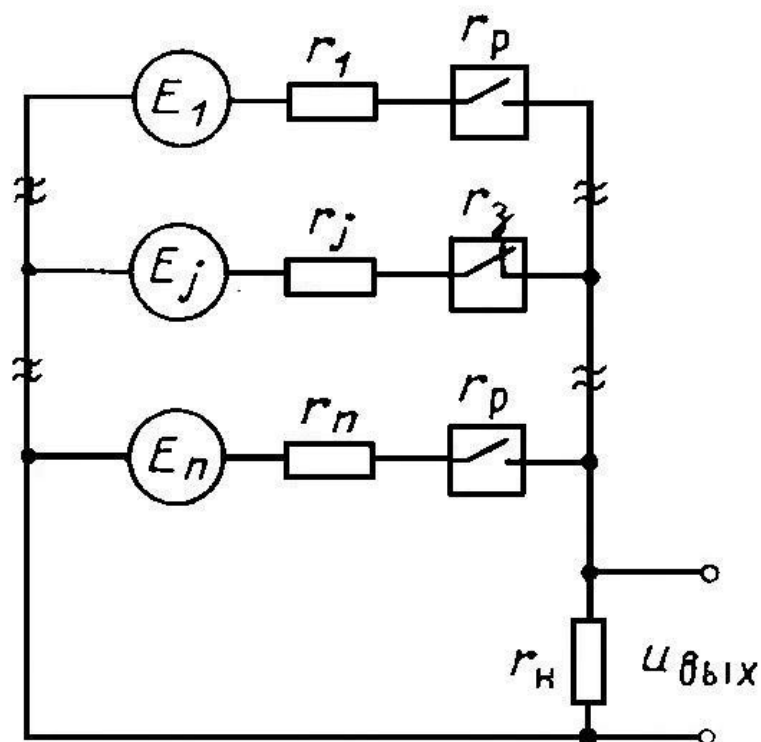


Рисунок 6.3 – Одноступінчастий комутатор з генераторними датчиками

Покладемо, $r_3 = 0,1 \text{ Ом}$, $r_B = 100 \text{ ом}$, $r_P = 10^7 \text{ Ом}$, $n = 10^4$.
Тоді

$$\delta U = \frac{1}{1 + (100 + 10^7) / (100 + 0,1)(10^4 - 1)} 100\% \approx \frac{1}{1 + 10} 100\% \approx 9,1\%.$$

Якщо максимальне значення комутуємого сигналу $U_{MAX} = 5B$, то абсолютна похибка передачі вхідної напруги комутатора складе

$$\Delta = U_{MAX} \times \delta U \approx 5B \times 9,1\% = 0,455B.$$

Отже, при таких комутаційних елементах і кількості джерел напруги, що комутуються, похибка напруги комутатора неприпустимо велика.

Один з схемних способів зменшення цієї похибки є в переході на схему двоступінчастого комутатора, при якому n входів розділяються на m груп по q датчиків (рис. 6.4).

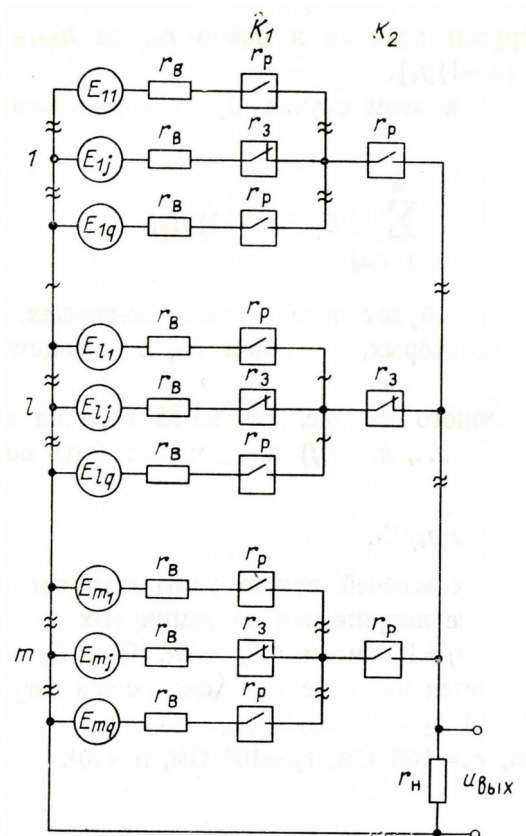


Рисунок 6.4 – Двоступінчастий комутатор з генераторними датчиками

З рисунка 6.4 видно, що у всіх m групах включені j -е ланцюги за допомогою ключів комутатора першого ступеня K_1 , а вибірка групи l і, отже, підключення до виходу ланцюга l_j , здійснюються комутатором K_2 другого ступеня.

У такій схемі різко спрощується пристрій управління комутатора першого ступеня.

Оскільки m невелике, а $r_P \gg r_3$, то для спрощеного наближеного розрахунку відносної похибки δU передачі вхідної напруги такого комутатора можна використовувати вираз

$$\delta U = \frac{1}{1 + r_P / (r_B + 2r_3)(m + q)} 100\% . \quad (6.2)$$

Для зменшення загальної кількості ключей в схемі рекомендується вибирати

$$m = q = \sqrt{n} . \quad (6.3)$$

Тоді для комутатора з тими ж параметрами ($r_3=0,1\text{ом}$, $r_B=100\text{ом}$, $r_P = 10^7\text{ом}$, $n = 10^4$, $U_{\text{MAX}}=5\text{В}$), але побудованого по двоступінчастій схемі, маємо:

$$\delta U = \frac{1}{1 + 10^7 / (100 + 2 \times 0,1)(100 + 100)} 100\% \approx \frac{1}{500} 100\% = 0,2\% ,$$

$$\Delta = U_{\text{MAX}} \times \delta U \approx 5\text{В} \times 0,2\% = 0,01\text{В} .$$

Видно, що двоступінчастий комутатор має більш високі метрологічні характеристики, чим одноступінчастий.

Таким чином, розробку структури комутатора доцільно спочатку робити з урахуванням виразу (6.1). Якщо виявиться, що одноступінчаста структура не задовольняє заданим характеристикам точності, необхідно перейти до двоступінчастої структури комутатора, перевірку якої доцільно проводити за допомогою виразів (6.2) і (6.3).

6.4 Складання балансу похибок в інформаційно-вимірювальній системі

Призначення інформаційно-вимірювальної системи – перетворення сигналів, що надходять від датчиків, у стандартні види (нормалізація) для обробки в обчислювальних блоках або пристроях. У випадку аналогових вирішальних пристроїв – це шкала 0 ± 10 В, у випадку цифрових – код, прийнятий у системі. Сигнал, що надходить від датчика Д, проходить шлях, показаний на рис. 10.1, а. По лінії зв'язку ЛС1 він попадає на гальванічний роздільник ГР, де відбувається подавлення синфазної перешкоди, далі ключ комутатора Кл (якщо є комутатор), підсилювач-перетворювач сигналу В, лінія зв'язку ЛС2 і АЦП або аналоговий вирішальний блок (АР), наприклад регулятор. Можна вважати, що при належній організації системи похибки в передачі даних від АЦП в ЕОМ, мікроконтролер (МК) і т.д. - відсутні. Тут при необхідності застосовуються завадостійкі коди, спеціальні методи контролю й т.п. – прийоми не схемотехнічного плану.

Можливості кожної системи автоматики в остаточному підсумку визначаються точністю й швидкодією, з якими надходить інформація про об'єкт (значення його фазових координат).

Тут діє закон: при перетвореннях отриману інформацію можна тільки втрачати, і потрібно одержати дані про координату x із заданою відносною похибкою:

$$\delta = \Delta x / |x_{\text{макс}} - x_{\text{мин}}| \quad (1)$$

де Δx – абсолютна похибка.

Якщо величина δ є практично недосяжною, то визначається деяке компромісне значення. Наприклад, інформація про x пройшла N перетворень, поки не потрапила в МК або в АР, де виникають додаткові похибки (округлення й квантування – при цифровій обробці, від дрейфу, шумів і т.п. – в аналогових приладах). Якщо ці похибки незалежні, то можна грубо вважати, що в середньому

$$\delta_{\Sigma} \approx \sqrt{\sum_{i=1}^N \delta_i^2} \quad (2)$$

де δ_{Σ} – сумарна похибка на вході обчислювальної частини системи (наприклад, одного з регуляторів, розглянутих вище).

Величини δ_i – це відносні похибки окремих пристроїв і похибки, внесені перешкодами в лініях зв'язку:

$$\delta_{\text{Л.С.}} \approx U_{\text{дифф.пом}} / U_{\text{сигн}}$$

де $U_{\text{дифф.пом}}$ – залишкова напруга перешкоди після ГР, фільтрів і т.д.; $U_{\text{сигн}}$ – напруга сигналу.

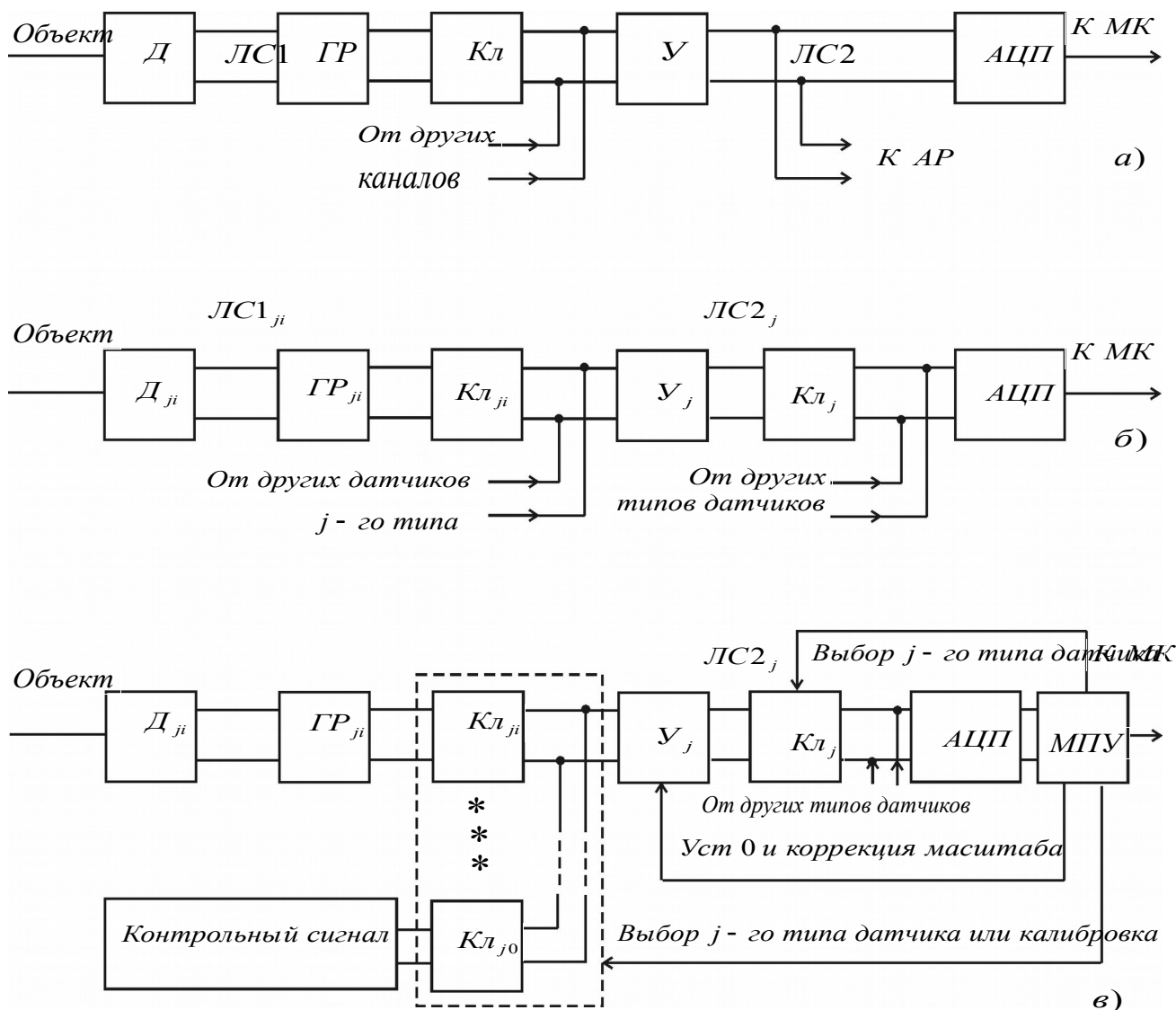


Рисунок 6.5 – Структури інформаційно-вимірювальних систем

Зрозуміло, що частина зазначених на рис. 6.5, а компонентів і вузлів системи може бути відсутньою або деякі вузли можуть стояти на інших місцях. У наведеній схемі всі п'ять вузлів створюють свою частку похибок, і обидві лінії зв'язку вносять свої частки шумів. Проблема полягає в одержанні похибок не більше заданої δ при мінімальних втратах. У складних випадках завдання може вирішуватися шляхом моделювання варіантів на ЕОМ, але звичайно практичні обмеження майже не залишають можливостей для вибору. Процедура визначення δ_i , при заданому δ_Σ називають іноді складанням балансу похибок. Найчастіше вузьким місцем є первинний перетворювач – датчик Д, і на нього доводиться більша частина загальної похибки.

Вартість датчиків і устаткування різко зростає з підвищенням точності, а їхня надійність (середній час наробітку на відмову $1/\Lambda$) швидко падає. Ці тенденції особливо різко проявляються при $\delta_i < 0,001$ (0,1%). Простий і розумний підхід полягає в тім, що загальна похибка тракту нормалізації приймається рівної похибки датчика, а в АЦП – $\frac{1}{2}$ МЗР (половина кроку

квантування за рівнем) – рівної 6σ усього устаткування, що знаходиться перед АЦП (включаючи датчик).

У завдання нормалізації сигналів, крім їх детектування й посилення, може входити й лінеаризація, тому що сигнали таких датчиків, як термопари, тензодатчики й т.д., можуть тільки в першому наближенні (при $\delta = 0,5 \div 5\%$) вважатися лінійно залежними від вимірюваної величини. У випадках, коли $\delta_{\Sigma} = 0,5 \div 1\%$, лінеаризація може проводитися за допомогою аналогових нелінійних перетворювачів, що включаються в блок посилення У (за умови однотипності датчиків). Зокрема, так доцільно її проводити в системах з аналоговими регуляторами й вирішальними пристроями. У відповідальних випадках при малій загальній припустимій похибці має сенс лінеаризацію показань датчика проводити за допомогою таблиць слів, записуваних у ПЗУ, а вихід АЦП використовувати як адресу для вибору цих слів.

У схемі рис. 6.5, а сигнали із ЛС1 спочатку подаються на ГР, а потім ідуть на ключ комутатора. Таким чином, кожний датчик забезпечується індивідуальним ГР, схема якого вибирається залежно від типу сигналу, можливого рівня перешкод і необхідної точності. Спроби ставити комутатор до ГР і робити останній груповим вузлом майже завжди ведуть до невдачі через труднощі організації живлення й управління комутатора, відірваного від землі системи. Комутатор ставиться або між індивідуальними ГР і підсилювачем-перетворювачем (при наявності однотипних датчиків), або після підсилювачів-перетворювачів, що нормалізують, у випадку багатьох типів датчиків. При цьому можлива двоступінчаста комутація (рис. 6.5, б).

Сигнали датчиків змінного струму досить великі, їхнє посилення не викликає труднощів, а для випрямлення використовуються схеми прецизійних детекторів на ОУ з наступним активним ФНЧ. Частотні сигнали детектуються ФАПЧ або розімкнутими демодуляторами. Якщо швидкості зміни сигналів невеликі, то досить мати одну схему детектування, що підключається до потрібного каналу через комутатор (груповий перетворювач). Важливо, щоб час установлення в каналі був досить малим в порівнянні з періодом опитування. Щоб подавити поздовжню перешкоду, можна сигнали змінного струму пропустити через трансформатори, що розв'язують, але в багатьох випадках досить простого диференціального підсилювача.

Складніше ситуація із сигналами постійного струму низького рівня. По-перше, тут потрібні дуже високі значення КОСС – коефіцієнт ослаблення синфазного сигналу (від 80 до 200 дБ), по-друге, перешкоди й зсуви в ключових схемах мають один порядок із цими сигналами по абсолютній величині, по-третє, датчики постійного струму часто мають нелінійне градування, і при нормалізації цих сигналів потрібна лінеаризація. Перші дві обставини приводять до того, що кожному датчику обов'язково потрібний індивідуальний ГР і, можливо, підсилювач. При наявності локалізованої групи однотипних датчиків у межах 50 м і трансформаторних ГР із дуже високими КОСС підсилювач може бути груповим, як показано на рис. 6.5, а й б. Для передачі даних на АЦП

мікроконтролера в цьому випадку використовується сигнал постійного струму 4-20 мА (сам підсилювач може мати струмовий вихід).

У системах з великим числом датчиків і підвищеною точністю ($\delta_z < 0,25\%$) доцільно використовувати спеціалізований мікропроцесорний вузол для автопідстроювання. Він дозволяє замість великого числа дорогих і примхливих прецизійних групових і одноканальних підсилювачів і складних прецизійних комутаторів застосувати ОУ й прості ИМС комутаторів. У такій системі (рис. 6.5, в) мікропроцесорний спеціалізований пристрій МПУ не тільки забезпечує вибір каналу на двох рівнях комутації (J і i), вибір лінеаризуючого ПЗУ й т.д., але й періодично підключає кожний груповий підсилювач-перетворювач через один із ключів до каліброваного сигналу (часто – до 0 В) і запам'ятовує похибку. При опитуванні датчиків цей сигнал помилки віднімається з отриманого значення програмним шляхом. Цей же МП може фіксувати вихід сигналу в одному з каналів за межі шкали й задавати (через ЦАП) необхідні зсуви, міняти чутливість підсилювачів-перетворювачів, виявляти несправні канали або давати відповідні аварійні сигнали. Для економії обсягів ПЗУ в цьому випадку лінеаризація даних проводиться програмно в МПУ (шляхом зворотного функціонального перетворення), а схема АЦП спрощується, тому що функції його цифрових вузлів бере на себе МПУ. При достатній швидкодії МПУ може виконувати й функції керування й корекції вимірювальних каналів, і керуючого пристрою.

Література

ОСНОВНА

(Мається у бібліотеці ОДЕкУ в достатній кількості)

1. Великий В.І., Препелиця Г.П. Мікропроцесорні системи обробки даних та управ-ління в гідрометеорології. Навч. посібник. – Одеса: Вид-во "ТЭС", 2004. – 212 с.
2. Великий В.І. Мікропроцесорні системи в САУ: Курс лекцій для студентів вищих навчальних закладів: Навч посібник – О.: Наука і техніка, 2006 – 192с.
3. Ауров В.В. Методи вимірювання параметрів навколишнього середовища: Підручник – Одеса: "ТЭС", 2002. – 284 с.

ДОДАТКОВА

(Видається студентам в електронному вигляді)

4. Евстифеев А.В. Микроконтроллеры AVR семейства Mega. Руководство пользователя. – М.: Издательский дом «Додэка – XXI», 2007. – 592 с.: ил.
5. Баранов В.Н. Применение микроконтроллеров AVR: схемы, алгоритмы, программы. – М.: Издательский дом «Додэка – XXI», 2004. – 288 с.: ил.
6. Трамперт В. Измерение, управление и регулирование с помощью AVR микроконтроллеров.: Пер. с нем. – К.: «МК-Пресс», 2006. – 208 с., ил.
7. Мортон Дж. Микроконтроллеры AVR. Вводный курс/Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Додэка – XXI», 2006. – 272 с.: ил.
8. Цапенко М.П. Измерительные информационные системы: структуры и алгоритмы, системотехническое проектирование: Учебное пособие для вузов. 2-е перераб. Изд. М.: Энергоатомиздат, 1985. – 440 с.
9. Агуров П. А. Последовательные интерфейсы ПК. – СПб.: 2002. -442 с.
10. Ковязин А.Н. Интерфейс RS-232. Связь между ПК и микроконтроллером.- М.: Радио и связь, 2001.- 367 с.
11. Гук М. Аппаратные интерфейсы ПК. Энциклопедия. - СПб.: 2002-528с.

МЕТОДИЧНА ЛІТЕРАТУРА

(Видається студентам у вигляді методичних вказівок)

12. Методические указания по отладке и трансляции программ для микроконтроллеров серии AVR фирмы ATMEЛ и по проведению лабораторных работ по дисциплине «Проектирование микропроцессорных систем» для студентов, обучающихся по направлениям подготовки бакалавров 6.0915 и 6.0804 /
Авт. С.А. Нестеренко, В.И Великий. – Одесса: Наука и техника, 2007. – 72 с.
13. Методичні вказівки до лабораторної роботи “Вивчення лабораторного стенда. Організація зв’язку мікро-ЕОМ з реальним об’єктом” по дисципліні “МПС у САУ” (сост. В.І. Великий) – Одеса, ОНПУ, 2002.
14. Методические указания и контрольные работы по дисциплине «Информационно-измерительные системы» для студентов заочной формы обучения по направлению подготовки бакалавров 6.0914 – компьютеризированные системы, автоматика и управление /Авт. В.И.Великий. – Одесса: Наука и техника, 2009. – 86 с.