

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**Тернопільський національний технічний університет імені
Івана Пулюя**

Михайло Паламар, Михайло Стрембіцький, Андрій Паламар

***Проектування комп'ютеризованих
вимірювальних систем і комплексів***

Навчальний посібник

Тернопіль 2018

Автори:

**Паламар М.І., докт. техн. наук, професор;
Стрембіцький М.О. канд. тех. наук, доцент;
Паламар А.М. асистент**

Рецензенти:

В.Д. Погребенник докт. техн. наук, професор

**Схвалено та рекомендовано до друку на засіданні вченої ради
Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.
Протокол № 10 від 18 грудня 2018р.**

У навчальному посібнику викладено основи архітектури, програмного та апаратного забезпечення комп'ютерних вимірювальних комплексів, наведено їх класифікацію та технічні характеристики. Розглянуто основні складові частини інформаційно-вимірювальних комплексів: сучасні промислові контролери, аналого-цифрові перетворювачі, інтерфейси, локальні мережі, засоби відображення інформації. Розглянуто основні принципи математичного моделювання процесу вимірювання, метрологічного забезпечення та принципи побудови на їх базі інформаційно-вимірювальних систем, а також засобів їх розробки.

© Паламар М.І., Стрембіцьки М.О., Паламар А.М. 2018

© Тернопільський національний технічний університет
імені Івана Пулюя, 2018

ВСТУП.....	6
1 ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ПРО ІНФОРМАЦІЙНО- ВИМІРЮВАЛЬНІ КОМПЛЕКСИ.....	7
1.1 Основні визначення, область застосування та ознаки інформаційно-вимірювальних комплексів та інформаційно-вимірювальних систем (ІВК та ІВС).....	7
1.2 Класифікація ІВК.....	8
1.3 Основні структурні елементи ІВК.....	8
1.4 Основні вимоги до правил і методів випробування ІВК.....	9
2 ІНФОРМАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ІВС ТА ІВК.....	10
2.1 Кількість інформації.....	10
2.2 Ентропія.....	10
2.3 Ентропія джерела дискретних повідомлень.....	10
2.4 Ентропія джерела безперервних повідомлень.....	11
2.5 Властивості ентропії.....	11
2.6 Ентропія об'єднання.....	11
2.7 Інформаційна надлишковість.....	12
2.8 Потік інформації.....	12
2.9 Пропускна здатність інформаційного каналу.....	12
2.10 Структура і алгоритми ІВК та ІВС.....	13
3 СТРУКТУРА ІВК.....	17
3.1 Основні види структур ІВК.....	17
3.2 Характеристики ІВК.....	21
3.3 Принципи формування комплексів отримання інформації.....	23
3.4 Класифікація засобів обміну неперервними сигналами.....	23
4 МІКРОПРОЦЕСОРНІ КОНТРОЛЕРИ І МІКРОКОНТРОЛЕРИ–ОСНОВНА ЧАСТИНА ІВК.....	26
4.1 Класифікація контролерів.....	26
4.2 Контролери модульні.....	26
4.3 Контролери каркасні.....	27
4.4 Віртуальна структура контролерів.....	27
4.5 Мікроконтролери.....	27
4.5.1 Класифікація мікропроцесорів.....	27
5 АНАЛОГО-ЦИФРОВІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ.....	35
5.1 Розрядність.....	35
5.2 Типи перетворення.....	35
5.2.1 Лінійні АЦП.....	35
5.2.1 Нелінійні АЦП.....	35
5.3 Точність.....	36
5.3.1 Похибки квантування.....	36
5.3.2 Нелінійність.....	36
5.3.3 Апертурна похибка.....	36
5.4 Частота дискретизації.....	37
5.5 Підмішування псевдовипадкового сигналу (dither).....	38
5.6 Передискретизація.....	38
5.7 Типи АЦП.....	39
5.7.1 АЦП прямого перетворення або паралельний АЦП.....	39
5.7.2 АЦП порівняння з пилоподібним сигналом.....	39
5.7.3 АЦП з урівноваженням заряду.....	39
5.7.4 АЦП послідовного наближення або АЦП з порозрядним врівноваженням... 40	
5.7.5 АЦП диференційного кодування (англ. <i>delta-encoded ADC</i>).....	40
5.7.6 Конвеєрні АЦП.....	40
5.7.7 Сигма-Дельта ЦАП.....	41

5.7.8	Комерційні АЦП	41
5.8	Застосування АЦП в звукозаписі.....	41
6	КЛАСИФІКАЦІЯ АНАЛОГО-ЦИФРОВИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ТА ЇХ ХАРАКТЕРНІ ОСОБЛИВОСТІ	42
6.1	Області застосування АЦП.....	42
6.2	Порозрядні АЦП для систем збору і обробки даних	42
6.3	Сигма-дельта АЦП для прецизійних промислових систем і вимірювальної апаратури	44
6.3.1	Сигма-дельта АЦП для телефонії і аудіосистем	47
6.3.2	Конвейєрні АЦП високої швидкодії з частотою відбору не менше 5 МГц.....	47
	Висновки:	51
7	ІНТЕРФЕЙСИ.....	52
7.1	Класифікація інтерфейсів між оператором і комп'ютером.....	52
7.2	Інтерфейси передачі даних	53
7.2.1	Послідовний інтерфейс USB	53
7.2.2	Інтерфейс RS – 232.....	54
7.2.3	Інтерфейс RS–485.....	55
7.2.3	HART – протокол.....	58
8	ЛОКАЛЬНІ МЕРЕЖІ ІВК ТА ІВС	60
8.1	Історія комп'ютерного зв'язку.....	60
8.2	Локальні мережі.....	60
8.3	Топологія локальних мереж	63
8.3.1	Топологія шина	63
8.3.2	Топологія зірка.....	63
8.3.3	Топологія кільце	64
8.3.4	Інші топології	65
8.3.5	Багатозначність поняття топології.....	66
8.4	Типи ліній зв'язку локальних мереж.....	67
8.4.1	Кабелі на основі кручених пар	68
8.4.2	Коаксіальні кабелі.....	70
8.4.3	Оптоволоконні кабелі.....	71
8.4.4	Безкабельні канали зв'язку	72
8.5	Технології локальних мереж	73
8.6	Мережа Ethernet.....	75
8.7	Мережа Gigabit Ethernet.....	78
8.8	Швидкий Ethernet.....	79
8.9	Маршрутизатори Ethernet.	79
9	ВИМОГИ ДО ПРИСТРОЇВ ВІДОБРАЖЕННЯ ГРАФІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ З ПОГЛЯДУ ЛЮДИНО-МАШИННОГО ІНТЕРФЕЙСУ.....	82
9.1	Аналіз вимог до пристроїв відображення графічної інформації	82
9.2	Відтворення інформації як процес моделювання реального об'єкта.....	82
9.3	Діапазони функціональних параметрів пристроїв відображення графічної інформації.....	84
10	МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИМІРЮВАННЯ В ІВК	87
10.1	Основні визначення	87
10.2	Відомі математичні моделі ІВК та ІВС.....	87
10.3	Приклади розробки математичної моделі	88
10.3.1	Математична модель витратомірної установки об'єму газу дзвонового типу.....	88
10.3.2	Математична модель робочого еталону об'єму газу турбінного типу	95
11	ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ, СТВОРЕНІ НА БАЗІ ІВК, ОСОБЛИВОСТІ ЇХ МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ. ПРИЗНАЧЕННЯ І ВИДИ ІВС.....	100
11.1	Інформаційно-вимірювальні системи (ІВС)	100
11.1.1	Призначення і види ІВС	103

11.1.2 Особливості метрологічного забезпечення ІВС	104
12 ЗАВДАННЯ ТА ОРГАНІЗАЦІЯ РОБОТИ З МЕТРОЛОГІЧНОГО	
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІВС	107
12.1 Загальні положення.....	107
12.1.1 Завдання та зміст робіт	108
13 МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ІВС	111
13.1 Загальні положення.....	111
13.2 Принципи та особливості нормування МХ	111
13.3 Метрологічні характеристики	112
13.4 Експериментальне визначення метрологічних характеристик.....	114
Алгоритм обробки результату вимірювань (приклад).....	119
Основний експеримент і обробка результатів	120
13.5 Розрахункові методи визначення МХ ІВС та ІВК.....	122
13.6 Визначення МХ програм обчислень	125
14 ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО СУЧАСНИХ ІВК.....	128
14.1 Особливості сучасних багатоканальних ІВК.....	128
14.2 Методика проектування ІВС на ІВК	128
14.3 Технічний рівень ІВК.....	129
14.4 Концепція ІВК.....	130
14.5 Склад ІВК.....	131
14.6 Склад мережних засобів	131
14.7 Засоби проектування.....	132
14.8 Архітектура ІВК.....	132
14.9 Фізична структура ІВК.....	133
14.10 Інформаційний масштаб ІВК.....	134
14.10.1 Операторська станція	134
14.10.2 Випадкова станція	137
14.10.3 Архівна станція	138
14.10.4 Станція аналізу.....	138
14.10.5 Розрахункова станція	139
14.10.6 Інженерна станція.....	139
14.10.7 Приладова станція	139
14.10.8 Станція єдиного часу.....	139
14.11 Контролери.....	139
14.12 Силові перетворювачі	142
14.13 Віртуальна структура.....	142
14.14 Мережні засоби	144
14.15 Самодіагностика і резервування.....	146
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	148

ВСТУП

Розвиток засобів обчислювальної техніки, а особливо комп'ютерів і контролерів, зумовив до створення нових типів інформаційно-вимірювальних комплексів і систем. Сучасна інформаційно-вимірювальна техніка розв'язує багато задач, пов'язаних із збиранням, перетворенням, передачею та зберіганням різноманітної інформації про стан фізичних об'єктів. Контрольно-вимірювальний комплекс (КВК) є складовою частиною інформаційно-вимірювальної системи (ІВС) [1,3,4] і виконує основну роботу зі збирання, оброблення, передачі та зберігання інформації про досліджуваний об'єкт. КВК все більше знаходять застосування в різноманітних галузях народного господарства.

Поява КВК пов'язана з одного боку з ускладненням завдань в наукових дослідженнях, високоточними вимірюваннями при обліку енергоносіїв, необхідністю виконання значних обчислень та підготовки різноманітних інформаційних документів (протоколи вимірювання, графіки залежності досліджуваних параметрів), а з іншого боку з появою невеликих за розмірами, відносно дешевих, але ефективних мікропроцесорних засобів вимірювання.

Сучасний етап розвитку КВК характеризується переходом на створення складних комплексів, в яких відбувається децентралізоване оброблення інформації, а окремі частини КВК часто віддалені одні від одних. Спостерігається тенденція до все більшого використання апаратних та програмних засобів спряження на всіх рівнях ієрархії, що дає можливість компонувати КВК безпосередньо користувачеві.

В процесі створення і використання на складних високотехнологічних об'єктах та комплексах, в машинобудуванні КВК розв'язують комплексну задачу: створення систем вимірювання та контролю як продукції, так і технологічного процесу випуску цієї продукції та систем управління таким процесом з врахуванням локального та системного підходів.

Основними задачами при створенні сучасних КВК є: висока точність вимірювальних каналів, здатність обробляти значну кількість вхідних сигналів та висока швидкість опрацювання результатів вимірювання за заданою функцією.

Цей конспект лекцій відображає основні аспекти побудови КВК, їх дослідження та метрологічне забезпечення, складання алгоритмів об'єктів дослідження, розробки КВК в цілому для конкретного завдання.

1 ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ПРО ІНФОРМАЦІЙНО- ВИМІРЮВАЛЬНІ КОМПЛЕКСИ

1.1 Основні визначення, область застосування та ознаки інформаційно-вимірювальних комплексів та інформаційно-вимірювальних систем (ІВК та ІВС)

Робота будь-якого технічного обладнання визначається технологічним процесом, який характеризується сукупністю фізичних параметрів. Надійна робота технічного обладнання можлива при наявності ІВС або ІВК, встановлених на ньому для отримання і оброблення інформації про стан об'єкта дослідження при впливі на нього зовнішніх факторів. ІВК та ІВС здійснюють вимірювання та контроль фізичних параметрів. Відповідно нижче наведемо визначення цих термінів.

Вимірювання - знаходження значення фізичної величини дослідним шляхом з допомогою спеціальних технічних засобів. При цьому отримуємо числове значення, яке характеризує вимірювану величину.

Контроль - визначення відповідності між станом об'єкта контролю і заданою нормою фізичної величини.

Збільшення контрольних параметрів в ІВС та ІВК при дослідженні об'єкта, підвищення швидкості протікання технологічних процесів привело до збільшення вимірювальної інформації. Ці фактори привели до створення ІВС та ІВК. Під ІВС розуміють системи, які призначені для автоматичного отримання інформації безпосередньо від об'єкта дослідження шляхом вимірювання і контролю, оброблення цієї інформації і відображення у вигляді чисел, графіків, гістограм і, таким чином, характеризують стан цього об'єкта.

Згідно стандарту [1] **ІВС** - сукупність функціонально об'єднаних вимірювальних, обчислювальних та інших допоміжних технічних засобів для отримання вимірюваної інформації, її перетворення, оброблення з метою подання її оператору в зручному вигляді для подальшого оброблення і прийняття рішення. Таким чином до ІВС входять ІВК, засоби контролю, діагностики, ідентифікації та виконавчі механізми.

Вимірювальні системи забезпечують: оператора інформацією про стан об'єкта, математичне оброблення вимірюваної інформації та її відображення на моніторі ЕОМ і вивід її на цифрову реєстрацію.

Системи автоматичного контролю призначені для контролю об'єкта шляхом порівняння вимірювальних параметрів із заданими значеннями. Ці системи називають системами централізованого контролю. Інформація, видана системою, носить якісний характер і відповідає на запитання чи перебуває об'єкт в заданому режимі.

Системи технічної діагностики на основі результатів вимірювання видають повідомлення про стан об'єкта дослідження, характер відхилень від алгоритму роботи системи, методи виправлення таких відхилень.

Сучасні ІВС і ІВК здатні виконувати функції вимірювання, контролю та діагностики одночасно [5].

Інформаційно-вимірювальний комплекс являє собою автоматизований засіб вимірювання електричних величин, на основі якого можливе створювання інформаційно- вимірювальних систем шляхом: приєднання до входів вимірювальних каналів ІВК первинних перетворювачів (давачів) вимірюваних величин, які мають електричний вихідний канал; генерації на основі програмних компонентів ІВК програм оброблення інформації і керування процесом, орієнтованих на вирішення конкретних задач; приєднання до вихідних каналів пристроїв безпосередньої дії на об'єкт вимірювання, тобто подачі сигналів керування об'єктом. На основі ІВК можуть бути створені: системи автоматизації наукових досліджень; системи автоматизації випробувань або досліджень виробів і об'єктів промисловості; системи автоматизації медичних обстежень та інші системи автоматизації вимірювань.

Область застосування ІВК визначається: номенклатурою приєднаних первинних перетворювачів, пристроїв безпосередньої дії на об'єкт, метрологічними характеристиками; можливістю програмного забезпечення; експлуатаційними характеристиками.

Основні ознаки ІВК: комплекс нормованих метрологічних характеристик; блочно-модульна структура; наявність мікропроцесорного контролера; використання типових інтерфейсів;

наявність пристроїв відображення.

ІВК виконують одну із наступних функцій: прямі, непрямі, сумісні і сукупні вимірювання електричних величин; керування процесом вимірювання і дію на об'єкт вимірювання; відображення результатів вимірювання оператору в заданому вигляді. Для виконання цих функцій ІВК забезпечують перетворення і обробку електричних сигналів від первинних вимірювальних перетворювачів; керування засобами вимірювання і другими технічними компонентами; формування нормованих електричних сигналів дії на об'єкт вимірювання; оцінку точності вимірювання і відображення результатів вимірювання.

1.2 Класифікація ІВК

За призначенням ІВК класифікують на типові, проблемні і спеціалізовані. Ця класифікація є лише умовною, так як задана характеристика є також важливою при виборі структури за вказаними умовами вимірювання. Типові ІВК вирішують широке коло задач автоматизації вимірювання, випробувань або дослідження. Проблемні ІВК застосовують для широкого кола задач специфічної конкретної області автоматизації вимірювання, випробовування і дослідження. Спеціалізовані ІВК призначені для вирішення унікальних задач автоматизації вимірювання, випробовування і дослідження, для яких типові і проблемні ІВК не можуть бути застосовані.

1.3 Основні структурні елементи ІВК

До складу ІВК входять технічні і програмні компоненти.

Технічні компоненти ІВК поділяють на основні і допоміжні.

Основними технічними компонентами є:

- а) засоби вимірювання електричних величин – вимірювальні компоненти;
- б) засоби обчислювальної техніки – обчислювальні компоненти;
- в) міра поточного часу і інтервалів часу з нормованими характеристиками похибок;
- г) засоби вводу-виводу аналогових, цифрових і релейних сигналів.

Допоміжними технічними компонентами ІВК є технічні засоби для забезпечення узгодженої роботи основних технічних компонентів:

- а) блоки електричного з'єднання вимірювальних компонентів між собою або вимірювальних компонентів з обчислювальними (блоки інтерфейсного з'єднання, контролери);
- б) комутуючі пристрої, які не є засобами вимірювання; в) спеціалізовані пристрої буферної пам'яті;
- г) розширювачі інтерфейсної лінії;
- д) пристрої розширення функціональних можливостей ІВК;
- ж) джерело живлення для допоміжних технічних компонентів.

Програмні компоненти ІВК - це системне програмне забезпечення і загальне прикладне програмне забезпечення.

Програмні компоненти ІВК створюють в сукупності математичне забезпечення ІВК і входять в компоненти ІВК.

Системне програмне забезпечення ІВК являє собою сукупність програмного забезпечення ЕОМ, яке використовується в ІВК, і додаткових програмних засобів, які забезпечують:

- а) роботу в діалоговому режимі з ІВК;
- б) керування вимірювальними компонентами;
 - в) обмін вимірюваною інформацією з вимірювальними компонентами;
 - г) перевірку працездатності окремих компонентів ІВК та ІВК в цілому;
 - д) зміну та доповнення складу загального прикладного програмного забезпечення.

Загальне програмне забезпечення ІВК являє собою організовану сукупність програм (програмних модулів), які реалізують:

- а) типові алгоритми обробки вимірюваної інформації (в тому числі при непрямих, сумісних вимірюваннях), а також з метою корекції похибок;
- б) типові алгоритми планування експерименту;
 - в) метрологічне обслуговування ІВК (перевірка, експериментальне визначення метрологічних

характеристик каналів, метрологічна атестація).

1.4 Основні вимоги до правил і методів випробування ІВК

ІВК, які призначені до серійного виробництва, підлягають державним контрольним випробуванням.

Спеціалізовані ІВК, які компонуються безпосередньо у користувача (замовника), а також модернізовані ІВК, підлягають метрологічній атестації.

ІВК в цілому необхідно перевіряти експериментально на працездатність, а також на ефективність вентиляційних пристроїв, розміщених в стійках (шафах) або корпусах (каркасах). Перевірку працездатності проводять за допомогою спеціальних програмних засобів із складу математичного забезпечення ІВК. При повірці ІВК необхідно проводити комплексну або поелементну повірку кожного із каналів ІВК (вид випробувань встановлюється відповідно державними випробуваннями ІВК). Канали, призначені для спостереження за зміною величини без оцінки їх значень в одиницях фізичних величин з нормованою точністю, повірці не підлягають. Поелементну повірку проводять у випадку, коли всі компоненти каналів ІВК є засобами вимірювань з нормованими метрологічними характеристиками. Методику поелементної повірки, а також формули і підпрограми розрахунку метрологічних характеристик каналів ІВК по метрологічних характеристиках окремих вимірювальних компонентів необхідно подавати на державні випробування ІВК для метрологічної експертизи і затвердження.

При поелементній повірці нормовані метрологічні характеристики вимірювальних каналів і каналів виходу сигналів ІВК підтверджують нормовані метрологічні характеристики вимірювальних компонентів і розрахунком метрологічних характеристик цих каналів по метрологічних характеристиках цих компонентів відповідно до методики метрологічної атестації формулами і підпрограмами, затвердженими у встановленому порядку.

Метрологічну атестацію ІВК необхідно проводити на основі експериментального визначення метрологічних характеристик каналів ІВК по методиках і підпрограмах, узгоджених із Держспоживстандартом, або на основі розрахунку метрологічних характеристик каналів ІВК за метрологічними характеристиками окремих вимірювальних компонентів відповідно до методики, узгодженої з Держспоживстандартом. Випробування підпрограм компонентів ІВК проводять за допомогою контрольних задач, зміст і склад яких затверджені в установленому порядку. Випробуванням підлягають програмні компоненти того ж або вищого рівня, які раніше не випробовувалися.

Випробування на надійність проводять на зразках першої партії, а також при внесенні змін в конструкцію або технологію виготовлення ІВК, які впливають на метрологічні характеристики. Допускають підтверджувати нормовані показники розрахунковим методом по методиках розрахунку, затверджених у встановленому порядку.

Кліматичні випробування і механічні випробування ІВК необхідно проводити комплексно або роздільно в залежності від технічних можливостей і техніко-економічної доцільності. Випробування ІВК вважаються позитивними, якщо всі компоненти ІВК пройшли ці випробування з позитивним результатом.

Запитання для самоконтролю засвоєння знань

- 1 Поясніть суть вимірювання і контролю в ІВК та ІВС.
- 2 Поясніть відмінність між системою автоматичного контролю і системою технічної діагностики.
- 3 Наведіть визначення інформаційно-вимірювального комплексу.
- 4 Назвіть основні класифікаційні ознаки ІВК. 5 Назвіть основні структурні елементи ІВК.
- 5 Які основні вимоги ставлять до правил і методів випробування ІВК?
- 6 Назвіть основні види ІВК.

2 ІНФОРМАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ІВС ТА ІВК

2.1 Кількість інформації

Метою вимірювання і контролю є отримання інформації про стан контрольованого об'єкта і його параметрів [6]. Інформація подібно матерії і енергії існує об'єктивно, незалежно від свідомості людини. Спочатку під інформацією розуміли повідомлення, які передавались між людьми усно, письмово або іншим способом. В середині 20 століття в зв'язку із стрімким розвитком науки і техніки виникла необхідність в науковому підході до інформації, виявлення її характерних властивостей, що привело до двох принципових змін в розумінні інформації. По-перше, поняття було розширене і включило обмін повідомлень не тільки між людьми, а також між людиною і ЕОМ та обміном сигналами в рослинному і тваринному світі. Передачу інформації від клітини до клітини, від організму до організму також стали розглядати як передачу генетичної інформації. По-друге, була запропонована кількісна міра інформації, що і призвело до створення теорії інформації.

Теорія інформації - це математична дисципліна, яка вивчає процеси зберігання, перетворення і передачі інформації. Інформація, отримана в процесі вимірювання називається **вимірюваною інформацією**. Вимірювана інформація є кількісною інформацією і служить для оцінки кількісних даних про досліджувані об'єкти або явища, незалежно від їх природи, отриманих дослідниками за допомогою засобів вимірювальної техніки. Кількісна інформація може розглядатися тільки в такому ланцюгу: досліджуваний об'єкт – засіб вимірювання – дослідник (оператор). Для характеристики кількісної інформації використовують логарифмічну міру (міру Хартлі):

$$I = \log_a N, \quad (2.1)$$

де I – кількість інформації, отриманої в результаті одного відліку; N – кількість можливих різних результатів вимірювання конкретним засобом вимірювання; a - число, яке визначає одиницю кількості інформації (при $a = 2$ одиницю кількості інформації називають біт). 1 біт інформації є в одному розряді двійкового числа. Дійсно, один розряд може приймати одне із двох значень: 0 або 1, тобто $N=2$. Тоді $I = \log_2 2 = 1$ біт. Формула Хартлі справедлива тільки тоді, коли кожне із N повідомлень відображається з однаковою ймовірністю. Справа в тому, що інформацію несе тільки повідомлення невідоме приймачу цього повідомлення. Кількість інформації в раніше відомому повідомленні рівна нулю. В загальному випадку кількість інформації, яка є в одному повідомленні, залежить від ймовірності надходження цього повідомлення:

$$I = \log_2 (1/p_i) \text{ [біт]}, \quad (2.2)$$

де p_i – ймовірність відображення i -го повідомлення.

Із формули (2.2) видно, що чим менша ймовірність отримання повідомлень, тим більше інформації воно несе. Якщо закон розподілу значень вимірюваного параметра не є рівно ймовірними, отримані в процесі вимірювань результати будуть нести різну кількість інформації.

2.2 Ентропія

2.3 Ентропія джерела дискретних повідомлень

Для інформаційної оцінки системи або комплексів в теорії інформації введено поняття ентропії. Ентропія – це середнє значення інформації на одне повідомлення.

Для отримання формули ентропії розглянемо джерело інформації, яке видає N незалежних дискретних повідомлень з ймовірністю $p_1, p_2, p_i, \dots, p_n$. Будемо розглядати послідовність із m повідомлень ($m \gg N$). Відповідно з теорією ймовірності кожне i -те повідомлення з'явиться в послідовності $m p_i$ разів. Враховуючи, що кожне i -те повідомлення несе інформацію $I_i = \log_2 1/p_i = -\log_2 p_i$, всі отримані повідомлення складуть інформацію $I_m = -m p_i \log_2 p_i$. Середнє значення

інформації на одне повідомлення, тобто **ентропія** джерела, буде рівна :

$$H = Lm / m = - p_i \log_2 p_i [\text{бит}] . \quad (2.3)$$

Ця формула отримала назву формули Шеннона. При рівних значеннях $p_1 = p_2 = \dots = p_n$ ця формула перетворюється в формулу Хартлі:

$$H = \log_2 N \quad (2.4)$$

2.4 Ентропія джерела безперервних повідомлень

Контрольована в процесі вимірювання фізична величина ϵ , як правило, неперервним випадковим процесом, який характеризується знаком розподілу ймовірності $F(X)$ або густиною ймовірності $\varphi(X)$. Для оцінки ентропії системи необхідно врахувати роздільну здатність приладу Δx . В такому випадку можна розглядати систему як дискретну з розбивкою діапазону вимірювання $X_{max} - X_{min}$ на дискретні відрізки, рівні Δx . Позначимо межі i -го відрізка (рисунок 2.1) через α_i і β_i . Ймовірність попадання значень контрольованого параметру в цей інтервал можна визначити:

$$p(\alpha_i < x < \beta_i) = \int_{\alpha_i}^{\beta_i} \varphi(x) dx \quad (2.5)$$

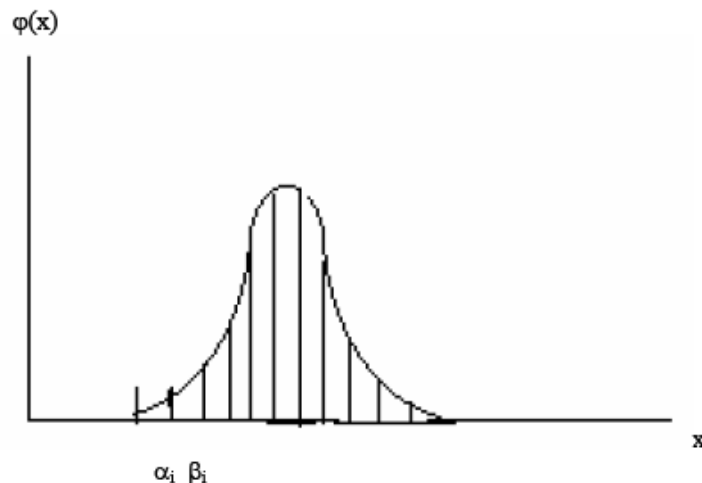


Рисунок 2.1 - Густина ймовірності інформації

Визначивши ймовірність попадання значень вимірюваного параметру на всіх інтервалах, згідно формули Шеннона (2.3), можна отримати оцінку ентропії.

2.5 Властивості ентропії

1. Ентропія джерела інформації максимальна, якщо всі повідомлення надходять від цього джерела рівно ймовірно.
2. Ентропія зменшується, якщо є залежність між виходами.

2.6 Ентропія об'єднання

Ентропія системи $H(X, Y, \dots)$, яка складається із декількох підсистем, які мають ентропії $H(X)$, $H(Y)$..., рівна сумі ентропій, якщо повідомлення підсистем незалежні. Якщо є залежність, то загальна ентропія менша суми ентропій підсистем:

$$H(X, Y, \dots) \leq H(X) + H(Y) + \dots \quad (2.6)$$

2.7 Інформаційна надлишковість

Інформаційна надлишковість проявляється в тому, що інформаційний зміст повідомлень є меншим, від можливостей засобів відображення цих повідомлень. Інформаційна надлишковість може бути обумовлена такими факторами:

1. Надлишкове число елементів дискретних сигналів порівняно з необхідним значенням для відображення даних повідомлень. Наприклад. Для передачі інформації використовують 8-розрядний двійковий код. Кількість різних символів, які використовуються в інформації-53, в тому числі: 33 букви, 10 десяткових цифр, 10 допоміжних знаків (кома, крапка, дужки). Для кодування всіх символів достатньо 6 розрядів коду ($2^6 = 64$). Два розряди є зайвими, вони створюють надлишковість.

2. Неоднакова ймовірність відображення окремих повідомлень. Згідно першої властивості ентропії вона при цьому зменшується. Наприклад. Джерело видає 4 різні повідомлення. Якщо повідомлення рівно ймовірні, ентропія згідно формули Хартлі (2.4) буде рівна 2 біта. При різних вірогідностях повідомлень - 1/2, 1/4, 1/8 ентропія буде рівна 1,375 біт.

Наявність взаємних зв'язків між повідомленнями також, згідно другої властивості ентропії, зменшує ентропію повідомлень.

Інформаційна надлишковість оцінюється виразом:

$$R = (I_{max} - I) / I_{max} = 1 - I / I_{max}, \quad (2.7)$$

де I_{max} - максимально можливе значення ентропії для прийнятих засобів відображення повідомлень; I - дійсне значення ентропії.

Для прикладу по п.1 надлишковість буде рівна:

$$R = 1 - \log_2 53/8 = 1 - 5,728/8 = 0,284.$$

Для прикладу по п.2 надлишковість буде рівна:

$$R = 1 - 1^{3/4} / 2 = 0,125.$$

2.8 Потік інформації

Потік інформації – це середня кількість інформації, яку видає джерело за одиницю часу:

$$\Phi = I / T = H / t_1 [\text{біт} / \text{с}], \quad (2.8)$$

де H – ентропія джерела, t_1 – час, за який джерело видає одне повідомлення.

2.9 Пропускна здатність інформаційного каналу

Інформаційний канал – це будь-яка система, по якій передається інформація (лінія зв'язку, вимірювальний прилад, засоби відображення інформації).

Пропускна здатність – це максимальна швидкість, з якою канал може передавати інформацію:

$$C = (I/T)_{max} = I_{max} / T [\text{біт} / \text{с}]. \quad (2.9)$$

Якщо за час T канал може передати m повідомлень, причому передача кожного повідомлення проходить за час t_1 , то формулу (2.9) можна записати в такому вигляді:

$$C = m H_{max} / (m t_1) = H_{max} / t_1, \quad (2.10)$$

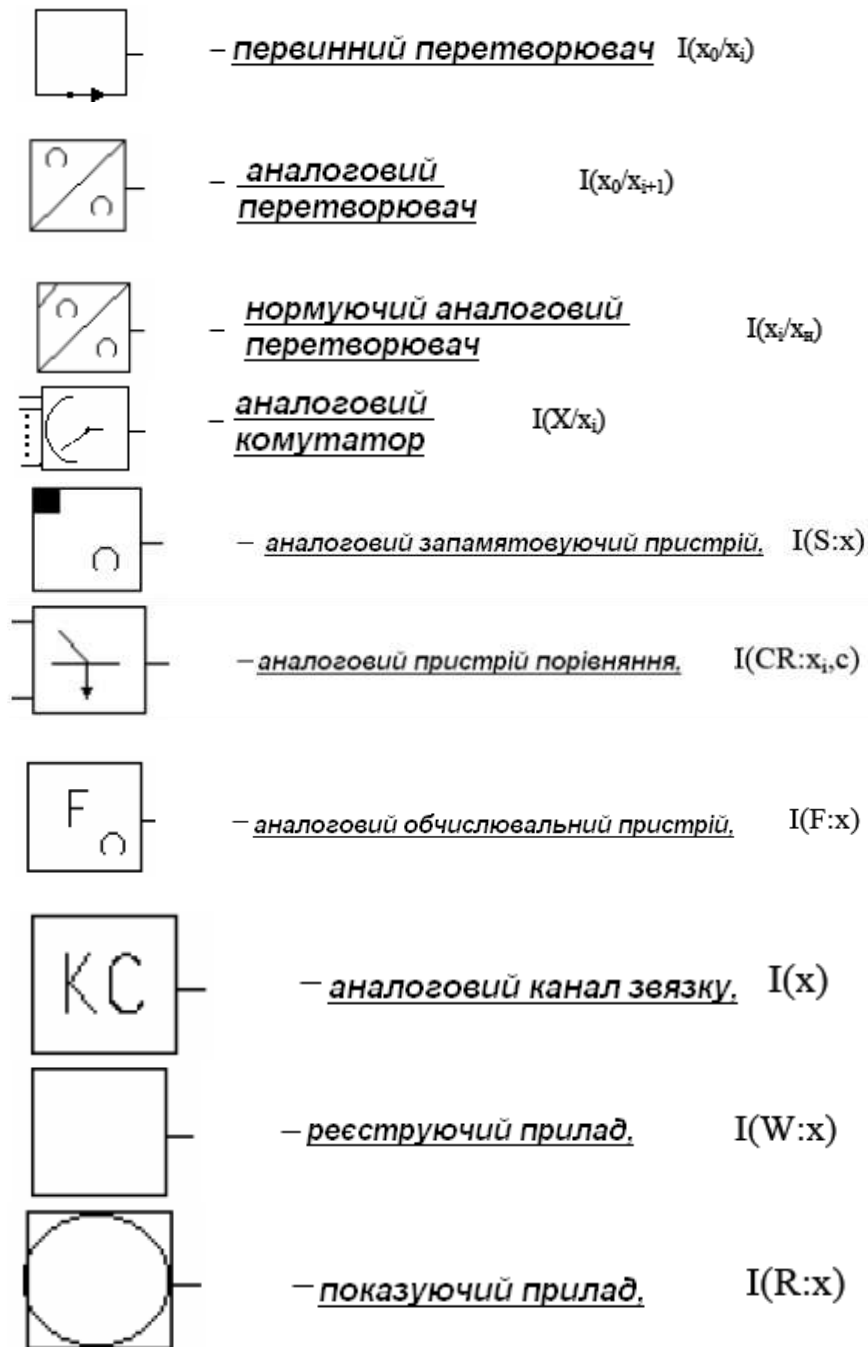
де H_{max} – максимальна ентропія, яку можуть мати засоби відображення інформації (визначається по формулі Хартлі). При передачі повідомлень двійковим кодом можна записати:


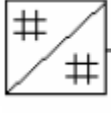

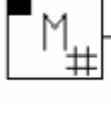
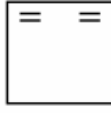
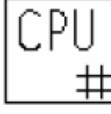

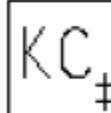
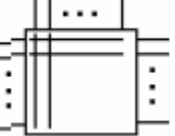
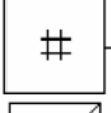
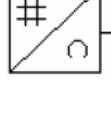

$$C = H_{max}/(n t) = n/(nt) = 1/t \text{ [біт/с]}, \quad (2.11)$$

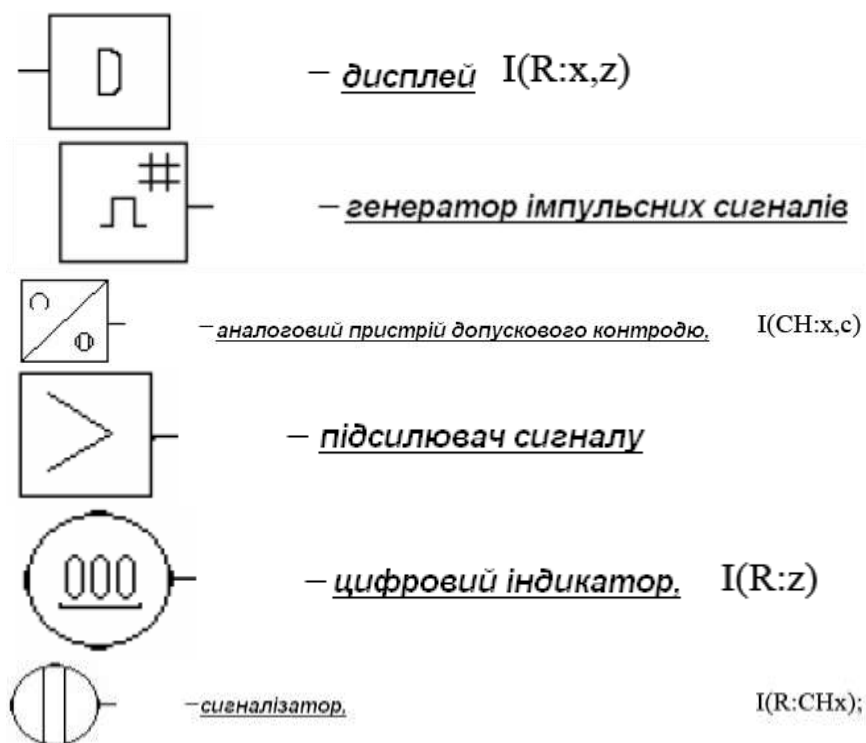
де n – число розрядів кодової комбінації, t – час передачі одно- розрядного коду, H_{max} – ентропія коду (рівна числу розрядів в кодовій комбінації).

2.10 Структура і алгоритми ІВК та ІВС

Для опису ІВК та ІВС, опису складових частин і елементів, їх призначення і взаємозв'язків в системі застосовують структурні схеми. Функціональні блоки мають такі позначення:



	<u>-аналого-цифровий перетворювач.</u>	(АЦП), $I(x/z)$
	<u>-перетворювач кодів.</u>	$I(z_1/z_2)$
	<u>-цифровий комутатор (мультиплексор).</u>	$I(Z:z_i)$
	<u>-цифровий запам'ятовуючий пристрій.</u>	$I(S:z)$
	<u>-цифровий пристрій порівняння.</u>	$I(CR: z_i, Dc)$
	<u>-цифровий обчислювальний пристрій.</u>	$I(F:z)$
	<u>-EOM</u>	$I(CP:z)$
	<u>-цифровий канал зв'язку</u>	$I(z)$
	<u>-пристрій управління</u>	
	<u>-цифровий реєструючий пристрій.</u>	$I(W:z)$
	<u>-цифро-аналоговий перетворювач.</u>	(ЦАП), $I(z/x)$
	<u>-накоплювач на магнітних дисках</u>	$I(S:z)$



інформаційними і службовими сигналами між функціональними блоками системи, а також перетворення цих сигналів. Оператори в алгоритмі розміщуються в рядку зліва на право і відділяються один від одного інтервалами. В складних алгоритмах виділяються групи операторів, зв'язані між собою. Позначення інформаційних перетворень здійснюють буквами латинського алфавіту, а службової інформації – грецького алфавіту. Аналоговий сигнал позначається буквою x , множину таких сигналів – X , цифровий – z , множину цифрових сигналів – Z . Цифровий вираз аналогової величини представляється у вигляді Dx . Функціональні оператори отримання, перетворення, передачі, видачі вимірювальної інформації позначаються $I()$, команди управління – $\Phi()$. У дужках дається конкретний зміст таких операторів. Для цього використовують наступні позначення:

S – зберігання інформації (storage);

R – подача, зчитування інформації (read); W – запис, реєстрація інформації (write); F – обробка інформації (function);

Cr – обчислення (compute); Cr – порівняння (comparison); Ch – контроль (checking).

Позначення операторів з перерахованими діями над X і Z мають вигляд:

$I(S: X)$ – збереження множини аналогових сигналів; $I(S:z)$ – збереження множини цифрових сигналів; $I(R:x)$ – зчитування множини аналогових сигналів; $I(R:z)$ – зчитування множини цифрових сигналів; $I(W:x)$ – запис множини аналогових сигналів; $I(W:z)$ – запис множини цифрових сигналів;

$I(F:x)$ – обробка множини аналогових сигналів;

$I(Cr:z)$ – математична обробка множини цифрових сигналів; $I(CR: x_i, x_j)$ – порівняння аналогових сигналів x_i і x_j між собою;

$I(Cr: z_i, z_j)$ – порівняння цифрових сигналів z_i і z_j між собою; $I(Ch:x)$ – контроль величини сигналу x .

Передача аналогових і цифрових величин позначається як $I(x)$, $I(z)$, $I(X)$, $I(Z)$.

Перетворення сигналів записується з вказанням вхідних і вихідних величин, розділених похилою лінією:

$I(x/z)$ – перетворення аналогової величини в цифрову; $I(z/x)$ – перетворення цифрового сигналу в аналоговий;

$I(F:x/z)$ – програмне перетворення аналогової величини в цифрову;

$I(z_1/z_2)$ – перетворення кодів. Приклад запису алгоритму:

$I_1(X) I_2(X/z) I_3(Z) I_4(Cr:z) I_5(W:z) I_6(S:z)$.

Окрім буквених позначень використовують символи:

|| – паралельне виконання операторів (операція і);

| – виконання одного з операторів (операція або); x – знак перенесення.

Варіанти однієї і тієї ж системи можуть різнитися ступенем деталізації (від об'єднання складних перетворень до сукупності простих операцій). Послідовність операторів, що часто повторюється, може бути позначена одним оператором, який і використовуватиметься надалі замість цієї послідовності.

Приклад: [I4]:=I1, I2, I3

Приклад алгоритму простої одноканальної вимірювальної системи:

X:I(X0) I(X0/z) I(Z) I(R:z) I(W:z)||I(S:z)

Перенесення виконання алгоритму позначається кутовими дужками []. Оператор умови позначається – ω. Алгоритм з передачею управління при виконанні певної умови записується так:

I1() I2() [I3() ω()] I4()

Даний запис відображає, що: виконуються послідовно оператори I1, I2, потім, якщо умова ω не виконується – I3, якщо умова ω виконується – I4.

Приклад: алгоритм роботи системи контролю I(x) [I(Cr:xi, c) I(S:xi)ω(xi > c)] I(W:xi)

Описана наступна послідовність дій: аналогова величина xi порівнюється зі вставкою c, потім значення xi записується в пам'ять, перевіряється умова ω, якщо xi > c, те значення xi виводиться на друк. Інакше xi не друкується.

Командні оператори позначаються – Φ(), де в дужках записується конкретні дії оператора, і величини, що ним використовуються.

Приклад:

Φ(I=I+1) – команда: значення I збільшити на 1.

Завдання для практичних робіт

1. Пристрій стиснення інформації I(X)[I(X/xi)I(xi)|I(yi)I((F:(xi– yi)=Δx) I(CR:Δx,ε)ω(Δxi<ε)]x xI(xi)|I(yi =xi)|I(S:yi)]

2. Аналоговий канал контролю з двома вставками (CB і CH): [I(Ch:x |C):={I(Xi|ch) I(Cr:xi,ch) I(Xi<>ch)} |

x [I(Xi|Cb) I(CR: Xi,Cb) x xI(Xi<>Cb)]}I(F: Xi<>Cb, Xi<>Ch) x

x [ω (CH≤Xi≤CB)I(R:Xi*N)] |x x [ω (Xi<Ch)?Xi>Cb)I(R:Xi*N)]

3. Аналоговий канал контролю: [I(Ch:X,C):=I(XI)[Φ(j:=j+1)I(C/cj) I(Cr:Xi,Cj) I(S:x<>cj)x x ω (j=m)] I(F:Xi<>C1,C2.Cm) I(R:Xi?(N|N)]

Цифровий канал контролю [I(CH:DX|DC):=I(Xi)I(Xi/zi){I(Zi|DC1) I(CR:Zi,DC1)x xI(Z1<>DC1)}|. |<Ij>|. |}I(F:Zi<>DC1.DCj) x xI(Z1,<>DCm)ω (DCj≤Zi<DCj+1)I(R:xi*Nj)

4. МЦК паралельно-послідовного контролю:

I(X0/Xi) I[(CHΔC1, ΔC2)/(Chi?C1i, ΔC2i)]x

xI[(Xi– Chi)=ΔXHi]I(до(ΔXhi) I(ChHk(ΔXih)ΔC1i,ΔC2i)x x ω (XhiDN)I(S:di)|x

xΦ(Xhi/zi) I(R:DChi) I(Xhi) I(Xhi) I(Xhi/Zi) I(W:Zi,N,T)

Запитання для самоконтролю засвоєння знань

1. Що називають вимірюваною інформацією?
2. Як визначають кількість інформації, отриманої в результаті одного відліку?
3. Від чого залежить кількість інформації, яка є в одному повідомленні?
4. Як визначають ентропію джерела неперервних повідомлень?
5. В чому проявляється інформаційна надлишковість ? 6 Як можна визначити потік інформації?
6. Від яких параметрів залежить пропускна здатність інформаційного каналу?
7. Які елементи застосовують для зображення структури і алгоритмів ІВК та ІВС?

3 СТРУКТУРА ІВК

3.1 Основні види структур ІВК

Елементи системи можуть взаємодіяти між собою механічно, електрично або інформаційно. Інформація про одну структуру може бути виражена в різній формі: у вигляді графічних зображень з використанням умовних позначень, сукупності числових даних, таблиць і т.д. Залежно від того, які дії з інформацією про структуру передбачається виконувати, вибирається той або інший вид формалізації.

Опис структури різними видами формалізованого запису є ефективним інструментом аналізу і синтезу тоді, коли встановлені правила переходу від одного вигляду запису до іншого. При дотриманні цієї умови види опису однієї структури стають додатковими одні для одних, і всі разом дають повний опис структури.

При розгляді ІВК можна виділити конструктивні, енергетичні і інформаційні структури. Структура конструкції системи містить інформацію про механічну взаємодію елементів системи (компонентів плат, модулів, блоків, і ін.). Ця структура відображена в комплекті робочих креслень системи і відповідній документації.

Структура енергетичних зв'язків містить інформацію про джерела і споживачів електричної енергії. Ця структура відображена в схемі з'єднання елементів системи, але іноді виділяється як окремий опис, пояснюючи специфіку джерел, приймачів енергії і лінії передачі, що їх зв'язують.

Структура інформаційних зв'язків містить відомості про те, яким чином відбувається обмін інформацією. Вона є найбільш важливою і первинною стосовно інших структур.

Для системного обміну інформацією першою умовою є організація таких зв'язків в системі, які забезпечували б (при заданих тимчасових характеристиках і надійності) проходження всіх інформаційних потоків в системі.

Рішення цього завдання забезпечується:

- 1) вибором ефективних протоколів обміну інформацією між елементами системи;
- 2) визначенням оптимальної структури інформаційних зв'язків;
- 3) вибором алгоритмів і засобів обробки інформації, що дозволяють зменшити інтенсивність інформаційних потоків за рахунок проміжного стиснення інформації, і т.д.

Іншою умовою є забезпечення якості інформації на всіх стадіях отримання, обміну, обробки і відображення. Виконання цієї умови також пов'язано як із вибором способів обміну, які забезпечують необхідний рівень дискретизації за часом і значенням, так і з алгоритмами і засобами отримання та обробки інформації.

Для ІВК можна виділити наступні загальні характеристики:

- 1) кількість споживачів інформації від одного джерела;
- 2) просторове розташування джерел і приймачів;
- 3) потужність потоків інформації, які поступають і які йдуть з системи або пристрою;
- 3) залежність потужності інформаційних потоків від часу і т.д.

Ці характеристики визначають кількісну сторону обміну інформацією.

Опис властивостей системи, яка містить зведення про потоки інформації і взаємодія цих потоків, і яка відображається, є структурою інформаційної взаємодії. Найбільш поширеним способом відображення структури інформаційної взаємодії є структура інформаційних зв'язків (СІЗ) між апаратними засобами ІВК. Така структура зображає кожен пристрій, що входить до складу ІВК і бере участь в обміні інформацією, у вигляді прямокутника, усередині якого є назва або умовне позначення цього пристрою.

Подвійними лініями зі стрілками показані інформаційні зв'язки, по яких йде обмін дискретними сигналами, а одинарними – зв'язки, по яких відбувається обмін аналоговими сигналами. Ознакою цих структур є їх наочність, яка дозволяє ототожнити кожен матеріальний об'єкт, який входить в ІВК, з його функціональним призначенням в інформаційному обміні. Далі під терміном «структура» розглядатиметься СІЗ, а під терміном «конфігурація» – типовий фрагмент СІЗ.

Багато ІВК мають в своєму складі один або декілька серійних управляючих обчислювальних комплексів (УВК). Найбільш поширена структура такого ІВК показана на рисунку 3.1.

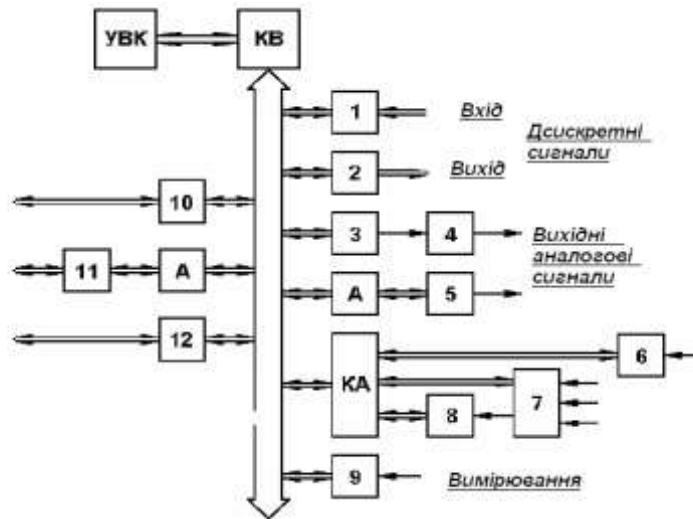


Рисунок 3.1 - Структура ІВК магістрального типу

Вона включає УВК і певну кількість пристроїв, об'єднаних магістральним способом обміну. Ця магістраль пов'язана з магістраллю УВК через пристрій, який називається контролером (КВ). Конфігурація, що складається з КВ, магістралі і підключених до неї пристроїв, називається гілкою ІВК.

У тому випадку, коли пристрій не може безпосередньо бути підключений до магістралі, він під'єднується до нею через з'єднувальний пристрій, який називається адаптером (А). Бувають колективні адаптери (НО), які обслуговують декілька пристроїв. Неперервні і дискретні сигнали можуть надходити безпосередньо до пристроїв (пов'язаних з магістраллю) або через пристрої, які не мають зовнішнього управління, і які працюють в автономному режимі.

До магістральної гілки також можуть бути підключені пристрої, які виконують функції обміну інформацією з персоналом, і допоміжні пристрої.

Як приклад на рисунку 3.1 до магістральної гілки підключені пристрої вводу 1, виводу 2, видачі 3 і 5 (при чому пристрій 3 видає на об'єкт сигнали через автономний пристрій 4).

Засоби вимірювання 6-8 підключені до магістралі через НО, а вимірювальний пристрій 9 підключено безпосередньо до магістралі. До магістралі підключені також оперативно-диспетчерське обладнання 10, 11 і сервісний пристрій 12. В деяких випадках як магістральний інтерфейс використовується інтерфейс УВК, тоді функції КВ зводяться до узгодження електричних сигналів на ділянках магістралі, що знаходяться всередині і зовні УВК. Такі КВ називають розширювачами магістралі.

Структура, наведена на рисунку 3.1, дозволяє створювати тільки зосереджені (в межах декількох метрів) або локалізовані (у межах до 20 м) ІВК. У тих випадках, коли необхідно розділити засоби, що входять в ІВК, на окремі комплекси технічних засобів (КТС), застосовується розгалужена структура (див. рисунок 3.2). При цьому декілька гілок В1-вп, що мають внутрішню структуру, подібну до тієї, що на рисунку 3.1, підключаються через свої контролери Кв1-Квп до магістралі УВК. У загальному випадку інтерфейси гілок В1-вп можуть бути різними.

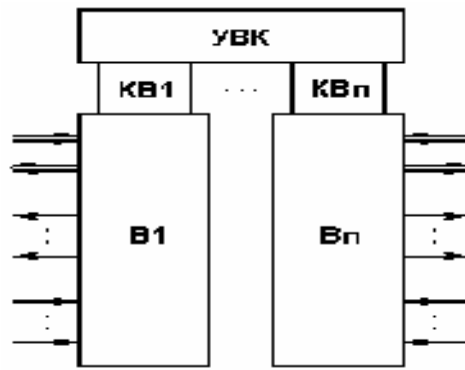


Рисунок 3.2 - Структура розгалуженого ІВК

Для створення розосереджених ІВК застосовуються дворівневі структури радіального типу (див. рисунок 3.3).

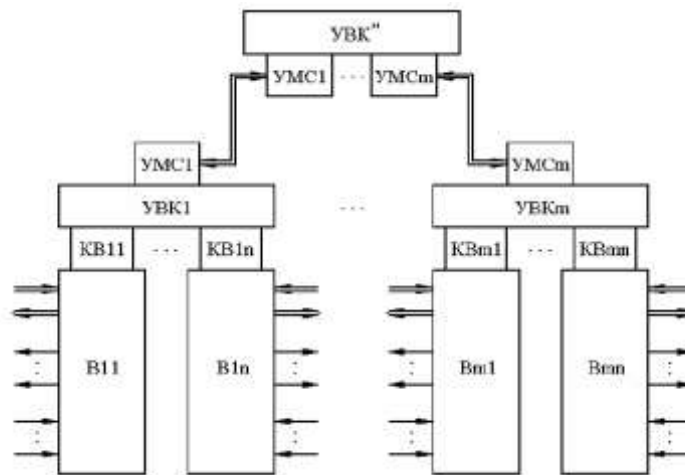


Рисунок 3.3 - Структура дворівневого ІВК радіального типу

У цих структурах Увк1-Увкм, що мають свої гілки, підключені до УВК другого рівня через пристрої міжмашинного зв'язку (УМС). Для обміну між частинами УМС, розташованими в УВК'' і Увк1-увкм використовують радіальні послідовні інтерфейси, які дозволяють обмін інформацією на відстані до 1-3 км. Розглянуті структури не можуть забезпечити вирішення всіх завдань.

У однорівневих ІВК виникають такі проблеми:

- 1) необхідність отримання і обробки великих потоків інформації, які перевищують можливості магістралі і засобів обробки інформації;
- 2) необхідність зниження рівня перешкод, які створюються колективною роботою пристроїв;
- 3) необхідність дистанційного від'єднання деяких пристроїв;
- 4) невідповідність (надлишковість) застосування серійного УВК в кожному ІВК;
- 5) незручність під'єднання до загальної магістралі пристроїв, які приймають участь в управлінні і обмін з якими обмежується передачею простих дій.

Вирішення вказаних проблем можливе різними методами, частина з яких відноситься до підвищення ступеня автономності і функціональних можливостей пристроїв, які входять до складу гілки.

Структура однорівневого ІВК, у складі якого відсутній серійний УВК, приведена на рисунку 3.4.

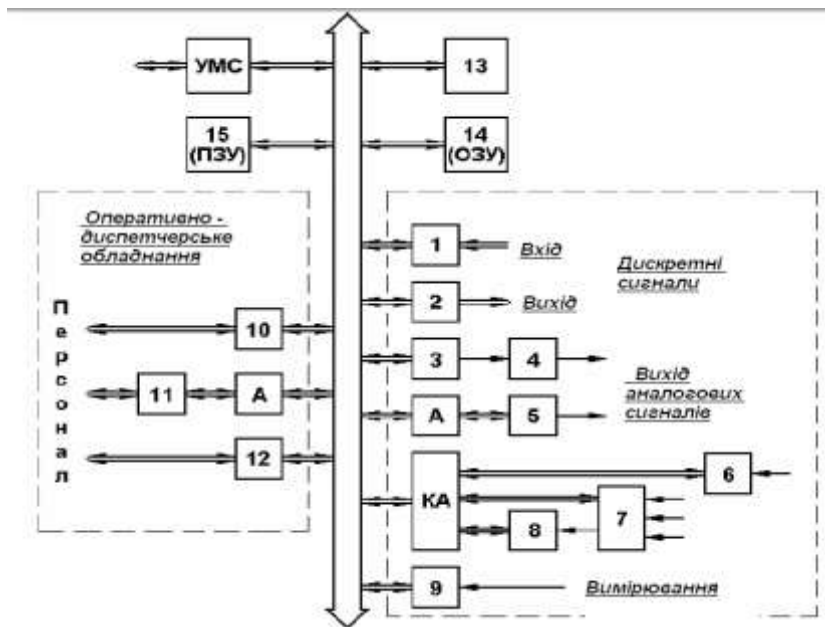


Рисунок 3.4 -Структура однопроцесорного модульного ІВК

У цій структурі всі пристрої підключені до однієї магістралі і виконують не тільки функції отримання інформації, але і функції обробки, управління і зберігання інформації. Обмін з персоналом також здійснюється пристроями, підключеними до магістралі через відповідні адаптери. Для прикладу на рисунку 3.4 до складу ІВК включені процесор 13, запам'ятовуючі пристрої 14, 15. Призначення решти пристроїв таке ж, як на рисунку 3.1. Зв'язок такого ІВК з іншими ІВК або УВК другого рівня здійснюється через УМС. Такі ІВК дозволяють створювати структури з розподіленою обробкою. Подальшим розвитком таких структур є структури, приведені на рисунках 3.5-3.7.

На рисунку 3.5 показано декілька процесорів, які працюють на одній магістралі. Це однорівневий мультипроцесорний ІВК.



Рисунок 3.5 - Структура багатопроцесорного модульного ІВК

На рисунку 3.6 показана структура однопроцесорного ІВК, в якому пристрої підключаються до однієї або декількох магістралей, що створюють систему магістралей.

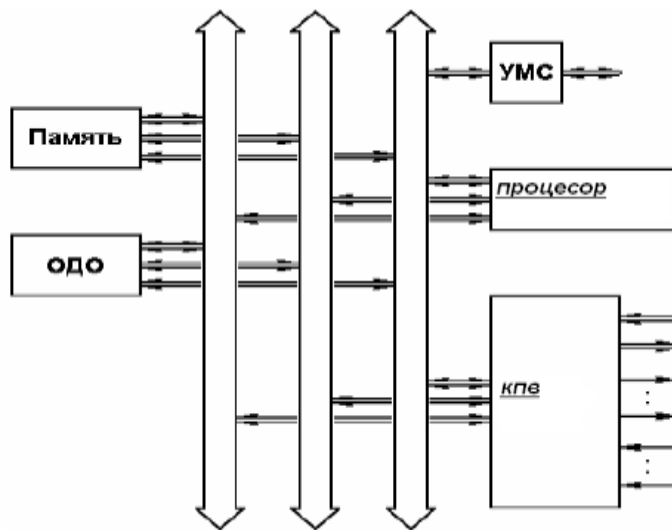


Рисунок 3.6 - Структура ІВК з системою магістралей

Структура багатопроцесорного ІВК з системою магістралей наведена на рисунку 3.7.

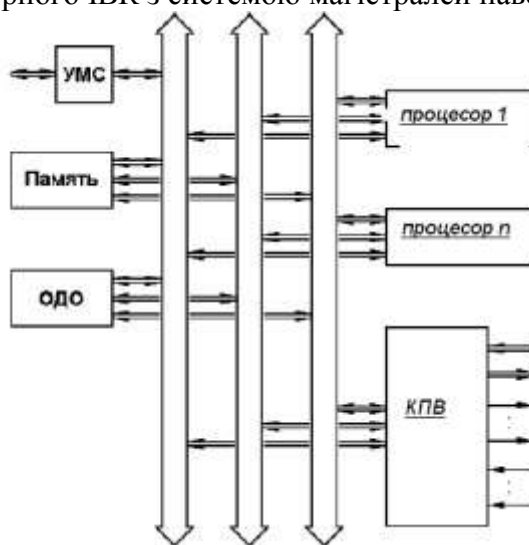


Рисунок 3.7 - Структура багатопроцесорного ІВК з системою магістралей

Застосування цих структур дозволяє вирішити перераховані вище проблеми. Підвищення продуктивності досягається за рахунок структур з паралельними магістралями. Зниження рівня перешкод, можливість віддалення пристроїв на значні відстані і спрощення обміну з малоінформативними пристроями досягається за рахунок структур зображених на рисунках 3.6-3.7. Для підвищення надійності процесу випробувань використовуються структури з резервуванням. Можливі два типи структур, що підвищують надійність: побудовані за принципом дублювання і мажоритарні структури. В дубльованих структурах у кожній складовій частині здійснюється обов'язкова перевірка справності стану. У мажоритарних структурах отримання достовірної інформації базується на результатах, отриманих по кожному незалежному каналу, і виборі результату, який збігається з показами більшості вимірювальних каналів.

3.2 Характеристики ІВК

Характеристики ІВК, в порівнянні з традиційними засобами вимірювання, мають суттєво ширший спектр. Вони повинні відображати не тільки властивості ІВК, безпосередньо пов'язані з отриманням інформації, а також властивості, пов'язані з обміном, обробкою, зберіганням і відображенням інформації. У тих випадках, коли до складу ІВК входить серійний обчислювальний комплекс (УВК), ці властивості можуть бути проаналізовані і визначені на основі характеристик використовуваного УВК і вживаних інтерфейсів. Так характеристики, пов'язані з можливими потоками і обсягами інформації, визначаються на підставі аналізу характеристик інтерфейсів і

засобів вводу-виводу УВК. Характеристики, пов'язані з обробкою інформації, визначаються типом використовуваного процесора і операційної системи. Можливості ІВК як засобу зберігання інформації визначаються використанням в УВК внутрішніх і зовнішніх запам'ятовуючих пристроїв.

Якщо засоби управління, оброблення і зберігання входять до складу модульного ІВК, вибір номенклатури його інформаційних і метрологічних характеристик, а також методів їх визначення, являють собою складне завдання, яке в даний час не має однозначного вирішення.

При цьому можуть нормуватися такі параметри, як час виконання циклу випробувань, метрологічні характеристики отримуваних результатів випробувань, число або канальність об'єктів випробувань, обсяг і форма отриманих документів. Перевірка характеристик таких ІВК може проводитися на еталонних засобах вимірювання.

Для ІВК, область застосування яких не обмежується одним конкретним видом випробувань, найбільш розповсюдженим підходом до нормування характеристик є розділення апаратних і програмних засобів ІВК на тракти. При цьому визначення метрологічних характеристик проводиться розрахунковим методом, а їх перевірка здійснюється шляхом введення в програмне забезпечення ІВК спеціальних програм (метрологічного програмного забезпечення).

Труднощі, що виникають при нормуванні характеристик трактів, зв'язані з визначенням в ІВК початку і кінця тракту. Наприклад, кінцем результату вимірювань можна приймати момент попадання кодованого значення результату на магістраль, в оперативній пристрій, який зберігає засобами відображення або документування. Аналогічні труднощі виникають при видачі сигналу із заданими метрологічними характеристиками.

Конкретний зміст проблем метрологічного забезпечення засобів, які входять в ІВК і ІВС на їх основі, з'ясовується при детальному аналізі процесів, які відбуваються в тракті, і виникаючої при цьому похибки.

Розрізняють чотири основні види перетворення вимірюваної інформації в автоматизованих вимірвальних системах:

- 1) перетворення сигналів в аналоговій формі;
- 2) аналого-цифрове перетворення;
- 3) перетворення вимірюваної інформації в цифровій формі;
- 4) перетворення в каналах видачі аналогової інформації.

Похибки аналогового перетворення сигналів вимірюваної інформації детально вивчалися в предметі - технологічні вимірювання. Похибка аналого-цифрового перетворення обумовлена похибкою аналого-цифрового перетворювача (АЦП), який включає похибку квантування безперервного сигналу по рівню, та похибку відліків, що викликана невідповідністю реального моменту вимірювань запланованому.

Похибка цифрового перетворення пов'язана із заокругленням в ЕОМ даних вимірювання, проміжних обчислень і коефіцієнтів; відхиленням реального оператора цифрового перетворення від ідеального; впливом похибок прямих вимірювань на остаточну похибку результатів непрямих, сумісних і сукупних вимірювань, отриманих за допомогою цифрового перетворення.

Похибка каналу аналогового виведення інформації зумовлена тими ж причинами, що і похибка вимірвального каналу ІВС. Аналіз системи повинен містити метрологічний аналіз кожного етапу перетворення сигналів вимірюваної інформації окремо і аналіз сумісного перетворення на всіх етапах. Результати цього аналізу повинні стати основою для розроблення методів експериментального і розрахункового визначення характеристик засобів різного рівня.

Нормативною базою цих методів повинні бути методики розрахунків і експериментального визначення метрологічних характеристик трактів вимірюваної інформації і системи в цілому, а також перелік нормованих характеристик для засобів, що входять до складу трактів.

Метрологічні характеристики засобів вимірювань нормуються. Найбільш важливі з них:

- 1) межі вимірювань (по входу);
- 2) номінальні значення входів;
- 3) діапазон робочих частот;
- 4) допустимі значення систематичної похибки;
- 5) характеристики випадкової похибки, які визначають, зокрема, межі допустимого значення середньо-квадратичного відхилення випадкової складової похибки;

- 6) характеристики загальної похибки;
- 7) вхідний повний опір;
- 8) вихідний повний опір;
- 9) динамічні характеристики, зокрема, амплітудно- частотні, фазочастотні і т.д.;
- 10) функції впливу, які є залежністю зміни метрологічних характеристик від зміни впливових величин або неінформативних параметрів вхідного сигналу; при цьому неінформативним параметром вхідного сигналу називають параметр, не пов'язаний функціонально з вимірюваною властивістю об'єкту вимірювань; наприклад, залежність показів електронного вольтметра від частоти або форми вимірюваної напруги.

У технічній документації метрологічні характеристики засобів вимірювання відображають у вигляді чисел, формул, таблиць і графіків. У ІВК можуть виникнути інструментальні похибки внаслідок обмеженості розрядної сітки ЕОМ. Операція заокруглення в ЕОМ здійснюється шляхом відсікання розрядів, які не враховуються, або симетричного округлення з врахуванням значення старшого відкиданого розряду.

Похибки відсікання мають негативний знак для будь-яких арифметичних операцій над числами. При великій кількості послідовних арифметичних операцій похибки можуть перевищити допустимий рівень. Оцінка цієї похибки проводиться у випадках, коли розрядна сітка ЕОМ близька до розрядності АЦП. Рекомендується мати в ЕОМ 2-4 додаткові (в порівнянні з розрядністю АЦП) розряди.

3.3 Принципи формування комплексів отримання інформації

Комплекси отримання інформації (КОІ) є найважливішою складовою частиною ІВК. Основними апаратними засобами КОІ є модулі, блоки, прилади і субкомплекси. **Модулі** – це пристрої, конструктивно розташовані на одній або декількох друкованих платах стандартного розміру, які виконують одну або декілька певних функцій вимірювання, перетворення, видачі, комутації безперервних сигналів, а також введення і виведення дискретних сигналів. До складу модуля входять також вузли для виконання функцій системного обміну з магістраллю. Конструктивне виконання модулів передбачає їх розміщення і закріплення в певному типі каркасу (крейту). Електроживлення здійснюється від зовнішніх джерел.

Часткові блоки – це пристрої, призначені для перетворення вхідних або вихідних сигналів КОІ (підсилювачі потужності, напруги або струму, нормуючі перетворювачі).

Прилад - це пристрій, поміщений в опломбований корпус, який має автономне джерело живлення і лицьову панель, на якій розташовані органи управління і індикації, що дозволяють виконувати всі заплановані операції в ручному режимі. Вимірювальна частина приладу може складатися з тих же вузлів, які використовуються в модулях. На сучасному етапі метрологічні характеристики таких приладів вищі в порівнянні із модулями. Це досягається шляхом застосування структурних, алгоритмічних і конструктивних рішень, які з тих або інших причин не можуть бути виконані в модульному виконанні.

Субкомплекси являють собою прилади, які дозволяють отримувати більшу кількість вимірюваних електричних величин, володіють більшою кількістю вимірювальних каналів і пристроїв первинної обробки вимірюваної інформації. Апаратна частина субкомплексу є набором модулів.

3.4 Класифікація засобів обміну неперервними сигналами

Першою ознакою класифікації є призначення пристрою: вимірювання, видача або комутація. Другою ознакою є вигляд вимірюваної, виданої або комматованої електричної величини. Третя група ознак описує метрологічні характеристики засобів, в першу чергу, діапазон зміни, точність і швидкодія, а також деякі додаткові характеристики, пов'язані з конкретними видами засобів (шуми, перешкоди, число каналів, вхідні і вихідні опори і т. д.).

Засоби вимірювань це найбільш розвинена і численна підгрупа засобів отримання інформації

широко представлена в ІВК на всіх рівнях конструктивного виконання: приладному, блоковому, модульному. Найбільш поширеними є засоби вимірювання напруги постійного струму, опору, частоти. Крім того, шляхом перетворення сигналів в уніфікований сигнал постійної напруги або струму вимірюються багато електричних і неелектричних величин. Промисловістю випускається значна кількість цифрових приладів електровимірювання. Ступінь автоматизації вимірювальних функцій, які виконуються різними приладами, або «системність» цих цифрових приладів різна.

Мінімально придатним для застосування в ІВК є цифровий прилад, який здатний по зовні поданому сигналу запуску провести вимірювання вхідної величини і сигналізувати про момент часу, починаючи з якого його вихідні дискретні сигнали можуть сприйматися засобами системного обміну. При цьому решта операцій, пов'язаних з вибором режиму роботи, виду вимірюваної величини і її піддіапазону, виконуються вручну. На першому етапі розвитку ІВК саме такі прилади складали основу вимірювального комплексу. Дискретні сигнали на виході цих приладів є двійково-десятковим кодом мантиси вимірюваної величини, а також сигнали полярності і порядку піддіапазону, закодовані довільним чином. З розвитком елементної бази відбувалася поступова зміна системних функцій приладів з метою оснащення їх виходом на стандартний інтерфейс (для програмного управління всіма операціями по вибору режимів роботи, вигляду і піддіапазону вимірюваної величини).

Найбільше застосування в ІВК знаходять цифрові вольтметри і мультиметри, а також частотоміри-періодоміри. Крім того, випускаються цифрові омметри, фазометри, цифрові мости для вимірювання ємності і індуктивності, які можуть застосовуватися в ІВК. Цифрові вольтметри здійснюють попереднє перетворення вимірюваної величини в уніфікований сигнал – постійну напругу чи струм, який потім перетвориться в цифровий код аналого-цифровими перетворювачами різного типу.

У сучасних ІВК знаходять застосування засоби вимірювань, виконані у вигляді блоків. По своєму призначенню всі вони виконують функції перетворення типу аналог-аналог, тобто на вході і на виході цих пристроїв присутні неперервні електричні сигнали, які розрізняються виглядом, рівнем і спектром. Вони призначені як для автономного використання, так і у складі комплексів і систем. Блоки мають вмонтоване електроживлення, опломбований корпус і нормовані метрологічні характеристики.

Модульні засоби вимірювань призначені для виконання тих же функцій, які в даний час виконуються приладами і блоками. Всі модульні засоби вимірювань можна розділити на дві групи: аналогоцифрові перетворювачі (АЦП) і нормуючі перетворювачі. Застосовуються два типи АЦП:

- 1) ті, що здійснюють перетворення постійної напруги чи струму в код (АЦПН);
- 2) ті, що здійснюють перетворення частоти чи періоду в код (АЦПЧ).

АЦПН можуть вимірювати миттєве значення вхідної величини і середнє значення за інтервал часу. Вони знаходять найбільше розповсюдження при вимірюваннях в умовах завад з частотою живлення мережі.

Інтегруючі АЦПН мають високі метрологічні характеристики, в цифрових вольтметрах постійного струму роздільна здатність досягає 0,0001%. У апаратурі КАМАК використовуються модульні АЦПН із швидкодією від 200 нс до 2 с і розрядністю від 7 до 20.

Частотні аналого-цифрові перетворювачі представляють собою різновидність АЦП. АЦПЧ призначені для отримання з вхідних аналогових сигналів інформації про частоту або період з подальшим перетворенням у паралельний двійковий код. В даний час є елементна база, яка дозволяє на одній або двох платах реалізувати вимірювання частоти і періоду в широкому діапазоні. Можливості програмного управління дають модульним засобам переваги перед частотомірами приладного виконання по продуктивності при вимірюванні частоти на низьких частотах і періоду – на високих. Межі для роботи модуля в режимі вимірювання частоти або періоду обумовлюються необхідною похибкою вимірювання.

Нормуючі перетворювачі в модульному виконанні за своїм призначенням відповідають або блоковим вимірювальним перетворювачам, які підсилюють сигнали низького рівня, або блоковим перетворювачам, які нормують сигнали з давачів неелектричних величин.

- 1) Назвіть основні види структур ІВК.
- 2) Поясніть структуру ІВК магістрального типу.
- 3) Поясніть структуру ІВК розгалуженого типу.
- 4) Поясніть структуру однопроцесорного модульного ІВК.
- 5) Поясніть структуру багатопроцесорного модульного ІВК.
- 6) Поясніть структуру багатопроцесорного ІВК з системою магістралей.
- 7) Які чотири основні види перетворення вимірюваної інформації розрізняють в автоматизованих вимірювальних системах і комплексах?
- 8) За якими ознаками проводять класифікацію засобів обміну неперервними сигналами?

4 МІКРОПРОЦЕСОРНІ КОНТРОЛЕРИ І МІКРОКОНТРОЛЕРИ– ОСНОВНА ЧАСТИНА ІВК

4.1 Класифікація контролерів

Контролер – це центральна частина ІВК, який здійснює передачу, обробку і зберігання інформації. Застосування контролерів у вимірювальній техніці дозволяє реалізувати якісно нову інформаційну технологію, при якій користувач інформації отримує дані вимірювання згідно заданого алгоритму в кінцевому результаті. За допомогою контролера всі вимірювання проводяться в динамічному режимі.

Контролери можна класифікувати за такими ознаками:

- 1) конструктивні – модульні і каркасні;
- 2) за об'ємом пам'яті - малим об'ємом пам'яті до 1 Мб і великим об'ємом пам'яті більше 1 Мб;
- 3) кількістю вхідних і вихідних сигналів – до 30 сигналів – малоканалні, більше 30 сигналів – багатоканальні;
- 4) за точністю перетворення вхідних і вихідних сигналів класифікують: високоточні канали, в яких похибка - до 0,3 %, невисокої точності, в яких похибка - більше 0,3 %.

В модульних контролерах структурний його елемент виконаний у вигляді окремого конструктивно завершеного модуля з конкретними функціональними характеристиками [10]. Каркасні контролери мають ту особливість, що основним елементом їх є каркас, в якому розміщені основні функціональні модулі.

З розвитком мікропроцесорної техніки такі характеристики як об'єм пам'яті та швидкодія стали основними. Це стало можливим завдяки розробці нових мікропроцесорів (32-розрядні та 64-розрядні). Створення контролерів на їх базі дозволяє також розширити кількість вхідних і вихідних сигналів до 750 на один контролер. Створення високоточних аналогово-цифрових перетворювачів також стало можливим завдяки розвитку мікропроцесорів. Похибки перетворення на сьогодні сягають не більше $\pm 0,03\%$.

4.2 Контролери модульні

Таким контролером модульного варіанту є контролери вітчизняного виробництва типу Реміконт R-130 [10] та контролери МК. Кожний елемент контролера виконаний у окремому корпусі, з можливістю кріплення в монтажних шафах або щитах.

Основу модульного контролера складає блок контролера, в якому розміщені аналогово-цифрові та цифро-аналогові перетворювачі; процесор; інтерфейс типу RS-232, RS-485 для з'єднання із комп'ютером, передня панель із засобами відображення інформації та клавіатура. За допомогою клавіатури здійснюють програмування контролера. Для більш зручного програмування в комплекті контролера є пульт. Він представляє собою портативний блок калькуляторного типу і підключається до контролера на період налаштування і програмування. Живлення елементів контролера здійснюють за допомогою блока живлення, який перетворює змінний струм 220 В в нестабілізовану напругу 24 В. Застосовуються ряд підсилювачів, таких як: підсилювач термопар, підсилювач термоопорів, підсилювач потужності. Підсилювач для термопар перетворює сигнали низького рівня в цифровий сигнал 0 – 5 мА. Підсилювач для термоопорів перетворює сигнал зміни опору в уніфікований сигнал 0 – 5 мА. Підсилювач потужності дозволяє сформуванню вихідні дискретні сигнали напругою 220 В при струмі до 2 А. Для комутації аналогових і дискретних сигналів застосовують блоки переключення, а для підключення модулів контролера застосовують клемно-блочні з'єднувачі.

Функціональні можливості модульних контролерів визначають блоки контролерів. Кількість вхідних і вихідних аналогових і дискретних сигналів перевищує 30. В ПЗП зашиті 76÷90 алгоритмів для обробки інформації. В блоці контролера також є до 99 алгоритмічних блоків, що можуть бути заповнені будь-якою конфігурацією алгоритмів. Контролери в кількості до 15 штук можуть бути об'єднані в кільцеву мережу «транзит».

4.3 Контролери каркасні

В порівнянні із модульними каркасні контролери побудовані в єдиному конструктивному елементі, який ми називаємо каркасом або крейтом [1]. В каркасі розміщують основні блоки - процесорний блок, блок управління і блок інтерфейсу, а також змінний набір блоків аналогово-цифрових та цифро-аналогових перетворювачів та ряд підсилювачів. Каркас розміщують в шафах від 1 до 3 контролерів. Блоки живлення розміщують в тій же шафі в залежності від споживаної потужності. Другі елементи є проектно- компонованими і застосовуються при необхідності. Функціональні можливості такі ж, як в модульних контролерах.

4.4 Віртуальна структура контролерів

При випуску із виробництва контролери є проектно- компонованим виробом, тобто їх структура залежить від карти замовлення для конкретного об'єкта автоматизації. Відповідно, більшість виробників виготовляють контролери із спеціалізованою віртуальною структурою. Основу віртуальної структури складають алгоблоки, функції якого визначаються користувачем в процесі технологічного програмування. Користувач поміщає в алгоблоки алгоритми із бібліотеки, зашиитої в пам'ять процесора, з'єднує між собою алгоблоки і встановлює параметри настройки.

Бібліотека алгоритмів має наступні групи: оперативного керування; оперативного регулювання; математичних операцій; динамічних перетворень; логічних операцій; керуючої логіки. В залежності від типу контролера бібліотека алгоритмів може мати їх різну кількість. Так для мікропроцесорних контролерів Реміконт R-130 їх кількість складає 76, а для контролерів програмно-технічного комплексу «Квінт» - 192 алгоритми.

Алгоритми оперативного керування здійснюють зв'язок з оператором, контролюють стан клавіатури на передній панелі контролера, виконують команди, які поступають від цієї клавіатури і видають інформацію на індикатори передньої панелі контролера. По цифрових індикаторах контролюються встановлене завдання, виходи, номер ділянки програми, час до завершення частини програми.

Алгоритми вводу-виводу взаємодіють із давачами і виконавчими механізмами. Алгоритми аналогового вводу- виводу виконують додатково і функцію калібрування, коректуючи нульову і максимальну точку діапазону вимірювання сигналу.

Алгоритми автоматичного регулювання здійснюють аналогове і імпульсне регулювання по ПІД закону. Ці алгоритми доповнені алгоритмами автонастройки, ручного і програмного завдання.

До алгоритмів математичних операцій відносять алгоритми додавання, віднімання, множення, ділення, масштабування, добування кореня та піднесення до степені.

До алгоритмів динамічних перетворень відносять алгоритми інтегрування, диференціювання, фільтрування через запізнення.

В групу алгоритмів аналогово-дискретних перетворень входять різного роду перемикачі, нуль-органи, порогові елементи.

Алгоритми логічних операцій включають в себе алгоритми обчислень функцій булевої алгебри, таймери, лічильники і тригери.

До алгоритмів керівної логіки в першу чергу відносяться алгоритми крокового управління, управління засувками, різного роду реєстри та фіксатори .

4.5 Мікроконтролери

Мікроконтролери – це свого роду мікропроцесори.

4.5.1 Класифікація мікропроцесорів

Мікропроцесор, як функціональний пристрій контролерів, забезпечує ефективне автоматичне виконання операцій оброблення цифрової інформації у відповідності із заданим алгоритмом. Для

вирішення широкого кола задач з різних областей застосування мікропроцесор повинен володіти алгоритмічно повною системою команд (операцій). Теоретично рекомендовано, щоб мінімальна алгоритмічно повна система команд процесора складалась із однієї або декількох універсальних команд. Однак використання процесорів, що володіють системами команд з мінімальним числом операцій веде до неекономного використання інформаційних ємностей пам'яті і значних затрат часу на виконання «довгих» програм. Тому, зазвичай, в мікропроцесори вмонтовуються апаратні засоби, які дозволяють реалізовувати багато десятків і сотень команд. Така розвинута система команд дає можливість забезпечити компактний запис алгоритмів і відповідно ефективні програми.

Визначення наборів команд, які виконуються програмним або апаратним способом, здійснюється при проектуванні мікропроцесорів на основі заданої системи мікрокоманд. Апаратна реалізація складних команд дає можливість збільшити швидкість мікропроцесорів, але вимагає значних апаратних ресурсів кристалу інтегральної схеми мікропроцесорів. Програмна реалізація складних команд дозволяє здійснювати програмування складних задач, змінювати кількість і особливості виконання складних команд. Однак швидкість виконання програмних команд нижча швидкості виконання апаратно-реалізованих команд.

Практично у всіх сучасних мікропроцесорних системах використовуються складні розвинуті системи команд. Їх ядро, яке складається із набору універсальних команд, реалізується апаратним способом в центральному мікропроцесорі. Крім того, спеціалізовані частини наборів системи команд реалізуються допоміжними або периферійними мікропроцесорами. Спеціальні арифметичні або логічні мікропроцесори розширюють можливості обробки даних, дозволяють прискорити виконання визначених команд і цим скоротити час виконання програми.

Для опису мікропроцесорів, як функціональних пристроїв, необхідно охарактеризувати: формат оброблюваних даних і команд, кількість, тип і гнучкість команд, методи адресації даних, число внутрішніх регістрів загального призначення і регістрів результату, можливості організації і адресації місця стоку, параметри віртуальної пам'яті і інформаційну ємність прямоадресованої пам'яті. Велике значення мають засоби побудови системи переривань програм, побудова ефективних систем вводу-виводу даних і розвинутого інтерфейсу.

Мікропроцесори можуть бути реалізовані на різній фізичній основі: на електронній, оптоелектронній, оптичній, біологічній і навіть на пневматичній або гідравлічній.

За призначенням розрізняють універсальні і спеціалізовані мікропроцесори.

Універсальні мікропроцесори – це такі, в системі команд яких закладена алгоритмічна універсальність. Останнє означає, що виконуваний машиною склад (набір) команд дозволяє одержати перетворення інформації у відповідності до будь-якого заданого алгоритму. До універсальних мікропроцесорів відносяться і секційні мікропроцесори тому, що для них система команд може бути оптимізована в кожному окремому проєкті створення секційного мікропроцесора. Ця група мікропроцесорних контролерів найбільш багаточисельна, до неї входять такі комплекти, як KP580, Z80, Intel 80x86 K582, K587, K1804, K1810.

Спеціалізовані мікропроцесори призначені для вирішення визначеного класу задач, а інколи тільки для вирішення однієї конкретної задачі. Їх суттєвими особливостями є простота управління, компактність апаратних засобів, низька вартість і мала потужність споживання.

Універсальні мікропроцесори можуть бути застосовані для вирішення широкого кола різних задач. При цьому їх ефективна продуктивність мало залежить від проблемної специфіки вирішуваних задач. Спеціалізація мікропроцесорів, тобто його проблемна орієнтація на прискорене вирішення визначеної функції, дозволяє різко збільшити ефективну продуктивність при вирішенні тільки визначеної задачі.

Серед спеціалізованих мікропроцесорів можна виділити різні мікроконтролери, які орієнтовані на виконання складних послідовностей логічних операцій; математичні мікропроцесори, призначені для підвищення продуктивності при виконанні арифметичних операцій за рахунок, наприклад, матричних методів їх виконання; мікропроцесори для обробки даних в різних областях застосування і ін. За допомогою спеціалізованих мікроконтролерів можна ефективно вирішувати нові складні задачі паралельної обробки даних. Наприклад, конволюція дозволяє здійснити більш складну математичну обробку сигналів, а ніж широко застосовувані методи кореляції. Останні в основному зводяться до порівняння всього двох серій даних –

вхідних, які передаються формою сигналу, і фіксованих опорних – до визначення їх подібності. Конволюція дає можливість в реальному масштабі часу знаходити відповідність для сигналів, які змінюють форму, шляхом порівняння їх із різними еталонними сигналами, що, наприклад, може дозволити ефективно виділити корисний сигнал на фоні шуму. Існуючі до цих пір *конвольвери* на базі набору ІС мали великі розміри і споживали значні об'єми потужності. Крім того, як правило, і конволюція і кореляція, які є видами цифрової узгодженої фільтрації, потребують обширного програмного забезпечення, особливо при «спрошенні» апаратних засобів конвольвера або корелятора.

Розроблені однокристальні конвольвери використовуються у пристроях розпізнавання образів в тих випадках, коли можливість збору даних перевищує здатність системи обробляти ці дані.

За видом оброблюваних вхідних сигналів розрізняють цифрові і аналогові мікропроцесори. Самі мікропроцесори – цифрові пристрої, однак можуть мати вбудовані аналого-цифрові і цифро-аналогові перетворювачі. Тому вхідні аналогові сигнали передаються в мікропроцесори через перетворювач в цифровій формі, обробляються і після зворотнього перетворення в аналогову форму поступають на вихід. З архітектурної точки зору такі мікропроцесори є аналоговими функціональними перетворювачами сигналів і називаються аналоговими мікропроцесорами. Вони виконують функцію будь-якої аналогової схеми (наприклад, виконують генерацію коливальних, модуляцію, зміщення, фільтрацію, кодування і декодування сигналів в реальному масштабі часу і ін., замінюючи складні схеми, які складаються із операційних підсилювачів, котушок індуктивності, конденсаторів і ін.). При цьому застосування аналогового мікропроцесора значно підвищує точність обробки аналогових сигналів і їх відтворюваність, а також розширює функціональні можливості за рахунок програмної «настройки» цифрової частини мікропроцесора на різні алгоритми обробки сигналів.

Зазвичай у складі однокристальних аналогових мікропроцесорів присутні декілька каналів аналого-цифрового і цифро-аналогового перетворення. В аналоговому мікропроцесорі розрядність оброблюваних даних досягає 24 біт і більше, велике значення приділяється збільшенню швидкості виконання арифметичних операцій.

Відмінна характеристика аналогових мікропроцесорів – здатність переробляти великий об'єм числових даних, тобто до виконання операцій додавання і множення з великою швидкістю, при необхідності навіть за рахунок відмов від операцій переривання і переходів.

Аналоговий сигнал, перетворений в цифрову форму, обробляється в реальному масштабі часу і передається на вихід, зазвичай, в аналоговій формі через цифро-аналоговий перетворювач. При цьому згідно з теоремою Котельникова частота квантування аналогового сигналу повинна вдвоє перевищувати верхню частоту сигналу.

Порівняння цифрових мікропроцесорів здійснюється за часом виконання ними списків (набору) операцій. Порівняння ж аналогових мікропроцесорів здійснюється за кількістю еквівалентних ланок аналого-цифрових фільтрів – рекурсивних фільтрів другого порядку. Продуктивність аналогового мікропроцесора визначається його здатністю швидко виконувати операції множення: чим швидше здійснюється множення, тим більш еквівалентна кількість ланок фільтра в аналоговому перетворювачі і тим більш складний алгоритм перетворення цифрових сигналів можна задавати в мікропроцесорі.

Одним із напрямків подальшого удосконалення аналогових мікропроцесорів є підвищення їх універсальності і гнучкості. Тому разом із підвищенням швидкості обробки великого об'єму цифрових даних будуть розвиватися засоби забезпечення розвинутих обчислювальних процесів обробки цифрової інформації за рахунок реалізації апаратних блоків переривання програм і програмних переходів. За кількістю виконуваних програм розрізняють одно- і багатопрограмні мікропроцесори.

В однопрограмних процесорах виконується тільки одна програма. Перехід до виконання іншої програми здійснюється після завершення поточної програми.

В багато- або мультипрограмних мікропроцесорах одночасно виконується декілька (зазвичай декілька десятків) програм. Організація мультипрограмної роботи мікропроцесорних управляючих систем дозволяє здійснювати контроль за станом та управлінням великою кількістю джерел або приймачів інформації.

За числом ВІС в мікропроцесорному комплекті розрізняють мікропроцесори однокристальні,

багато- кристалльні і багатокристалльні секційні.

Процесори навіть найпростіших контролерів мають складну функціональну структуру, містять велику кількість електронних елементів і множину розгалужених зв'язків. Реалізувати принципову схему звичайного процесора у вигляді однієї або декількох ВІС практично неможливо через специфічні особливості ВІС (обмеженість кількості елементів, складність виконання розгалужених зв'язків, порівняно невелике число виводів корпусу). Тому необхідно змінювати структуру процесора так, щоб повна принципова схема або її частини мали кількість елементів і зв'язків, сумісних з можливостями ВІС. При цьому мікропроцесори набувають (отримують) внутрішню магістральну структуру, тобто в них до єдиної внутрішньої магістралі підключаються всі основні функціональні блоки (арифметично-логічний, блок робочих регістрів, переривань, інтерфейсу, управління і синхронізації і ін.).

Для обґрунтування класифікації мікропроцесорів за числом ВІС необхідно розподілити всі апаратні блоки процесора між основними трьома функціональними частинами: операційною, управляючою і інтерфейсною. Складність операційної і управляючої частин процесора визначається їх розрядністю, системою команд і вимогами до системи переривань; складність інтерфейсної частини – розрядністю і можливостями підключення інших пристроїв контролерів (пам'яті, зовнішніх пристроїв, давачів і виконавчих механізмів та ін.). Інтерфейс процесора складається із декількох десятків шин інформаційних магістралей даних (МД), адресів (МА) і управління (МУ).

Однокристалльні мікропроцесори утворюються при реалізації всіх апаратних засобів процесора у вигляді однієї ВІС або багатьох ВІС. По мірі збільшення ступеня інтеграції елементів в кристалі і числа виводів корпусу параметри однокристалльних мікропроцесорів покращуються. Однак можливість однокристалльних мікропроцесорів обмежена апаратними ресурсами кристалу і корпусу. Тому більш широко розповсюджені багатокристалльні мікропроцесори, а також багатокристалльні секційні мікропроцесори.

Для отримання (створення) багатокристалльного мікропроцесора необхідно провести розбиття його логічної структури на функціонально закінчені частини і реалізувати їх у вигляді ВІС. Функціональне закінчення ВІС багатокристалльного мікропроцесора означає, що його частини виконують заздалегідь визначені функції і можуть працювати автономно, а для побудови розвинутого процесора не вимагається організувати великої кількості нових зв'язків і будь-яких інших електронних ВІС. Типовий приклад – МПК ВІС серії К581).

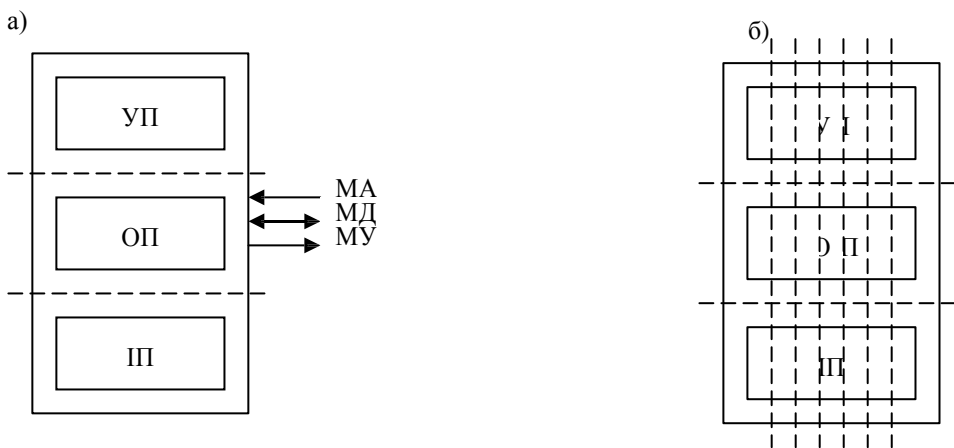


Рисунок 4.1 – Функціональна структура процесора (а) і її розбиття для реалізації процесора у вигляді комплекта секційних ВІС МП (б)

На рис.4.1,а показано функціональне розбиття структури процесора при створенні трьохкристалльного мікропроцесора (пунктирними лініями), які містять ВІС операційного 077, ВІС управляючого УП і ВІС інтерфейсного ІП процесорів.

Операційний процесор ОП служить для обробки даних, управляючий УП виконує функції відбору, декодування і вираховування адресів операндів і також генерує послідовності мікрокоманд. Автономність роботи і висока швидкодія ВІС УП дозволяє вибирати команди із пам'яті з вищою швидкістю, за швидкість їх виконання ВІС ОП. При цьому в УП утворюється

черга ще не виконаних команд, а також заздалегідь підготовлюються ті дані, які будуть потрібні ОП в наступних циклах роботи. Така випереджуюча вибірка команд економить час ОП на очікування операндів, необхідних для виконання команд програм. Інтерфейсний процесор ІП дозволяє підключити пам'ять і периферійні засоби до мікропроцесора; по суті є складним контролером для пристроїв вводу-виводу інформації. ВІС ІП виконує також функції каналу прямого доступу до пам'яті.

Вибрані із пам'яті команди розпізнаються і виконуються кожною частиною мікропроцесора автономно, а тому може бути забезпечений режим одночасної роботи всіх ВІС МП, тобто конвеєрний поточний режим виконання послідовності команд програми (виконання послідовності з невеликим часом зсуву). Такий режим роботи значно підвищує продуктивність мікропроцесора.

Багатокристалні секційні мікропроцесори утворюються шляхом реалізації у вигляді ВІС частин (секцій) логічної структури процесора при функціональному розбитті її вертикальними площинами (рис.4.1, б). Для побудови мікропроцесорів паралельним включенням секцій ВІС МП в них додаються засоби «стикування».

Для створення високопродуктивних багаторозрядних мікропроцесорів необхідно дуже багато апаратних засобів, що не реалізуються в доступних ВІС, тоді може виникнути необхідність ще й у функціональному розбитті структури мікропроцесора горизонтальними площинами. В результаті розглянутого функціонального розділу структури мікропроцесора на функціонально і конструктивно закінчені частини створюються умови реалізації кожної із них у вигляді ВІС. Всі вони створюють комплект секційних ВІС МП.

Таким чином, мікропроцесорна секція – це ВІС, який призначений для обробки декількох розрядів даних або виконання визначених управляючих операцій. Секційність ВІС МП визначає можливість «нарощування» розрядності оброблюваних даних або ускладнення пристроїв управління мікропроцесором при «паралельному» включенні великого числа ВІС.

За 10 років з моменту створення однокристалні мікропроцесори розвивалися від простих спеціалізованих 4-розрядних до 16-розрядних процесорів, які прирівнюються за параметрами до процесорів середніх міні-ЕОМ початку 80-х років. Трьохкристалні мікропроцесори мають розрядність до 32 біт і параметри, які порівнюються з параметрами старших моделей рядів міні-ЕОМ і середніх ЕОМ загального застосування.

Багатокристалні секційні мікропроцесори мають розрядність від 2-4 до 8-16 біт і дозволяють створити різні високопродуктивні процесори ЕОМ. (Прикладом можуть служити вітчизняні ВІС К58ИК02 і К1804ВС1).

Однокристалні і трьохкристалні ВІС МП, як правило, виготовляються на основі мікроелектронних технологій уніполярних напівпровідникових приладів, а багато кристалні секційні ВІС МП – на основі технологій біполярних напівпровідникових приладів.

Використання багатокристалних мікропроцесорних високошвидкісних біполярних ВІС, що мають функціональну закінченість при малій фізичній розрядності оброблюваних даних і монтується в корпус з великим числом виводів, дозволяють організувати розгалуження зв'язків в процесорі, а також здійснити конвеєрні принципи обробки інформації для підвищення його продуктивності.

Порівняння архітектур мікропроцесорів. Мікропроцесорні обчислювальні засоби і їх програмне управління. При проектуванні архітектури мікропроцесорної системи вирішуються задачі розподілу витрат між рівнем вхідних алгоритмічних мов, які включають мови (директиви) завдань користувача, і які визначають особливості зв'язку людини і машини, визначених досягнутою елементною, конструкторською і технологічною базою. Архітектура мікропроцесора дає можливість отримати опис віртуальної (уявної, математичної) мікромашини, що представлена своєю системою команд, способом організації і управління внутрішньої та зовнішньої пам'яті, способами адресації і захисту даних, системою переривання.

Вхідні алгоритмічні мови відображаються у віртуальній машині програмним способом. Тому будь-яке завдання машини, виражене на вхідній алгоритмічній мові, обов'язково проходить етап трансляції із використанням компіляторів або інтеграторів, якщо вхідна алгоритмічна мова і машинна мова віртуальної ЕОМ не співпадають. Підвищення рівня машинної мови, наближення її до алгоритмічної вхідної мови високого рівня знижують витрати на розробку програмного забезпечення. При цьому ускладнюються структури операцій і операндів, які сприймаються

віртуальною машиною, наприклад замість окремих операндів-слів в програмі компактно описуються масиви інформації (матриці, набори слів – строки, що задовільняють заданим умовам, і ін.).

Віртуальна машина відображається на апаратний рівень, головним чином, схемним шляхом, розробкою схемно- або мікропрограмно-управляючих (керованих) автоматів, які керуються заздалегідь закладеними зв'язками між частинами (модулями) апаратних засобів. Ускладнення віртуальної машини призводить до появи у фізичній системі великої кількості складних зв'язків і електронних елементів.

Якщо розроблювані обчислювальні засоби призначені для багаторазового використання потоку один раз відтрасльованих програм, то є необхідність досягнення максимальної швидкодії апаратури. Цього можна досягти за рахунок зниження рівня машинної мови, що збільшує швидкість виконання елементарних операцій і, як наслідок, продуктивність мікро-ЕОМ. Такий підхід успішно реалізується у системах, які побудовані на основі секційних комплектів ВІС мікропроцесора.

При проектуванні систем для одноразового вирішення сукупності різних задач бажано зсувати рівень мови віртуальної мікромашини в сторону алгоритмічних мов. Співставленість вхідної і машинної мов зменшують витрати на програмування. Підвищення рівня машинної мови, яка реалізується, наприклад, в мікропроцесорі 432, забезпечує побудову систем для даного напрямку застосування. Проміжний напрямок, який дозволяє за рахунок забезпечення різних моделей програмного і апаратного забезпечення створювати конфігурації обчислювальних засобів, які задовільняють різним інтересам показників, базується на застосуванні однокристальних, 5-, 8-, 16-розрядних мікропроцесорів і спеціальних ВІС МПК.

Важливим напрямком в розвитку мікропроцесорів є створення і застосування емуляторів на основі замовлених ВІС. Серед них першими були мікро-ЕОМ LSI-11 фірми «DEC» і вітчизняні мікро-ЕОМ «Електроніка-60». Емулятори є попередниками моделей відомих серій (рядів) міні-ЕОМ, для яких створено розвинуте програмне забезпечення.

Архітектури мікропроцесорів. При створенні мікропроцесорів використовуються всі види архітектури, що створені за час їх розвитку: регістрова, стокова, орієнтована на оперативну пам'ять.

Регістрова архітектура мікропроцесора (архітектура типу «регістр-регістр») визначає наявність достатньо великого регістрового файлу всередині ВІС мікропроцесора. Цей файл створює поле пам'яті із довільним записом і вибіркою інформації. Мікропроцесори з регістровою архітектурою мають високу ефективність рішення науково-технічних задач, оскільки висока швидкість роботи СОЗП дозволяє ефективно використовувати швидкісні можливості арифметично-логічного блоку. Однак при переході до рішення задач управління ефективність таких мікропроцесорів падає, бо при підключеннях програм необхідно розвантажувати і завантажувати регістри СОЗП.

Мережева архітектура мікропроцесора дає можливість створювати поле пам'яті з впорядкованою послідовністю запису і відбору інформації. Ця архітектура ефективна для організації роботи з підпрограмами, що є необхідним для рішення складних задач управління, або при роботі із мовами високого рівня. Зберігання адресів повернення дозволяє організувати в стіку ефективну обробку послідовностей вставлених програм. Однак стік при кристалі мікропроцесора з малою інформаційною ємністю швидко переповнюється, а стік великої ємності вимагає значних ресурсів. Реалізація стоку в ОЗП вирішує цю проблему.

Архітектура мікропроцесора, яка орієнтована на оперативну пам'ять (архітектура типу «пам'ять-пам'ять»), забезпечує високу швидкість роботи і велику інформаційну ємність робочих регістрів і стоку при записі їх інформації в ОЗП. Ця архітектура віднесена до типу «пам'ять-пам'ять», оскільки в МП з такою архітектурою всі оброблювані числа після операції в мікропроцесорі знову повертаються в пам'ять, а не зберігаються в робочих регістрах.

При оцінці швидкодії ЕОМ необхідно враховувати фізичну реалізацію як елементів, так і зв'язків між ними. Висока швидкість спрацьовування логічних елементів інтегральних схем не завжди може забезпечити високу швидкість роботи ЕОМ, оскільки великі значення параметрів індуктивно-ємнісних зв'язків на друкованих платах не дозволяють передавати високошвидкісні сигнали без спотворень. Застосування ВІС суттєво зменшило розміри ЕОМ, знизило паразитні

параметри зв'язків. Тому стало можливим фізично відділити регістровий блок регістрів і стік від арифметично-логічного блоку і забезпечити при цьому їх високошвидкісну сумісну роботу. При створенні ЕОМ в одному кристалі регістрові СОЗП і ОЗП мають практично одні й ті ж параметри. Підвищення швидкості роботи ОЗП дозволяє видалити регістровий файл і стік із кристалу мікропроцесора і використати вивільнені ресурси для розвитку системи команд, засобів переривання, багаторозрядної обробки. Організація робочих регістрів і стоку в ОЗП призводить до зменшення швидкості передачі інформації, однак при цьому підвищується загальна ефективність такого рішення за рахунок великої інформаційної ємності полів регістрової і стокової пам'яті, а також розвитку систем команд і переривань.

Архітектура мікропроцесора, орієнтована на оперативну пам'ять, забезпечує економію площі кристалу мікропроцесора. В цьому випадку на кристалі розміщується тільки регістр-вказівник початкового файлу регістрів. Адресація решти регістрів здійснюється вказуванням в команді коду зміщення. Доступ до робочих регістрів в цьому випадку сповільнюється, оскільки доводиться виконувати спряження із витратами часу на кільцеве «мандрування» із процесора у позакристалічну пам'ять, де розміщуються робочі регістри. Однак контекстне перемикання в мікропроцесорі з такою архітектурою проходить швидко оскільки при перериванні необхідно тільки змінити значення вміщеного у регістрі-вказівнику робочої області.

Інша відмінна особливість архітектури мікропроцесора, яка орієнтована на оперативну пам'ять, двоадресний формат команд. В цих мікропроцесорах немає спеціального накопичуючого регістра, який виконує функції віртуальної (уявної) комірки результату для всіх двооперандних команд.

Розглянемо виконання операції додавання двох вміщених комірок пам'яті з номерами /i/ по команді «Додати»//. Оскільки в архітектурі типу «пам'ять-пам'ять» будь-яка комірка пам'яті може містити або початковий операнд, або операнд-результат, ця операція виконується по одній команді.

В той же час в процесорах з одноадресною регістровою архітектурою для досягнення тієї ж мети доводиться виконувати дві команди: команду передачі операнда / у внутрішній регістр, команду / додавання вміщеного регістра до вміщеної комірки пам'яті / і передачі результатів в комірку.

В першому випадку для компілятора високорівневих мов значно спрощується завдання присвоєння значень змінних і завдяки цьому отримуються більш короткі модулі об'єктних програм.

На відміну від мікропроцесорів з архітектурою, орієнтованою на оперативну пам'ять, в мікропроцесорах з регістровою архітектурою робочі області регістрів розміщуються в логічних частинах процесорів. Однак мала щільність логічних схем, в порівнянні з щільністю схем пам'яті, обмежують можливість регістрової архітектури. В свою чергу, мікропроцесори з архітектурою, орієнтованою на пам'ять, забезпечують швидке підключення до робочих областей, коли необхідно замінити контексти. Заміна контекстів здійснюється зміною векторів трьох регістрів – лічильника команд, регістра стану і вказівника робочої області. Перевага цієї архітектури відносно заміни контекстів полягає у виконанні тільки однієї команди для передачі повного вектора контексту.

Мікропроцесори із регістровою архітектурою вимагають великих і досить повільних послідовностей команд або додаткових логічних схем для передачі даних від кожного із регістрів до пам'яті, яка організована поза ВІС мікропроцесора.

Використання можливостей швидкої заміни контекстів і фактично необмеженої робочої області в мікропроцесорах із архітектурою, орієнтованою на оперативну пам'ять, дозволяє контролерам легко знаходити застосування в 16-розрядних системах. Особливо це стосується систем, які працюють в реальному масштабі часу.

При розробці системи обробки даних, орієнтованих на використання в системах управління, важливе значення для визначення характеристик системи, її габаритів і вартості має вибір архітектури процесора. Тому на даний час найбільш розповсюдженими архітектурами програмуючих контролерів, які лежать в основі таких систем, є архітектури, орієнтовані на пам'ять. Ще однією статтею витрат, де видно відмінність між розглянутими архітектурами, є додаткові логічні схеми; необхідні для здійснення таких важливих операцій, як обробка

багаторазових переривань. Об'єм додаткових логічних схем збільшується в міру наростання числа операцій по заміні контекстів. Але ще більше об'єм додаткової логіки зростає для архітектур, орієнтованих на регістри, за рахунок підвищення їх ємності. В результаті суттєво знижується швидкодія процесора.

До переваг архітектури мікропроцесора, орієнтованої на оперативну пам'ять, відноситься можливість розвитку системи, яка дозволить знизити час розробки програмного забезпечення. Під розвитком розуміємо здатність системи впроваджувати у вигляді функціональних модулів програмні, програмно-апаратні і навіть апаратні засоби, які можна використовувати в системі по мірі удосконалення апаратних засобів (обладнання) і накопичення досвіду.

Розподілення системи управління часто вимагає напівавтономних контролерів, які повинні вписуватися у визначені ієрархічні структури. При цьому архітектура мікропроцесора, орієнтована на пам'ять, забезпечує природний і ефективний інтерфейс між контролерами, що розміщені на одному ієрархічному рівні, і процесами управління, розміщеними на більш високому ієрархічному рівні, а структура зв'язків між контролерами може бути забезпечена за рахунок розвинутих інформаційних магістралей.

Запитання для самоконтролю засвоєння знань

1. Підтвердіть або заперечте визначення - контролер – це центральна частина ІВК, яка здійснює передачу, обробку і зберігання інформації.
2. Поясніть конструктивні особливості модульних контролерів.
3. Поясніть конструктивні особливості каркасних контролерів.
4. Підтвердіть або заперечте визначення - мікроконтролери – це свого роду мікропроцесори.
5. Чи правильне твердження - мікропроцесор як функціональний пристрій контролерів забезпечує ефективне автоматичне виконання операцій обробки цифрової інформації відповідності до заданого алгоритму.
6. Поясніть архітектуру мікропроцесорів.

5 АНАЛОГО-ЦИФРОВІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ

Аналого-цифровий перетворювач (АЦП) (англ. *analog-to-digital converter* (скорочено ADC)) — пристрій, який перетворює вхідний аналоговий сигнал в дискретний код (цифровий сигнал). Зворотне перетворення здійснюється за допомогою ЦАП (цифро-аналогового перетворювача). Як правило, АЦП — електронний пристрій, який перетворює напругу в двійковий цифровий код. Проте, деякі неелектронні пристрої, такі як перетворювач кут-код, слід також відносити до АЦП.

5.1 Розрядність

Розрядність АЦП характеризує кількість дискретних значень, які перетворювач може видати на виході. Вимірюється в бітах. Наприклад, АЦП, здатний видати 256 дискретних значень (0...255), має розрядність 8 бітів, оскільки $2^8 = 256$.

Розрядність може бути також визначена в величинах вхідного сигналу і виражена, наприклад, у вольтях. Розрядність за напругою дорівнює напрузі, що відповідає максимальному вихідному коду, який ділиться на кількість вихідних дискретних значень. Наприклад:

Приклад 1. Діапазон вхідних значень = від 0 до 10 Вольт.

Розрядність АЦП 12 біт:

$2^{12} = 4096$ рівні квантування.

Роздільна здатність по напрузі: $(10-0)/4096 = 0.00244$ Вольт = 2.44 мВ.

Приклад 2. Діапазон вхідних значень = від -10 до +10 Вольт.

Розрядність АЦП 14 біт: $2 = 16384$ рівні квантування.

Розрядність АЦП 14 біт:

$2 = 16384$ рівні квантування.

Розрядність по напрузі: $(10-(-10)) / 16384 = 20 / 16384 = 0.00122$ Вольт = 1.22 мВ

На практиці розрядність АЦП обмежена відношенням сигнал / шум вхідного сигналу. При великій інтенсивності шумів на вході АЦП розпізнавання сусідніх рівнів вхідного сигналу стає неможливим, тобто погіршується розрядність. При цьому реальний доступний рівень розрядності описується ефективною розрядністю (effective number of bits — ENOB), яка менше, ніж реальна розрядність АЦП. При перетворенні сильно зашумленого сигналу молодші біти вихідного коду являються неприйнятними, оскільки містять шум. Для досягнення заявленої розрядності відношення С/Ш вхідного сигналу повинне бути приблизно 6 дБ на кожен біт розрядності.

5.2 Типи перетворення

5.2.1 Лінійні АЦП

Більшість АЦП вважаються лінійними, хоча аналого-цифрове перетворення по суті є нелінійним процесом (оскільки операція перетворення безперервного простору в дискретне — операція незворотна і, отже, нелінійна). Термін *лінійний* стосовно АЦП означає, що діапазон вхідних значень, який відображається на вихідне цифрове значення, зв'язаний по лінійному закону з цим вихідним значенням, тобто вихідне значення k досягається при діапазоні вхідних значень від

$$m(k+b)$$

до

$$m(k+1+b)$$

де m і b — деякі константи. Константа b , як правило, має значення 0 або -0.5. Якщо $b = 0.5$, АЦП називають *mid-rise*, якщо ж $b = -0.5$, то АЦП називають *mid-tread*.

5.2.1 Нелінійні АЦП

Якщо b густина ймовірності амплітуди вхідного сигналу мала рівномірний розподіл, то

відношення сигнал/шум (стосовно шуму квантування) було б максимально можливим. З цієї причини зазвичай перед квантуванням по амплітуді сигнал пропускають через безінерційний перетворювач, передавальна функція якого повторює функцію розподілу самого сигналу. Це покращує достовірність передачі сигналу, оскільки найбільш важливі області амплітуди сигналу квантуються з кращою розрядністю. Відповідно, при цифро-аналоговому перетворенні потрібно буде обробити сигнал функцією, зворотній функції розподілу початкового сигналу.

Це той же принцип, що використовується в компандерах, які застосовуються у магнітофонах і різних комунікаційних системах, він направлений на максимізацію ентропії.

Наприклад, голосовий має лапласовий розподіл амплітуди. Це означає, що близько нуля амплітуда несе більше інформації, а ніж області з більшою амплітудою. З цієї причини логарифмічні АЦП часто застосовуються в системах передачі голосу для збільшення динамічного діапазону значень, що передаються без зміни якості передачі сигналу в області малих амплітуд. 8-бітові логарифмічні АЦП з α -законом або μ -законом забезпечують широкий динамічний діапазон малих амплітуд; лінійний АЦП з подібною якістю передачі повинен був би мати розрядність близько 12 біт.

5.3 Точність

Є декілька джерел похибок АЦП. Похибки квантування і (вважаючи, що АЦП повинен бути лінійним) нелінійності властиві будь-якому аналого-цифровому перетворенню. Крім того, існують так звані *апертурні помилки*, які є наслідком джитера (англ. jitter) тактового генератора, вони виявляються при перетворенні сигналу в цілому (а не при одному відліку). Ці похибки вимірюються в одиницях, званих МЗР – молодший значущий розряд. У наведеному вище прикладі 8-бітового АЦП помилка в 1 МЗР складе $1/256$ від повного діапазону сигналу, тобто 0,4 %.

5.3.1 Похибки квантування

Похибки квантування є наслідком обмеженої розрядності АЦП. Цей недолік не може бути усунений при жодному типі аналого-цифрового перетворення. Абсолютна величина помилки квантування при кожному відліку знаходиться в межах від нуля до половини МЗР.

Як правило, амплітуда вхідного сигналу значно більша, ніж МЗР. В цьому випадку помилка квантування не корельована з сигналом і має рівномірний розподіл. Її середньоквадратичне значення співпадає з середньоквадратичним відхиленням розподілу. У разі 8-бітового АЦП це складе 0,113 % від повного діапазону сигналу.

5.3.2 Нелінійність

Усім АЦП властиві помилки, пов'язані з нелінійністю, які є наслідком фізичної недосконалості АЦП. Це призводить до того, що передавальна характеристика (у вказаному вище сенсі) відрізняється від лінійної (точніше від бажаної функції, оскільки вона не обов'язково лінійна). Помилки можуть бути зменшені шляхом калібрування. Важливим параметром, який описує нелінійність, є інтегральна нелінійність (INL) і диференціальна нелінійність (DNL).

5.3.3 Апертурна похибка

Припустимо ми оцифруємо синусоїдальний сигнал $x(t) = A \sin 2\pi f t$. В ідеальному випадку відліки беруться через рівні проміжки часу. Проте, в реальності момент часу взяття відліку схильний до флуктуацій із-за тремтіння фронту синхросигналу (*clock jitter*). Ефект апертурної похибки може бути проігнорований, якщо її значення невелике в порівнянні із похибкою квантування.

З таблиці 5.1 можна зробити висновок про доцільність застосування АЦП певної розрядності з урахуванням обмежень, які накладаються тремтінням сигналу фронту синхронізації (*clock jitter*). Наприклад, не доцільно використовувати прецизійний 24-бітовий АЦП для запису звуку, якщо

немає можливість забезпечити малу невизначеність.

Таблиця 5.1 - Максимальна частота вхідного сигналу АЦП

Максимальна частота вхідного сигналу.				
Розрядність АЦП				
100 МГц	44.1 кГц	192 кГц	1 МГц	10 МГц
8 12.4 пс	28.2 нс	6.48 нс	1.24 нс	124 пс
10 3.11 пс	7.05 нс	1.62 нс	311 пс	31.1 пс
12 7.77 фс	1.76 нс	405 пс	77.7 пс	77.7 пс
14 194 фс	441 пс	101 пс	19.4 пс	19.4 пс
16 48.6 фс	110 пс	25.3 пс	4.86 пс	486 фс
18 12.1 фс	27.5 пс	6.32 пс	1.21 пс	121 фс
24 190 ас	430 фс	98.8 фс	19.0 фс	1.9 фс

5.4 Частота дискретизації

Аналоговий сигнал являється неперервною функцією часу, в АЦП він перетворюється в послідовність цифрових значень. Отже, необхідно визначити частоту відбору цифрових значень з аналогового сигналу. Частота, з якою проводяться цифрові значення, отримала назву *частота дискретизації* (Sampling rate) АЦП.

Неперервно змінний сигнал з обмеженою спектральною смугою піддається оцифровці (тобто значення сигналу вимірюються через інтервал часу T — період дискретизації) і початковий сигнал може бути точно відновлений з дискретних значень шляхом ітерполяції. Точність встановлення обмежена похибкою квантування. Проте, відповідно до теореми Котельникова-Шеннона точне відновлення можливе тільки, якщо частота дискретизації вища, ніж подвоєна максимальна частота в спектрі сигналу. Оскільки реальні АЦП не можуть провести аналого-цифрове перетворення миттєво, вхідне аналогове значення повинне утримуватися постійним принаймі від початку до кінця процесу перетворення (цей інтервал часу називають часом перетворення). Це завдання вирішується шляхом використання спеціальної схеми на вході АЦП — пристроєм відбору-зберігання (ПВЗ, рос. УВХ). ПВЗ, як правило, зберігає вихідну напругу в конденсаторі, сполученому з входом через аналоговий ключ: при замиканні ключа відбувається вибірка вихідного сигналу (конденсатор заряджається до вхідної напруги), при розімкненні — зберігання. Багато АЦП, виконані у вигляді інтегральних мікросхем містять вбудовані ПВЗ. Накладення спектрів (Aliasing)

Всі ЦАП працюють шляхом відбору вихідних значень через фіксовані інтервали часу. Отже, вихідні значення є неповною картиною того, що подається на вхід. Дивлячись на вихідні значення, немає ніякої можливості встановити, як поведився вхідний сигнал між вибірками. Якщо відомо, що вхідний сигнал міняється достатньо повільно щодо частоти дискретизації, то можна припустити, що проміжні значення між вибірками знаходяться десь між значеннями цих вибірок. Якщо ж вихідний сигнал міняється швидко, то ніяких припущень про проміжні значення вхідного сигналу зробити не можна, а отже, неможливо однозначно відновити форму початкового сигналу.

Якщо послідовність цифрових значень, видавана АЦП, де-небудь перетвориться назад в

аналогову форму цифро-аналоговим перетворювачем, бажано, щоб отриманий аналоговий сигнал був максимально точною копією початкового сигналу. Якщо вхідний сигнал міняється швидше, ніж виконуються його відліки, тоді точне відновлення сигналу неможливе, і на виході ЦАП буде присутній невірний сигнал. Помилкові частотні компоненти сигналу (які відсутні у спектрі початкового сигналу) отримали назву *alias* (помилкова частота, побічна низькочастотна складова). Частота помилкових компонент залежить від різниці між частотою сигналу і частотою дискретизації. Наприклад, синусоїдальний сигнал з частотою 2 кГц, дискретизований з частотою 1.5 кГц був би відтворений як синусоїда з частотою 500 Гц. Ця проблема отримала назву накладення частот (*aliasing*).

Для запобігання накладенню спектрів сигнал, що подається на вхід АЦП, повинен бути пропущений через фільтр низьких частот для подавлення спектральних компонент, частота яких перевищує половину частоти дискретизації. Цей фільтр отримав назву *anti-aliasing* (антиаліасинговий фільтр), його застосування надзвичайно важливе при побудові реальних АЦП.

Хоча накладання спектрів в більшості випадків є небажаним ефектом, його можна корисно застосовувати. Наприклад, завдяки цьому ефекту можна обійтися без перетворення частоти вниз при оцифровуванні вузькосмугового високочастотного сигналу (див. змішувач (радіотехніка)).

5.5 Підмішування псевдовипадкового сигналу (*dither*)

Деякі характеристики АЦП можуть бути покращені шляхом використання методики підмішування псевдовипадкового сигналу (назив., дитеринг, англ. *dither*). Вона полягає в додаванні до вхідного аналогового сигналу випадкового шуму (білий шум) невеликої амплітуди. Амплітуда шуму, як правило, вибирається на рівні половини МЗР. Ефект від такого додавання полягає в тому, що стан МЗР випадковим чином переходить між станами 0 і 1 при дуже малому вхідному сигналі (без додавання шуму МЗР довготривало зберігався б на рівні 0 або 1). Для сигналу з шумом, що зростає, замість простого округлення сигналу до найближчого розряду відбувається випадкове округлення вгору або вниз, причому середній час, протягом якого сигнал заокруглений до того або іншого рівня залежить від того, наскільки сигнал близький до цього рівня. Таким чином, оцифрований сигнал містить інформацію про амплітуду сигналу з кращою роздільною здатністю, ніж МЗР, тобто відбувається збільшення ефективної розрядності АЦП. Негативною стороною методики є зростання шуму у вихідному сигналі.

Фактично, помилка квантування розмивається по декількох сусідніх відліках. Такий підхід є бажанішим, ніж просте округлення до найближчого дискретного рівня. В результаті використання методики підмішування псевдовипадкового сигналу ми маємо більш точне відтворення сигналу в часі. Малі зміни сигналу можуть бути відновлені з псевдовипадкових стрибків МЗР шляхом фільтрації. Крім того, якщо шум детермінований (амплітуда шуму, що додається, точно відома у будь-який момент часу), то його можна відняти з оцифрованого сигналу, заздалегідь збільшивши його розрядність, тим самим майже цілком позбутися від доданого шуму. Звукові сигнали дуже малих амплітуд, оцифровані без псевдовипадкового сигналу, дають дуже спотворене і неприємне сприйняття на слух. При підмішуваному псевдовипадковому сигналі дійсний рівень сигналу представлений середнім значенням декількох послідовних відліків.

Дуже схожий процес, так званий *dither* або дифузія помилок, застосовується для представлення півтонів зображень в комп'ютерній графіці при малій кількості бітів на піксель. При цьому зображення стає зашумленим, але візуально сприймається реалістичніше, ніж те саме зображення отримане простим квантуванням.

5.6 Передискретизація

Як правило, сигнали оцифровуються з мінімально необхідною частотою дискретизації з міркувань економії, при цьому шум квантування є білим, тобто його спектральна щільність потужності рівномірно розподілена по всій смузі. Якщо ж оцифрувати сигнал з частотою дискретизації, набагато більшої, ніж за теоремою Котельникова-Шеннона, а потім піддати цифровій фільтрації для придушення спектру поза частотною смугою початкового сигналу, то

відношення сигнал/шум, буде кращим, ніж при використанні всієї смуги. Таким чином можна досягти ефективнішого бітового допуску, ніж розрядність АЦП.

Передискретизація також може бути використана для пом'якшення вимог до крутизни переходу від смуги пропускання до смуги пригнічення антиаліасингового фільтру. Для цього сигнал оцифровують, наприклад, на вдвічі більшій частоті, потім проводять цифрову фільтрацію, пригнічуючи частотні компоненти поза смугою початкового сигналу, і, нарешті, знижують частоту дискретизації шляхом децимації.

5.7 Типи АЦП

Нижче перераховані основні способи побудови електронних АЦП.

5.7.1 АЦП прямого перетворення або паралельний АЦП

Він містить по-одному компаратору на кожен дискретний рівень вхідного сигналу. У будь-який момент часу тільки компаратори, що відповідають рівням нижче за рівень вхідного сигналу, видадуть різницю вихідного сигналу відносно свого рівня. Після деякого часу різниця сигналів стає менше, ніж МЗР, при цьому код лічильника зчитується як вихідний цифровий сигнал АЦП. АЦП цього типу мають дуже великий діапазон вихідного сигналу і високу розрядність, але час перетворення залежить від вхідного сигналу, хоч і обмежений зверху. У гіршому випадку час перетворення рівний $T_{max} = (2^q - 1) / f_c$, де q — розрядність АЦП, f_c — частота лічильника тактового генератора. АЦП диференційного кодування, зазвичай, є достатнім для оцифровки сигналів реального світу, оскільки більшість сигналів у фізичних системах не схильні до стрибкоподібних змін. У деяких АЦП використовується комбінований підхід: диференційне кодування і послідовне наближення; це особливо добре реалізується у випадках, коли відомо, що високочастотні компоненти в сигналі відносно невеликі.

5.7.2 АЦП порівняння з пилоподібним сигналом

Вони містять генератор пилоподібної напруги, компаратор і лічильник часу. Пилоподібний сигнал лінійно наростає до деякого рівня, потім швидко спадає до нуля. У момент початку наростання запускається лічильник часу.

Коли пилоподібний сигнал досягає рівня вхідного сигналу, компаратор спрацьовує і зупиняє лічильник; значення зчитується з лічильника і подається на вихід АЦП. Даний тип АЦП є найбільш простим по структурі і містить мінімальне число елементів. Разом з тим прості АЦП цього типу володіють досить низькою точністю і чутливі до температури та інших зовнішніх чинників. Для збільшення точності генератор пилоподібного сигналу може бути побудований на основі лічильника і допоміжного ЦАП, проте така структура не має таких переваг в порівнянні з АЦП послідовного наближення і АЦП диференційного кодування.

5.7.3 АЦП з урівноваженням заряду

До них відносяться АЦП з двохстадійною інтеграцією, АЦП з багатостадійною інтеграцією і деякі інші. Містять генератор стабільного струму, компаратор, на виході сигнал перевищення. Сигнали зі всіх компараторів поступають на логічну схему, яка видає цифровий код, залежний від того, скільки компараторів показали перевищення. Паралельні АЦП дуже швидкі, але зазвичай мають розрядність не більше 8 біт (256 компараторів), оскільки, мають велику і дорогую схему. АЦП цього типу мають дуже великий розмір кристалу мікросхеми, високу вхідну ємність, і схильні до короткочасних помилок на виході. Часто використовуються для відео або інших високочастотних сигналів.

5.7.4 АЦП послідовного наближення або АЦП з порозрядним врівноваженням

Вони містять компаратор, допоміжний ЦАП і регістр послідовного наближення. АЦП перетворює аналоговий сигнал в цифровий за N кроків, де N — розрядність АЦП. На кожному кроці визначається по одному біту шуканого цифрового значення, починаючи від СЗР і закінчуючи МЗР. Послідовність дій за визначенням чергового біта полягає в наступному. На допоміжному ЦАП виставляється аналогове значення, утворене з бітів, вже визначених на попередніх кроках; біт, який повинен бути визначений на цьому кроці, виставляється в 1, молодші біти встановлені в 0. Отримане на допоміжному ЦАП значення порівнюється з вхідним аналоговим значенням. Якщо значення вхідного сигналу більше значення на допоміжному ЦАП, то шуканий біт отримує значення 1, інакше 0. Таким чином, визначення підсумкового цифрового значення нагадує двійковий пошук. АЦП цього типу володіють одночасно високою швидкістю і хорошою розрядністю.

5.7.5 АЦП диференційного кодування (англ. *delta-encoded ADC*).

Вони містять реверсний лічильник, код з якого поступає на допоміжний ЦАП. Вхідний сигнал і сигнал з допоміжного ЦАП порівнюються на компараторі. Завдяки від'ємному зворотному зв'язку між компаратором та лічильником код на лічильнику постійно міняється так, щоб сигнал з допоміжного ЦАП був якомога меншим, ніж з інтегратора струму, тактового генератора і лічильника. Перетворення відбувається в два етапи (*двостадійне інтегрування*). На першому етапі значення вхідного сигналу перетворюється в струм, який подається на інтегратор струму (заряд інтегратора спочатку рівний нулю); цей процес триває протягом часу T_N , де T — період тактового генератора, N — константа (велике ціле число, визначає час накопичення заряду). Коли накопичення заряду закінчене, вхід інтегратора активується від входу АЦП і підключається до генератора стабільного струму. Полярність генератора така, що він зменшує заряд, накопичений в інтеграторі. Процес розряду триває до тих пір, поки заряд в інтеграторі не зменшиться до нуля. Час розряду вимірюється шляхом підрахунку тактових імпульсів від моменту початку розряду до досягнення нульового заряду на інтеграторі.

Порахована кількість тактових імпульсів і буде вихідним кодом АЦП. Можна знайти кількість імпульсів n , підрахованих за час розряду, таким чином: $n = U_{вх} N / (R I_0)$ де $U_{вх}$ — вхідна напруга АЦП, N — число імпульсів, етапу накопичення (визначено вище), R — опір резистора, що перетворює вхідну напругу в струм, I_0 — струм генератора стабільного струму. Таким чином, потенційно нестабільні параметри системи (перш за все, місткість конденсатора інтегратора) не входять в підсумковий вираз. Це є наслідком *двостадійного* процесу: похибки, введені на першому і другому етапах взаємно віднімаються. Не пред'являються жорсткі вимоги навіть до довготривалої стабільності тактового генератора і напруги зсуву компаратора. Фактично, принцип двостадійної інтеграції дозволяє перетворити співвідношення двох аналогових величин (вхідного і зразкового струму) у відношення числових кодів (n і N в термінах, визначених вище) практично без внесення додаткових помилок. Типова розрядність АЦП цього типу складає від 10 до 18 двійкових розрядів. Додатковою перевагою є можливість побудови перетворювачів, нечутливих до періодичних завад (наприклад, завади від мережевого живлення) завдяки точній інтеграції вхідного сигналу за фіксований часовий інтервал. Недоліком даного типу АЦП є низька швидкість перетворення. АЦП з урівноваженням заряду використовуються у вимірвальних приладах високої точності.

5.7.6 Конвеєрні АЦП

Конвеєрні АЦП працюють на двох або більше кроках- піддіапазонах. На першому кроці проводиться грубе перетворення (з низькою розрядністю). Далі визначається різниця між вхідним сигналом і аналоговим сигналом, відповідним результату грубого перетворення (з допоміжного ЦАП, на який подається грубий код). На другому кроці знайдена різниця піддається перетворенню, і отриманий код об'єднується з грубим кодом для набуття повного вихідного

цифрового значення. АЦП цього типу швидкі, мають високу розрядність і невеликий розмір корпусу.

5.7.7 Сигма-Дельта ЦАП

Знаний Дельта-Сигма АЦП проводить аналого-цифрове перетворення з частотою дискретизації, що у багато разів перевищує потрібну і шляхом фільтрації залишає в сигналі тільки потрібну спектральну смугу.

Неелектронні АЦП зазвичай будуються за тими ж принципами.

5.7.8 Комерційні АЦП

Як правило, випускаються у вигляді мікросхем. Для більшості АЦП розрядність складає від 6 до 24 біт, частота дискретизації до 1 МГц. Мега- і гігагерцові АЦП також доступні. Мегагерцові АЦП потрібні в цифрових відеокамерах, пристроях відеозахоплення і цифрових ТБ тюнерах для оцифровки повного відеосигналу. Комерційні ЦАП, зазвичай, мають вихідну похибку від ± 0.5 до ± 1.5 МЗР. Найбільш дорога частина мікросхем — це виводи, оскільки вони змушують робити корпус мікросхеми більшим, і кожен вивід повинен бути приєднаним до кристала. Для зменшення кількості виводів часто АЦП, що працюють на низьких частотах дискретизації, мають послідовний інтерфейс. Часто АЦП мають декілька аналогових входів, підключених усередині мікросхеми до єдиного АЦП через аналоговий мультиплексор. Різні моделі АЦП можуть включати пристрої відбору-зберігання, інструментальні підсилювачі або високовольтний диференційний вхід і інші подібні ланцюги.

5.8 Застосування АЦП в звукозаписі

АЦП вбудовані у велику частину сучасної звукозаписної апаратури, оскільки обробка звуку робиться, як правило, на комп'ютерах; навіть при використанні аналогового запису АЦП необхідний для переведення сигналу в РСМ-потік, який буде записаний на компакт-диск. Сучасні АЦП, використовувані в звукозаписі, можуть працювати на частотах дискретизації до 192 кГц. Поширена думка, що даний показник надмірний і використовується з чисто маркетингових міркувань (про це свідчить теорема Котельникова-Шеннона). Можна сказати, що звуковий аналоговий сигнал не містить стільки інформації, скільки може бути збережене в цифровому сигналі при такій високій частоті дискретизації, і часто для Hi-Fi аудіотехніки використовується частота дискретизації 44,1 кГц (стандартна для CD) або 48 кГц (типова для представлення звуку в комп'ютерах). Проте, широка смуга спрощує і здешевлює реалізацію антиаліасингових фільтрів.

Аналого-цифрові перетворювачі для звукозапису мають широкий діапазон цін — від 100 доларів до 10000 доларів і вище за двоканальний АЦП.

Аналого-цифрове перетворення використовується скрізь, де потрібно обробляти, зберігати або передавати сигнал в цифровій формі. Швидкі відео АЦП використовуються, наприклад, в ТБ тюнерах. Повільні вбудовані 8-, 10-, 12-, або 16-бітові АЦП часто входять до складу мікроконтролерів. Дуже швидкі АЦП необхідні в цифрових осцилографах.

Запитання для самоконтролю засвоєння знань

1. Поясніть призначення АЦП.
2. Наведіть основні характеристики АЦП
3. Які види перетворень в АЦП вам відомі?
4. Які типи АЦП застосовують в ІВК та ІВС?
5. Які АЦП називають комерційними?
6. Які фактори визначають похибку АЦП?
7. Які заходи застосовують для зменшення похибки в АЦП?

6 КЛАСИФІКАЦІЯ АНАЛОГО-ЦИФРОВИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ТА ЇХ ХАРАКТЕРНІ ОСОБЛИВОСТІ

6.1 Области застосування АЦП

Задача вибору оптимального АЦП достатньо складна, оскільки на ринку електронних компонентів є безліч перетворювачів. Для того, щоб зробити правильний вибір, необхідно досить добре розбиратися в особливостях різних АЦП. Нижче розглядаються особливості АЦП і переваги їх використання залежно від області застосування.

Области застосування сучасних АЦП можуть бути розподілені таким чином:

- системи збору і обробки даних;
- прецизійні вимірювальні прилади;
- аудіосистеми і системи телефонного зв'язку;
- системи високої швидкодії, для яких використовують АЦП з частотою вибірки більше 5 МГц.

У перерахованих системах використовуються перетворювачі порозрядного урівноваження (*successive-approximation - SAR*), сигма-дельта (*sigma-delta- Σ - Δ*) і конвеєрні (*pipelined*) АЦП.

На рис.6.1 показані області застосування кожного з типів АЦП, а також їх граничні параметри по точності і частоті вибірки, причому пунктирною лінією обмежені зверху перетворювачі, які доступні на ринку електронних компонентів, починаючи з середини 2005 р. Не дивлячись на те, що існує перекриття по технічних параметрах різних типів АЦП, вибір того або іншого перетворювача залежить ще і від області його застосування.

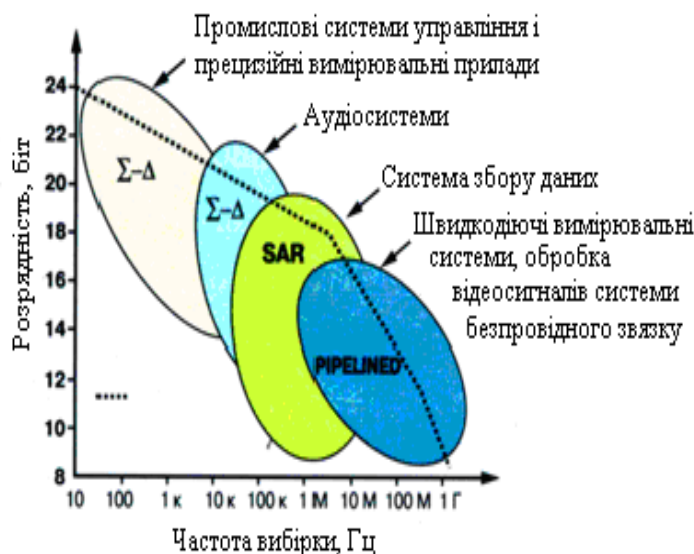


Рисунок 6.1 - Области застосування АЦП різних типів

6.2 Порозрядні АЦП для систем збору і обробки даних

Порозрядні АЦП найчастіше використовуються в багатоканальних системах збору і обробки даних. Розрядність сучасних АЦП порозрядного урівноваження складає від 8 до 18 розрядів з частотою вибірки до декількох мегагерц. Граничними параметрами серед перетворювачів даного класу володіють АЦП AD7621 (точність 16 розрядів і частота вибірки 3 МГц) і AD7641 (точність 18 розрядів і частота вибірки 2 МГц). Більшість порозрядних АЦП мають послідовний інтерфейс типу I²C або SPI, проте деякі з них можуть мати паралельний інтерфейс, що приводить до збільшення числа виводів і розмірів корпусу.

Базова структурна схема порозрядного АЦП наведена на рис.6.2. Для того, щоб вхідний сигнал в процесі порозрядного урівноваження залишався незмінним, в структуру такого АЦП вводять УВХ. По сигналу запуску ЦАП, що є у складі АЦП, встановлюється в середній точці шкали. Компаратор порівнює сигнали з виходів УВХ і ЦАП і, якщо сигнал на виході ЦАП

менше сигналу на виході УВХ, в порозрядному реєстрі в старшому значущому розряді (*most-significant bit - MSB*) збережеться одиниця. Інакше замість одиниці буде записаний нуль. У другому такті ЦАП формує

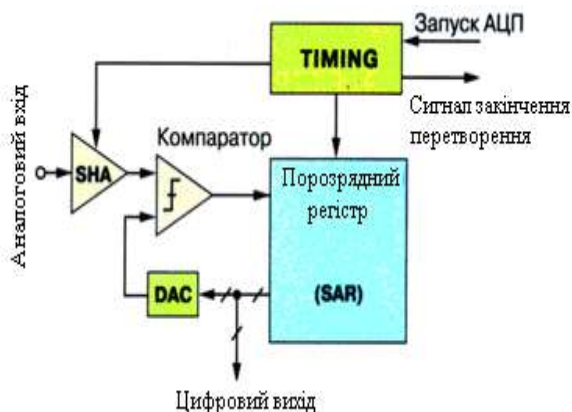


Рисунок 6.2 – Базова структурна схема порозрядного АЦП

сигнал, рівний 1/4 (або 3/4) шкали, в третьому - 1/8 (або 3/8) шкали і т.д. Процес перетворення продовжується до тих пір, поки всі розряди АЦП не будуть визначені. В кінці цього процесу формується сигнал кінця перетворення (ЕОС, 000У, ВУЗУ і т.д.). Типова тимчасова діаграма роботи порозрядного АЦП наведена на рис.6.3. Як впливає з цієї діаграми, порозрядні АЦП не мають затримки, характерної для конвейсних або "pipelined" перетворювачів, що дозволяє використовувати їх в багатоканальному режимі або при кодуванні неперіодичних процесів в режимі одиничних вимірювань. Процес перетворення управляється за допомогою тактового генератора високої частоти, який може бути як внутрішнім, так і зовнішнім, при цьому не потрібна синхронізація даного генератора з сигналами запуску АЦП.

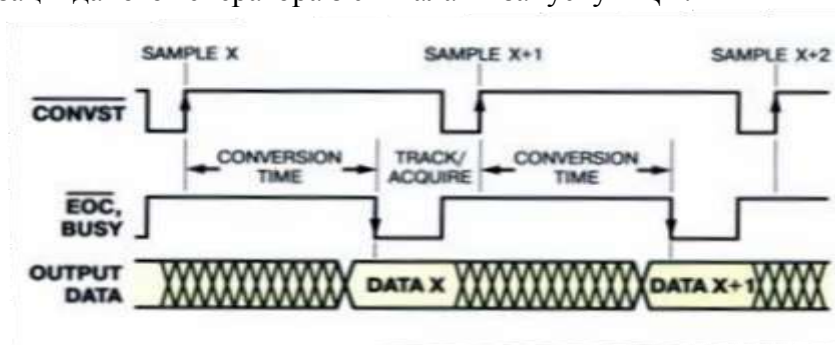


Рисунок 6.3 – Часова діаграма роботи порозрядного АЦП

Лінійність порозрядних АЦП в основному залежить від якості внутрішнього ЦАП. У сучасних порозрядних АЦП використовуються ЦАП на основі комутованих конденсаторів. На відміну від зважених тонкоплівочних резисторів комутовані конденсатори не вимагають лазерної підгонки. ТКЕ таких ЦАП не гірше 1 ppm/°C. Використовуваний при побудові порозрядних АЦП технологічний CMOS-процес є ідеальним для створення аналогових ключів, що дозволяє розміщувати на одному кристалі вузли АЦП і мультиплектора. На рис.6.4 наведена структурна схема порозрядного АЦП сімейства AD79x8. Вузол формування тимчасової діаграми (*se-quencer*) управляє процесом перетворення вхідного сигналу у вибраному каналі. Таким чином, в одному кристалі виконані і мультиплексор, і АЦП. Окрім вибору потрібного каналу в порозрядному АЦП легко здійснюється режим самотестування і калібрування. Дані з виходу АЦП поступають на вхід подальшого пристрою через послідовний інтерфейс, оскільки відсутня затримка у видачі коду, характерна для конвейсних і сигма-дельта АЦП. Порозрядний АЦП може працювати в режимах одноразових і безперервних перетворень, перетворень під управлінням програми, а також в режимі прямого доступу до пам'яті.

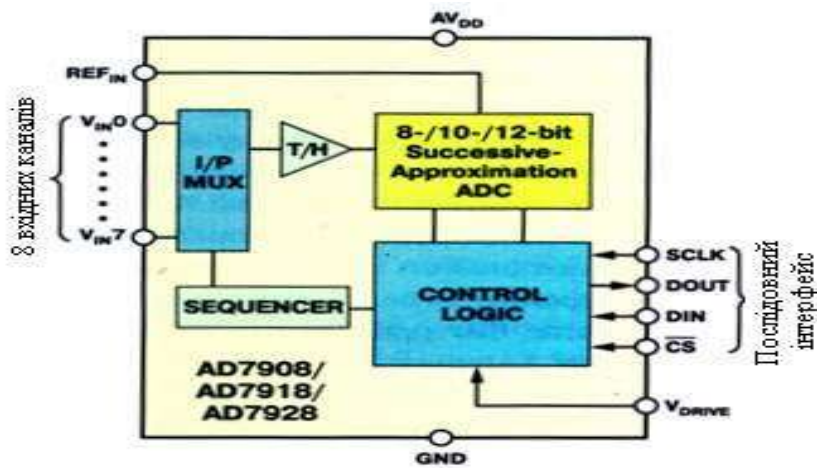


Рисунок 6.4 – Функціональна схема порозрядного АЦП сімейства AD79xx

6.3 Сигма-дельта АЦП для прецизійних промислових систем і вимірювальної апаратури

Перетворювачі цього типу витіснили ті, що широко застосовувалися у вісімдесятих роках минулого сторіччя інтегруючі АЦП подвійної і потрійної інтеграції. Основне призначення сигма-дельта перетворювача - системи з розрядністю від 16 до 24 двійкових розрядів з частотою вибірки від одиниць до сотень герц. Висока розрядність плюс наявність в їх складі PGA-підсилювачів дозволяють безпосередньо (без проміжного перетворення) кодувати сигнали низького рівня з виходів температурних датчиків і датчиків тиску. Оптимальний вибір частоти вибірки дозволяє послабити вплив мережевої завади. Застосування сигма- дельта АЦП дає можливість замінити порозрядний перетворювач з вимірювальним підсилювачем в сучасних ваговимірювальних і інших системах подібного призначення.

До основних особливостей роботи сигма-дельта АЦП відносяться: надвибірковість вхідного сигналу, яка дозволяє зсунути шум квантування в область високих частот; цифрова фільтрація і децимація вихідних даних. На рис.6.5, а показаний розподіл шуму квантування при частоті відбору, що відповідає теоремі Найквіста (Котельникова), згідно якої частота відбору f_s повинна удвічі перевищувати частоту вхідного сигналу. На рис.6.5, б частота f_s в K разів перевищує частоту вхідного сигналу. Шум квантування, що виходить за межу смуги вхідного сигналу, забирається цифровим фільтром, а потім частота цифрових відліків зменшується в K разів (тобто відбувається децимація відліків). Це дозволяє збільшити відношення сигнал/шум, наприклад, на 3 дБ, якщо частота вибірки удвічі перевищує частоту, відповідну частоті Найквіста.

З кожним подальшим подвоєнням цієї частоти відношення сигнал/шум збільшуватиметься ще на 3 дБ. На рис 6.5, в наведена базова структура сигма-дельта АЦП. Заміна звичного АЦП модулятором дозволяє зсунути практично весь шум квантування в область, в якій відсутній корисний сигнал. Функціональна схема сигма-дельта модулятора першого порядку представлена на рис. 6.6. Базовими вузлами модулятора є однорозрядний АЦП, роль якого виконує компаратор, і однорозрядний ЦАП, роль якого виконує ключ. Вихідні дані представлені однобітовим цифровим потоком, причому середнє число біт пропорційне значенню вхідного сигналу. Якщо рівень сигналу збільшиться, то число одиниць в коді числа теж збільшиться, а якщо сигнал зменшиться, то в коді числа пропорційно збільшиться число

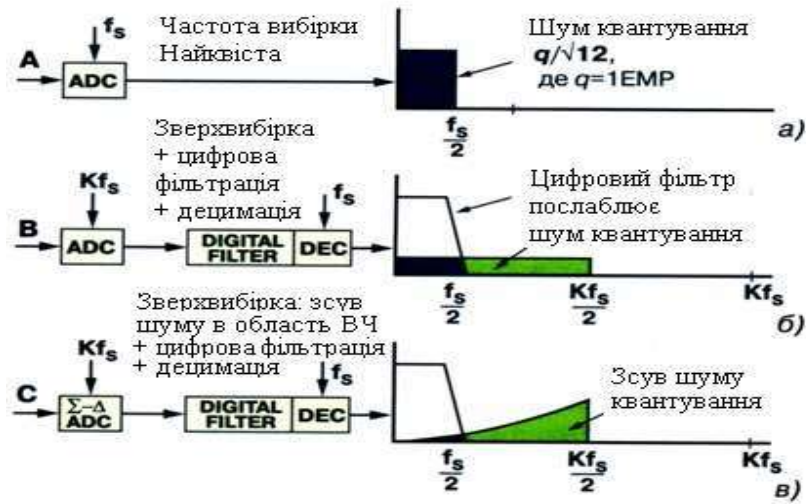


Рисунок 6.5 – Послаблення шуму квантування в сигма-дельта

АЦП: вибірка сигналів з частотою Найквіста в звичайному АЦП (а), звичайний АЦП із надвибірковістю (б), сигма-дельта із надвибірковістю (в)

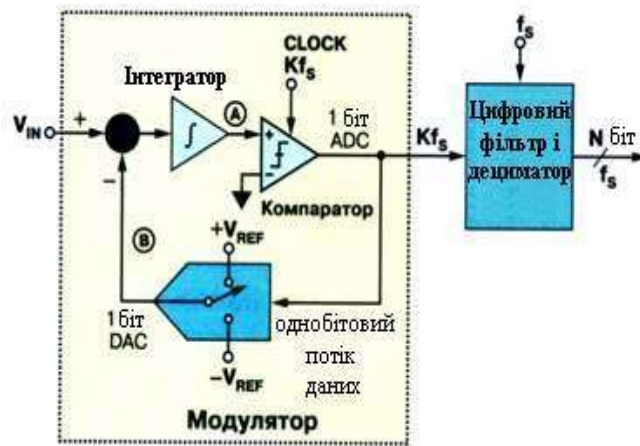


Рисунок 6.6 – Функціональна схема сигма-дельта АЦП з модулятором першого порядку нулів.

Таким чином, число одиниць в цифровому потоці вихідних даних, віднесене до загальної кількості вибірок, завжди буде пропорційне величині вхідного сигналу. Модулятор також виконує подавлення шуму квантування, виконуючи функції ФНЧ для вхідного сигналу і функції ФВЧ для шуму квантування. Цифровий фільтр є частиною сигма-дельта АЦП і оптимізований для послаблення мережевої завади. Проте цей фільтр вносить затримку розповсюдження, характерну для конвеєрних АЦП, яку слід враховувати в багатоканальному режимі або при використанні АЦП в контурі управління.

Не дивлячись на те, що модулятор першого порядку відрізняється простотою і високою лінійністю, в сигма-дельта АЦП широко використовуються модулятори вищих порядків, які дозволяють зсунути велику частину шуму квантування в область високих частот. На рис.6.7 наведені функціональна схема однорозрядного модулятора другого порядку (а) і порівняльні графіки зрушення шуму квантування в область високих частот для модуляторів першого і другого порядків (б). Слід зазначити, що в однорозрядних модуляторах четвертого і вищого порядків виникають труднощі забезпечення їх стійкої роботи. Тому в сигма-дельта АЦП застосовуються багаторозрядні модулятори високого порядку, тобто замість компаратора використовується *n*-розрядний *flash-ADC*, а замість ключа - *n*-розрядний ЦАП.

Тоді як інтегруючі АЦП ще застосовуються в сучасних вольтметрах, в системах промислових вимірювань широко використовуються сигма-дельта АЦП. Ці перетворювачі відрізняються високою завадоподавлюваністю і володіють розрядністю до 24 двійкових розрядів. Наявність РСА- підсилювача забезпечує передачу аналогового сигналу від мостового давача без проміжного перетворення.

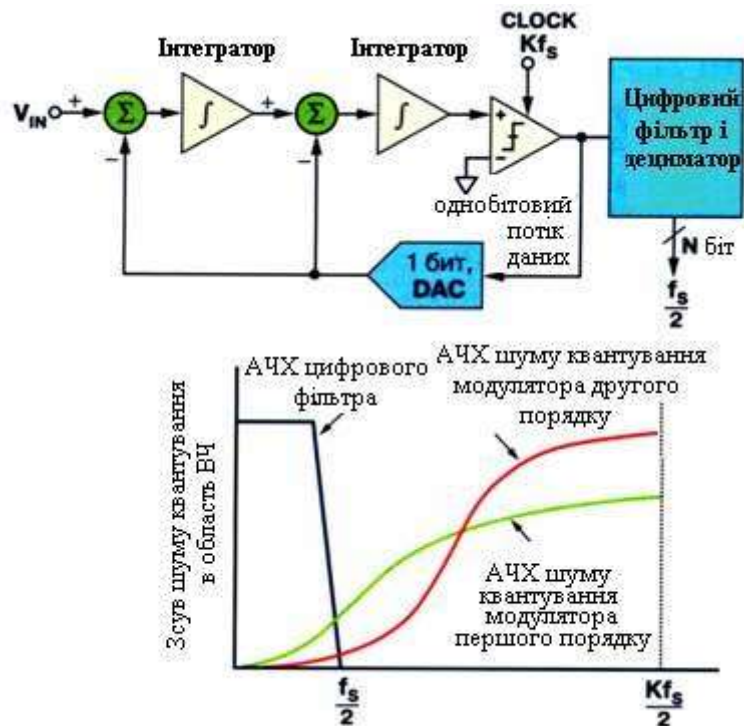


Рисунок 6.7 – Функціональна схема сигма-дельта АЦП з модулятором другого порядку (а) і графік зсуву шуму квантування в область ВЧ (б)

На рис.6.8 наведена спрощена схема тензометра, повна шкала якого складає 10 мВ при навантаженні 2 кГ і сигналі збудження 5 В. Традиційне рішення полягає у використанні вимірювального підсилювача і порозрядного АЦП з дозволом від 14 до 18 біт. Альтернативою такому рішенню є застосування сигма-дельта АЦП AD7799. Перетворення напруги 10 мВ в цифровий код забезпечується з точністю 16 розрядів і частотою відбору 4.7 Гц. Логометричне зняття аналогового сигналу дозволяє виключити прецизійне опорне джерело (рис.6. 9).

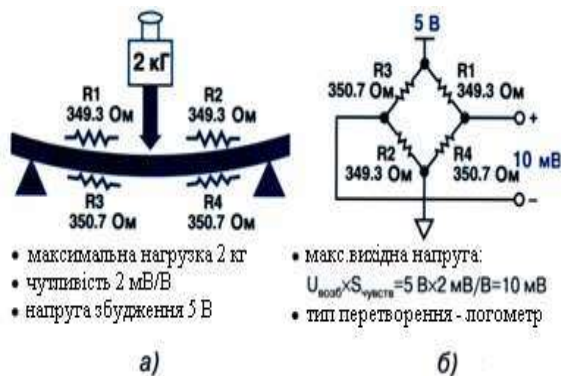


Рисунок 6.8 – Спрощена схема тензометра (а), мостова схема зняття напруги (б)

Для того, щоб одержати необхідну точність при використуванні сигма-дельта АЦП, слід приділити серйозну увагу процесу його налагодження, який набагато складніший за аналогічну процедуру для порозрядного перетворювача. Велике значення при цьому має програмне забезпечення і якість розводки друкованої плати. В той же час слід зазначити, що є безліч систем, в яких з успіхом можуть бути використані прості порозрядні АЦП з вимірювальним підсилювачем і мультиплексором на вході.

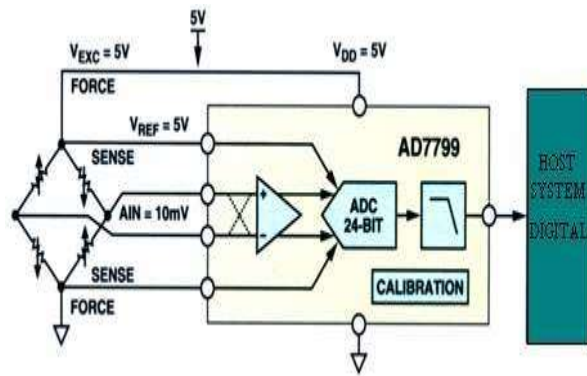


Рисунок 6.9 – Схема сполучення мостового сенсора з сигма-дельта АЦП

6.3.1 Сигма-дельта АЦП для телефонії і аудіосистем

Окрім перелічених областей застосування сигма-дельта АЦП широко використовуються в телефонії і аудіосистемах. Основною перевагою таких АЦП є те, що надвибірковість приводить до істотного спрощення фільтрів, що послаблюють завади, викликані накладенням спектрів.

У сучасних цифрових супутникових системах зв'язку широко використовуються сигма-дельта АЦП і ЦАП. Окрім того вони застосовуються в системах обробки мови, шифруванні інформації і т.п. До перелічених прикладів можна додати FM-стереосистеми, аудіосистеми у складі ПК, цифрові магнітофони і DVD-аудіосистеми. Відношення сигнал/шум плюс спотворення в таких АЦП досягає 100 дБ, а частота вибірки складає 48 або 192 кГц.

6.3.2 Конвейєрні АЦП високої швидкодії з частотою відбору не менше 5 МГц

На сьогоднішній день конвейєрні АЦП застосовуються не тільки для обробки зображень, але і для вирішення багатьох інших задач. Слід зазначити, що ще 20 років тому ці задачі розв'язувалися за допомогою паралельних або *flash-АЦП*, частота відбору яких досягала 100 МГц, розрядність сягала 8. В даний час *flash-АЦП* є складовою частиною конвейєрних перетворювачів і, як правило, не мають самостійного застосування. Виняток становлять АЦП з частотою вибірки більше 1 ГГц і розрядністю 6-8 біт. Сьогодні швидкодійні АЦП знаходять застосування в радіовимірювальних приладах (цифрових осцилографах, аналізаторах спектрів і т.п.) і медичній апаратурі. Крім того, такі АЦП використовуються в цифрових приймачах засобів зв'язку (базових станціях, радарх, адаптерах цифрового телебачення), в побутовій електроніці (цифрових фотоапаратах, DVD-плеєрах, телебаченні високої чіткості і т.п.). Структурна схема 6-розрядного двоступеневого конвейєрного АЦП наведена на рис.6.10. У його складі є загальний УВХ, два трьохрозрядні АЦП, ЦАП, віднімаючий пристрій і підсилювач різницевого

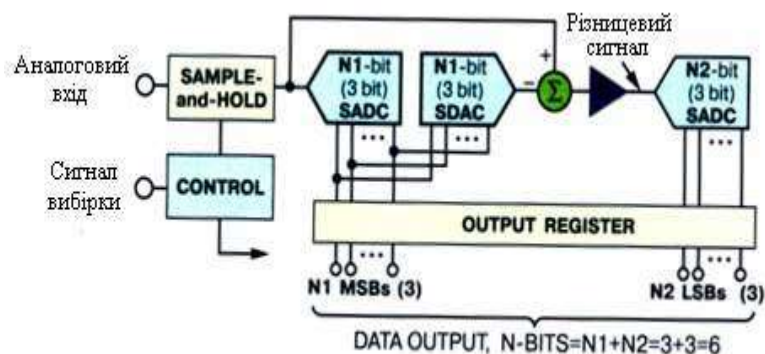


Рисунок 6.10 – Шестирозрядний, двоступеневий *pipelined* АЦП

сигналу. Після першого циклу перетворення трьохрозрядний цифровий код перетвориться в аналоговий сигнал, який, у свою чергу, віднімається з вхідного, що знімається з виходу УВХ. Різницевий сигнал посилюється і кодується наступним рівнем *flash-АЦП*. Таким чином, за два

такти перетворення формується 6-розрядний код, еквівалентний сигналу на вході АЦП. На рис.6.11 наведена форма сигналу на вході другого ступеня конвеєрного АЦП. Ідеальному стану відповідає рис.6.11, а. В цьому випадку втрати кодів при перетворенні сигналу першим ступенем відсутні. У разі втрати кодів на вході другого ступеня АЦП спостерігається вихід сигналу за межі піддіапазону (рис.6.11,б). Передавальна характеристика всього АЦП при цьому матиме вигляд, наведений на діаграмі рис.6.12. Для усунення цього недоліку до складу АЦП необхідно вводити ланцюги корекції, збільшуючи діапазон, а значить, і розрядність другого ступеня конвеєрного АЦП. Крім того, повинна бути підвищена й точність віднімаючого ЦАП, яка повинна бути вище загальної точності конвеєрного перетворювача. Структурна схема конвеєрного АЦП з корекцією втрати кодів наведена на рис.6.13. Вона відрізняється тим, що завдяки одному УВХ не має затримки, оскільки сигнал на виході УВХ зберігається протягом повного циклу перетворення. Відзначимо, що розрядність другого ступеня перетворення на один розряд більша, ніж першого, причому в перетворювач включений коректуючий регістр.

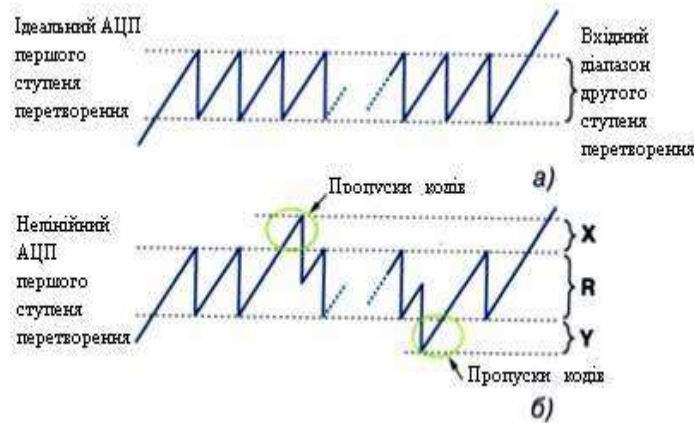


Рисунок 6.11 – Ідеальна (а) і реальна (б) діаграми різницевого сигналу на вході другого ступеня перетворення



Рисунок 6.12 – Передавальна характеристика АЦП

Широко поширена на сьогодні структура конвеєрного АЦП з цифровою корекцією наведена на рис.6.14. Кожен ступінь перетворення такого АЦП працює протягом половини загального циклу перетворення. УВХ є в кожному ступені і використовується як керована затримка при виконанні повного циклу перетворення.

Існує безліч варіантів структурної організації конвеєрних АЦП. Це відноситься і до кількості ступенів перетворення, і до розрядної сітки АЦП в кожному ступені, і до кількості додаткових коректуючих розрядів. Якщо дані від кожного ступеня перетворення поступають в коректуючі регістри, їх розрядність повинна бути збільшена.

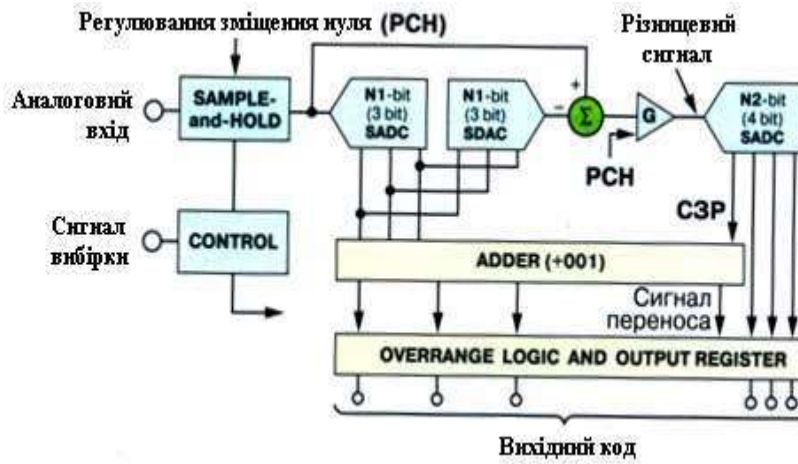


Рисунок 6.13 – Структурна схема шести розрядного pipelined (конвеєрного) ЦАП з корекцією похибки

Так, наприклад, для першого ступеня потрібен семирозрядний зсувний регістр, для другої - шестирозрядний, для третьої - п'ятирозрядний і т.д. Це збільшує загальну затримку першого відліку відповідно до тимчасової діаграми роботи АЦП AD9235, наведеної на рисунку 6.15.



Рисунок 6.14 – Структурна схема багаторозрядного конвеєрного АЦП з корекцією похибки

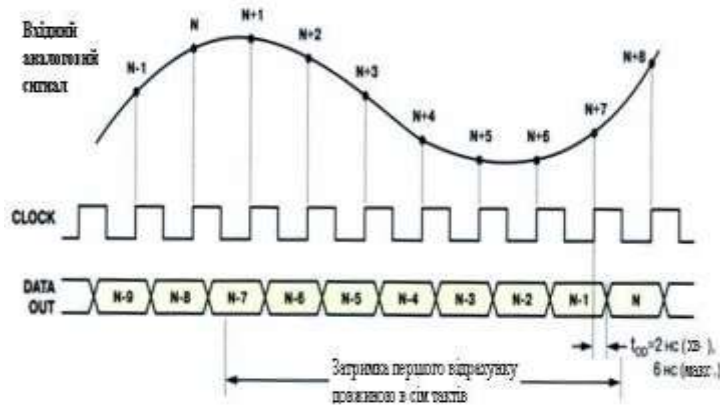


Рисунок 6.15 – Часова діаграма роботи АЦП AD9235

Для цього 12-розрядного перетворювача з частотою вибірки 65 МГц передбачено сім тактів затримки, яка залежно від застосування може викликати певні труднощі при використанні такого АЦП. Перш за все, це стосується контура управління, в якому переважно застосовуються порозрядні АЦП, або до багатоканальних вимірювальних систем. Проте в системах, для яких частота перетворення важливіша за час встановлення, бажано використовувати конвеєрні АЦП. Слід звернути увагу на мінімальну частоту вибірки конвеєрних АЦП. Чим вона менша, тим швидше розряджається місткість внутрішнього УВХ. Тому такі АЦП мають обмеження знизу на частоту вибірки вхідного сигналу. Особливо небажане використання таких АЦП в режимі одиночних перетворень. У таких режимах слід застосовувати порозрядні АЦП. Існує деяка відмінність конвеєрних АЦП від багатоступінчатих, оскільки багатоступінчаті перетворювачі не

завжди працюють по конвеєрному алгоритму. Конвеєрний алгоритм використовується, якщо вимагається забезпечити максимальну швидкість перетворення вхідного сигналу. Граничний дозвіл сучасних конвеєрних АЦП складає 14 розрядів, частота відбору 100 МГц.

Вони застосовуються не тільки для підвищення швидкості перетворення, але і для збільшення відношення сигнал/шум і розширення динамічного діапазону неспотвореного сигналу. Це важливо для систем стільникового радіозв'язку і, перш за все, для організації приймачів і передавачів базових станцій. Функціональні схеми приймача і передавача з вибіркою сигналів проміжної частоти наведені на рис.6.16. У таких пристроях є багато частотних каналів, сигнали яких кодуються одночасно одним АЦП. Смуга такого АЦП повинна бути не менше 20 МГц. Всі операції фільтрації, настройки, розділення каналів здійснюються цифровим сигнальним процесором (DSP). Така організація прийому/передачі даних виключає необхідність транспонування спектру в більш низькочастотну область і дозволяє всі необхідні операції виконувати в цифровому вигляді. Так само організовані засоби зв'язку в стандартах GSM, CDMA, EDGE. Відмінність полягає в прикладному програмному забезпеченні.

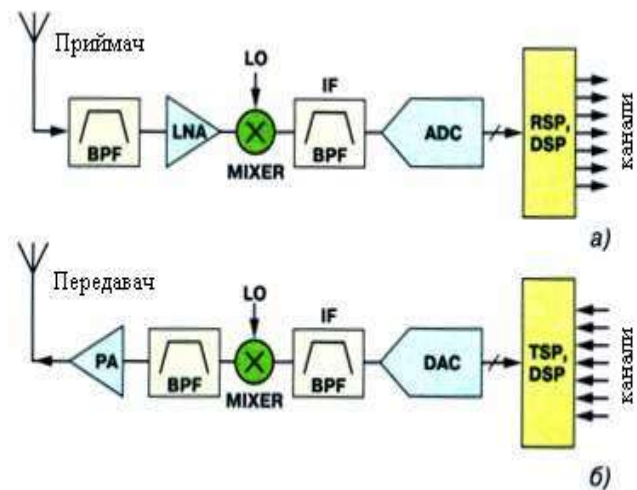


Рисунок 6.16 – Функціональні схеми приймача (а) і передавача (б) для систем цифрового радіозв'язку

На вхід перетворювачів у смузі частот, заданої в кожному з перерахованих стандартів, можуть поступати як корисні сигнали, так і завади. При цьому самі АЦП не повинні генерувати комбінаційні складові інтермодуляційних спотворень, які маскують корисні сигнали з меншою амплітудою. Відношення максимального сигналу завади до мінімального корисного сигналу визначає вимоги до динамічного діапазону неспотвореного сигналу. Крім того, відношення сигнал/шум АЦП повинно відповідати чутливості приймача, яка визначена вимогами стандарту.

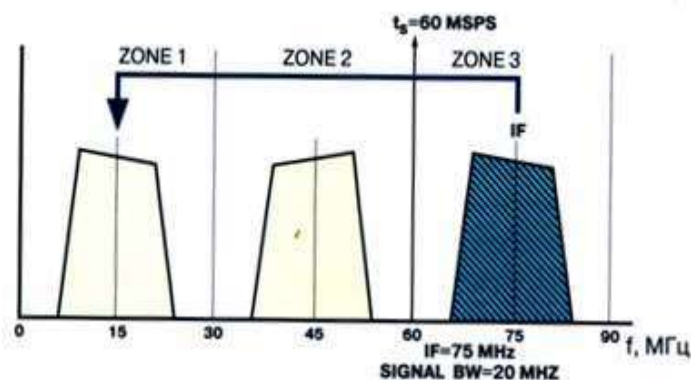


Рисунок 6.17 – Діаграма вибірки сигналів у смузі частот 20 МГц з несучою 75 МГц і частотою відбору 60 МГц

Відношення сигнал/шум і динамічний діапазон неспотвореного сигналу для використовуваних в системах стільникового радіозв'язку АЦП визначаються для заданої

проміжної частоти. Як вибрати необхідну частоту вибірки АЦП для заданої проміжної частоти показано на рис. 6.17. Частота вхідного сигналу лежить в смузі 20 МГц, частота вибірки складає 60 МГц. Показано, як здійснюється зрушення сигналу з третьої зони Найквіста з центральною частотою 75 МГц в смугу частот з центральною частотою 15 МГц без застосування понижуючого перетворювача. Сучасні конвеєрні АЦП, такі як 14-розрядний АЦП AD9444 з частотою відбору 80 МГц, відповідають вимогам, що пред'являються до систем стільникового радіозв'язку. Дані АЦП мають динамічний діапазон неспотвореного сигналу 97 дБн і відношення сигнал/шум 73 дБ на частоті вхідного сигналу 70 МГц. Смуга частот цього АЦП складає 650 МГц.

Висновки:

1. Розглянуті особливості порозрядних, сигма-дельта і конвеєрних перетворювачів. Структури таких перетворювачів відомі достатньо давно, проте останні успіхи у області мікроелектроніки дозволили істотно підвищити параметри АЦП на основі розглянутих структурних рішень, причому їх точність збільшилася в середньому більш ніж на порядок, а частота вибірки - на декілька порядків. Крім того, знизилася споживання цих АЦП, зменшилися розміри і вартість. Використовуються в багатоканальних системах збору даних і вимірювальних приладах різного призначення завдяки відсутності затримки першого відліку, характерної для конвеєрних перетворювачів.

2. Порозрядні АЦП в даний час мають граничну точність 18 розрядів і частоту відбору 3 МГц.

3. Сигма-дельта АЦП використовуються в прецизійних приладах, промислових вимірювальних системах, в лічильниках електроенергії, системах управління двигунами і в аудіосистемах. Граничний дозвіл таких АЦП 24 розряду.

4. Конвеєрні АЦП застосовуються в системах з частотою відбору більше 5 МГц і розрядністю не менше 14 розрядів. Максимальна частота вибірки таких АЦП на сьогоднішній день перевищує 100 МГц. Це дозволило використовувати дані перетворювачі в цифрових осцилографах, аналізаторах спектру, медичних системах з обробкою зображення, в бездротових системах зв'язку, цифрових фотоапаратах, в ТБ високої чіткості і т.п. Для вивчення характеристик сучасних АЦП багато компаній-виробників, включаючи Analog Devices, випускають спеціальну оціночну плату, що містить окрім АЦП джерела тестових сигналів, ЦАП для відновлення цифрових кодів, інтерфейси для зв'язку з ПК і т.п.

Останнім часом ряд фірм, у тому числі і *Analog Devices*, постачають так звану віртуальну оціночну плату, яка за допомогою спеціального програмного забезпечення дає можливість оцінити параметри передбачуваних до використання АЦП без фізичного моделювання і макетування базових вузлів. Віртуальна плата постачається, як правило, безкоштовно.

Запитання для самоконтролю засвоєння знань

- 1 Класифікуйте АЦП за областями застосування.
- 2 Які типи АЦП використовують в прецизійних засобах ІВК та ІВС?
- 3 Поясніть особливості порозрядних, сигма-дельта та конвеєрних АЦП.

7 ІНТЕРФЕЙСИ

Інформаційно-вимірювальні комплекси (ІВК) та інформаційно – вимірювальні системи (ІВС) побудовані з використанням мікропроцесорних контролерів, або мікро контролерів, пристроїв оброблення і відображення інформації (ПВІ) у вигляді комп'ютерів або дисплейних пристроїв. Передача інформації між контролерами та між комп'ютером і контролерами, а також іншими пристроями здійснюється за допомогою пристроїв, які ми називаємо інтерфейсами. Крім того між комп'ютером і оператором здійснюється також обмін інформації шляхом реалізації певних правил обов'язкових як для машини, так і для оператора. Таким чином можна охарактеризувати поняття інтерфейсу.

Інтерфейс – це визначена стандартами межа між взаємодіючими незалежними об'єктами ІВК. Він задає параметри, процедури і характеристики взаємодії об'єктів.

Виходячи з цього визначення можна стверджувати, що між оператором і комп'ютером існують певні правила і способи їх взаємодії, тобто свого роду інтерфейс. Між контролерами і комп'ютером також є інтерфейс передачі даних. Відповідно можна класифікувати інтерфейсний зв'язок.

7.1 Класифікація інтерфейсів між оператором і комп'ютером

Можна класифікувати інтерфейси спілкування оператора з комп'ютером. Сучасними видами таких інтерфейсів є: командний, діалоговий, розмовний.

Командний інтерфейс називається тому, що в цьому виді інтерфейсу оператор подає команди комп'ютеру, а комп'ютер їх виконує і видає відповідний результат.

Командний інтерфейс реалізований у вигляді пакетної технології і технології пакетного рядка.

При цій технології інформація від оператора до комп'ютера вводиться через клавіатуру, а комп'ютер відображає інформацію оператору через монітор. Цю комбінацію (монітор + клавіатура) називають терміналом або консоллю. Командний рядок представляє собою символ запрошення і мотивовану стрілку – курсор. При натисканні клавіші на місці курсора з'являється символ, а сам курсор зміщується вправо. Команда закінчується натисненням клавіші Enter (або Return). Після цього здійснюється перехід в початок наступного рядка. Потім процес повторюється.

Діалоговий інтерфейс або WIMP – інтерфейс (Windows – вікно, Image – образ, Menu – меню, Pointer – вказівник) має характерну особливість – діалог з оператором ведеться не за допомогою команд, а за допомогою графічних образів – меню, вікно, інших елементів. Цей вид інтерфейсу реалізований на двох рівнях технологій: простий графічний і чистий WIMP – інтерфейс.

Ідея графічного інтерфейсу зародилась в 70-х роках, коли в науково – дослідному центрі Xerox Palo Alto Research Center (PARC) була розроблена концепція візуального інтерфейсу. Це стало можливим завдяки збільшенню об'єму оперативної пам'яті та швидкості обробки інформації в комп'ютері. Крім того з'явилися графічні монітори з можливістю виводу будь-яких зображень в вигляді множини крапок на екрані різного кольору. Удосконалення операційної системи MS – DOS, Windows – 98, Windows – 2000 компанії Microsoft є наглядним прикладом графічного інтерфейсу.

Чистий інтерфейс WIMP характеризується такими особливостями:

- а) вся робота з програмами проходить у вікнах в рамках екрану монітора;
- б) всі програми, файли, документи, пристрої подаються у вигляді значків,
- в) всі дії з об'єктами здійснюються за допомогою меню. WIMP – інтерфейс простий і доступно зрозумілий.

Розмовний інтерфейс – або SILK - інтерфейс (Speech – розмова, Image – образ, Language – мова, Knowledge – знання). Цей вид інтерфейсу найбільш вимогливий до апаратних засобів комп'ютера і тому його застосовують, в основному у військових цілях.

В середині 90-х років, після появи дешевих звукових карт і широкого розповсюдження

технології розпізнавання мови, появився так званий розмовний SILK – інтерфейс. При цій технології команди подаються голосом шляхом подачі спеціальних слів – команд. Такими командами є: "Прокинься" – включення розмовного інтерфейсу; "відпочивай" – виключення розмовного інтерфейсу; "відкрити" – перехід в режим виклику будь-якої програми; "буду диктувати" – перехід в режим команд і набору тексту. Останні досягнення в програмному забезпеченні дозволяють здійснювати спілкування оператора з комп'ютером на реальній мові у вигляді тексту і образів.

7.2 Інтерфейси передачі даних

7.2.1 Послідовний інтерфейс USB

Між контролером і комп'ютером застосовують інтерфейси передачі даних. Ці інтерфейси забезпечують передачу двійкових даних. В залежності від способу передачі даних інтерфейси ділять на послідовний і паралельний.

Послідовний інтерфейс USB (Universal Serial Bus – універсальна послідовна шина) застосовувався давно, стандарт з'явився 15 січня 1996 року за ініціативою авторитетних компаній Intel, IBM, DEC, NEC, Northern Telecom u Compaq.

Основна стандартна мета стандартна, поставлена перед розробниками – створити реальну можливість користувачам працювати в режимі Plug & Play з периферійними засобами. Це означає, що передбачено підключення пристрою до працюючого комп'ютера, автоматичне його розпізнавання після підключення і встановлення відповідних драйверів. Крім цього живлення для малопотужних пристроїв слід подавати із самого інтерфейсу. При цьому вирішується проблема нестачі ресурсів на зовнішніх шинах IBM PC. Інтерфейс USB тільки одне переривання незалежно від кількості підключених до інтерфейсу пристроїв.

Основні технічні характеристики інтерфейсу USB наведені в таблиці 7.1.

Таблиця 7.1 - Технічні характеристики інтерфейсу USB

Технічні характеристики	Значення характеристик
Висока точність обміну, Mb/s	12
Максимальна довжина кабелю для високої швидкості обміну, м	5
Низька швидкість обміну, Mb/s	1,5
Максимальна довжина кабелю для низької швидкості обміну, м	3
Максимальна кількість пристроїв, які можна підключити	127
Напруга живлення для периферійних пристроїв, V	5
Максимальний струм живлення на один пристрій, mA	500

До інтерфейсу USB доцільно підключати будь-які периферійні пристрої крім цифрових відеокамер і високошвидкісних жорстких дисків. Конструкція з'єднувачів розрахована на багаторазове з'єднання і роз'єднання.

Сигнали USB передають по 4–провідному кабелю.

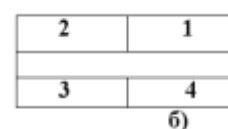
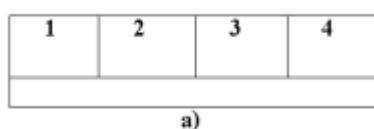


Рисунок 7.1 - Схема з'єднувача для підключення а) до комп'ютера,
б) для підключення до периферійного пристрою

Таблиця 7.2 - Контакти з'єднувачів USB

Номер контакту	Призначення	Колір провода
1	V BUS	Червоний
2	D –	Білий
3	D +	Зелений
4	GND	Чорний
захисний контакт	Екран	В'язанка

GND - корпус; V Bus – + 5 V живлення; D + – для передачі даних по шині; D – – для прийому даних по шині.

7.2.2 Інтерфейс RS – 232

Інтерфейс RS–232 призначений для під'єднання до комп'ютера зовнішніх пристроїв (принтер, сканер, модем), а також контролерів і зв'язку комп'ютерів між собою. Він має можливість передачі інформації на відстань до 15 м. Дані в RS–232 передаються послідовно побайтно. Кожний байт формується стартовими і стоковими бітами. Дані передаються в прямому і зворотньому напрямку.

Комп'ютер має 25–контактний (ДВ25Р), або 9– контактний (ДВ9Р) з'єднувач для підключення RS – 232 по 4–провідній лінії передачі, який показаний на рисунку 7.2. Характеристика сигналів відображена в таблиці 7.3.

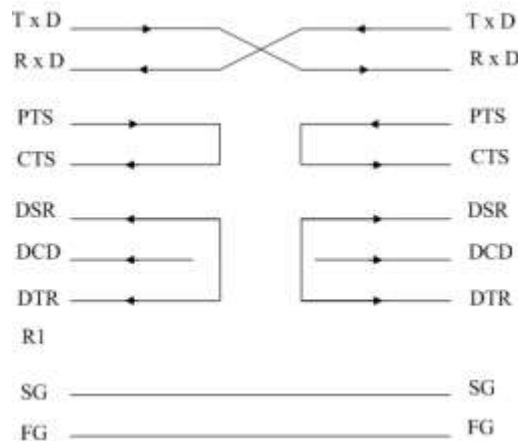


Рисунок 7.2 - Схема 4-провідної лінії зв'язку для RS–232

Таблиця 7.3 - Сигнали інтерфейсу RS – 232

означення сигналів	Характеристика сигналу	Контакт
FG	Заземлення (екран)	5
-Tx D	Дані передачі комп'ютером в послідовному коді	3
-Rx B	Дані прийняття комп'ютером в послідовному коді	2
RTS	Сигнал запиту передачі	7

CTS	Сигнал очистки для передачі	8
DSR	Готовність даних	6
CG	Нульовий провід	5
DCD	Визначення носія даних	1
DTR	Готовність вихідних даних	4
R1	Індикатор виклику	9

Дані (5,6,7,8 біт) супроводжуються стартовим бітом, і одним або двома стоповими бітами. Отримавши стартовий біт, приймач вибирає із лінії біти даних у визначені інтервали часу. Необхідно, щоб тактові частоти приймача і передавача були однакові (допустимі відхилення не більше 10%). Швидкість передачі даних може вибиратись із ряду: 110, 150, 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600, 115200 біт/с. Формат передачі даних показаний на рис. 7.3.

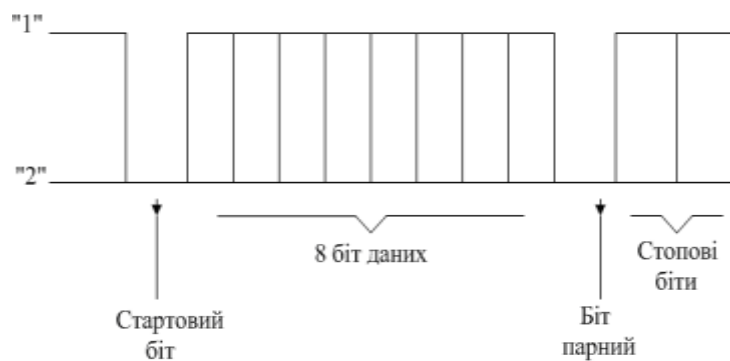


Рисунок 7.3 - Формат передачі даних

Обмін по RS-232 здійснюється з допомогою звернень по спеціально виділених для цього портах COM1 (адреса 3F8h...2FFh, переривання IRQ4), COM2 (адреса 2F8h...2FFh, переривання IRQ3), COM3 (адреса 3F8h...3FFh, переривання IRQ10), COM4 адреса 2E8h...2Efh, переривання IRQ11).

Рівні сигналів, які передаються і приймаються на кінцях ліній зв'язку, зображені на рисунку 7.4.

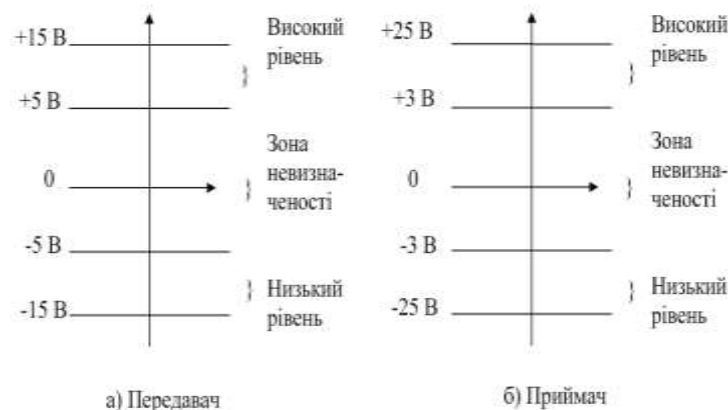


Рисунок 7.4 - Рівні сигнали RS-232

7.2.3 Інтерфейс RS-485

Послідовний інтерфейс RS-485 є найбільш поширений у використанні двох направленої лінії передачі. Протокол підтримує багатопучкові з'єднання, забезпечує створення мережі з кількістю вузлів до 32 і передачу даних на відстань до 1200 м. Використання повторювачів дозволяє збільшити передачу даних ще на 1200 м або додати ще 32 вузли. Стандарт підтримує напівдуплексний зв'язок. Для передачі і приймання даних достатньо однієї скрученої пари

провідників. Швидкість передачі даних до 10 Мбіт/с.

Мережа побудована на інтерфейсі RS-485, являє собою прийомопередавачі, з'єднані за допомогою виті пари (двох скручених провідників). В основі інтерфейсу RS – 485 лежить принцип диференційної передачі даних. Суть його полягає в передачі одного сигналу по двох провідниках. По одному провіднику іде оригінальний сигнал, а по другому – його інверсна копія. Тобто якщо на одному провіднику “1” то на другому “0” і навпаки. Таким чином між двома провідниками крученої пари завжди є різниця потенціалів: при “1” вона позитивна, а при “0” – від’ємна (рисунок 7.5).

Сигнал по інтерфейсу RS – 485 передається по різниці потенціалів, яка забезпечує високу стійкість до синфазних завад. Синфазною називають заваду, яка діє на обидва провідника скрутки однаково. Потенціал в двох однаково навантажених провідниках залишається без змін.

Конструктивно інтерфейс має мікросхеми прийому – передачі з диференційними входами/виходами і цифровими порталами. Існують два варіанти інтерфейсу: RS-422 і RS-485.

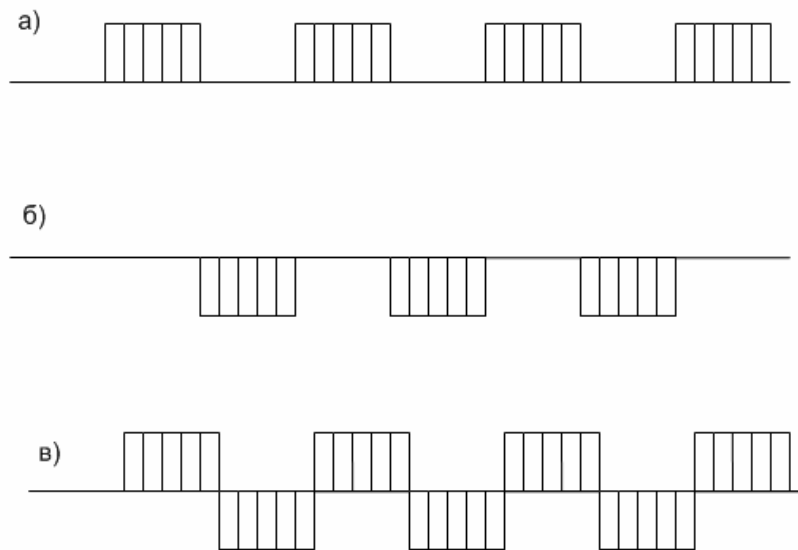
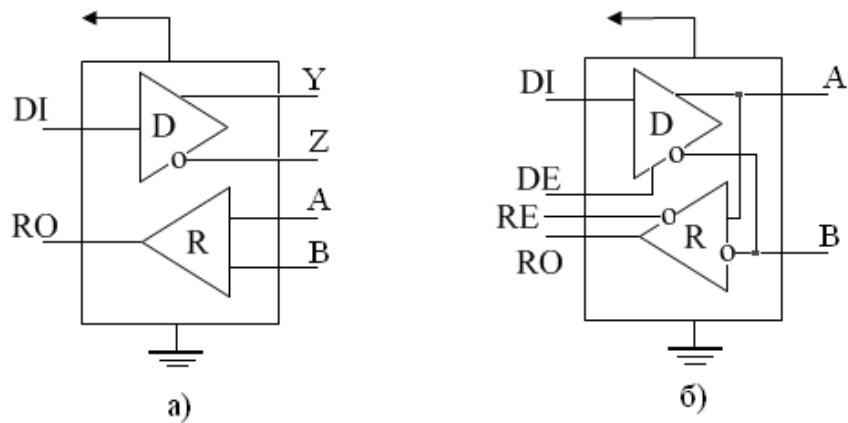


Рисунок 7.5 - Різниця потенціалів в скручених провідниках інтерфейсу RS-485. а) – потенціал позитивний, б) – потенціал від’ємний, в) – різниця потенціалів

Перший (RS-422) – повнодуплексний інтерфейс. Отримання і передача здійснюється по двох окремих парах провідників. На кожній парі провідників може бути тільки по одному передавачу. Другий (RS-485) – напівдуплексний інтерфейс. Прийом і передача іде по одній парі провідників з розділенням по часу. В мережі може бути багато передавачів, так як вони можуть відключатися в режимі прийому.

Схеми інтерфейсів RS-422 і RS-485 зображено на рисунку 7.6



D (driver) - передавач;
 R (receiver) - приймач;
 DI (driver - input) - цифровий код передавача;
 RO (receiver output) - цифровий вхід приймача;
 DE (driver enable) - розширення роботи передавача;
 RE (receiver enable) - розширення роботи приймача;
 A - прямиий диференційний вхід/вихід;
 B - інверсний диференційний вхід/вихід;
 Y - прямиий диференційний вихід RS - 422;
 Z - прямиий диференційний вихід RS - 422.

Рисунок 7.6 - Схеми інтерфейсів
 а) інтерфейс RS – 422, б) інтерфейс RS – 485

Прийомо–передавач RS–485 має такі з’єднання. Вивід приймача RO підключається до приймача контролера RX. Вхід передавача (DI) – до порта передавача контролера (TX). На диференційній стороні приймач і передавач з’єднані, а це означає, що під час прийому треба відключати передавач, а в час передачі – приймач. Для цього є керуючі входи (RE) і (DE). Вхід RE інверсний, тоді, відповідно, його можна з’єднувати з DE і перемикає приймач і передавач одним сигналом з будь-якого порту контролера. При рівні “0 ” – робота на прийом, при “1 ” – на передачу.

Основні технічні характеристики інтерфейсів RS–422 та RS–485 наведені в таблиці 7.4.

Таблиця 7.4 - Технічні характеристики RS–422 та RS–485

Стандартні параметри інтерфейсів	RS – 422	RS – 485
Допустиме число передавачів/приймачів	1/10	32/32
Максимальна довжина кабелю м	1200	1200
Максимальна швидкість передачі інформації Мбіт/с	10	10
Діапазон напруги передавача “1” В	+2...+10	+1,5...+6
Діапазон напруги передавача “0” В	-2...-10	-1,5...-6
Діапазон синфазної напруги передавача В	+3...-3	-1...+3
Діапазон напруги приймача В	-7...+7	-7...+12
Поріг чутливості, мВ	±200	±200

Допустимий опір навантаження передавача Ом	100	54
Вихідний опір приймача кОм	4	12

7.2.3 HART – протокол

Обмін даними між ІВК і інтелектуальними давачами здійснюється за допомогою стандартного протоколу HART (Highway Addressable Remote Transducer – адресований дистанційний магістральний перетворювач). Протокол HART є відкритим і доступним для всіх виробників ІВК.

Термін інтелектуальний говорить про те, що в первинному перетворювачі є мікропроцесор, який виконує функцію лінеаризації характеристики давача, а також внесення поправок в залежності від зміни температури, дозволяє проводити настройку на другий діапазон вимірювання, здійснює функцію самодіагностування.

Для налаштування інтелектуального перетворювача застосовують пульт. Цими пристроями забезпечено переваги цифрового зв'язку і в той же час зберігають надійність аналогових вхідних сигналів. Цифровий зв'язок також використовують для зчитування вимірюваного параметру. Крім того давач може зберігати інформацію про хід процесу вимірювання, калібрування, одиниці вимірювання. Ці пристрої також дозволяють застосовувати багатоканальну комунікацію. До однієї пари проводів можна під'єднати багато первинних перетворювачів, а зчитувати інформацію з кожного давача можна окремо. Первинні перетворювачі в цьому випадку під'єднуються паралельно, як показано на рисунку 7.7.

HART – протокол використовує стандарт BELL 202 кодування сигналу методом частотного зсуву для обміну даними на швидкості 1200 Бод: сигнал накладається на аналоговий сигнал 4 – 20 мА на нижньому рівні.

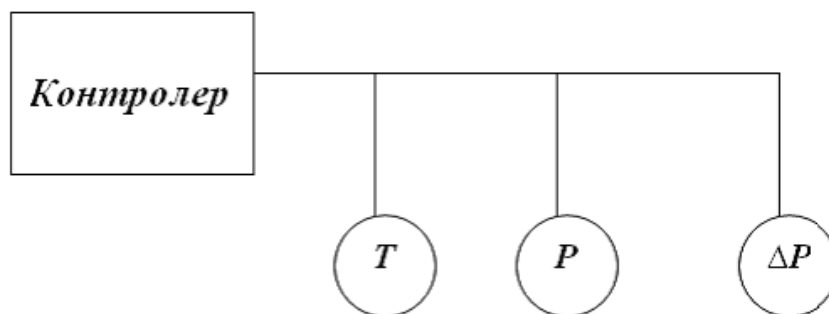


Рисунок 7.7 - Паралельне підключення давачів до контролера

1	2	3	4	5	6	7	8
---	---	---	---	---	---	---	---

- 1 Преамбула
- 2 - Стартовий символ
- 3 - Адреса
- 4 - Команда
- 5 - Число байт
- 6 - Стан пристрою і зв'язку
- 7 - Інформаційні дані
- 8 - Контрольна сума

Рисунок 7.8 - Формат даних зв'язку

Кожне повідомлення має адресу джерела і призначення, а також має контрольну суму для знаходження будь-якого пошкодження повідомлення. Формат даних зв'язку зображено на рисунку 7.8.

Преамбула складається із трьох і більше шістнадцяткових символів FF, що дозволяє модему синхронізувати свої схеми прийому частоти та отримання сигналу після будь-якої паузи в

передачі.

Стартовий символ в повідомленнях HART має різні значення в залежності від типу, формату (від головного до підлеглого; від підлеглого до головного, в пакетному режимі від підлеглого) і від довжини формату передачі.

Адреса відображає символ головного і первинного пристроїв в одному байті (короткий) з п'яти байтів (довгий) формату передачі інформації.

Команда подається числом від 0 до шістнадцяткових символів FF або десяткового 255. Існує три категорії команд: універсальні команди, які повинні виконувати всі HART пристрої; розповсюджені команди використовуються для підтримання відповідної функції; специфічні команди використовують для конкретного підлеглого пристрою.

Кількість байтів, які формують частину повідомлень (статус, інформаційні дані) завжди становить ціле число.

Статус включає тільки відповідь від підлеглого пристрою, яка складається із двох байтів закованої в кожному розряді. В першому байті знаходяться помилки обміну даних, в другому – функціонування підлеглого пристрою.

Інформаційні дані в командах займають 25 байт.

Контрольна сума – це перевірка достовірності даних при передачі інформації.

HART протокол побудований по принципу «головний- підлеглий». Це означає, що первинний перетворювач лише відповідає на запити.

HART протокол використовує метод частотного зсуву для накладання цифрового зв'язку на струмовий сигнал 4 – 20 мА. Для відображення двійкового сигналу 1 або 0 використовують дві різні частоти 1200 Гц і 2200 Гц відповідно. Двійкові числа передаються на швидкості обміну інформацією 1200 Бод. При цьому число “1” відображається одиничним циклом 1200 Гц, а число “0” відображається двома циклами 2200 Гц. Такий вибір частот для формування сигналів і швидкість передачі інформації відповідає стандарту США BELL202.

Запитання для самоконтролю засвоєння знань

- 1 Поясніть суть і призначення інтерфейсу.
- 2 Класифікуйте інтерфейси.
- 2 Дайте характеристику інтерфейсу USB.
- 3 Назвіть конструктивні та експлуатаційні характеристики інтерфейсу RS-232.
- 4 Назвіть особливості передачі інформації по інтерфейсу RS-485.
- 5 Назвіть особливості і область застосування HART- протоколу.
- 6 Наведіть характерні особливості протоколів передачі інформації по інтерфейсу RS-232, RS-485, HART-протокол, USB.

8 ЛОКАЛЬНІ МЕРЕЖІ ІВК ТА ІВС

8.1 Історія комп'ютерного зв'язку

Зв'язок на невеликій відстані в комп'ютерній техніці існував ще задовго до появи перших персональних комп'ютерів. До великих комп'ютерів (*mainframes*), приєднувалися численні термінали (або "інтелектуальні дисплеї"). Правда, інтелекту в цих терміналах було дуже мало, практично ніякої обробки інформації вони не робили, і основна мета організації зв'язку полягала у тому, щоб розділити інтелект ("машинний час") великого потужного й іншого комп'ютера між користувачами, що працюють за цими терміналами. Це називалося **режимом поділу часу**, тому що великий комп'ютер послідовно в часі вирішував завдання безлічі користувачів. У цьому випадку досягалося спільне використання найдорожчих у той час ресурсів - обчислювальних.

Потім були створені мікропроцесори й перші мікрокомп'ютери. З'явилася можливість розмістити комп'ютер на столі в кожного користувача, тому що обчислювальні, інтелектуальні ресурси подешевшали. Але зате всі інші ресурси залишалися ще досить дорогими. А що значить голий інтелект без засобів зберігання інформації і її документування? Не будеш же щораз після включення живлення заново набирати виконувану програму або зберігати її в маломісткій постійній пам'яті. Об'єднавши кілька мікрокомп'ютерів, можна було організувати спільне використання ними комп'ютерної периферії (магнітних дисків, магнітної стрічки, принтерів). Саме зазначені переваги локальних мереж і забезпечують їх популярність й усе більш широке застосування, незважаючи на всі незручності, пов'язані з їхньою установкою й експлуатацією.

8.2 Локальні мережі

Способів і засобів обміну інформацією за останній час запропоновано безліч: від найпростішого переносу файлів за допомогою дискети до всесвітньої комп'ютерної мережі Інтернет, здатної об'єднати всі комп'ютери світу. Яке ж місце в цій ієрархії приділяється локальним мережам? **Найчастіше термін "локальні мережі" або "локальні обчислювальні мережі" (LAN, Local Area Network) розуміють буквально, тобто це такі мережі, які мають невеликі, локальні розміри, з'єднують близько розташовані комп'ютери.** Але досить подивитися на характеристики деяких сучасних локальних мереж, щоб зрозуміти, що таке визначення не точне. Наприклад, деякі локальні мережі легко забезпечують зв'язок на відстані декількох десятків кілометрів. Це вже розміри не кімнати, не будинку, не близько розташованих будинків, а, може бути, навіть цілого міста. З іншого боку, по глобальній мережі (*WAN, Wide Area Network* або *GAN, Global Area Network*) цілком можуть зв'язуватися комп'ютери, що перебувають на сусідніх столах в одній кімнаті, але її чомусь ніхто не називає локальною мережею. Близько розташовані комп'ютери можуть також зв'язуватися за допомогою кабелю, що з'єднує роз'єднувачі зовнішніх інтерфейсів (*RS232-C, Centronics*) або навіть без кабелю по інфрачервоному каналу (*IrDA*). Але такий зв'язок теж чомусь не називається локальним. Невірно й визначення локальної мережі як малої мережі, що поєднує невелику кількість комп'ютерів. Дійсно, як правило, локальна мережа зв'язує від двох до декількох десятків комп'ютерів. Але граничні можливості сучасних локальних мереж набагато вищі: максимальне число абонентів може досягати тисяч. Називати таку мережу малою неправильно.

Деякі автори визначають локальну мережу як "систему для безпосереднього з'єднання багатьох комп'ютерів". При цьому мається на увазі, що інформація передається від комп'ютера до комп'ютера без яких-небудь посередників і по єдиному середовищу передачі. Але говорити про єдине середовище передачі в сучасній локальній мережі не доводиться. Наприклад, у межах однієї мережі можуть використатися як електричні кабелі різних типів (вита пара, коаксіальний кабель), так й оптоволоконні кабелі. Визначення передачі "без посередників" також не коректно, адже в сучасних локальних мережах використовуються репітери, трансівери, концентратори, комутатори, маршрутизатори, мости, які часом роблять досить складну обробку переданої інформації. Не зовсім зрозуміло, чи можна вважати їх посередниками чи ні, чи можна вважати подібну мережу локальною.

Напевно, найбільш точно було б визначити як локальну таку мережу, що дозволяє

користувачам не відчувати зв'язки. Ще можна сказати, що локальна мережа повинна забезпечувати прозорий зв'язок. По суті, комп'ютери, зв'язані локальною мережею, поєднуються в один віртуальний комп'ютер, ресурси якого можуть бути доступні всім користувачам, причому цей доступ не менш зручний, чим до ресурсів, що входять безпосередньо в кожен окремий комп'ютер. Під зручністю в цьому випадку розуміється висока реальна швидкість доступу, швидкість обміну інформацією між додатками, практично непомітна для користувача. При такому визначенні стає зрозуміло, що ні повільні глобальні мережі, ні повільний зв'язок через послідовний або паралельний порти не попадають під поняття локальної мережі.

З даного визначення видно, що швидкість передачі по локальній мережі обов'язково повинна рости в міру росту швидкодії найпоширеніших комп'ютерів. Саме це й спостерігається: якщо ще десять років тому цілком прийнятною вважалася швидкість обміну в 10 Мбіт/с, то тепер уже середньошвидкісною вважається мережа, що має пропускну здатність 100 Мбіт/с, активно розробляються, а подекуди використовуються засоби для швидкості 1000 Мбіт/с і навіть більше. Без цього вже не можна, інакше зв'язок стане занадто вузьким місцем, буде надмірно сповільнювати роботу об'єднаного мережею віртуального комп'ютера, знижувати зручність доступу до мережних ресурсів.

Таким чином, головна відмінність локальної мережі від будь-якої іншої - висока швидкість передачі інформації по мережі. Але це ще не все, не менш важливі й інші фактори. Зокрема, принципово необхідний низький рівень помилок передачі, викликаних як внутрішніми, так і зовнішніми факторами. Адже навіть дуже швидко передана інформація, яка перекручена помилками, просто не має змісту, її доведеться передавати ще раз. Тому локальні мережі обов'язково використовують прокладення спеціальних високоякісних й добре захищених від завад ліній зв'язку. Особливе значення має й така характеристика мережі, як можливість роботи з великими навантаженнями, тобто з високою інтенсивністю обміну (або, як ще говорять, з великим трафіком). Адже якщо механізм керування обміном, використовуваний у мережі, не занадто ефективний, то комп'ютери можуть подовгу чекати своєї черги на передачу. І навіть якщо ця передача буде проводитися потім на найвищій швидкості й безпомилково, для користувача мережі така затримка доступу до всіх мережних ресурсів неприйнятна. Адже йому не важливо, чому доводиться чекати.

Механізм керування обміном може гарантовано успішно працювати тільки в тому випадку, коли заздалегідь відомо, скільки комп'ютерів (або, як ще говорять, абонентів, вузлів) припустимо підключити до мережі. Інакше завжди можна включити стільки абонентів, що внаслідок перевантаження забуксує будь-який механізм керування. Нарешті, мережею можна назвати тільки таку систему передачі даних, що дозволяє поєднувати до декількох десятків комп'ютерів, але ніяк не два, як у випадку зв'язку через стандартні порти.

Таким чином, сформулювати відмінні ознаки локальної мережі можна в такий спосіб:

- висока швидкість передачі інформації;
- велика пропускну здатність мережі;
- прийнятна швидкість зараз - не менш 10 Мбіт/с;
- низький рівень помилок передачі (або, що теж саме, високоякісні канали зв'язку);
- припустима ймовірність помилок передачі даних повинна бути порядку 10^{-8} — 10^{12} ;
- ефективний, швидкодіючий механізм керування обміном по мережі;
- заздалегідь чітко обмежена кількість комп'ютерів, що підключаються до мережі.

При такому визначенні зрозуміло, що глобальні мережі відрізняються від локальних насамперед тим, що вони розраховані на необмежене число абонентів. Крім того, вони використовують (або можуть використати) не найбільш якісні канали зв'язку й порівняно низьку швидкість передачі. А механізм керування обміном у них не може бути гарантовано швидким. У глобальних мережах набагато важливіша не якість зв'язку, а сам факт його існування.

Нерідко виділяють ще один клас комп'ютерних мереж - міські, регіональні мережі (*MAN, Metropolitan Area Network*), які звичайно за своїми характеристиками ближчі до глобальних мереж, хоча іноді все-таки мають деякі риси локальних мереж, наприклад, високоякісні канали зв'язку й порівняно високі швидкості передачі. У принципі, міська мережа може бути локальною з

усіма її перевагами.

Правда, зараз уже не можна провести чітку границю між локальними й глобальними мережами. Більшість локальних мереж має вихід у глобальну. Але характер переданої інформації, принципи організації обміну, режими доступу до ресурсів усередині локальної мережі, як правило, сильно відрізняються від тих, що прийняті в глобальній мережі. І хоча всі комп'ютери локальної мережі в цьому випадку включені також й у глобальну мережу, специфіки локальної мережі це не скасовує. Можливість виходу в глобальну мережу залишається всього лише одним з ресурсів, які використовують користувачі локальної мережі.

По локальній мережі може передаватися найрізноманітніша цифрова інформація: дані, зображення, телефонні розмови, електронні листи й т.ін. До речі, саме завдання передачі зображень, особливо повноколірних, пред'являє найвищі вимоги до швидкодії мережі. Найчастіше локальні мережі використовуються для поділу (спільного використання) таких ресурсів, як дисковий простір, принтери й вихід у глобальну мережу, але це всього лише незначна частина тих можливостей, які надають локальні мережі. Наприклад, вони дозволяють здійснювати обмін інформацією між комп'ютерами різних типів. Повноцінними абонентами (вузлами) мережі можуть бути не тільки комп'ютери, але й інші пристрої, наприклад, принтери, плотери, сканери. Локальні мережі дають також можливість організувати систему паралельних обчислень на всіх комп'ютерах мережі, що багаторазово прискорює рішення складних математичних завдань. З їхньою допомогою, як уже згадувалося, можна управляти роботою технологічної системи або дослідницької установки з декількох комп'ютерів одночасно.

Але мережі мають і досить істотні недоліки, про які завжди варто пам'ятати.

Мережа вимагає додаткових, іноді значних матеріальних витрат на покупку мережного устаткування, програмного забезпечення, на прокладання з'єднувальних кабелів і навчання персоналу.

Мережа вимагає прийому на роботу фахівця (адміністратора мережі), що буде займатися контролем роботи мережі, її модернізацією, керуванням доступу до ресурсів, усуненням можливих несправностей, захистом інформації й резервним копіюванням. Для великих мереж може знадобитися ціла бригада адміністраторів.

Мережа обмежує можливості переміщення комп'ютерів, підключених до неї, бо при цьому може знадобитися нове прокладання з'єднувальних кабелів.

Мережі являють собою прекрасне середовище для поширення комп'ютерних вірусів, тому питанням захисту від них потрібно приділяти набагато більше уваги, ніж у випадку автономного використання комп'ютерів. Адже досить інфікувати один, і всі комп'ютери мережі будуть уражені.

Мережа різко підвищує небезпеку несанкціонованого доступу до інформації з метою її крадіжки або знищення. Інформаційний захист вимагає проведення цілого комплексу технічних й організаційних заходів.

Тут же варто згадати про такі найважливіші поняття теорії мереж, як абонент, сервер, клієнт.

Абонент (вузол, хост, станція) — це пристрій, підключений до мережі, який приймає активну участь в інформаційному обміні. Найчастіше абонентом (вузлом) мережі є комп'ютер, але абонентом також може бути, наприклад, мережний принтер або інший периферійний пристрій, що має можливість прямо підключатися до мережі.

Сервером називається абонент (вузол) мережі, що надає свої ресурси іншим абонентам, але сам не використовує їхні ресурси. Таким чином, він обслуговує мережу. Серверів у мережі може бути небагато, і зовсім не обов'язково, що сервер — найпотужніший комп'ютер.

Виділений (*dedicated*) сервер — це сервер, що займається тільки мережними завданнями.

Невиділений сервер може крім обслуговування мережі виконувати й інші завдання. Специфічний тип сервера - це мережний принтер.

Клієнтом називається абонент мережі, що тільки використовує мережні ресурси, але сам свої ресурси в мережу не віддає, тобто мережа його обслуговує, а він нею тільки користується. Комп'ютер-клієнт також часто називають **робочою станцією**. У принципі, кожен комп'ютер може бути одночасно як клієнтом, так і сервером. Під сервером і клієнтом часто розуміють також не самі комп'ютери, а працюючі на них програмні додатки. У цьому випадку той додаток, що тільки віддає ресурс у мережу, є сервером, а той додаток, що тільки користується мережними ресурсами - клієнтом.

8.3 Топологія локальних мереж

Під топологією (компонуванням, конфігурацією, структурою) комп'ютерної мережі зазвичай розуміється фізичне розташування комп'ютерів мережі одного відносно іншого й спосіб з'єднання їх лініями зв'язку. Важливо відзначити, що поняття топології відноситься, насамперед, до локальних мереж, у яких структуру зв'язків можна легко простежити. У глобальних мережах структура зв'язків звичайно схована від користувачів і не занадто важлива, тому що кожен сеанс зв'язку може виконуватися по власному шляху. Топологія визначає вимоги до устаткування, тип використовуваного кабелю, припустимі й найбільш зручні методи керування обміном, надійність роботи, можливості розширення мережі. І хоча вибирати топологію користувачеві мережі доводиться нечасто, знати про особливості основних топологій, їхніх перевагах і недоліках треба. Існує три базові топології мережі:

1) **Шина** (bus) — всі комп'ютери паралельно підключаються до однієї лінії зв'язку. Інформація від кожного комп'ютера одночасно передається всім іншим комп'ютерам.

2) **Зірка** (star) — до одного центрального комп'ютера приєднуються інші периферійні комп'ютери, причому кожний з них використовує окрему лінію зв'язку. Інформація від периферійного комп'ютера передається тільки центральному комп'ютеру, від центрального - одному або декільком периферійним.

3) **Кільце** (ring) — комп'ютери послідовно об'єднані в кільце. Передача інформації в кільці завжди виконується в одному напрямку. Кожний з комп'ютерів передає інформацію тільки одному комп'ютеру, що йде в ланцюжку за ним, а одержує інформацію тільки від попереднього в ланцюжку комп'ютера.

Справність мережного устаткування, тобто технічних засобів, безпосередньо підключених до мережі (адаптери, трансівери, роз'єднувачі й т.д.). Вихід з ладу мережного устаткування одного з абонентів може позначитися на всій мережі, але може порушити обмін тільки з одним абонентом.

Цілісність кабелю мережі. При обриві кабелю мережі (наприклад, через механічні впливи) може порушитися обмін інформацією у всій мережі або в одній з її частин. Для електричних кабелів настільки ж критично коротке замикання в кабелі.

Обмеження довжини кабелю, пов'язане із загасанням сигналу, що поширюється по ньому. Як відомо, у будь-якому середовищі при поширенні сигнал послаблюється (згасає). І чим більшу відстань проходить сигнал, тим більше він згасає. Необхідно стежити, щоб довжина кабелю мережі не була більшою граничної довжини L_{np} , при перевищенні якої згасання стає вже неприйнятним (приймаючий абонент не розпізнає послаблений сигнал).

8.3.1 Топологія шина

Для збільшення довжини мережі з топологією шина часто використовують кілька **сегментів** (частин мережі, кожна з яких являє собою шину), з'єднаних між собою за допомогою спеціальних підсилювачів і відтворювачів сигналів — **репітерів** або **повторювачів**. Однак таке нарощування довжини мережі не може тривати нескінченно. Обмеження на довжину пов'язані з кінцевою швидкістю поширення сигналів по лініях зв'язку.

8.3.2 Топологія зірка

Зірка - це єдина топологія мережі з явно виділеним центром, до якого підключаються всі інші абоненти. Обмін інформацією йде винятково через центральний комп'ютер, на який лягає більше навантаження, тому нічим іншим, крім мережі, він, як правило, займатися не може. Зрозуміло, що мережне устаткування центрального абонента повинно бути значно складнішим, ніж устаткування периферійних абонентів. Про рівноправність всіх абонентів (як у шині) у цьому випадку говорити не доводиться. Звичайно центральний комп'ютер найбільш потужний, саме на нього покладають всі функції з керування обміном. Ніякі конфлікти в мережі з топологією зірка в принципі неможливі, тому що керування повністю централізоване.

Якщо говорити про стійкість зірки до відмов комп'ютерів, то вихід з ладу периферійного

комп'ютера або його мережного устаткування ніяк не відбивається на функціонуванні мережі, зате будь-яка відмова центрального комп'ютера робить мережу повністю непридатною. У зв'язку із цим повинні прийматися спеціальні заходи щодо підвищення надійності центрального комп'ютера і його мережної апаратури.

Обрив кабелю або коротке замикання в ньому при топології зірка порушує обмін тільки з одним комп'ютером, а всі інші комп'ютери можуть нормально продовжувати роботу.

На відміну від шини, у зірці на кожній лінії зв'язку перебувають тільки два абоненти: центральний й один з периферійних. Найчастіше для їхнього з'єднання використовується дві лінії зв'язку, кожна з яких передає інформацію в одному напрямку, тобто на кожній лінії зв'язку є тільки один приймач й один передавач. Це так звана передача точка-точка. Все це істотно спрощує мережне устаткування в порівнянні із шиною й рятує від необхідності застосування додаткових, зовнішніх термінаторів.

Проблема загасання сигналів у лінії зв'язку також вирішується в зірці простіше, ніж у випадку шини, адже кожен приймач завжди одержує сигнал одного рівня. Гранична довжина мережі з топологією зірка може бути вдвічі більша, ніж у шині (тобто $2L_{пр}$), тому що кожен з кабелів, що з'єднує центр із периферійним абонентом, може мати довжину $L_{пр}$.

Серйозний недолік топології зірка складається у жорсткому обмеженні кількості абонентів. Звичайно центральний абонент може обслуговувати не більше 8-16 периферійних абонентів. У цих межах підключення нових абонентів досить просте, але за ними воно просто неможливе. У зірці припустиме підключення замість периферійного ще одного центрального абонента (у результаті виходить топологія з декількох з'єднаних між собою зірок).

У центрі мережі з даною топологією міститься не комп'ютер, а спеціальний пристрій - концентратор або, як його ще називають, хаб (*hub*), що виконує ту ж функцію, що й репітер, тобто відновлює сигнали й пересилає їх в усі інші лінії зв'язку.

Виходить, що хоча схема прокладки кабелів подібна активній зірці, фактично мова йде про шинну топологію, тому що інформація від кожного комп'ютера одночасно передається до всіх інших комп'ютерів, а ніякого центрального абонента не існує. Безумовно, пасивна зірка дорожче звичайної шини, тому що в цьому випадку потрібний ще й концентратор. Однак вона надає цілий ряд додаткових можливостей, пов'язаних з перевагами зірки, зокрема, спрощує обслуговування й ремонт мережі. Саме тому останнім часом пасивна зірка все більше витісняє зірку, що вважається малоперспективною топологією.

Можна виділити також проміжний тип топології між активною й пасивною зіркою. У цьому випадку концентратор не тільки ретранслює сигнали, але й робить керування обміном, однак сам в обміні не бере участь (так зроблено в мережі 100VG-AnyLAN).

Найбільша перевага зірки (як активної, так і пасивної) полягає в тому, що всі точки підключення зібрані в одному місці. Це дозволяє легко контролювати роботу мережі, локалізувати несправності шляхом простого відключення від центра тих або інших абонентів (що неможливо, наприклад, у випадку шинної топології), а також обмежувати доступ сторонніх осіб до життєво важливих для мережі точок підключення. До периферійного абонента у випадку зірки може підходити як один кабель (по якому йде передача в обох напрямках), так і два (кожний кабель передає в одному із двох зустрічних напрямків), причому останнє зустрічається набагато частіше.

Загальним недоліком для всіх топологій типу зірка (як активної, так і пасивної) є значно більша, ніж при інших топологіях, витрата кабелю. Наприклад, якщо комп'ютери розташовані в одну лінію, то при виборі топології зірка знадобиться в кілька разів більше кабелю, чим при топології шина. Це істотно впливає на вартість мережі в цілому й помітно ускладнює прокладку кабелю.

8.3.3 Топологія кільце

Кільце - це топологія, у якій кожен комп'ютер з'єднаний лініями зв'язку із двома іншими: від одного він одержує інформацію, а іншому передає. На кожній лінії зв'язку, як й у випадку зірки, працює тільки один передавач й один приймач (зв'язок типу точка-точка). Це дозволяє відмовитися від застосування зовнішніх термінаторів. Важлива особливість кільця полягає в

тому, що кожен комп'ютер ретранслює (відновлює, підсилює) сигнал, тобто виступає в ролі репітера. Згасання сигналу у всьому кільці не має ніякого значення, важливе тільки згасання між сусідніми комп'ютерами кільця. Якщо гранична довжина кабелю, обмежена згасанням, становить L_{np} , то сумарна довжина кільця може досягати NL_{np} , де N — кількість комп'ютерів у кільці. Повний розмір мережі буде $NL_{np}/2$, тому що кільце прийдеться скласти вдвічі.

На практиці розміри кільцевих мереж досягають десятків кілометрів (наприклад, у мережі FDDI). Кільце щодо цього істотно перевершує будь-які інші топології. Чітко виділеного центру при кільцевій топології немає, всі комп'ютери можуть бути однаковими й рівноправними. Однак досить часто в кільці виділяється спеціальний абонент, що управляє обміном або контролює його. Зрозуміло, що наявність такого єдиного керуючого абонента знижує надійність мережі, тому що вихід його з ладу відразу ж паралізує весь обмін. Строго кажучи, комп'ютери в кільці не є повністю рівноправними (на відміну, наприклад, від шинної топології). Адже один з них обов'язково одержує інформацію від комп'ютера, що веде передачу в цей момент, раніше, а інші - пізніше. Саме на цій особливості топології й будуються методи керування обміном по мережі, спеціально розраховані на кільце. У таких методах право на наступну передачу (або, як ще говорять, на захоплення мережі) переходить послідовно до наступного по колу комп'ютера. Підключення нових абонентів у кільце виконується досить просто, хоча й вимагає обов'язкової зупинки роботи всієї мережі на час підключення. Як й у випадку шини, максимальна кількість абонентів у кільці може бути досить великою (до тисячі й більше). Кільцева топологія звичайно має високу стійкість до перевантажень, забезпечує впевнену роботу з великими потоками переданої по мережі інформації, тому що в ній, як правило, немає конфліктів (на відміну від шини), а також відсутній центральний абонент (на відміну від зірки), що може бути перевантажений великими потоками інформації.

Сигнал у кільці проходить послідовно через всі комп'ютери мережі, тому вихід з ладу хоча б одного з них (або ж його мережного устаткування) порушує роботу мережі в цілому. Це істотний недолік кільця. Так само обрив або коротке замикання в кожному з кабелів кільця робить роботу всієї мережі неможливою. Із трьох розглянутих топологій кільце найбільш уразливе до ушкоджень кабелю, тому у випадку топології кільце, зазвичай, передбачають прокладання двох (або більше) паралельних ліній зв'язку, одна з яких перебуває в резерві. Іноді мережа з топологією кільце виконується на основі двох паралельних кільцевих ліній зв'язку, що передають інформацію в протилежних напрямках. Метою для подібного рішення є збільшення (в ідеалі - удвічі) швидкості передачі інформації з мережі. До того ж при ушкодженні одного з кабелів мережа може працювати з іншим кабелем (правда, гранична швидкість зменшиться).

8.3.4 Інші топології

Крім трьох розглянутих базових топологій нерідко застосовують також мережну топологію дерево (*tree*), яку можна розглядати як комбінацію декількох зірок. Причому, як й у випадку зірки, дерево може бути активним або щирим і пасивним. При активному дереві в центрах об'єднання декількох ліній зв'язку перебувають центральні комп'ютери, а при пасивному - концентратори (хаби).

Досить часто застосовують комбіновані топології, серед яких найпоширеніші зірково-шинна й зірково-кільцева.

У зірково-шинній (*star-bus*) топології використовується комбінація шини й пасивної зірки. До концентратора підключаються як окремі комп'ютери, так і цілі шинні сегменти. Насправді реалізується фізична топологія шина, яка включає всі комп'ютери мережі. У даній топології може використовуватися й кілька концентраторів, з'єднаних між собою й утворюючих так названу магістральну, опорну шину. До кожного з концентраторів при цьому підключаються окремі комп'ютери або шинні сегменти. У результаті виходить зірково-шинне дерево. Таким чином, користувач може гнучко комбінувати переваги шинної й зіркової топологій, а також легко змінювати кількість комп'ютерів, підключених до мережі. З погляду поширення інформації дана топологія рівноцінна класичній шині.

У випадку зірково-кільцевої (*star-ring*) топології в кільце поєднуються не самі комп'ютери, а спеціальні концентратори, до яких у свою чергу підключаються комп'ютери за допомогою

зіркоподібних подвійних ліній зв'язку. У дійсності всі комп'ютери мережі включаються в замкнуте кільце, тому що усередині концентраторів лінії зв'язку утворюють замкнутий контур. Дана топологія дає можливість комбінувати переваги зіркової й кільцевої топологій. Наприклад, концентратори дозволяють зібрати в одне місце всі точки підключення кабелів мережі. Якщо говорити про поширення інформації, дана топологія рівноцінна класичному кільцю.

На закінчення треба також сказати про сіткову топологію (*mesh*), при якій комп'ютери зв'язуються між собою не однією, а багатьма лініями зв'язку, що утворюють сітку.

У повній сітковій топології кожен комп'ютер прямо зв'язаний з усіма іншими комп'ютерами. У цьому випадку при збільшенні числа комп'ютерів різко зростає кількість ліній зв'язку. Крім того, будь-яка зміна в конфігурації мережі вимагає внесення змін у мережні апаратури всіх комп'ютерів, тому повна сіткова топологія не одержала широкого поширення.

Часткова мережева топологія припускає прямі зв'язки тільки для найбільш активних комп'ютерів, що передають максимальні обсяги інформації. Інші комп'ютери з'єднуються через проміжні вузли. Мережева топологія дозволяє вибирати маршрут для доставки інформації від абонента до абонента, обходячи несправні ділянки. З одного боку, це збільшує надійність мережі, з інший же - вимагає істотного ускладнення мережних апаратур, що повинна вибирати маршрут.

8.3.5 Багатозначність поняття топології

Топологія мережі вказує не тільки на фізичне розташування комп'ютерів, як часто вважають, але, що набагато важливіше, на характер зв'язків між ними, особливості поширення інформації, сигналів по мережі. Саме характер зв'язків визначає ступінь відмовостійкості мережі, необхідну складність мережних апаратур, найбільш підходящий метод керування обміном, можливі типи середовищ передачі (каналів зв'язку), припустимий розмір мережі (довжина ліній зв'язку й кількість абонентів) необхідність електричного узгодження й багато чого іншого.

Більше того, фізичне розташування комп'ютерів, що з'єднуються мережею, майже не впливає на вибір топології. Як би не були розташовані комп'ютери, їх можна з'єднати за допомогою будь-якої заздалегідь обраної топології. У тому випадку, якщо з'єднують комп'ютери, що розташовані по контурі кола, вони можуть з'єднуватися, як зірка або шина. Коли комп'ютери розташовані навколо якогось центра, їх припустимо з'єднати за допомогою топології шина або кільце. Нарешті коли комп'ютери розташовані в одну лінію, вони можуть з'єднуватися зіркою або кільцем. Інша справа, яка буде необхідна довжина кабелю. Строго кажучи, у літературі при згадуванні про топологію мережі, автори можуть мати на увазі чотири зовсім різні поняття, що відносяться до різних рівнів мережної архітектури:

Фізична топологія (географічна схема розташування комп'ютерів і прокладки кабелів). У цьому змісті, наприклад, пасивна зірка нічим не відрізняється від активної, тому її нерідко називають просто зіркою.

Логічна топологія (структура зв'язків, характер поширення сигналів по мережі). Це найбільш правильне визначення топології.

Топологія керування обміном (принцип і послідовність передачі права на захоплення мережі між окремими комп'ютерами).

Інформаційна топологія (напрямок потоків інформації, переданої по мережі).

Наприклад, мережа з фізичною й логічною топологією шина може як метод керування використати естафетну передачу права захоплення мережі (бути в цьому змісті кільцем) і одночасно передавати всю інформацію через виділений комп'ютер (бути в цьому змісті зіркою). Або мережа з логічною топологією шина може мати фізичну топологію зірка (пасивна) або дерево (пасивне). Мережа з будь-якою фізичною топологією, логічною топологією, топологією керування обміном може вважатися зіркою в змісті інформаційної топології, якщо вона побудована на основі одного сервера й декількох клієнтів, що спілкуються тільки із цим сервером. У цьому випадку справедливі всі міркування про низку відмовостійкості мережі до неполадок центра (сервера). Так само будь-яка мережа може бути названа шиною в інформаційному змісті, якщо вона побудована з комп'ютерів, що є одночасно як серверами, так і клієнтами. Така мережа буде мало чутлива до відмов окремих комп'ютерів.

8.4 Типи ліній зв'язку локальних мереж

Середовищем передачі інформації називаються ті лінії зв'язку (або канали зв'язку), по яких виконується обмін інформацією між комп'ютерами. У переважній більшості комп'ютерних мереж (особливо локальних) використовуються провідні або кабельні канали зв'язку, хоча існують і бездротові мережі, які зараз знаходять усе більш широке застосування, особливо в портативних комп'ютерах. Інформація в локальних мережах найчастіше передається в послідовному коді, тобто біт за бітом. Така передача повільніша й складніша, ніж при використанні паралельного коду. Але треба враховувати те, що при більш швидкій паралельній передачі (по декількох кабелях одночасно) збільшується кількість сполучних кабелів у кількість разів, рівну кількості розрядів паралельного коду (наприклад, в 8 разів при 8-розрядному коді). Це зовсім не дріб'язок, як може здатися на перший погляд. При значних відстанях між абонентами мережі вартість кабелю цілком рівноцінна вартості комп'ютерів і навіть може перевершувати її. До того ж прокласти один кабель набагато простіше, ніж 8, 16 або 32. Значно дешевше обійдеться також пошук ушкоджень і ремонт кабелю. Але це ще не все. Передача на великі відстані при будь-якому типі кабелю вимагає складної передавальної й приймальної апаратур, тому що при цьому необхідно формувати потужний сигнал на передавальному кінці й детектувати слабкий сигнал на приймальному кінці. При послідовній передачі для цього потрібно всього один передавач й один приймач. При паралельній же кількості необхідних передавачів і приймачів зростає пропорційно розрядності використовуваного паралельного коду.

У зв'язку із цим, навіть якщо розробляється мережа незначної довжини (порядку десятка метрів) найчастіше вибирають послідовну передачу. До того ж при паралельній передачі надзвичайно важливо, щоб довжини окремих кабелів були точно рівні один одному. Інакше в результаті проходження по кабелях різної довжини між сигналами на приймальному кінці утвориться часове зрушення, що може привести до збоїв у роботі або навіть до повної неприцездатності мережі. Наприклад, при швидкості передачі 100 Мбіт/с і тривалості біта 10 нс це часове зрушення не повинно перевищувати 5-10 нс. Таку величину зрушення дає різниця в довжинах кабелів в 1-2 метри. При довжині кабелю 1000 метрів це становить 0,1-0,2 %. Треба відзначити, що в деяких високошвидкісних локальних мережах все-таки використовують паралельну передачу по 2-4 кабелях, що дозволяє при заданій швидкості передачі застосовувати більш дешеві кабелі з вузькою пропускнуою смугою. Але припустима довжина кабелів при цьому не перевищує сотні метрів. Прикладом може служити сегмент 100BASE-T4 мережі Fast Ethernet. Промисловістю випускається величезна кількість типів кабелів, наприклад, тільки одна найбільша кабельна компанія Belden пропонує більше 2000 їхніх найменувань.

Але всі кабелі можна розділити на три великі групи: електричні (мідні) кабелі на основі кручених пар проводів (*twisted pair*), які діляться на екрановані (*shielded twisted pair, STP*) і неекрановані (*unshielded twisted pair, UTP*); електричні (мідні) коаксіальні кабелі (*coaxial cable*); оптоволоконні кабелі (*fibres optic*). Кожен тип кабелю має свої переваги й недоліки, так що при виборі треба враховувати як особливості розв'язуваного завдання, так й особливості конкретної мережі, у тому числі й топології. Можна виділити наступні основні параметри кабелів, принципово важливі для використання в локальних мережах: смуга пропускання кабелю (частотний діапазон сигналів, що пропускає кабель) і загасання сигналу в кабелі. Два цих параметри тісно зв'язані між собою, бо з ростом частоти сигналу зростає згасання сигналу. Треба вибирати кабель, який на заданій частоті сигналу має прийнятне загасання. Або ж треба вибирати частоту сигналу, на якій згасання ще прийнятне. Згасання вимірюється в децибелах і пропорційне довжині кабелю.

Завадозахищеність кабелю й забезпечувана ним таємність передачі інформації. Ці два взаємозалежні параметри показують, як кабель взаємодіє з навколишнім середовищем, тобто, як він реагує на зовнішні завади, і наскільки просто прослухати інформацію, передану по кабелю. Швидкість поширення сигналу по кабелю або, зворотний параметр – затримка сигналу на метр довжини кабелю. Цей параметр має принципове значення при виборі довжини мережі. Типові величини швидкості поширення сигналу - від 0,6 до 0,8 від швидкості поширення світла у вакуумі. Відповідно типові величини затримок - від 4 до 5 нс/м. Для електричних кабелів дуже важлива величина хвильового опору кабелю. Хвильовий опір важливо враховувати при

узгодженні кабелю для запобігання відбиття сигналу від кінців кабелю. Хвильовий опір залежить від форми й взаєморозташування провідників, від технології виготовлення й матеріалу діелектрика кабелю. Типові значення хвильового опору - від 50 до 150 Ом. На даний час діють наступні стандарти на кабелі: EIA/TIA 568 (*Commercial Building Telecommunications Cabling Standard*) американський; ISO/IEC IS 11801 (*Generic cabling for customer premises*) - міжнародний; CENELEC EN 50173 (*Generic cabling systems*) - європейський. Ці стандарти описують практично однакові кабельні системи, але відрізняються термінологією й нормами на параметри.

8.4.1 Кабелі на основі кручених пар

Кручені пари проводів використовуються в дешевих й сьогодні, мабуть, найбільш популярних кабелях. Кабель на основі кручених пар являє собою кілька пар скручених попарно ізольованих мідних проводів у єдиній діелектричній (пластиковій) оболонці. Він досить гнучкий і зручний для прокладки. Скручування проводів дозволяє звести до мінімуму індуктивні наводки кабелів один на одного й знизити вплив перехідних процесів. Звичайно в кабель входить дві або чотири кручені пари. Неекрановані кручені пари характеризуються слабкою захищеністю від зовнішніх електромагнітних завад, а також від підслуховування, що може здійснюватися з метою, наприклад, промислового шпигунства. При цьому перехоплення переданої по мережі інформації можливе як за допомогою контактного методу (наприклад, за допомогою двох голок, уткнутих у кабель), так і за допомогою безконтактного методу, що зводиться до радіоперехоплення випромінюваних кабелем електромагнітних полів. При цьому дія завад і величина випромінювання збільшується з ростом довжини кабелю. Для усунення цих недоліків застосовується екранування кабелів. У випадку екранованої крученої пари STP кожна із кручених пар поміщається в металеву оплітку-екран для зменшення випромінювань кабелю, захисту від зовнішніх електромагнітних завад і зниження взаємного впливу пар проводів одна на одну (*crosstalk* – перехресні наведення). Для того щоб екран захищав від завад, він повинен бути обов'язково заземлений. Природно, екранована кручена пара значно дорожча, ніж неекранована. Її використання вимагає спеціальних екранованих роз'єднувачів. Тому зустрічається вона значно рідше, ніж неекранована кручена пара. Основні переваги неекранованих кручених пар - простота монтажу роз'єднувачів на кінцях кабелю, а також ремонту будь-яких ушкоджень у порівнянні з іншими типами кабелю. Всі інші характеристики в них гірші, ніж в інших кабелів.

Наприклад, при заданій швидкості передачі загасання сигналу (зменшення його рівня в міру проходження по кабелі) у них більше, ніж у коаксіальних кабелів. Якщо врахувати ще низьку заводо захищеність, то зрозуміло, чому лінії зв'язку на основі кручених пар, як правило, досить короткі (звичайно в межах 100 метрів). На даний час кручена пара використовується для передачі інформації на швидкостях до 1000 Мбіт/с, хоча технічні проблеми, що виникають при таких швидкостях, вкрай складні. Відповідно до стандарту EIA/TIA 568, існують п'ять основних і дві додаткові категорії кабелів на основі неекранованої крученої пари (UTP): Кабель категорії 1 - це звичайний телефонний кабель (пари проводів не кручені), по якому можна передавати тільки мову. Цей тип кабелю має великий розкид параметрів (хвильового опору, смуги пропускання, перехресних наведень). Кабель категорії 2 - це кабель із кручених пар для передачі даних у смузі частот до 1 МГц. Кабель не тестується на рівень перехресних наведень. На даний час він використовується дуже рідко.

Стандарт EIA/TIA 568 не розрізняє кабелі категорій 1 й 2. Кабель категорії 3 - це кабель для передачі даних у смузі частот до 16 МГц, що складається із кручених пар з дев'ятьма витками проводів на метр довжини. Кабель тестується на всі параметри й має хвильовий опір 100 Ом. Це найпростіший тип кабелів, рекомендований стандартом для локальних мереж. Ще недавно він був найпоширенішим, але зараз повсюдно витісняється кабелем категорії 5. Кабель категорії 4 - це кабель, що передає дані в смузі частот до 20 МГц. Використовується рідко, тому що не надто помітно відрізняється від категорії 3. Стандартом рекомендується замість кабелю категорії 3 переходити відразу на кабель категорії 5. Кабель категорії 4 тестується на всі параметри й має хвильовий опір 100 Ом. Кабель був створений для роботи в мережах по стандарту IEEE 802.5. Кабель категорії 5 - у цей час найбільш поширений кабель, розрахований на передачу даних у смузі частот до 100 МГц. Складається із кручених пар, що мають не менше 27 витків на метр

довжини (8 витків на фут). Кабель тестується на всі параметри й має хвильовий опір 100 Ом. Рекомендується застосовувати його в сучасних високошвидкісних мережах типу Fast Ethernet й TPFFDI. Кабель категорії 5 приблизно на 30-50 % дорожчий, ніж кабель категорії 3. Кабель категорії 6 - перспективний тип кабелю для передачі даних у смузі частот до 200 (або 250) МГц. Кабель категорії 7 - перспективний тип кабелю для передачі даних у смузі частот до 600 МГц. Відповідно до стандарту EIA/TIA 568, повний хвильовий опір найбільш поширених кабелів категорій 3, 4 й 5 повинен становити 100 Ом $\pm 15\%$ у частотному діапазоні від 1 МГц до максимальної частоти кабелю. Вимоги не дуже жорсткі: величина хвильового опору може знаходитися в діапазоні від 85 до 115 Ом. Тут же слід зазначити, що хвильовий опір екранованої крученої пари STP по стандарту повинен бути рівним 150 Ом $\pm 15\%$.

Для узгодження опорів кабелю й устаткування у випадку їхньої розбіжності застосовують трансформатори (Balun). Існує також екранована кручена пара із хвильовим опором 100 Ом, але використовується вона досить рідко. Стандарт визначає також максимально припустиму величину робочої ємності кожної із кручених пар кабелів категорії 4 й 5. Вона повинна становити не більше 17 нФ на 305 метрів (1000 футів) при частоті сигналу 1 кГц і температурі навколишнього середовища 20° С. Для приєднання кручених пар використовуються роз'єднувачі (конектори) типу RJ-45, схожі на роз'єднувачі, що використовуються в телефонах (RJ-11), але трохи більші за розміром. Роз'єднувачі RJ-45 мають вісім контактів замість чотирьох у випадку RJ-11. Приєднуються роз'єднувачі до кабелю за допомогою спеціальних затискних інструментів. При цьому золочені голчасті контакти роз'єднувачів проколюють ізоляцію кожного проводу, входять між його жилами й забезпечують надійне і якісне з'єднання. Треба враховувати, що при установці роз'єднувачів стандартом допускаються розплітання крученої пари кабелю на довжину не більше одного сантиметру. Найчастіше кручені пари використовуються для передачі даних в одному напрямку (точка-точка), тобто в топологіях типу зірка або кільце. Топологія шина звичайно орієнтується на коаксіальний кабель. Тому зовнішні термінатори, що завершують непідключені кінці кабелю, для кручених пар практично ніколи не застосовуються. Кабелі випускаються із двома типами зовнішніх оболонок: Кабель у полівінілхлоридній (ПВХ, PVC) оболонці дешевший й призначений для роботи в порівняно комфортних умовах експлуатації. Кабель у тефлоновій оболонці дорожчий й призначений для більш жорстких умов експлуатації. Кабель у ПВХ оболонці називається ще non-plenum, а в тефлоновій - plenum. Термін plenum означає в цьому випадку простір під фальшполом і над підвісною стелею, де зручно розміщати кабелі мережі.

Для прокладки в цих схованих від очей просторах найбільш зручний кабель у тефлоновій оболонці, що, зокрема, горить набагато гірше, ніж ПВХ - кабель, і не виділяє при цьому отруйних газів у великій кількості. Ще один важливий параметр будь-якого кабелю, що не визначається жорстко стандартом, але може істотно вплинути на працездатність мережі, - це швидкість поширення сигналу в кабелі або, інакше кажучи, затримка поширення сигналу в кабелі, в розрахунку на одиницю довжини. Виробники кабелів іноді вказують величину затримки на метр довжини, а іноді - швидкість поширення сигналу щодо швидкості світла (або *NVP - Nominal Velocity of Propagation*, як її часто називають у документації). Зв'язані ці дві величини простою формулою:

$$t_3 = 1 / (3 \times 10^8 \times NVP) \quad (14.1)$$

де t_3 - величина затримки на метр довжини кабелю в наносекундах. Наприклад, якщо $NVP=0,65$ (65 % від швидкості світла), то затримка t_3 буде дорівнювати 5,13 нс/м. Типова величина затримки більшості сучасних кабелів становить близько 4—5 нс/м. Варто також відзначити, що кожен із проводів, що входять у кабель на основі кручених пар, як правило, має свої кольори ізоляції, що істотно спрощує монтаж роз'єднувачів, особливо в тому випадку, коли кінці кабелю перебувають у різних кімнатах, і контроль за допомогою приладів утруднений.

Прикладом кабелю з екранованими крученими парами може служити кабель STP IBM типу 1, що містить у собі дві екрановані кручені пари AWG типу 22. Хвильовий опір кожної пари становить 150 Ом. Для цього кабелю застосовуються спеціальні роз'єднувачі, що відрізняються від роз'єднувачів для неекранованої крученої пари (наприклад, DB9). Є й екрановані версії

8.4.2 Коаксіальні кабелі

Коаксіальний кабель являє собою електричний кабель, що складається із центрального мідного проводу й металеві оплітки (екрану), розділених між собою шаром діелектрика (внутрішньої ізоляції) і поміщених у загальну зовнішню оболонку.

Коаксіальний кабель донедавна був дуже популярний, що пов'язано з його високою заводо захищеністю (завдяки металевій оплітці), більш широкими, ніж у випадку крученої пари, пропускними смугами (понад 1 ГГц), а також більшими припустимими відстанями передачі (до кілометра). До нього складніше механічно підключитися для несанкціонованого прослуховування мережі, він дає також помітно менше електромагнітних випромінювань зовні. Однак монтаж і ремонт коаксіального кабелю істотно складніший, ніж крученої пари, а вартість його вище (він дорожчий приблизно в 1,5 - 3 рази). Складніша й установка роз'єднувачів на кінцях кабелю. Зараз його застосовують рідше, ніж кручену пару. Стандарт EIA/TIA-568 містить у собі тільки один тип коаксіального кабелю, застосовуваний у мережі *Ethernet*. Основне застосування коаксіальний кабель знаходить у мережах з топологією типу шина. При цьому на кінцях кабелю обов'язково повинні встановлюватися термінатори для запобігання внутрішніх відбиттів сигналу, причому один (і тільки один!) з термінаторів повинен бути заземлений. Без заземлення металева оплітка не захищає мережу від зовнішніх електромагнітних завод і не знижує випромінювання переданої по мережі інформації в зовнішнє середовище. Але при заземленні оплітки у двох або більше точках з ладу може вийти не тільки мережне устаткування, але й комп'ютери, підключені до мережі. Термінатори повинні бути обов'язково погоджені з кабелем, необхідно, щоб їхній опір дорівнював хвильовому опору кабелю. Наприклад, якщо використовується 50-омний кабель, для нього підходять тільки 50-омні термінатори. Рідше коаксіальні кабелі застосовуються в мережах з топологією зірка (наприклад, пасивна зірка в мережі Arcnet). У цьому випадку проблема узгодження істотно спрощується, тому що зовнішніх термінаторів на вільних кінцях не потрібно. Хвильовий опір кабелю вказується в супровідній документації. Найчастіше в локальних мережах застосовуються 50-омні (RG-58, RG-11, RG-8) і 93-омні кабелі (RG-62). Розповсюджені в телевізійній техніці 75-омні кабелі в локальних мережах не використовуються. Марок коаксіального кабелю небагато. Він не вважається особливо перспективним. Не випадково в мережі Fast Ethernet не передбачене застосування коаксіальних кабелів. Однак у багатьох випадках класична шинна топологія (а не пасивна зірка) дуже зручна. Вона не вимагає застосування додаткових пристроїв - концентраторів. Існує два основних типи коаксіального кабелю: тонкий (thin) кабель, що має діаметр близько 0,5 см, більш гнучкий; товстий (thick) кабель, діаметром близько 1 см, значно більш твердий. Він являє собою класичний варіант коаксіального кабелю, що уже майже повністю витіснений сучасним тонким кабелем.

Тонкий кабель використовується для передачі на менші відстані, ніж товстий, оскільки сигнал у ньому згасає сильніше. Зате з тонким кабелем набагато зручніше працювати: його можна оперативно прокласти до кожного комп'ютера, а товстий вимагає твердої фіксації на стіні приміщення. Підключення до тонкого кабелю (за допомогою роз'єднувачів BNC байонетного типу) простіше й не вимагає додаткового устаткування. А для підключення до товстого кабелю треба використати спеціальні досить дорогі пристрої, що проколюють його оболонки й встановлюють контакт як із центральною жилою, так і з екраном. Товстий кабель приблизно вдвічі дорожчий, ніж тонкий, тому тонкий кабель застосовується набагато частіше. Як й у випадку кручених пар, важливим параметром коаксіального кабелю є тип його зовнішньої оболонки. Так само в цьому випадку застосовуються як non-plenum (PVC), так й plenum кабелі. Природно, тефлоновий кабель дорожчий полівінілхлоридного. Звичайно тип оболонки можна відрізнити за пофарбуванням (наприклад, для PVC кабелю фірма Belden використовує жовті кольори, а для тефлонового - жовтогарячий). Типові величини затримки поширення сигналу в коаксіальному кабелі становлять для тонкого кабелю близько 5 нс/м, а для товстого близько 4,5 нс/м. Існують варіанти коаксіального кабелю з подвійним екраном (один екран розташований усередині іншого й відділений від нього додатковим шаром ізоляції). Такі кабелі мають кращу заводо захищеність і захист.

8.4.3 Оптиволоконні кабелі

Оптиволоконний (він же волоконно-оптичний) кабель - це принципово інший тип кабелю в порівнянні з розглянутими двома типами електричного або мідного кабелю. Інформація з нього передається не електричним сигналом, а світловим. Головний його елемент - це прозоре скловолокно, по якому світло проходить на величезні відстані (до десятків кілометрів) з незначним ослабленням. Структура оптиволоконного кабелю дуже проста й схожа на структуру коаксіального електричного кабелю. Тільки замість центрального мідного проводу тут використовується тонке (діаметром близько 1 - 10 мкм) скловолокно, а замість внутрішньої ізоляції - скляна або пластикова оболонка, що не дозволяє світлу виходити за межі скловолокна. У цьому випадку мова йде про режим так званого повного внутрішнього відбиття світла від границі двох речовин з різними коефіцієнтами заломлення (у скляної оболонки коефіцієнт заломлення значно нижчий, ніж у центрального волокна). Металева оплітка кабелю зазвичай відсутня, тому що екранування від зовнішніх електромагнітних завад тут не потрібно.

Однак іноді її все-таки застосовують для механічного захисту від навколишнього середовища (такий кабель іноді називають броньовим, він може поєднувати під однією оболонкою декілька оптиволоконних кабелів). Оптиволоконний кабель має виняткові характеристики по заводо захищеності й таємності переданої інформації. Ніякі зовнішні електромагнітні завади в принципі не здатні спотворити світловий сигнал, а сам сигнал не породжує зовнішніх електромагнітних випромінювань. Підключитися до цього типу кабелю для несанкціонованого прослуховування мережі практично неможливо, тому що при цьому порушується цілісність кабелю. Теоретично можлива пропускна смуга такого кабелю досягає значення 10^{12} Гц, тобто 1000 ТГц, що незрівнянно вище, ніж в електричних кабелів. Вартість оптиволоконного кабелю постійно знижується й зараз приблизно дорівнює вартості тонкого коаксіального кабелю. Типова величина згасання сигналу в оптиволоконних кабелях на частотах, використовуваних у локальних мережах, становить від 5 до 20 дБ/км, що приблизно відповідає показникам електричних кабелів на низьких частотах. Але у випадку оптиволоконного кабелю при рості частоти переданого сигналу згасання різко зростає, і на великих частотах (особливо понад 200 МГц) його переваги перед електричним кабелем незаперечні, у нього просто немає конкурентів. Однак оптиволоконний кабель має й деякі недоліки. Найголовніший з них - висока складність монтажу (при установці роз'єднувачів необхідна мікронна точність, від точності відколу скловолокна й ступеня його полірування сильно залежить згасання в роз'єднувачі). Для установки роз'єднувачів застосовують зварювання або склеювання за допомогою спеціального гелю, що має такий же коефіцієнт заломлення світла, що й скловолокно. У кожному разі для цього потрібна висока кваліфікація персоналу й спеціальні інструменти.

Тому найчастіше оптиволоконний кабель продається у вигляді заздалегідь нарізаних шматків різної довжини, на обох кінцях яких уже встановлені роз'єднувачі потрібного типу. Варто пам'ятати, що неякісна установка роз'єднувача різко знижує припустиму довжину кабелю, обумовлену згасанням. Також треба пам'ятати, що використання оптиволоконного кабелю вимагає спеціальних оптичних приймачів і передавачів, що перетворюють світлові сигнали в електричні й назад, що часом істотно збільшує вартість мережі в цілому. Оптиволоконні кабелі допускають розгалуження сигналів (для цього виробляються спеціальні пасивні розгалужувачі (*couplers*) на 2—8 каналів), але, як правило, їх використовують для передачі даних тільки в одному напрямку між одним передавачем й одним приймачем. Адже будь-яке розгалуження неминуче сильно послаблює світловий сигнал, і якщо розгалужень буде багато, те світло може просто не дійти до кінця мережі. Крім того, у розгалужувачі є й внутрішні втрати, так що сумарна потужність сигналу на виході менше вхідної потужності. Оптиволоконний кабель менш міцний і гнучкий, чим електричний.

Типова величина припустимого радіуса вигину становить близько 10 - 20 градусів, при менших радіусах вигину центральне волокно може зламатися. Погано переносить кабель механічне розтягання та здавлювання. Чутливий оптиволоконний кабель і до іонізуючих випромінювань, через які знижується прозорість скловолокна, тобто збільшується згасання сигналу. Різкі перепади температури також негативно позначаються на ньому, скловолокно може

тріснути. Застосовують оптоволоконний кабель тільки в мережах з топологією зірка й кільце. Ніяких проблем узгодження й заземлення в цьому випадку не існує. Кабель забезпечує ідеальну гальванічну розв'язку комп'ютерів мережі. У майбутньому цей тип кабелю, імовірно, витіснить електричні кабелі або, у всякому разі, сильно потіснить їх. Запаси міді на планеті знижуються, а сировини для виробництва скла цілком достатньо. Існують два різні типи оптоволоконного кабелю: багатомодовий або мультимодовий кабель, більш дешевий, але менш якісний; одномодовий кабель, більше дорогий, але має кращі характеристики в порівнянні з першим.

Суть розходження між цими двома типами зводиться до різних режимів проходження світлових променів у кабелі. В одномодовому кабелі практично всі промені проходять один і той самий шлях, у результаті чого вони досягають приймача одночасно, і форма сигналу майже не спотворюється. Одномодовий кабель має діаметр центрального волокна близько 1,3 мкм і передає світло тільки з такою ж довжиною хвилі (1,3 мкм). Дисперсія й втрати сигналу при цьому дуже незначні, що дозволяє передавати сигнали на значно більшу відстань, ніж у випадку застосування багатомодового кабелю. Для одномодового кабелю застосовуються лазерні прийомопередавачі, що приймають світло з винятково встановленою довжиною хвилі. Такі прийомопередавачі поки ще порівняно дорогі й не довговічні. Однак у перспективі одномодовий кабель повинен стати основним типом завдяки своїм прекрасним характеристикам. До того ж лазери мають більшу швидкодію, ніж звичайні світлодіоди. Згасання сигналу в одномодовому кабелі становить близько 5 дБ/км і може бути навіть знижене до 1 дБ/км. У багатомодовому кабелі траєкторії світлових променів мають помітний розкид, у результаті чого форма сигналу на прийомному кінці кабелю спотворюється. Центральне волокно має діаметр 62,5 мкм, а діаметр зовнішньої оболонки 125 мкм (це іноді позначається як 62,5/125). Для передачі використовується звичайний (не лазерний) світлодіод, що знижує вартість і збільшує термін служби прийомопередавачів у порівнянні з одномодовим кабелем. Довжина хвилі світла в багатомодовому кабелі дорівнює 0,85 мкм, при цьому спостерігається розкид довжин хвиль близько 30 - 50 нм. Припустима довжина кабелю становить 2 - 5 км. Багатомодовий кабель - це основний тип оптоволоконного кабелю на даний час, тому що він дешевший й доступніший. Згасання в багатомодовому кабелі більше, ніж в одномодовому і становить 5 - 20 дБ/км.

Типова величина затримки для найпоширеніших кабелів становить близько 4-5 нс/м, що близько до величини затримки в електричних кабелях. Оптоволоконні кабелі, як й електричні, випускаються у виконанні plenum й non-plenum.

8.4.4 Безкабельні канали зв'язку

Крім кабельних каналів у комп'ютерних мережах іноді використовуються також безкабельні канали. Їхня головна перевага полягає в тому, що не потрібно ніякої прокладки проводів (не треба робити отворів у стінах, закріплювати кабель у трубах і ринвах, прокладати його під фальшполами, над підвісними стелями або у вентиляційних шахтах, шукати й усувати ушкодження). До того ж комп'ютери мережі можна легко переміщувати в межах кімнати або будинку, тому що вони ні до чого не прив'язані. Радіоканал використовує передачу інформації з радіохвиль, тому теоретично він може забезпечити зв'язок на багато десятків, сотні й навіть тисячу кілометрів. Швидкість передачі досягає десятків мегабіт у секунду (тут багато чого залежить від обраної довжини хвилі й способу кодування). Особливість радіоканалу полягає в тому, що сигнал вільно випромінюється в ефір, він не замкнений у кабель, тому виникають проблеми сумісності з іншими джерелами радіохвиль (радіо- і телеоповіщувальними станціями, радаром, радіоаматорськими й професійними передавачами й т.д.). У радіоканалі використовується передача у вузькому діапазоні частот і модуляція інформаційним сигналом сигналу несучої частоти. Головним недоліком радіоканалу є його поганий захист від прослуховування, тому що радіохвилі поширюються неконтрольовано. Інший великий недолік радіоканалу - слабка завадозахищеність.

Для локальних бездротових мереж (*WLAN - Wireless LAN*) у цей час застосовуються підключення по радіоканалу на невеликих відстанях (звичайно до 100 метрів) і в межах прямої видимості. Найчастіше використовуються два частотних діапазони - 2,4 ГГц й 5 ГГц. Швидкість передачі - до 54 Мбіт/с. Розповсюджений варіант зі швидкістю 11 Мбіт/с. Мережі WLAN

дозволяють установлювати бездротові мережні з'єднання на обмеженій території (зазвичай усередині офісного або університетського будинку або в таких громадських місцях, як аеропорти). Вони можуть використовуватися в тимчасових офісах або в інших місцях, де прокладка кабелів неможлива, а також як доповнення до наявної провідної локальної мережі, покликаною забезпечити користувачам можливість працювати, переміщаючись по будинку. Популярна технологія Wi-Fi (*Wireless Fidelity*) дозволяє організувати зв'язок між комп'ютерами кількістю від 2 до 15 за допомогою концентратора (названого точкою доступу, Access Point, AP), або декількох концентраторів, якщо комп'ютерів від 10 до 50. Крім того, ця технологія дає можливість зв'язати дві локальні мережі на відстані до 25 кілометрів за допомогою потужних бездротових мостів. Важливо, що багато мобільних комп'ютерів (ноутбуків) уже мають вбудований контролер *Wi-Fi*, що істотно спрощує їхнє підключення до бездротової мережі.

Радіоканал широко застосовується в глобальних мережах як для наземного, так і для супутникового зв'язку. При такому застосуванні радіоканал немає конкурентів, тому що радіохвилі можуть дійти до будь-якої точки земної кулі. Інфрачервоний канал також не вимагає сполучних проводів, тому що використовує для зв'язку інфрачервоне випромінювання (подібно пульту дистанційного керування домашнього телевізора). Головна його перевага в порівнянні з радіоканалом - нечутливість до електромагнітних перешкод, що дозволяє застосовувати його, наприклад, у виробничих умовах, де завжди багато заводів від силового устаткування. Правда, у цьому випадку потрібна досить висока потужність передачі, щоб не впливали ніякі інші джерела теплового (інфрачервоного) випромінювання.

Погано працює інфрачервоний зв'язок й в умовах сильної запиленості повітря. Швидкості передачі інформації з інфрачервоного каналу звичайно не перевищують 5-10 Мбіт/с, але при використанні інфрачервоних лазерів може бути досягнута швидкість більше 100 Мбіт/с. Таємність переданої інформації, як й у випадку радіоканалу, не досягається, також потрібні порівняно дорогі приймачі й передавачі. Все це призводить до того, що застосовують інфрачервоні канали в локальних мережах досить рідко. В основному вони використовуються для зв'язку комп'ютерів з периферією (інтерфейс IrDA). Інфрачервоні канали діляться на дві групи:

Канали прямої видимості, у яких зв'язок здійснюється на променях, що йдуть безпосередньо від передавача до приймача. При цьому зв'язок можливий тільки при відсутності заводів між комп'ютерами мережі. Зате довжина каналу прямої видимості може досягати декількох кілометрів.

Канали на розсіяному випромінюванні, які працюють на сигналах, відбитих від стін, стелі, підлоги й інших заводів. Заводи в цьому випадку не заважають, але зв'язок може здійснюватися тільки в межах одного приміщення. Якщо говорити про можливі топології, то найбільш природно всі бездротові канали зв'язку підходять для топології типу шина, у якій інформація передається одночасно всім абонентам. Але при використанні вузьконаправленої передачі і/або частотного поділу по каналах можна реалізувати будь-які топології (кільце, зірка, комбіновані топології) як на радіоканалі, так і на інфрачервоному каналі.

8.5 Технології локальних мереж

Комп'ютерна мережа — система зв'язку між двома чи більше комп'ютерами. У ширшому розумінні **комп'ютерна мережа (КМ)** — це система зв'язку через кабельне чи повітряне середовище, самі комп'ютери різного функціонального призначення і мережеве обладнання. Середовищами передавання у комп'ютерних мережах можуть бути телефонні кабелі, коаксіальні кабелі, виті пари та волоконно-оптичні кабелі.

В локальних мережах, як правило, використовується середовище передачі даних - моноканал, що розділяється, і основна роль відводиться протоколам фізичного і канального рівнів, оскільки ці рівні найбільшою мірою відображають специфіку локальних мереж. Мережева технологія — це погоджений набір стандартних протоколів і достатніх для побудови локальної обчислювальної мережі програмно-апаратних засобів, що їх реалізують. Мережеві технології називають базовими технологіями або мережевою архітектурою локальних мереж. Мережева технологія або архітектура визначає топологію і метод доступу до середовища передачі даних, кабельну систему або середовище передачі даних, формат мережевих кадрів тип кодування сигналів, швидкість

передачі в локальній мережі. У сучасних локальних обчислювальних мережах широкого поширення набули такі технології або мережева архітектура, як: *Ethernet*, *Token-ring*, *Arcnet*, *FDDI*.

На даний час ця мережева технологія найбільш популярна в світі. Популярність забезпечується простими, надійними і недорогими технологіями. У класичній локальній мережі *Ethernet* застосовується стандартний коаксіальний кабель двох видів (товстий і тонкий). Проте все більшого поширення набула версія *Ethernet*, що використовує як середовище передачі виті пари, оскільки монтаж і обслуговування їх набагато простіший.

У локальних мережах *Ethernet* застосовуються топології типу «шина» і типу «пасивна зірка», а метод доступу *Csma/cd*. Стандарт *Ieee802.3* залежно від типу середовища передачі даних має модифікації: *10BASE5* (товстий коаксіальний кабель) — забезпечує швидкість передачі даних 10 Мбіт/с і довжину сегменту до 500м; *10BASE2* (тонкий коаксіальний кабель) — забезпечує швидкість передачі даних 10 Мбіт/с і довжину сегменту до 200м; *10base-t* (неекранована витаюча пара) — дозволяє створювати мережу по топології зірка. Відстань від концентратора до кінцевого вузла до 100м. Загальна кількість вузлів не повинна перевищувати 1024; *10base-f* (оптоволоконний кабель) — дозволяє створювати мережу по топології зірка. Відстань від концентратора до кінцевого вузла до 2000м.

З розвитком мережевої технології *Ethernet* створені високошвидкісні варіанти: *Ieee802.3u/fast Ethernet* і *Ieee802.3z/gigabit Ethernet*. Основна топологія, яка використовується в локальних мережах *Fast Ethernet* і *Gigabit Ethernet* - пасивна зірка. Мережева технологія *Fast Ethernet* забезпечує швидкість передачі 100 Мбіт/с і має три модифікації:

- *100BASE-T4* — використовується неекранована вита пара (почетверена вита пара). Відстань від концентратора до кінцевого вузла до 100м;
- *100base-tx* — використовуються дві виті пари (неекранована і екранована). Відстань від концентратора до кінцевого вузла до 100м;
- *100base-fx* — використовується оптоволоконний кабель (два волокна в кабелі). Відстань від концентратора до кінцевого вузла до 2000м .

Мережева технологія локальних мереж *Gigabit Ethernet*

- забезпечує швидкість передачі 1000 Мбіт/с.
- Існують такі модифікації стандарту:
- *1000base-sx* — застосовується оптоволоконний кабель з довжиною хвилі світлового сигналу 850 нм;
- *1000base-lx* — використовується оптоволоконний кабель з довжиною хвилі світлового сигналу 1300 нм;
- *1000base-cx*—використовується екранована вита пара;
- *1000base-t* — застосовується почетверена неекранована вита пара.

Локальні мережі *Fast Ethernet* і *Gigabit Ethernet* сумісні з локальними мережами, виконаними за технологією (стандарту) *Ethernet*, тому легко і просто сполучати сегменти *Ethernet*, *Fast Ethernet* і *Gigabit Ethernet* в єдину обчислювальну мережу. Мережеві технології локальних мереж *Ieee802.5/token-ring* передбачають використання середовища передачі даних, яке утворюється об'єднанням всіх вузлів в кільце, що розділяється. Мережа *Token-ring* має зірково-кільцеву топологію (основна кільцева і додаткова зіркова топологія). Для доступу до середовища передачі даних використовується маркерний метод (детермінований маркерний метод). Стандарт підтримує виту пару (екрановану і неекрановану) і оптоволоконний кабель. Максимальне число вузлів на кільці— 260, максимальна довжина кільця— 4000 м. Швидкість передачі даних до 16 Мбіт/с. Мережеві технології локальних мереж *Ieee802.4/arcnet*. Як топологію локальна мережа *Arcnet* використовує «шину» і «пасивну зірку». Підтримує екрановану і неекрановану виту пару і оптоволоконний кабель. У мережі *Arcnet* для доступу до середовища передачі даних використовується метод передачі повноважень. Локальна мережа *Arcnet* — це одна із старих мереж і мала чимале застосування. Серед основних переваг локальної мережі *Arcnet* можна назвати високу надійність, низьку вартість адаптерів і гнучкість. Основним недоліком мережі є низька швидкість передачі інформації (2,5 Мбіт/с). Максимальна кількість абонентів — 255. Максимальна довжина мережі — 6000 метрів. Мережеві технології локальних мереж *FDDI (Fiber*

Distributed Data Interface) FDDI - стандартизована специфікація для мережевої архітектури високошвидкісної передачі даних по оптоволоконних лініях. Швидкість передачі — 100 Мбіт/с. Ця технологія багато в чому базується на архітектурі *Token-ring* і використовується детермінований маркерний доступ до середовища передачі даних. Максимальна протяжність кільця мережі — 100 км. Максимальна кількість абонентів мережі — 500. Мережа *FDDI* — це дуже високонадійна мережа, яка створюється на основі двох оптоволоконних кілець, створюючих основий і резервний шляхи передачі даних між вузлами.

Технологія *ADSL* (*Asymmetric Digital Subscriber Line* — Асиметрична цифрова абонентська лінія) входить до числа технологій високошвидкісної передачі даних, відомих як технології *DSL* (*Digital Subscriber Line* — Цифрова абонентська лінія), які мають загальне позначення *xdsl*. Детальніше див. в Бібліотеці. Технологія *VDSL* (*Very high bitrate Digital Subscriber Line* — надвисокошвидкісна цифрова абонентська лінія) Технологія *VDSL* є найбільш високошвидкісною технологією *xdsl*. Вона забезпечує швидкість передачі даних «низхідного» потоку в межах від 13 до 54 Мбіт/с, а швидкість передачі даних «висхідного» потоку в межах від 1,5 до 33 Мбіт/с, причому по одній витій парі телефонних дротів.

Технологія *VDSL* може розглядатися як економічно ефективна альтернатива прокладенню волоконно-оптичного кабелю до кінцевого користувача. Проте, максимальна відстань передачі даних для цієї технології складає від 300 до 1700 метрів. Існує також симетричний варіант *VDSL* (до 33 Мбіт/с в кожному напрямі). Технологія *VDSL* може використовуватися з тими ж цілями, що і *ADSL* (використовувати паралельно телефонну лінію для високошвидкісної передачі даних і традиційного телефонного зв'язку). Технологія *ISDL* (*ISDN Digital Subscriber Line* — цифрова абонентська лінія *ISDN*) Технологія *ISDL* забезпечує цілком дуплексну передачу даних на швидкості до 144 Кбіт/с. На відміну від *ADSL* можливості *ISDL* обмежуються лише передачею даних. Технологія *HOMEPNA*. Технологія *HOMEPNA* 1.0 (1 Мбіт/с) використовує метод *IEEE 802.3 Csmacd* (*Ethernet*) доступу до середовища передачі. Смуга пропускання сигналу розташована в межах від 5,5 МГц до 9,5 МГц, що дозволяє не впливати на роботу *ADSL* і *VDSL* — пристроїв і телефонів. У *HOMEPNA* застосовується багаторазове кодування одиночного бітового імпульсу. В середині кожного мережевого інтерфейсу ланцюг приймача адаптується до різних рівнів завад, які можуть виникнути в лінії. На додаток до цього передавальний ланцюг може варіювати рівень сигналу. Приймаючий і передавальний ланцюги постійно контролюють умови проходження сигналу і підстроюють свої параметри під ці умови.

Саме ця адаптивність дозволила істотно понизити вимоги до середовища передачі. По суті, технологія *HPNA* — це мегабітний *Ethernet*, що працює по телефонних дротах. Це дозволяє використовувати велике число *Ethernet* — сумісних програм, драйверів, додатків і устаткування. Технологія *PON* (*Passive Optical Networks*). Пасивні оптичні мережі або строго оптичні мережі з пасивним розподілом — це оптична кабельна система з топологією дерева, що використовує пасивні оптичні розгалужувачі *1:n*. Між центральним вузлом і віддаленими абонентськими вузлами створюється цілком пасивна оптична мережа, що має топологію дерева. У проміжних вузлах дерева розміщуються пасивні оптичні розгалужувачі, що розподіляють загальний сигнал джерела на багато абонентських приймачів. Висхідні потоки від абонентів йдуть по зворотному каналу з використанням протоколу множинного доступу з тимчасовим розділенням (*TDMA*). Технологія *MPLS* (*Multiprotocol Label Switching*) *Multiprotocol Label Switching* — мультипротокольна комутація на основі міток, розроблена комітетом *IETF*, з'явилася в результаті злиття різних фірмових механізмів, таких, як *IP Switching* (*Ipsilon*), *Tag Switching* (*Cisco Systems*), *Aris* (*IBM*) і *Cell Switch Router* (*Toshiba*). У її основі лежить принцип відображення мережевих адрес на спеціальні мітки, які можуть використовуватися для маршрутизації пакетів. У архітектурі *MPLS* зібрані найбільш вдалі елементи всіх згаданих фірмових механізмів, і завдяки зусиллям *IETF* і компаній, зацікавлених в швидкому просуванні даної технології на ринку, вона перетворилася на стандарт *Internet*.

8.6 Мережа Ethernet

Найбільше поширення серед стандартних мереж одержала мережа *Ethernet*. Вперше вона з'явилася в 1972 році (розробником виступила відома фірма *Xerox*). Мережа виявилася досить

вдалою, і внаслідок цього її в 1980 році підтримали такі найбільші компанії, як *DEC* й *Intel* (об'єднання цих компаній назвали *DIX* по перших буквах їхніх назв). Їхніми стараннями в 1985 році мережа *Ethernet* стала міжнародним стандартом, її прийняли найбільші міжнародні організації по стандартах: комітет 802 *IEEE* (*Institute of Electrical and Electronic Engineers*) і *ECMA* (*European Computer Manufacturers Association*). Стандарт одержав назву *IEEE 802.3* (по-англійськи читається як "*eight oh two dot three*"). Він визначає множинний доступ до моноканалу типу шина з виявленням конфліктів і контролем передачі. Цьому стандарту задовільняли й деякі інші мережі, тому що рівень його деталізації невисокий. У результаті мережі стандарту *IEEE 802.3* нерідко були несумісні між собою як по конструктивних, так і по електричних характеристиках. Однак останнім часом стандарт *IEEE 802.3* вважається стандартом саме мережі *Ethernet*.

Основні характеристики стандарту *IEEE 802.3*:

- топологія - шина;
- середовище передачі - коаксіальний кабель;
- швидкість передачі - 10 Мбіт/с;
- максимальна довжина мережі - 5 км;
- максимальна кількість абонентів - до 1024;
- довжина сегмента мережі - до 500 м;
- кількість абонентів на одному сегменті - до 100;
- метод доступу - CSMA/CD;
- передача вузькосмугова, тобто без модуляції (моноканал).

Мережа *Ethernet* найбільш популярна у світі (більше 90% ринку), приблизно такою вона й залишиться в найближчі роки. Цьому в чималій мірі сприяло те, що із самого початку характеристики, параметри, протоколи мережі були відкриті, у результаті чого величезне число виробників в усьому світі стали випускати апаратуру *Ethernet*, повністю сумісну між собою.

У класичній мережі *Ethernet* застосовувався 50-омний коаксіальний кабель двох видів (товстий і тонкий). Останнім часом (з початку 90-х років) найбільше поширення отримала версія *Ethernet*, що використовує як середовище передачі кручені пари. Визначений також стандарт для застосування в мережі оптоволоконного кабелю. Для обліку цих змін у споконвічний стандарт *IEEE 802.3* були зроблені відповідні зміни. В 1995 році з'явився додатковий стандарт на більш швидку версію *Ethernet*, що працює на швидкості 100 Мбіт/с (так званий *Fast Ethernet*, стандарт *IEEE 802.3u*), що використовує як середовище передачі кручену пару або оптоволоконний кабель. В 1997 році з'явилася й версія на швидкості 1000 Мбіт/с (*Gigabit Ethernet*, стандарт *IEEE 802.3z*).

Крім стандартної топології шина все ширше застосовуються топології типу пасивна зірка й пасивне дерево. При цьому передбачається використання репітерів і репітерних концентраторів, що з'єднують між собою різні частини (сегменти) мережі. У результаті може сформуватися деревоподібна структура на сегментах різних типів. Як сегмент (частина мережі) може виступати класична шина або одиничний абонент. Для шинних сегментів використовується коаксіальний кабель, а для променів пасивної зірки (для приєднання до концентратора одиночних комп'ютерів) - кручена пара й оптоволоконний кабель. Головна вимога до отриманої в результаті топології - щоб у ній не було замкнутих шляхів (петель). Фактично виходить, що всі абоненти з'єднані у фізичну шину, адже сигнал від кожного з них поширюється відразу в усі сторони й не повертається назад (як у кільці).

Максимальна довжина кабелю мережі вцілому (максимальний шлях сигналу) теоретично може досягати 6,5 кілометрів, але практично не перевищує 3,5 кілометрів.

У мережі *Fast Ethernet* не передбачена фізична топологія шина, використовується тільки пасивна зірка або пасивне дерево. До того ж в *Fast Ethernet* набагато більш жорсткі вимоги до граничної довжини мережі. Адже при збільшенні в 10 разів швидкості передачі й збереженні формату пакета його мінімальна довжина стає в десять разів коротша. У такий спосіб в 10 разів зменшується припустима величина подвійного часу проходження сигналу по мережі (5,12 мкс проти 51,2 мкс в *Ethernet*). Для передачі інформації в мережі *Ethernet* застосовується стандартний манчестерський код.

Доступ до мережі *Ethernet* здійснюється по випадковому методу CSMA/CD, що забезпечує рівноправність абонентів. Довжина кадру *Ethernet* (тобто пакета без преамбули) повинна бути не

менш 512 бітових інтервалів або 51,2 мкс (саме така гранична величина подвійного часу проходження в мережі).

Передбачено індивідуальну, групову й ширококомовну адресацію.

У пакет Ethernet входять наступні поля:

- Преамбула складається з 8 байт, перші сім являють собою код 10101010, а останній байт - код 10101011. У стандарті IEEE 802.3 восьмий байт називається ознакою початку кадру (SFD - Start of Frame Delimiter) і утворює окреме поле пакету.

- Адреси одержувача (приймача) і відправника (передавача) включають по 6 байт. Ці адресні поля обробляються апаратурами абонентів.

- Поле керування (L/T - Length/Type) містить інформацію про довжину поля даних. Воно може також визначати тип використовуваного протоколу. Прийнято вважати, що якщо значення цього поля не більше 1500, то воно вказує на довжину поля даних. Якщо ж його значення більше 1500, то воно визначає тип кадру. Поле керування обробляється програмно.

- Поле керування (L/T - Length/Type) містить інформацію про довжину поля даних. Воно може також визначати тип використовуваного протоколу. Прийнято вважати, що якщо значення цього поля не більше 1500, то воно вказує на довжину поля даних. Якщо ж його значення більше 1500, то воно визначає тип кадру. Поле керування обробляється програмно.

- Поле даних повинне містити в собі від 46 до 1500 байт даних. Якщо пакет повинен містити менш 46 байт даних, то поле даних доповнюється байтами заповнення. Відповідно до стандарту IEEE 802.3, у

- структурі пакета виділяється спеціальне поле заповнення (pad data - незначні дані), що може мати нульову довжину, коли даних досить (більше 46 байт).

- Поле контрольної суми (FCS - Frame Check Sequence) містить 32-розрядну циклічну контрольну суму пакета (CRC) і служить для перевірки правильності передачі пакета.

Таким чином, мінімальна довжина кадру (пакета без преамбули) становить 64 байти (512 біт). Саме ця величина визначає максимально припустиму подвійну затримку поширення сигналу по мережі в 512 бітових інтервалів (51,2 мкс для *Ethernet* або 5,12 мкс для *Fast Ethernet*). Стандарт припускає, що преамбула може зменшуватися при проходженні пакета через різні мережні пристрої, тому вона не враховується. Максимальна довжина кадру дорівнює 1518 байтам (12144 біта, тобто 1214,4 мкс для *Ethernet*, 121,44 мкс для *Fast Ethernet*). Це важливо для вибору розміру буферної пам'яті мережного устаткування й для оцінки загальної завантаженості мережі.

Для мережі *Ethernet*, що працює на швидкості 10 Мбіт/с, стандарт визначає чотири основні типи сегментів мережі, орієнтованих на різні середовища передачі інформації:

- 10BASE5 (товстий коаксіальний кабель);
- 10BASE2 (тонкий коаксіальний кабель);
- 10BASE-T (кручена пара);
- 10BASE-FL (оптоволоконний кабель).

Найменування сегмента містить у собі три елементи: цифра "10" означає швидкість передачі 10 Мбіт/с, слово BASE - передачу в основній смузі частот (тобто без модуляції високочастотного сигналу), а останній елемент - припустиму довжину сегменту: "5" - 500 метрів, "2" - 200 метрів (точніше, 185 метрів) або тип лінії зв'язку: "T" - кручена пара (від англійського "twisted-pair"), "F" - оптоволоконний кабель (від англійського "fiber optic").

Точно так само для мережі *Ethernet*, що працює на швидкості 100 Мбіт/с (*Fast Ethernet*) стандарт визначає три типи сегментів, що відрізняються типами середовища передачі:

- 100BASE-T4 (почетверена кручена пара);
- 100BASE-TX (здвоєна кручена пара);
- 100BASE-FX (оптоволоконний кабель).

Цифра "100" означає швидкість передачі 100 Мбіт/с, "T" - кручену пару, "F" - оптоволоконний кабель.

Мережа *Ethernet* не відрізняється ні рекордними характеристиками, ні оптимальними алгоритмами, вона уступає по ряду параметрів іншим стандартним мережам. Але завдяки потужній підтримці, найвищому рівню стандартизації, величезним обсягам випуску технічних засобів, *Ethernet* вигідно виділяється серед інших стандартних мереж, і тому будь-яку іншу

мережну технологію прийнято порівнювати саме з *Ethernet*.

Розвиток технології *Ethernet* іде по шляху все більшого відходу від первісного стандарту. Застосування нових середовищ передачі й комутаторів дозволяє істотно збільшити розмір мережі. Відмова від манчестерського коду (у мережі *Fast Ethernet* й *Gigabit Ethernet*) забезпечує збільшення швидкості передачі даних і зниження вимог до кабелю. Відмова від методу керування CSMA/CD (при повнодуплексному режимі обміну) дає можливість різко підвищити ефективність роботи й зняти обмеження з довжини мережі. Проте, всі нові різновиди мережі також називаються мережею *Ethernet*.

8.7 Мережа Gigabit Ethernet

Мережа *Gigabit Ethernet* - це природний, еволюційний шлях розвитку концепції, закладеної в стандартній мережі *Ethernet*. Безумовно, вона успадковує й усі недоліки своїх прямих попередників, наприклад, негарантований час доступу до мережі. Однак величезна пропускна здатність приводить до того, що завантажити мережу до тих рівнів, коли цей фактор стає визначальним, досить важко. Зате збереження наступності дозволяє досить просто з'єднувати сегменти *Ethernet*, *Fast Ethernet*, *Gigabit Ethernet* у мережу, і, саме головне, переходити до нових швидкостей поступово, уводячи гігабітні сегменти тільки на самих напружених ділянках мережі. До того ж далеко не скрізь така висока пропускна здатність дійсно необхідна.

У мережі *Gigabit Ethernet* зберігається метод доступу CSMA/CD, використовуються ті ж формати пакетів (кадрів) і ті ж їхні розміри. Не потрібно ніякого перетворення протоколів у місцях з'єднання із сегментами *Ethernet*, *Fast Ethernet*. Єдине, що потрібно, - це узгодження швидкостей обміну, тому головною областю застосування *Gigabit Ethernet* стане в першу чергу з'єднання концентраторів *Ethernet*, *Fast Ethernet* між собою.

З появою швидкодіючих серверів і поширенням персональних комп'ютерів класу "high-end" переваги *Gigabit Ethernet* стають усе більш явними. Так, 64-розрядна системна магістраль PCI, уже фактичний стандарт, цілком досягає необхідної для такої мережі швидкості передачі даних. Роботи зі створення мережі *Gigabit Ethernet* ведуться з 1995 року. В 1998 році прийнятий стандарт, що одержав найменування IEEE 802.3z (1000BASE-SX, 1000BASE-LX й 1000BASE-CX). Розробкою займається спеціально створений альянс (*Gigabit Ethernet Alliance*), у який, зокрема, входить така відома компанія, що займається мережними апаратурами, як 3Com. В 1999 році прийнятий стандарт IEEE 802.3ab (1000BASE-T).

Номенклатура сегментів мережі *Gigabit Ethernet* у цей час містить у собі наступні типи:

- 1000BASE-SX - сегмент на мультимодовому оптоволоконному кабелі з довжиною хвилі світлового сигналу 850 нм (довжиною до 500 метрів). Використовуються лазерні передавачі.
- 1000BASE-LX - сегмент на мультимодовому (довжиною до 500 метрів) і одномодовому (довжиною до 2000 метрів) оптоволоконному кабелі з довжиною хвилі світлового сигналу 1300 нм. Використовуються лазерні передавачі.
- 1000BASE-CX - сегмент на екранованій крученій парі (довжиною до 25 метрів).
- 1000BASE-T (стандарт IEEE 802.3ab) - сегмент на почотвереній неекранованій крученій парі категорії 5 (довжиною до 100 метрів). Використовується 5-рівневе кодування (PAM-5), причому в повнодуплексному режимі передача ведеться по кожній парі у двох напрямках.

Спеціально для мережі *Gigabit Ethernet* запропонований метод кодування переданої інформації 8У/10У, побудований по тому ж принципі, що й код 4У/5У мережі FDDI (крім 1000BASE-T). Таким чином, восьми бітам інформації, яку потрібно передати, ставиться у відповідність 10 біт, переданих по мережі. Цей код дозволяє зберегти самосинхронізацію, легко виявляти несучу (факт передачі), але не вимагає подвоєння смуги пропускання, як у випадку манчестерського коду.

Для збільшення 512-бітного інтервалу мережі *Ethernet*, що відповідає мінімальній довжині пакета, (51,2 мкс у мережі *Ethernet* і 5,12 мкс у мережі *Fast Ethernet*), розроблені спеціальні методи. Зокрема, мінімальна довжина пакету збільшена до 512 байт (4096 біт). У протилежному випадку часовий інтервал 0,512 мкс надмірно обмежував би граничну довжину мережі *Gigabit Ethernet*. Всі пакети з довжиною менше 512 байт розширюються до 512 байт. Поле розширення вставляється в пакет після поля контрольної суми. Це вимагає додаткової обробки

пакетів, але зате максимально припустимий розмір мережі стає в 8 разів більше, ніж без прийняття таких мір.

Крім того, в *Gigabit Ethernet* передбачена можливість блокового режиму передачі пакетів (*frame bursting*). При цьому абонент, що одержав право передавати їй, що має для передачі кілька пакетів, може передати не один, а кілька пакетів, послідовно, причому адресованих різним абонентам- одержувачам. Додаткові передані пакети можуть бути тільки короткими, а сумарна довжина всіх пакетів блоку не повинна перевищувати 8192 байта. Таке рішення дозволяє знизити кількість захватів мережі й зменшити число колізій. При використанні блокового режиму розширюється до 512 байт тільки перший пакет блоку для того, щоб перевірити, чи немає в мережі колізій. Інші пакети до 512 байт можуть не розширюватися.

Передача в мережі *Gigabit Ethernet* виробляється як у напівдуплексному режимі (зі збереженням методу доступу CSMA/CD), так й у більше швидкому повнодуплексному режимі (аналогічно до попередньої мережі *Fast Ethernet*). Очікується, що повнодуплексний режим, що не накладає обмежень на довжину мережі (крім обмежень у зв'язку із згасанням сигналу в кабелі) і забезпечує відсутність конфліктів, стане в майбутньому основним для *Gigabit Ethernet*.

Мережа *Gigabit Ethernet*, насамперед, знаходить застосування в мережах, що поєднує комп'ютери великих підприємств, які розташовуються в декількох будинках. Вона дозволяє за допомогою відповідних комутаторів, що перетворюють швидкості передачі, забезпечити канали зв'язку з високою пропускною здатністю між окремими частинами складної мережі або лінії зв'язку комутаторів з швидкодіючими серверами.

Ймовірно, у ряді випадків *Gigabit Ethernet* буде витіснити оптоволоконну мережу FDDI, що на даний час все частіше використовується для об'єднання в мережу декількох локальних мереж, у тому числі, і *Ethernet*. Правда, FDDI може зв'язувати абонентів, що перебувають набагато далі один від одного, але по швидкості передачі інформації *Gigabit Ethernet* істотно перевершує FDDI.

8.8 Швидкий Ethernet

Fast Ethernet (Швидкий Ethernet) - термін, що описує набір стандартів Ethernet для пакетної передачі даних з номінальною швидкістю 100 Мбіт/с, що в 10 разів швидше за початкову для Ethernet швидкість у 10 Мбіт/с. Він визначений 1995 року в документі IEEE 802.3u. На сьогодні існують швидші в 10 (*Gigabit Ethernet*) і 100 (*10 Gigabit Ethernet*) разів стандарти технології Ethernet. 3.6.1. Фізичний рівень технології Fast Ethernet. Всі відмінності технології Fast Ethernet від Ethernet зосереджені на фізичному рівні. Рівні MAC і LLC у Fast Ethernet залишилися абсолютно тими ж, і їх описують колишні глави стандартів 802.3 і 802.2. Тому розглядаючи технологію Fast Ethernet, ми будемо вивчати тільки кілька варіантів її фізичного рівня.

Відмінності технології Fast Ethernet від Ethernet. Більш складна структура фізичного рівня технології Fast Ethernet викликана тим, що в передавати дані з тією ж швидкістю, що і коаксіальний кабель, але мережа виходить більш дешевою і зручною в експлуатації. На великих відстанях оптичне волокно володіє набагато більш ширшою пропускною смугою, ніж коаксіал, а вартість мережі виходить ненабагато вище, особливо якщо врахувати високі витрати на пошук і усунення несправностей у великій кабельній коаксіальній системі. Відмова від коаксіального кабелю привела до того, що мережі Fast Ethernet завжди мають ієрархічну деревоподібну структуру, побудовану на концентраторах, як і мережі 10-Base-T/10Base-F. Основною відмінністю конфігурацій мереж Fast Ethernet є скорочення діаметру мережі приблизно до 200 м, що трактується зменшенням часу передачі кадру мінімальної довжини в 10 разів за рахунок збільшення швидкості передачі в 10 разів у порівнянні з 10-мегабітним Ethernet.

8.9. Маршрутизатори Ethernet.

Маршрутизатори, як і мости або комутатори ретранслюють пакети з однієї частини мережі в іншу (з одного сегмента в інший). Споконвічно маршрутизатор від моста відрізнявся тільки тим, що на комп'ютері, що з'єднує дві або більше частини мережі, було встановлено інше програмне забезпечення. Але між маршрутизатором і мостом існують і принципові відмінності:

- Маршрутизатори працюють не з фізичними адресами пакетів (MAC-адресами), а з

логічними мережними адресами (IP-адресами або IPX-адресами).

- Маршрутизатори ретранслюють не всю інформацію, що приходить, а тільки ту, котра адресована їм
 - особисто, і відкидають (не ретранслюють) широкомовні пакети, розділяючи тим самим широкомовну область мережі (Broadcast Domain). Всі абоненти обов'язково повинні знати про присутність у мережі маршрутизатора. Вони не прозорі для абонентів на відміну від мостів і комутаторів.
 - Саме головне - маршрутизатори підтримують мережі з безліччю можливих маршрутів, шляхів передачі інформації, так-звані комірчасті мережі (meshed networks). Мости ж вимагають, щоб у мережі не було петель, щоб шлях поширення інформації між двома будь-якими абонентами був єдиним.

Маршрутизатори складніші від мостів і комутаторів й, отже, дорожчі (наприклад, вартість комутації в *Ethernet* приблизно в 10 разів нижче вартості маршрутизації). Маршрутизаторами складніше управляти, вони майже завжди значно повільніші від комутаторів. Зате вони забезпечують найглибший поділ мережі на частини.

Маршрутизатори, як і мости або комутатори ретранслюють пакети з однієї частини мережі в іншу (з одного сегмента в інший). Споконвічно маршрутизатор від моста відрізнявся тільки тим, що на комп'ютері, що з'єднує дві або більше частини мережі, було встановлено інше програмне забезпечення. Маршрутизатори працюють не з фізичними адресами пакетів (MAC-адресами), а з логічними мережними адресами (IP-адресами або IPX-адресами).

Маршрутизатори ретранслюють не всю інформацію, що приходить, а тільки ту, котра адресована їм особисто, і відкидають (не ретранслюють) широкомовні пакети, розділяючи тим самим широкомовну область мережі (*Broadcast Domain*). Всі абоненти обов'язково повинні знати про присутність у мережі маршрутизатора. Вони не прозорі для абонентів на відміну від мостів і комутаторів.

Найголовніше - маршрутизатори підтримують мережі з безліччю можливих маршрутів, шляхів передачі інформації, так-звані комірчасті мережі (*meshed networks*). Мости ж вимагають, щоб у мережі не було петель, щоб шлях поширення інформації між двома будь-якими абонентами був єдиним.

Маршрутизатори складніші від мостів і комутаторів а, отже, дорожчі (наприклад, вартість комутації в *Ethernet* приблизно в 10 разів нижча вартості маршрутизації). Маршрутизаторами складніше управляти, вони майже завжди значно повільніші комутаторів. Зате вони забезпечують найглибший поділ мережі на частини. Якщо репітерні концентратори всього лише повторюють всі пакети, що надійшли на них (рівень 1 моделі OSI), а комутатори й мости ретранслюють тільки міжсегментні й широкомовні пакети (рівень 2 моделі OSI), то маршрутизатори з'єднують практично самостійні мережі, зберігаючи при цьому можливість передачі інформації між ними (рівень 3 моделі OSI).

Розмір мережі з маршрутизаторами практично нічим не обмежений: ні припустимими розмірами зони конфліктів, ні припустимою кількістю широкомовних пакетів (які можуть просто не залишати місця для звичайних, однопунктових пакетів), ні можливими для комутаторів і мостів різноманітними переважаннями. При цьому легко забезпечуються альтернативні, дублюючі шляхи поширення інформації для збільшення надійності зв'язку.

Для ухвалення рішення про вибір маршруту кожен маршрутизатор формує у своїй пам'яті таблиці даних, які містять:

- Номера всіх мереж, підключених до даного маршрутизатора;
- Список всіх сусідніх маршрутизаторів;
- Список MAC-адрес й IP (IPX)-адрес всіх абонентів мереж, підключених до маршрутизатора.

Цей список автоматично обновляють, як й у випадку мостів і комутаторів.

Крім того, список всіх доступних маршрутизаторів повинен бути в кожного абонента мережі. Саме маршрутизатори найчастіше використовуються для зв'язку локальних мереж із глобальними, зокрема, з Інтернет, що може розглядатися як повністю маршрутизована мережа. Перетворити протоколи локальних мереж у протоколи глобальних мереж для маршрутизатора цілком під силу.

Маршрутизатори часто застосовуються для об'єднання опорною (стрижневою) мережею типу

FDDI безлічі локальних мереж або для зв'язку локальних мереж різних типів. Перетворення формату пакетів, необхідне в даній ситуації, не являє ніякої складності для маршрутизатора. Наприклад, великі пакети мережі FDDI можуть розбиватися (фрагментуватися) на кілька менших пакетів *Ethernet*.

Маршрутизатори також легко перетворюють швидкості передачі, зв'язуючи, наприклад, між собою мережі *Ethernet*, *Fast Ethernet*, *Gigabit Ethernet*. Не пропускаючи ширококомовних пакетів, вони краще справляються із цим завданням, ніж мости або комутатори, тому що захищають повільні сегменти від перевантажень із боку швидких сегментів.

Маршрутизатори іноді поєднують між собою. Безліч сполучених один з одним маршрутизаторів можуть утворювати так звану хмару (*Cloud*), що представляє собою, по суті, один гігантський маршрутизатор. Таке з'єднання забезпечує винятково гнучкий і надійний зв'язок між всіма підключеними до нього локальними мережами.

Можна вважати, що репітерні концентратори працюють із пакетами, а мости й комутатори - з кадрами.

Маршрутизатори обробляють адресну інформацію, що відноситься до структури дейтаграми IP (IPX), що вкладена в область даних кадру, у свою чергу вкладеного в пакет. Тому говорять, що вони працюють із дейтаграмами, або ретранслюють дейтаграми. Маршрутизатор аналізує мережну IP-адресу дейтаграми або мережну IPX-адресу дейтаграми. В обидві ці адреси входить номер мережі, і саме ці мережі з'єднує маршрутизатор. Мережами в цьому випадку називаються ширококомовні області (*Broadcast Domain*). Кожен абонент, перш ніж послати пакет, визначає, чи може він послати його безпосередньо одержувачу або ж йому треба скористатися послугами маршрутизатора. Якщо номер власної мережі передавального абонента збігається з номером мережі абонента, якому повинен передаватися пакет, то пакет передається безпосередньо, без маршрутизації. Якщо ж адресат перебуває в іншій мережі, то передана дейтаграма повинна бути відправлена маршрутизатору, який потім переправить її в потрібну мережу. При цьому виходить, що пакет у цілому адресований маршрутизатору (як одному з абонентів власної мережі), а укладена в ньому дейтаграма адресована абонентові з іншої мережі, якому вона і призначена.

Маршрутизатор аналізує IP (або IPX) адреси в прихожій у складі пакету дейтаграми й перетворює пакет, що прийшов по одній з мереж, у пакет, призначений для іншої мережі. У поле адрес переданого пакету він ставить MAC-адресу одержувача й свою MAC-адресу, як відправника пакету. Відповідний пакет точно так само повинен пройти через посередника - маршрутизатор.

Хороший маршрутизатор дуже дорогий і складний у налаштуванні й експлуатації. Тому використовувати його треба тільки в тих випадках, коли це дійсно необхідно, наприклад, коли застосування комутаторів і мостів не дозволяє перебороти перевантаження мережі.

Запитання для самоконтролю засвоєння знань

1. Приведіть обґрунтоване визначення локальної мереж. 2 В чому полягає топологія локальної мережі?
2. Приведіть особливості топології шина локальної мережі. 4 Приведіть особливості топології зірка локальної мережі.
3. Приведіть особливості топології кільце локальної мережі.
4. В чому полягає багатозначність поняття топології? 7 Назвіть типи ліній зв'язку локальних мереж.
5. Приведіть характеристики ліній зв'язку локальних мереж в ІВК та ІВС.
6. Охарактеризуйте безкабельні лінії зв'язку в ІВК та ІВС. 10 Приведіть визначення комп'ютерної мережі.
7. Основні характеристики мережі Ethernet.
8. Основні характеристики мережі швидкого Ethernet. 13 Основні характеристики мережі Gigabit Ethernet.
9. Поясніть призначення маршрутизаторів в мережах ІВК та ІВС.

9 ВИМОГИ ДО ПРИСТРОЇВ ВІДОБРАЖЕННЯ ГРАФІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ З ПОГЛЯДУ ЛЮДИНО-МАШИННОГО ІНТЕРФЕЙСУ

9.1 Аналіз вимог до пристроїв відображення графічної інформації

Використання графічної інформації набуло широкого застосування у різних галузях науково-практичної діяльності людини від складних імітаційних систем візуалізації різних комплексів (автомобільних, авіаційних, космічних тощо), або систем відтворення складної графічної інформації у режимі реального часу (системи керування, військові комплекси тощо), до графічних акселераторів, що використовуються в нескладних побутових комп'ютерах. Досить актуальною є задача вибору засобів комп'ютерної графіки, а саме пристроїв відображення графічної інформації, які забезпечують необхідну якість та швидкодію формування графічних зображень без збільшення апаратних витрат з достатньою достовірністю відтворення графічної інформації.

Пристрої відображення графічної інформації (ПВГІ) – це сукупність технічних і програмних засобів для подання у зручній для сприйняття оператором формі сигналів про стан об'єкта, впливу на нього і способів керування ним [5, 6]. У загальному контурі функціонування ПВГІ обов'язкова присутність людини-оператора, це пов'язано із призначенням ПВГІ в цілому та її особливостями процесів інтерактивного людино-машинного діалогу. Надійна й ефективна робота оператора можлива тоді, коли він одержує від ПВГІ достатню кількість інформації для ухвалення рішення. Під пристроєм відображення графічної інформації розуміється пов'язаний з основною ЕОМ обчислювальний пристрій з підключеними до нього як технічними засобами візуалізації, так і іншими зовнішніми пристроями. Актуальність дослідження обумовлена стрімким розвитком виробництва пристроїв відображення графічної інформації та акселераторів для відтворення складних картин та сцен, в яких широко використовуються різноманітні високопродуктивні алгоритми відтворення елементів зображень.

Оператор будь-якої обчислювальної системи працює з певними інформаційними моделями, що представляються на індикаторі ПВГІ. Обчислювальні системи обслуговують великі потоки інформації, тому з метою розвантаження каналів зв'язку і економії пам'яті обчислювальної системи використовується стиснення інформації з наступним відновленням на основі різноманітних інтерполяційних алгоритмів, реалізацію яких виконують спеціалізовані цифрові пристрої. Тенденції розвитку ПВГІ і обчислювальної техніки визначають зростання частки графічної інформації та її значне ускладнення при відображенні. Оскільки важливою ланкою обчислювального комплексу є людина, то найбільш наочну і у той же час насичену по обсягу інформацію можна представити, використовуючи можливості тривимірної (3D) комп'ютерної графіки.

9.2 Відтворення інформації як процес моделювання реального об'єкта

Сам процес відтворення інформації є по суті процесом моделювання реального об'єкта [8, 9]. Моделювання описується концептуальною моделлю виводу 3D графічної інформації. Якщо за реальний об'єкт узяти довільну систему у світових координатах, то завдання відсікання по об'єму, видової операції та операції нормування виконуються обчислювальним комплексом поза ПВГІ. Завдання остаточного відсікання і виводу інформації на пристрій відображення виконується у ПВГІ. При виводі двовимірної (2D) графічної інформації завдання спрощується до завдання вікна в світовому координатному просторі та задання поля виводу на двовимірній нормованій наочній поверхні.

Існує чотири основних типи графічних моделей, пов'язаних з особливостями реальних об'єктів, їх призначенням та природою:

- 1) двовимірна модель (площинна, 2D);
- 2) каркасна модель ("дротова", 3D);
- 3) поверхнева модель (3D);
- 4) об'ємна модель (модель суцільного тіла, 3D).

Використання 2D моделей є найпростішим випадком у порівнянні з використанням 3D моделей. Сам процес 2D моделювання полягає у відтворенні певних функціональних залежностей

по вузлових точках (базових відліках і т.ін.). Питання про вибір методу візуалізації результатів вимірів вирішується разом з вибором методів кодування і дискретизації на етапі проектування ПВГІ. Складність 3D моделей полягає в тому, що поверхня відображення існуючих індикаторних пристроїв не має графічного третього виміру. Невідповідність між просторовими об'єктами та плоскими зображеннями усувається шляхом введення проекцій, які відображають тривимірні об'єкти на двовимірній проекційній картинній площині.

Каркасна модель хоча й тривимірна, але має мало можливостей. У ній картина об'єкту, що моделюється, представлена ребрами по геометричних координатах вершин. Найчастіше каркасна модель використовується як проміжний етап в одержанні поверхневої моделі.

Поверхнева модель представляє процеси або об'єкти, які моделюються поверхнями, має максимальну наочність. У якості поверхонь використовуються параметричні кубічні поверхні (параметричні сплайни). Поверхневі моделі вимагають найбільших обсягів обчислень із усіх чотирьох типів моделей. Звичайно при використанні поверхневих моделей відбувається декомпозиція сплайнів на полігони (трикутники) до або у процесі відображення.

Об'ємна модель формується об'єднанням, перетинанням, накладанням простих об'ємних примітивів, таких як сфери, куби, циліндри і т. ін. Найбільшу популярність об'ємне моделювання одержало в машинобудуванні застосуванням відомої системи КОМПАС. Таким чином, у зв'язку з особливостями того або іншого ПВГІ та його застосуванням можна рекомендувати одну із вищенаведених моделей. Найбільш прийнятними для пристроїв відображення графічної інформації, що орієнтовані на максимальну швидкодію, є площинна 2D і поверхнева 3D моделі, як моделі з максимальною наочністю. Крім того, процес побудови усіх моделей здійснюється шляхом аналізу, а потім синтезу зображення, що виражається в розбитті зображення на елементарні складові частини (примітиви) з наступною декомпозицією їх в остаточному зображенні.

Пристрої відображення графічної інформації використовуються при рішенні багатьох задач:

- відображення динамічних ситуацій у реальному масштабі часу при керуванні технологічними процесами, військовими об'єктами;
- відображення результатів та ходу наукових досліджень і експериментів;
- автоматизація проектування технологічних процесів, програмного забезпечення, архітектури, дизайну, проектування великих інтегральних схем, розрахунку топології друкованих плат і та ін.;
- статистична обробка даних (побудова гістограм, використання плавних кривих і т.ін.);
- обробка топографічної й картографічної інформації;
- обробки ділової і управлінської графічної інформації (кругові, стовпчикові та інші діаграми);
- обробка зображень штучних супутників Землі для вивчення земної поверхні, біомедичних зображень (комп'ютерна томографія) .
- моделювання реальних об'єктів в архітектурі, різних тренажерах та імітаторах
- інформаційно-вимірювальні та обчислювальні системи і комплекси в технологічних процесах (віртуальна реальність) ,
- завдання користувача людино-машинного інтерфейсу (меню, піктограми й т.ін.) ,
- комп'ютерне кіно, анімація, реклама, ігри (мистецтва).

Кожне із застосувань накладає свої вимоги на функціональні параметри пристрою відображення графічної інформації за:

- роздільною здатністю дискретного координатного простору відображення (ДКПВ);
- колірною роздільною здатністю; набором примітивів, які використовуються;
- точністю відтворення зображень за кольором та формою; швидкістю побудови зображень.

У процесі синтезу ПВГІ вирішується питання про прийнятний компроміс між вищенаведеними параметрами та витратами на їх реалізацію (програмними і апаратними), що в остаточному підсумку визначає функціональні параметри реальної системи, яка створюється, та її вартість.

9.3 Діапазони функціональних параметрів пристроїв відображення графічної інформації

Розглянемо діапазони функціональних параметрів пристроїв відображення графічної інформації. Органи зору людини (при 100 % гостроті зору) здатні розрізняти чорну крапку діаметром 0,1 мм на білому фоні з відстані 20-30 см від очей і дві сусідні смужки з відтінками, довжини хвиль яких відрізняються на 10 Å (при 100 % колірному зорі) [20]. Щоб без втрати інформації відобразити об'єкти реального світу, необхідно мати дискретний координатний простір відображення, який відповідає реальному зображенню, у межах 4096×6144 пікселів (більше 24 млн пікселів на зображення) і кольорову роздільну здатність у 256 градацій яскравості по кожній із трьох складових кольору R, G, B (усього 16.777.216≈17 млн кольорів, по 8 двійкових розрядів на кожну складову кольору). Для задач активної 3D графіки необхідно мати ДКПВ до 165 Гпікселей (≈ 256К×640К) та до 48 розрядів на складові кольору.

Мінімальна частота, з якою повинна змінюватися динамічна картинка на екрані, щоб не виникав ефект дискретності руху, становить 24-25 кадрів за секунду, а для деяких випадків в ігрових імітаторах – 30 або навіть 60 кадрів за секунду. Якщо говорити про точність відтворення контурів і кольорів графічних зображень, то з погляду реальних завдань головним є одержання візуально-прийнятних результатів. Більше того, існує ряд методів, які розмивають контури та кольори контурів об'єктів з метою згладжування сходинкового ефекту. Існуючі ж методи та способи колірною розфарбовування зображень по своїй суті є емпіричними і не відповідають закону збереження енергії, тобто також обираються (найчастіше в інтерактивному режимі) із міркувань прийнятності результатів. Лінійні та кругові примітиви, тобто примітиви кривих не вище другого порядку, покривають практично всі завдання побудови зображень. Якість картини на пристрої відображення, залежить від: розмірів поля виводу пристрою відображення, як у дискретному координатному просторі відображення, так і у фізичних одиницях виміру; розміру пікселя; відстані між пікселями; з якої відстані відбувається спостереження за пристроєм відображення (звичайно не менше, ніж 20÷30 см).

У реально існуючих та перспективних кольорових пристроїв відображення розміри ДКПВ перебувають у межах від 960×540 пікселей до 2560×1600 пікселей з діагоналлю екрана від 17" до 30" (приблизно від 43 см до 76 см), також цікаві технології "цифрового дому" з використанням плазмових панелей до 150" (приблизно 3,81 м) з розмірністю ДКПВ 4096×2160. Діаметр пікселя становить величину від 0,28 мм до 0,26 мм. Відстань між пікселями становить величину від 0,26 мм до 0,31 мм. Тобто, показники реально існуючих і перспективних пристроїв відображення по наведеним параметрам не досягають меж, які здатні розрізняти людський зір, але дають прийнятні результати відображення.

Для відображення машинобудівної деталі середньої складності необхідно близько 10.000 полігонів, кожний по 100 пікселей. Таким чином, достатньо мати екран розміром 1280×1024 пікселей. У найпростішому випадку зображення може бути монохромним. Для кінематографа зображення об'єктів можуть складатися з більшого числа полігонів – від 15.000 до 75.000, тобто для відображення необхідні екрани з дискретною роздільністю від 1280×1280 пікселей до більш, ніж 8192×8192 пікселей. Кількість кольорів може змінюватися в межах від 224 до 236, хоча достатньо і 224 = 16.777.216 кольорів по 8 двійкових розрядів на кожну із складових кольору R, G, B.

Динамічні параметри по оживленню зображення можуть перебувати в межах від 4÷10 кадрів/с до 24 кадрів/с. 4÷10 кадрів за секунду – нижня межа частоти зміни картини, що не викликає почуття дискомфорту у оператора ПВГІ, а 24 кадра за секунду – максимальна частота зміни картини, на яку реагують органи зору людини. Але для засобів ігрових симуляцій актуальними є частоти зміни картини у 30 кадрів/с, або навіть до 60 кадрів/с. Проведемо оцінку вимог, до ПВГІ за часом побудови одного пікселя.

Введемо позначення:

- x N – роздільна здатність ПВГІ по горизонталі;
- y N – роздільна здатність ПВГІ по вертикалі;
- d F – динамічна частота зображення на екрані;
- e K – коефіцієнт заповнення екрану;

$p t$ – час обробки одного пікселя.

Необхідна продуктивність ПВГІ по побудові зображення становить:

$$P_o = N_x \cdot N_y \cdot F_d \cdot K_e \quad (9.1)$$

Реальна продуктивність ПВГІ може бути визначена за наступним співвідношенням

$$P_r = \frac{K_v}{t_p} \quad (9.2)$$

де K_v – коефіцієнт доступу до відеопам'яті за кадр, характеризує ступінь доступності відеопам'яті (як правило, для однопортової відеопам'яті $K_v = 0,25 \div 0,35$, для двопортової – $K_v \approx 0,7$ [25, 30]).

Прирівнявши (9.1) і (9.2), одержуємо вираз для обчислення часу, необхідного для обробки одного пікселя (9.3):

$$t_p = \frac{K_v}{N_x \cdot N_y \cdot F_d \cdot K_e} \quad (9.3)$$

Аналіз (9.3) дозволяє визначити шляхи збільшення t_p з метою зменшення апаратних витрат і здешевлення систем ПВГІ:

- 1) зменшення роздільної здатності по горизонталі й вертикалі (N_x та N_y);
- 2) зменшення динамічної частоти зображення на екрані (F_d);
- 3) зменшення коефіцієнта заповнення екрану (K_e) – зменшення розміру зображень;
- 4) збільшення часу доступу до відеопам'яті під час кадру з боку графічних акселераторів, що можливо досягти, наприклад, за рахунок використання більшого об'єму портової відеопам'яті.

Так, наприклад, розглянемо три варіанти обчислення значення $p t$ для різних задач.

1) Для перспективних задач активної 3D графіки ($F_d = 60$ кадрів/с), з виконанням умови повної прозорості відеопам'яті ПВГІ ($K_v = 1$), використання усього ДКПВ (165 Гпікселів) для ПВГІ [34] ($K_e = 1$):

$$t_p = \frac{K_v}{N_x \cdot N_y \cdot F_d \cdot K_e} = \frac{1}{165 \cdot 2^{30} \cdot 60 \cdot 1} = 9,4072987 \cdot 10^{-14} (\text{с}) \approx 94,1 (\text{пс}). \quad (9.4)$$

2) Для досягнення повної динаміки ($F_d = 24$ кадри/с) у режимі реального часу в завданнях комп'ютерної анімації або кінематографії, за умови повної прозорості відеопам'яті ПВГІ ($K_v = 1$) і використання всього ДКПВ для ПВГІ (8192×8192) під зображення ($K_e = 1$):

$$t_p = \frac{K_v}{N_x \cdot N_y \cdot F_d \cdot K_e} = \frac{1}{2^{13} \cdot 2^{13} \cdot 24 \cdot 1} = 6,2088171 \cdot 10^{-10} (\text{с}) \approx 0,62 (\text{нс}). \quad (9.5)$$

3) Для завдань машинобудування без динаміки зображення ($F_d = 1$, $K_v = 1$ та $K_e = 0,2$ у просторі 1280×1024):

$$t_p = \frac{K_v}{N_x \cdot N_y \cdot F_d \cdot K_e} = \frac{1}{1280 \cdot 1024 \cdot 1 \cdot 0,2} = 3,814 \cdot 10^{-6} (\text{с}) \approx 3,81 (\text{мкс}). \quad (9.6)$$

Висновки

Оскільки, людина є невід'ємною частиною обчислювального комплексу, до складу якого входять пристрої відображення графічної інформації, то головні вимоги до ПВГІ обумовлюються їх областю застосування та особливостями людино-машинної взаємодії. Отримано аналітичний вираз (9.3) для обчислення часу на обробку одного елемента зображення у ПВГІ. Здійснивши аналіз особливостей відтворення графічної інформації та усереднюючи вимоги до пристроїв відображення, можна сказати, що широкий клас задач по відтворенню графічної інформації може бути вирішений на пристроях відображення з розмірами ДКПВ від 1280×1024 пікселів (9.6) до

8192×8192 пікселів (9.5) з кольоровою роздільністю по 24 кольорових площинах (по 8 Інформаційно-вимірювальні та обчислювальні системи і комплекси в технологічних процесах двійкових розрядів на кожну складову кольору – R, G, B) і частотою відновлення всього зображення від 4 до 30 кадрів за секунду, а для перспективних задач активної 3D графіки – до 60 кадрів за секунду та ДКПВ у 165 Гпікселів (9.4).

Запитання для самоконтролю засвоєння знань

- 1) Які вимоги ставляться до пристроїв відображення інформації в ІВК та ІВС?
- 2) Які види графічних моделей використовують для відображення інформації?
- 3) При вирішенні яких задач в ІВК та ІВС використовуються пристрої відображення інформації?
- 4) Назвіть діапазони функціональних параметрів в пристроях відображення графічної інформації.
- 5) Наведіть аналітичний вираз для обчислення часу обробки одного елемента зображення у пристрої відображення графічної інформації.

10 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИМІРЮВАННЯ В ІВК

10.1 Основні визначення

Математи́чна моде́ль (рос. математическая модель ; англ. **mathematic model**; нім. **mathematisches Model n**) — система математичних співвідношень, які описують досліджуваний процес або явище. Математична модель має важливе значення для таких наук, як: економіка, екологія, соціологія, фізика, хімія, механіка, інформатика, біологія, та ін. При одержанні математичної моделі використовують загальні закони природознавства, спеціальні закони точних наук, результати пасивних та активних експериментів, імітаційне моделювання за допомогою ЕОМ. Математичні моделі дозволяють передбачити хід процесу, розрахувати цільову функцію (вихідні параметри процесу), керувати процесом, проектувати системи з бажаними характеристиками.

Для створення математичних моделей можна використовувати будь які математичні засоби — мову диференційних або інтегральних рівнянь, теорії множин, абстрактної алгебри, математичну логіку, теорії ймовірностей, графі та інші. Процес створення математичної моделі називається математичним моделюванням. Це найзагальніший та найбільш використовуваний в науці метод досліджень. Якщо відношення задаються аналітично, то їх можна розв'язати в замкнутому вигляді відносно шуканих змінних як функції від параметрів моделі, або в частково замкнутому вигляді коли шукані змінні залежать від одного або багатьох параметрів моделі. До моделей цього класу належать диференційні, інтегральні, різницеві рівняння, ймовірнісні.

Якщо не можна здобути точний розв'язок математичної моделі, використовуються чисельні (обчислювальні) методи або інші види моделювання. У залежності від того, якими є параметри системи та зовнішні збурення математичні моделі можуть бути детермінованими та стохастичними. Останні мають особливо важливе значення при дослідженні і проектуванні великих систем зі складними зв'язками і властивостями, які важко врахувати. Математичний опис неперервного процесу (напр., диференційними рівняннями) являє собою неперервну математичну модель.

Якщо ж математична модель описує стан системи тільки для дискретних значень незалежної змінної і нехтує характером процесів, які протікають у проміжках між ними, то така модель є дискретною (тут важливим є вибір кроку дискретизації, від якого залежить точність опису реального об'єкту його математичної моделі). Якщо параметри об'єкту, для якого розробляють математичну модель, можна вважати незалежними від часу, то така система описується стаціонарною моделлю, характерна особливість якої – постійні коефіцієнти. У протилежному випадку математична модель є нестаціонарною.

При математичному моделюванні орієнтуються на моделі стандартного вигляду, які забезпечені відповідним математичним апаратом. Так фізичні процеси характеризуються просторово-часовими співвідношеннями і у загальному випадку описуються диференційними рівняннями у часткових похідних. Важливим моментом структурування моделі є феноменологічний метод, коли субпроцеси можуть бути представлені окремими моделями, вихідні величини яких є вхідними для інших (наступних) субпроцесів. У цьому випадку математична модель складного процесу являє собою систему моделей (рівнянь), знайдених для кожного субпроцесу.

Для розробки мат. моделей широко використовується диференційне числення, теорія множин, матриці і графі, а також планування експерименту. Відповідно розрізняють теоретико-множинні, матричні, топологічні та поліномні мат. моделі. Приклади математичних моделей:

10.2 Відомі математичні моделі ІВК та ІВС

Технологічний процес вимірювання в ІВК має математичний вираз і представляє собою його алгоритм роботи. Математична модель процесу вимірювання чітко відображає взаємозв'язок між вимірюваними фізичними параметрами з метою обчислення інших параметрів по непрямому вимірюванню, їх похибок і нових залежностей параметрів вимірювання.

Пристаючи до проектування ІВК проєктант зобов'язаний добре вивчити процес вимірювання. Для цього необхідно ознайомитись з нормативними документами, які регламентують методи і засоби вимірювання. Такими нормативними документами для конкретного виду вимірювання можуть бути рекомендації на методи і засоби вимірювання, правила випробувань, державна схема забезпечення єдності вимірювань. Відповідно для конкретних видів вимірювання може бути взята відома математична модель як алгоритм роботи ІВК. До таких математичних моделей відносяться моделі обліку енергоносіїв, моделі побудовані на основі відомих законів фізики та математичних залежностей.

Для прикладу наведемо відомі залежності такі, як:

Обчислення об'єму газу приведенного до стандартних умов, при вимірюванні об'єму лічильником газу [1].

$$V_H = V_O \frac{P}{P_o} \frac{T_o}{T} \frac{1}{K} \quad (10.1)$$

де V_O – об'єм газу, виміряний лічильником газу при робочих умовах – абсолютному тиску P і абсолютній температурі T ;

P_o і T_o – абсолютне значення тиску і температури, відповідно, при стандартних умовах;

K – коефіцієнт стискуваності вимірюваного газу, який визначається по залежності $K = I(P, T)$.

За аналогічною залежністю може бути визначена також густина газу [1].

$$\rho = \rho_o \frac{P}{P_o} \frac{T_o}{T} \frac{1}{K} \quad (10.2)$$

де ρ_o – густина газу при стандартних умовах.

Відома також залежність вимірювання витрати газу по змінному перепаду тиску

$$Q = 0,01252 \alpha \varepsilon K_t \cdot m D^2 \sqrt{\frac{\Delta P}{\rho}} \quad (10.3)$$

де ΔP – різниця тисків на звужуючому пристрої, m – модуль звужуючого пристрою;

D – діаметр трубопровода,

γ – коефіцієнт витрати;

K_t – коефіцієнт, який враховує теплове розширення звужуючого пристрою;

ε – коефіцієнт розширення газу.

При вимірюванні тепла використовують математичну модель [3].

$$G = C \cdot V \cdot (t_2 - t_1), \quad (10.4)$$

Де G – кількість тепла, переданого теплоносієм;

C – теплоємність теплоносія;

t_1 ; t_2 – температура теплоносія на вході і виході трубопроводів; V – об'єм теплоносія.

Разом з наведеними прикладами в більшості засобів вимірювання необхідно розробити математичну модель вимірювання.

10.3 Приклади розробки математичної моделі

10.3.1 Математична модель витратомірної установки об'єму газу дзвонового типу

Для прикладу візьмемо установку дзвонового типу для перевірки лічильників газу, зображену на рис.10.1. Розглянемо процес розробки математичної моделі відтворення контрольного об'єму газу установками дзвонового типу при постійному та змінному тиску під дзвоном в залежності від конструктивних та фізичних факторів.

Для розв'язання цієї задачі необхідно скласти математичну модель дзвону, який переміщується і витісняє із заданою витратою контрольний об'єм газу. В математичній моделі обмежимося геометричними параметрами дзвону і ємності з рідиною, а вплив зміни тиску під дзвоном визначимо додатково як поправку до контрольного об'єму.

В процесі пропускання контрольного об'єму змінюється рівень розділювальної рідини. З врахуванням цього фактора отримана залежність контрольного об'єму. Схема роботи дзвонової установки зображена на рисунку 10.1. Ємність 1 з розділювальною рідиною, в яку занурений дзвін 2 зрівноважений противагою 3 через систему диференційних шківів, при чому шківів 4 і 5 мають циліндричний профіль, а шків 6 має профіль Архімедової спіралі. Під дзвін 2 подають повітря повітродувкою 7 при відкритій засувці 8. На вимірювальній ділянці розміщений повірювальний лічильник газу 9, при повірці якого засувка 10 відкрита, а засувка 11 регулює задану витрату повітря. Система диференційних шківів дозволяє компенсувати зміну виштовхувальної сили рідини розділювача.

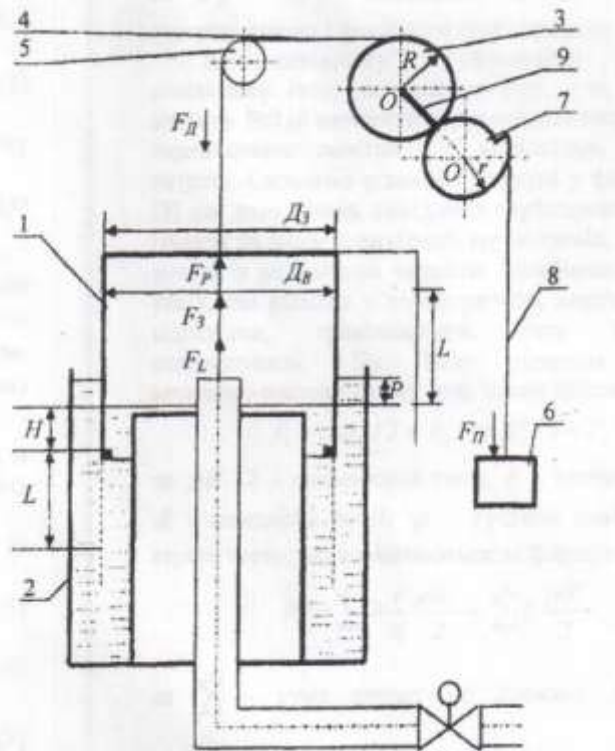


Рисунок 10.1- Схема роботи установки дзвонового типу

Елементарний об'єм dV_x , витіснений дзвоном, визначимо за формулою:

$$dV_x = \frac{\pi D_8}{4} dx + S_1 dh \quad (10.5)$$

де D_8 – внутрішній діаметр дзвона;

dx – переміщення дзвона;

S_1 – площа розділювача між внутрішнім діаметром дзвона і внутрішнім діаметром ємності;

dh – переміщення рідини в процесі занурення в неї дзвона.

Об'єм витісненої рідини дорівнює об'єму зануреної частини дзвону, тобто:

$$S_{\delta} \cdot (dx + dh) = (S_1 + S_2)dh, \quad (10.6)$$

де S_{δ} – поперечне січення циліндричної частини дзвона; S_2 – площа розділювача між дзвоном і більшим діаметром ємності.

Рівняння (10.6) запишемо у вигляді:

$$dh = \left[\frac{S_{\delta}}{S_1 + S_2 - S_{\delta}} \right] dx. \quad (10.7)$$

Отримане рівняння (10.7) підставляємо в (10.5) і проінтегруємо вираз в цілому, тоді отримаємо:

$$V_x = H \left[\frac{\pi D_{\delta}^2}{4} + \frac{S_1 \cdot S_{\delta}}{S_1 + S_2 - S_{\delta}} \right] \quad (10.8)$$

Врахуємо значення площ:

$$S_1 = \frac{\pi}{4}(D_{\delta}^2 - D_1^2); \quad S_{\delta} = \frac{\pi}{4}(D_3^2 - D_{\delta}^2); \quad S_2 = \frac{\pi}{4}(D_2^2 - D_3^2),$$

Вираз (10.8) приймає вигляд:

$$V_x = \frac{\pi H}{4} \left[\frac{D_{\delta}^4 - D_{\delta}^2 \cdot D_3^2 + D_{\delta}^2 \cdot D_2^2 - D_1^2 \cdot D_3^2}{2D_{\delta}^2 - 2D_3^2 - D_1^2 + D_2^2} \right] \quad (10.9)$$

де D_{δ} – внутрішній діаметр дзвону;

D_3 – зовнішній діаметр дзвону;

D_2 – зовнішній діаметр ємності витіснювача;

D_1 – внутрішній діаметр ємності витіснювача.

Звідки розрахункова довжина лінійки дзвону між мітками “старт” і “стоп” дорівнює:

$$H = \frac{4V}{\pi A}, \quad (10.10)$$

$$\text{де } A = \left[\frac{D_{\delta}^4 - D_{\delta}^2 \cdot D_3^2 + D_{\delta}^2 \cdot D_2^2 - D_1^2 \cdot D_3^2}{2D_{\delta}^2 - 2D_3^2 - D_1^2 + D_2^2} \right].$$

Рівняння (10.9), (10.10) справедливі при постійному тиску і температурі під дзвоном. Рівняння (10.9) є математичною моделлю дзвону.

Але в процесі одного вимірювання із-за неточностей геометричних розмірів, нерівномірності переміщень дзвону, зміни фізичних факторів газу, змінюється тиск під дзвоном, і при цьому змінюється рівень розділювальної рідини і, як наслідок – змінюється контрольний об’єм газу. Тому розглянемо більш детально вплив такого фактора як тиск. Якщо тиск під дзвоном змінився на певну величину, відповідно, змінився рівень розділювальної рідини на величину dh , а об’єм – на величину dV . Виходячи з цих міркувань отримана залежність (10.11)

$$dV = dV_x + dV_p. \quad (10.11)$$

де dV_x – елементарний об’єм, який витісняється дзвоном при постійному тиску згідно рівняння (10.5);

dV_p – зміна витісненого об’єму внаслідок зміни тиску під дзвоном; визначимо за виразом:

$$dV_p = S_1 \cdot dh \quad (10.12)$$

Враховуючи рівність зміни об’єму на площах розділювальної рідини ($S_1 h_1 = S_2 h_2$) зміна гідростатистичного тиску рідини буде мати вигляд:

$$\frac{dp}{dg} = \left(1 + \frac{S_1}{S_2} \right) dh, \quad (10.13)$$

Звідси, інших рівень рідини в піддзвоновому просторі буде дорівнювати:

$$dh = \frac{S_2}{S_1 + S_2} \cdot \frac{1}{\rho g} dp, \quad (10.14)$$

де ρ – густина розділювальної рідини;

g – прискорення вільного падіння.

Підставимо отримане значення (10.14) у формулу (10.12) і отримаємо:

$$dV_p = \left(\frac{S_1 \cdot S_2}{S_1 + S_2} \right) \cdot \frac{1}{\rho g} dp. \quad (10.15)$$

Зміна тиску dp під дзвоном залежить від його переміщення dx .

Тому проінтегруємо рівняння (10.15) та представимо зміну тиску під дзвоном, як середнє значення по всій довжині його переміщення і отримаємо:

$$\Delta V_p = \left(\frac{S_1 \cdot S_2}{S_1 + S_2} \right) \cdot \frac{1}{\rho g} \cdot \frac{1}{n} \sum_1^n \Delta p_i, \quad (10.16)$$

де n - кількість вимірювань при відтворенні контрольного об’єму, i - порядковий номер вимірювання ($n = 0, 1, 2, \dots$).

Підставивши в (10.16) значення площ S_1 і S_2 , будемо мати:

$$\Delta V_p = \frac{(D_B^2 - D_1^2) \cdot (D_2^2 - D_3^2)}{(D_B^2 - D_1^2 + D_2^2 - D_3^2)} \cdot \frac{1}{\rho g} \cdot \frac{1}{n} \sum_1^n \Delta p_i \quad (10.17)$$

Проведені експериментальні дослідження підтверджують прямопропорційну залежність зміни тиску під дзвоном від його переміщення. Її величина залежить від точності виготовлення компенсаційної системи, виштовхувальної сили введеної рідини розділювача, а також від точності виготовлення дзвону та циліндричних елементів ємності дзвонових установок. Тому достатньо проводити вимірювання тиску під дзвоном на початку і в кінці витіснення контрольного об’єму, як різницю тисків під дзвоном. Тоді формула (10.17) буде мати вигляд:

$$\Delta V_p = \frac{(D_B^2 - D_1^2) \cdot (D_2^2 - D_3^2)}{(D_B^2 - D_1^2 + D_2^2 - D_3^2)} \cdot \frac{P_n - P_k}{\rho g}, \quad (10.18)$$

де p_n, p_k - тиск під дзвоном на початку і в кінці витіснення контрольного об'єму, відповідно,

$$H = \frac{4V - \Delta V_p}{\Delta A}. \quad (10.19)$$

Отримане рівняння (10.18) може бути використане як поправка від зміни тиску до витісненого дзвоном об'єму газу згідно (10.9), а (10.19) для розрахунку довжини лінійки.

Отримані результати теоретичних досліджень використані при метрологічній атестації діючих дзвонів установок типу РКДУ-0,44 та РКДУ-2,8, а також робочого еталону об'єму газу типу РЕОВГ-05. Відповідно з вимірними геометричними розмірами D_B і D_3 ; D_1 і D та заданим контролним об'ємом V була визначена довжина лінійки H між мітками "старт" і "стоп" за формулами (10.10). Після чого були проведені експериментальні дослідження згаданих установок на зміну тиску під дзвоном в процесі його переміщення. Відхилення були незначними. В установці РКДУ-2,8 при тиску під дзвоном 4,0 кПа його зміна була 8 Па, в установці РКДУ-0,44 при тиску 5,0 кПа його зміна була 6 Па, а в робочому еталоні об'єму газу РЕОВГ-05 при тиску 2,5 кПа зміна тиску під дзвоном склала 4 Па. Відповідно з вище приведеними дослідженнями такі коливання тиску під дзвоном можуть скласти похибку до 0,05 %. Тому в програмне забезпечення системи збору і обробки результатів вимірювання була введена поправка ΔV до контрольного об'єму V згідно формули (10.18). На довжині мірної частини лінійки H виконується 200 вимірів тиску під дзвоном, а поправка ΔV_p визначається по його середньому значенню.

Для визначення достовірності отриманої математичної моделі на згаданих установках дзвонів типу були проведені випробування робочого еталону об'єму газу ротаційного типу фірми "Istromet" (Нідерланди) в діапазоні від 1 до 200 м³/год. Відхилення були не більше 0,03 %.

Отримана математична модель може бути використана для метрологічної атестації як діючих, так і нових дзвонів установок.

Спробуємо змодельувати теплообмінні процеси, які проходять з повітрям під дзвоном установки об'єму газу, та скласти математичну модель похибки від зміни температури.

Переміщення дзвона в верхнє положення здійснюють шляхом подачі повітря з допомогою вентилятора під тиском p_1 , більшим, як тиск p_d під дзвоном при пропусканні контрольного об'єму. При цьому $p_1 = (1,03 \dots 1,05) p_d$. Як тільки дзвін займає верхнє положення подача повітря зупиняється і тиск під дзвоном дорівнює p_d . Повітря під дзвоном, в момент закінчення його руху вверх, характеризується такими параметрами, як абсолютний тиск - p_1 ; абсолютна температура - T_1 і об'єм - V_1 . Після завершення переміщення дзвона в верхнє положення тиск повітря під дзвоном миттєво зміниться на p_d і, відповідно, зміниться температура на T_d і об'єм на V_d , але їх зміна буде протікати за адіабатичним законом:

$$p \cdot T^{k(1-k)} = const, \quad (10.20)$$

де $k = C_p / C_v$; C_p, C_v - теплоємність повітря під дзвоном при постійному тиску і об'ємі. Для згаданих двох станів газу можна визначити T_d з виразу:

$$T_d = T_1 \left(\frac{p_1}{p_d} \right)^{\frac{(1-k)}{k}}. \quad (10.21)$$

Відомо, що T_d буде зменшуватися до температури елементів дзвону (ємність з розділювальною рідиною та дзвін) так, як температура цих елементів стабільна.

В процесі випробування, тобто при пропусканні контрольного об'єму тиск під дзвоном p_d є величиною постійною, тоді термодинамічні процеси будуть протікати по ізобарному закону, коли змінюються тільки температура T_d і об'єм V_d . При цьому буде виділятися певна кількість тепла:

$$dQ = C_p dT \quad (10.22)$$

З другої сторони, за час dt кількість тепла переданого повітря під дзвоном від елементів дзвону знаходимо за формулою Ньютона-Ріхмана:

$$dQ = -\alpha S (T - T_p) dt, \quad (10.23)$$

де α - коефіцієнт теплопередачі розділювальної рідини, ємності і поверхні дзвону;

S – площа поверхні теплопередачі;

T - температура повітря під дзвоном в момент t ,

T_p - температура елементів дзвону.

Прирівняємо рівняння (10.22), (10.23) і отримаємо диференціальне рівняння:

$$C_p dT = -\alpha S (T - T_p) dt, \quad (10.24)$$

і запишемо його у вигляді:

$$\frac{dT}{T - T_p} = -\frac{\alpha \cdot S}{C_p} dt. \quad (10.25)$$

Проінтегруємо вираз (10.25), отримаємо:

$$\ln(T - T_p) = -\frac{\alpha S}{C_p} t + \ln C. \quad (10.26)$$

Враховуючи початкові умови, коли $T = T_D$ при $t = 0$, визначимо постійну інтегрування $C = (T_D - T_p)$. А з рівняння (10.26) з врахуванням постійної інтегрування легко отримати вираз, який описує стан повітря під дзвоном в процесі пропускання контрольного об'єму.

$$T = T_p + (T_D - T_p) e^{-\frac{\alpha S}{C_p} t}. \quad (10.27)$$

Коефіцієнт α можна знайти із умови $T = T_e$ за час t_e , тобто

$$\alpha = \frac{C_p}{S \cdot t_e} \left[\ln(T_D - T_p) - \ln(T_e - T_p) \right] \quad (10.28)$$

При відомому значенні α залежність температури повітря під дзвоном від часу t на протязі якого T_D практично досягне T_p може бути знайдено за формулою:

$$t_e = \frac{C_p}{S \cdot \alpha} \left[\ln(T_D - T_p) - \ln(T_e - T_p) \right] \quad (10.29)$$

Отримане рівняння (10.28) можна використати при визначенні коефіцієнта передачі тепла α , а рівняння (10.29) для визначення залежності часу від температури $t = f(T)$, тобто визначити час витримки дзвона у верхньому положенні для вирівнювання температури повітря під дзвоном. Для експериментальних досліджень була взята установка РКДУ- 0,44. Здійснювався контроль

параметрів: тиск під дзвоном p_1 і температура під дзвоном T_1 , а також тиск p_d , і температура під дзвоном T_d , та температуру розділювальної рідини під дзвоном T_r , яка характеризує температуру елементів під дзвоном. Результати дослідження наведені на рисунку 10.2. Сталі величини для повітря такі як теплоємність:

$$C_p = 1,004 \text{ кДж(кгк)}; \quad C_v = 0,716 \text{ кДж(кгг)}; \quad \text{та } k = C_p / C_v = 1,401.$$

Коефіцієнт теплопередачі α визначений експериментально і рівний $\alpha = 4,61 \cdot 10^{-1} \text{ кДж / кг} \cdot \text{с}$.

В результаті експериментальних досліджень встановлено, що теплообмінні процеси в піддзвонному просторі при затримці дзвона у верхньому положенні проходять повільно, а через 150...180 с ці зміни є незначними і установка може бути використана для перевірки лічильників газу або робочих еталонів.

Спробуємо оцінити додаткову похибку установки, яка є наслідком незавершених теплообмінних процесів під дзвоном. Якщо температура T під дзвоном буде змінюватися, то відповідно зменшиться об'єм повітря при постійному тиску, який складається із контрольного об'єму ΔV_0 та пасивного (залишкового) об'єму ΔV_3 , тобто:

$$\Delta V_1 = \Delta V_3 + \Delta V_0, \quad (10.30)$$

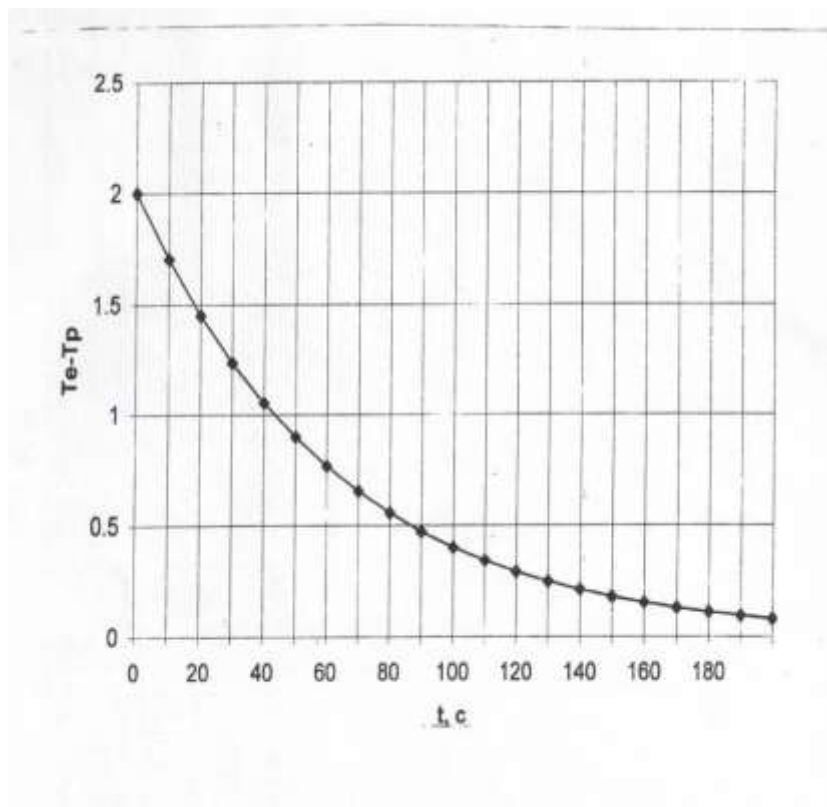


Рисунок 3.2 - Залежність зміни різниці температур під дзвоном від часу стабілізації так як

$$\Delta V_3 = \frac{V_3(T_n - T_r)}{T_n}, \quad (10.31)$$

$$\Delta V_0 = \frac{V_0(T_n - T_r)}{2T_n}, \quad (10.32)$$

тоді формула (10.30) буде мати вигляд:

$$\Delta V_1 = \left(V_3 + \frac{1}{2} V_o \right) \frac{T_n - T_l}{2T_n}. \quad (10.33)$$

Похибка від зміни температури повітря під дзвоном може бути визначена за формулою:

$$\gamma = \frac{\Delta V_t}{V_o} \cdot 100\%. \quad (10.34)$$

В залежності від залишкового об'єму V_3 та контрольного об'єму V_o , а також зміни температури на протязі пропускання контрольного об'єму похибка може змінюватися. Вважається за доцільне врахувати цю зміну, як поправку при безпосередніх вимірюваннях шляхом внесення доповнень до програмного забезпечення системи збору і обробки результатів вимірювання установки згідно алгоритму (10.23).

В результаті проведених досліджень отримана математична модель теплообмінних процесів в часі у піддзвоновому просторі установки об'єму газу дзвонового типу. За допомогою отриманих залежностей можна визначити час завершення теплообмінних процесів і, відповідно, час початку процесу вимірювання. Отримана також математична модель похибки дзвонової установки від зміни температури повітря під дзвоном в процесі пропускання контрольного об'єму при повірці лічильників газу. При чому ця математична модель може бути використана як поправка до контрольного об'єму.

10.3.2 Математична модель робочого еталону об'єму газу турбінного типу

Робочий еталон об'єму газу – це перетворювач міри об'єму газу у вихідний імпульсний сигнал. Такі еталони застосовуються для повірки лічильників газу методом порівняння в установках типу УПЛГ-2500 [14]. Метрологічною характеристикою робочого еталону є коефіцієнт перетворень, тобто залежність між кількістю імпульсів за одиницю об'єму газу. При різних витратах коефіцієнт перетворень може мати різні значення, різниця яких знаходиться в межах до 1 %. Враховуючи те, що турбінні робочі еталони об'єму газу мають високу стабільність коефіцієнта перетворень у всьому діапазоні вимірювання, це дає можливість провести метрологічну атестацію еталону в шести точках та інтерполювати їх кривою із степеневою залежністю. Після чого характеристику еталона $K=f(Q)$, де K – коефіцієнт перетворення імпульсів/м³; Q – витрата м³/с, можна використовувати в діапазоні від Q_{min} до Q_{max} .

Відомі роботи близькі до встановленої задачі здебільшого присвячені лічильникам рідин і газів. Найбільш узагальненою роботою є робота П.П. Кремльовського [19, 20, 24]. Фундаментальними роботами є роботи Бошняка Л.Л. [20] і Бобровнікова Г.Н. [21]. Всі вони присвячені дослідженню турбіни як чутливого елемента лічильника газу. В основу отримання залежності між частотою ω обертання турбіни і витратою газу Q покладено схему з різними швидкостями газу на вході і виході турбіни враховуючи коефіцієнт ковзання S_K та рівняння руху турбіни:

$$I \frac{d\omega}{dt} = M_p - \sum M_o \quad (10.35)$$

де M_p - момент обертання, M_o - моменти опору. В роботі [20, 21] отримано залежність між коефіцієнтом ковзання і циркуляцією потоків, що дозволило визначити момент руху турбіни методом "рухомих сил" в плоскій гідродинамічній решітці. Але турбіна має кільцеву гідродинамічну решітку і при малих кутах атаки виникають суттєві похибки у визначенні характеристики турбіни. Автор [21] при визначенні рухомих моментів скористався рівнянням

Ейлера, що привело до зручного для інженерних розрахунків рівняння, але з великими спрощеннями, що також дає значні похибок. В роботі [20] при дослідженні лічильника газу для високих тисків швидкості на вході і виході осьової турбіни прийняті по напрямку дотичної до лопаток.

Виходячи із аналізу відомих джерел теоретичні залежності між частотою обертання турбіни і витратою газу експериментальні дослідження не підтверджують їх з достатньою точністю.

Автор задався метою отримати задану залежність із умов ідеальної осьової турбіни враховуючи реальні моменти руху і опору, які діють на неї.

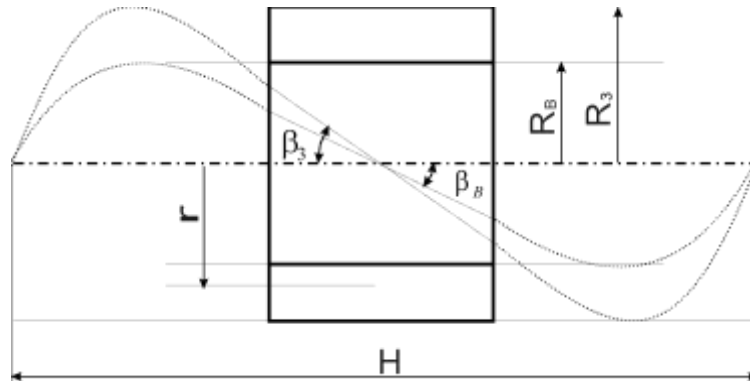


Рисунок 10.1 - Кут нахилу β гвинтової лопатки турбіни до її осі на радіусах зовнішньої та внутрішньої поверхні

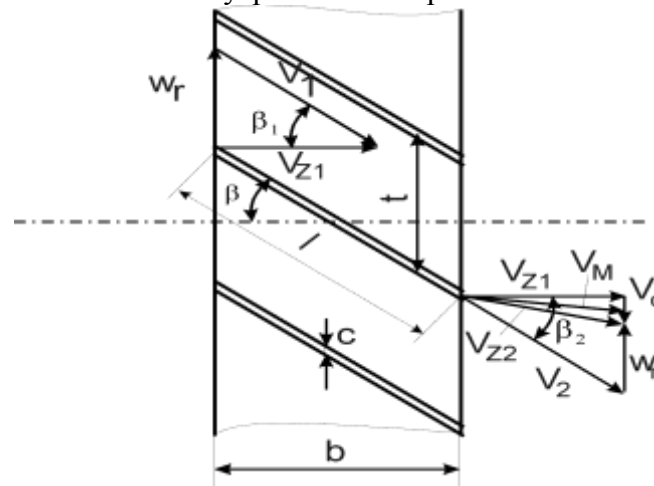


Рисунок 10.2 - Гідродинамічна решітка турбіни

На рисунку 10.1 зображена геометрія лопатки турбіни, а на рисунку 10.2 - швидкості в гідродинамічній решітці турбіни. Відповідно з наведеними рисунками необхідно встановити або уточнити деякі геометричні параметри турбіни. В результаті взаємодії потоку газу на лопатки турбіни остання обертається навколо своєї осі. Тобто лопатка є основним елементом турбіни. Вона характеризується довжиною - L , товщиною - C , кутом нахилу до осі турбіни - β . Її висота визначається як різниця між зовнішнім і внутрішнім радіусами турбіни $h=R_3-R_B$. Крім того кут нахилу β змінюється від β_3 на зовнішньому радіусі до β_B - на внутрішньому радіусі, тобто $\beta=f(r)$, або

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{2\pi r}{H}, \quad (10.36)$$

де H - крок гвинтової лінії.

А середнє значення кута нахилу можна визначити із залежності

$$\operatorname{tg}\beta_{CP} = \frac{1}{2}(\operatorname{tg}\beta_3 + \operatorname{tg}\beta_B). \quad (10.37)$$

Площа січення потоку через турбіну визначається відомою формулою [15]

$$F = \frac{\pi}{4}(D_3^2 - D_B^2) - zhc. \quad (10.38)$$

Крок решітки $t = \frac{2\pi r}{z}$ де z - кількість лопаток турбіни.

Сукупність лопаток періодично розташованих в площині однакових профілів, кожний із яких отриманий в результаті паралельного переміщення на довжину t в напрямку осі решітки, називають гідродинамічною решіткою [20, 21]. Якщо плоску решітку прийняти за розгортку розміщення лопаток турбіни, то теорію плоскої решітки можна використовувати для розрахунку швидкостей потоку на лопатках турбіни.

У випадку ідеальної турбіни опір її обертанню буде рівний нулю. Тоді абсолютна швидкість на вході V_{Z1} і на виході V_{Z2} будуть однаковими.

Кутова швидкість обертання турбіни буде рівною:

$$\omega_0 = \frac{Q}{Fr_{CP}} \operatorname{tg}\beta, \quad (10.39)$$

де Q_B - об'ємна витрата газу.

Відома теорія [16,21] про різні швидкості на вході і виході турбіни стверджує про опір тертя, при чому V_{Z1} і V_{Z2} відхиляються в протилежну сторону обертання і, відповідно, середня геометрична швидкість буде рівною $V_M = 1/2(V_{Z1} + V_{Z2})$, векторна швидкість девіації потоку - $V_d = V_{Z2} - V_{Z1}$. Але в газових потоках момент опору не перевищує декількох відсотків від моменту обертання, доцільно використати просту залежність між частотою обертання і опором, тому для вирішення поставленої задачі автором використана теорія ідеальної турбіни та моментами обертання і опору запропонована в вигляді простої залежності

$$\frac{\omega_1}{\omega_0} = 1 - \frac{\sum M_0}{M_P}, \quad (10.40)$$

де $\sum M_0 = M_B + M_T + M_I$, M_B - момент в'язкого тертя;

M_T - момент тертя в підшипниках; M_{II} - момент опору в перетворювачі; M_P - момент обертання;

ω_1 - частота обертання реальної турбіни. З врахуванням (10.39) отримаємо:

$$\omega_1 = \frac{Q \operatorname{tg}\beta}{Fr_{CP}} \left(1 - \frac{\sum M_0}{M_P}\right). \quad (10.41)$$

Для розрахунку моменту обертання використаємо рівняння Ейлера [20]. Елементарний момент на радіусі r буде рівний:

$$dM_P = \rho V_d r dQ, \quad (10.42)$$

де $dQ = V_{Z1} 2\pi r dr$ - секундна об'ємна витрата через циліндричний шар висотою dr . Враховуючи,

що швидкість девіації потоку на виході дорівнює $V_d = V_{z1} \operatorname{tg} \beta_2 - \omega r$ (див. рисунок 10.2), а також припущення автора про рівність швидкостей на вході і виході, то елементарний момент обертання буде рівним:

$$dM_P = 2\pi\rho V_{z1} (V_{z1} \operatorname{tg} \beta_2 - \omega r) r^2 dz. \quad (10.43)$$

В цій залежності враховуємо епюру швидкостей в кільцевому січенні робочого еталону, отриманої автором в [15] для турбулентного і ламінарного потоку і порівняємо на вході і виході турбіни $V_{z1} = V_{z2} = \frac{Q}{F}$, тоді вираз (10.43) буде мати вигляд:

$$M_P = \left(\frac{\pi}{HF} - \frac{\omega}{Q} \right) Q^2 r_{CP}^2. \quad (10.44)$$

Моменти сил в'язкого тертя на поверхні турбіни можна визначити із таких складових $M_B = M_{B.л.} + M_{B.ц.} + M_{B.д.} + M_{B.п.}$, де $M_{B.л.}$ - момент в'язкого тертя на лопатках, $M_{B.ц.}$ - момент сил в'язкого тертя на циліндричній поверхні; $M_{B.д.}$ - момент сил в'язкого тертя на диску, $M_{B.п.}$ - момент сил в'язкого тертя на торцевій поверхні. Із всіх складових найбільшим є момент в'язкого тертя на лопатках, він складає більше 90 %, тому для спрощення розрахунків використаємо рівність $M_B = M_{B.л.}$

Момент сил в'язкого тертя визначимо за методикою [20],

$$M_B = C_f \rho \frac{\pi b Q^2}{HF^2 \cos^2 \beta_3} I_H, \quad (10.45)$$

де C_f - коефіцієнт тертя;

- для ламінарного поверхневого шару $C_f = \frac{0,8}{\sqrt[5]{\operatorname{Re}}}$, де $\operatorname{Re} = \frac{N_1 l}{\nu}$, - число Рейнольдса

і - для турбулентного режиму:

$$C_f = \frac{0,074}{\sqrt[5]{\operatorname{Re}}}; \quad (9 \cdot 10^4 \leq \operatorname{Re} \leq 1,1 \cdot 10^6)$$

$$C_f = \frac{0,455}{(\lg \operatorname{Re})^{2,58}}; \quad (\operatorname{Re} \geq 1,1 \cdot 10^6);$$

$$I_H = \frac{2}{3} z (R_3^3 - R_B^3) + R_B^2 (2\pi R_B - zh) \cos \beta_B + z R_3^2 h \cos \beta_3.$$

Момент тертя в підшипниках можна визначити за формулою з роботи [20] для радіальних підшипників.

$$M_T = k_{\Pi} \rho Q, \quad (10.46)$$

Дослідженнями також встановлено відсутність опору в індукційному і фотоелектричному перетворювачі, так як результати вимірювання не відрізняються на одній і тій самій турбіні.

Підставивши отримані значення (10.44, 10.45, 10.46) в (10.41) будемо мати залежність частоти обертання для реальної турбіни

$$\omega_1 = \frac{Q \operatorname{tg} \beta}{F r_{CP}} \left[1 - \frac{\rho \left(\frac{C_f \pi b I_H}{H F^2 \cos \beta_3} + k_{II} \right)}{\left(\frac{\pi}{H} - \frac{\operatorname{tg} B}{r_{CP}} \right) \frac{r_{CP}^2}{F}} \right]. \quad (10.47)$$

Коефіцієнт перетворення робочого еталону можна визначити за формулою

$$K = I / V, \quad (10.48)$$

де I – кількість імпульсів на одному кубічному метрі V .

Для експериментальних досліджень було взято робочий еталон ЛГЕ-2500 діаметром умовного проходу ДУ-200. Різниця між експериментальними дослідженнями і отриманими залежностями (10.47) і (10.48) не перевищувала 1 %, що підтверджує правильність вибору математичної моделі робочого еталону об'єму газу.

Висновок

В розділі наведені приклади розробки математичних моделей засобів вимірювання, на базі яких може бути розроблено програмне забезпечення для ІВК та ІВС.

Запитання для самоконтролю засвоєння знань

- 1) Наведіть визначення математичної моделі.
- 2) Як можна класифікувати математичні моделі для ІВК та ІВС?
- 3) Наведіть стандартні математичні моделі, які забезпечують визначення: об'єму газу, приведеного до стандартних умов; густини газу в робочих умовах; кількість теплової енергії; об'ємної витрати газу по змінному перепаду тиску.
- 4) Наведіть математичну модель визначення похибки лічильників газу на установках дзвонового типу.
- 5) Наведіть математичну модель визначення контрольного об'єму газу в установках дзвонового типу при сталих температурі і тиску під дзвоном.
- 6) Які заходи застосовують для стабілізації температури під дзвоном в установці для перевірки лічильників газу дзвонового типу і як вони відображаються в нормативній документації?
- 7) В чому полягає суть математичної моделі робочого еталону об'єму газу турбінного типу? Які фактори впливають на метрологічні характеристики еталону об'єму газу турбінного типу в процесі експлуатації?

11 ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ, СТВОРЕНІ НА БАЗІ ІВК, ОСОБЛИВОСТІ ЇХ МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ. ПРИЗНАЧЕННЯ І ВИДИ ІВС

11.1 Інформаційно-вимірвальні системи (ІВС)

Вимірвальні інформаційні технології є різновидом інформаційних технологій і виділяються з цього великого переліку тим, що несуть очевидний пізнавальний характер і реалізують специфічні процедури, властиві тільки їм:

- отримання вихідної вимірвальної інформації в результаті взаємодії первинних вимірвальних перетворювачів (давачів) з об'єктом вимірювань;
- перетворення вимірвальної інформації з заданою і гарантованою точністю;
- зіставлення сигналів вимірвальної інформації з розмірами загальноприйнятих одиниць вимірювання;
- оцінка та подання характеристик залишкової невизначеності значень вимірюваних величин.

Сучасні вимірвальні інформаційні технології набувають додаткових властивостей завдяки використанню апаратних і програмних засобів штучного інтелекту. Одним з найважливіших завдань розвитку вимірвальних інформаційних технологій є розширення номенклатури вимірюваних величин, забезпечення вимірювань в умовах впливу "жорстких" зовнішніх факторів (висока температура, великий тиск, іонізуюче випромінювання і т.д.). Рішення подібних завдань пов'язано з ускладненням структури, використовуваних засобів вимірювань; створенням комплексів взаємопов'язаних ЗВ і технічних засобів, необхідних для їх функціонування.

Сучасні об'єкти дослідження характеризуються великою кількістю параметрів, що змінюються в часі з великою швидкістю. Іноді, щоб отримати інформацію про параметри об'єкта, необхідно проводити комплексні вимірювання, а значення вимірюваної величини отримувати розрахунковим шляхом на основі відомих функціональних залежностей між нею і величинами, які піддаються вимірюванням.

Зазначені завдання успішно вирішуються за допомогою ІВС, які набули широкого поширення. На даний час немає загальноприйнятого однозначного визначення, що таке ІВС.

Серед існуючих підходів до розгляду поняття ІВС слід виділити два основних.

Сутність одного підходу відображена в рекомендації по міждержавній стандартизації РМГ 29-99 "ГСИ. Метрологія. Основні терміни і визначення", в якій ІВС розглядається як різновид вимірвальної системи (ВС).

Там наведено наступне визначення:

Вимірвальна система - сукупність функціонально об'єднаних заходів, вимірвальних приладів, вимірвальних перетворювачів, ЕОМ і інших технічних засобів, розміщених у різних точках контролюваного об'єкта і т.п. з метою вимірювань однієї або декількох фізичних величин, властивих цьому об'єкту, і вироблення вимірвальних сигналів для різних задач.

Примітки.

1 Залежно від призначення вимірвальні системи поділяють на вимірвальні інформаційні, вимірвальні контролюючі, вимірвальні керуючі системи та ін.

2 Вимірвальну систему, яка перебудовується залежно від зміни вимірвального завдання, називають гнучкою вимірвальною системою (ГВС).

Приклади:

1 Вимірвальна система теплоелектростанції, яка дозволяє отримувати вимірювану інформацію про ряд фізичних величин у різних енергоблоках. Вона може містити сотні вимірвальних каналів.

2 Радіонавігаційна система для визначення місця розташування різних об'єктів, що складається з ряду вимірвально-обчислювальних комплексів, рознесених в просторі на значну відстань один від одного.

На практиці майже повсюдно застосовується термін "Інформаційно-вимірвальна система", який, на думку ряду провідних метрологів, неправильно відображає поняття про вимірвальну інформаційну систему. При утворенні терміна метрологічного характеру на першому місці

повинен вказуватися основний терміноелемент (в даному випадку - вимірювальна), потім - додатковий (інформаційна). Це становище і відображено в примітці до названого вище визначення.

Сутність другого підходу відображена у визначеннях, наведених у рекомендації МИ 2438-97 "ГСИ. Системи вимірювальні. Метрологічне забезпечення. Основні положення".

Вимірювальна система - сукупність певним чином з'єднаних між собою засобів вимірювань та інших технічних пристроїв (компонентів вимірювальної системи), що утворюють вимірювальні канали, яка реалізує процес вимірювань і забезпечує автоматичне (автоматизоване) одержання результатів вимірювань (які виражаються за допомогою чисел або відповідних їм кодів) змінних в часі і розподілених в просторі фізичних величин, які характеризують певні властивості (стан) об'єкта вимірювань.

Примітки.

1 Вимірювальні канали можуть входити до складу, як автономних вимірювальних систем, так і більш складних систем: контролю, діагностики, розпізнавання образів, інших інформаційно-вимірювальних систем, а також автоматичних систем управління технологічними процесами. У складних системах доцільно об'єднувати вимірювальні канали в окрему підсистему з чітко вираженими її межами як з боку входу (місця приєднання до об'єкта вимірювань), так і з боку виходу (місця отримання результатів вимірювань).

2 Вимірювальні системи володіють основними ознаками засобів вимірювань і є їх специфічним різновидом.

ВС розглядається як складова частина більш складних структур - ІВС, які можуть реалізовувати такі функції: вимірювальні інформаційні, логічні (розпізнавання образів, контроль), діагностики, обчислювальні. Необхідно відзначити один важливий момент, - ВС а також ІВС розглядаються як різновидності систем. Відповідно у складних системах рекомендується об'єднувати вимірювальні канали в окрему підсистему з чітко вираженими кордонами. Остання обставина пов'язана з однією з особливостей ІВС. Комплектація ІВС як єдиного, закінченого виробу з частин, що випускаються різними заводами-виробниками, часто здійснюється тільки на місці експлуатації. В результаті цього може бути відсутня заводська нормативна і технічна документація (технічні умови), що регламентує технічні, зокрема, метрологічні вимоги до ІВС як єдиного виробу. Відповідно виникають труднощі з проведенням випробувань для цілей затвердження типу.

Можливість розвитку, нарощування ІВС в процесі експлуатації або можливість зміни її складу (структури) залежно від цілей експерименту, по суті затрудняє або виключає регламентацію вимог до таких ІВС на відміну від звичайних ВС, які є "завершеними" виробами на момент випуску їх заводом-виробником.

Для забезпечення відповідної регламентації і здійснюється виділення підсистем у рамках більш складної ІВС.

Назва "інформаційна" вказує:

- на кінцевий продукт, що отримується за допомогою ІВС. Кінцевим продуктом є саме Інформація - експериментальна кількісна інформація про стан матеріальних об'єктів і про процеси, що відбуваються в них, чи то сировина, чи готові промислові вироби, чи природні процеси, і живі організми;

- на приналежність ІВС до більш широкої області - інформаційної техніки. Ця більш широка область має й інші складові частини. Серед них обчислювальна техніка, техніка зв'язку та зберігання інформації, які можуть по відношенню до ІВС бути споживачем інформації, а можуть і входити до складу ІВС. ІВС пов'язує світ фізичний зі світом цифр та інших знаків, з яких будуються математичні формули, різні повідомлення і програми для ЕОМ.

Основний процес емпіричного пізнання - вимірювання, за допомогою якого виходить первинна кількісна інформація. Тому до поняття "інформаційна" додається уточнює "вимірювальна". Однією з умов розгляду ВС як системи є необхідність і доцільність змін її структури. Зміни можуть здійснюватися як від застосування до застосування (багатофункціональна система), так і в процесі застосування (керована або адаптивна системи). Якщо структура ВС незмінна і умови її використання залишаються однаковими протягом періоду експлуатації, можливо визначити модель ВС типу "вхід-вихід". Наприклад, багатоканальні

електронні ВС для вимірювання температури серії 5150 фірми Guildline мають нормовані МХ і, з точки зору споживача, не розглядаються з системних позицій.

Автоматизація також не обов'язково пов'язана з структурованістю ВС, трактують як система. Компактний прилад, розглянутий як єдиний виріб, може бути високо автоматизованим. Прикладом може бути сучасний цифровий вольтметр, в якому реалізуються в автоматичному режимі функції вибору методу вимірювань, встановлення діапазону вимірювань і періодичної самодіагностики. Уточнене поняття "система" вказує на необхідність врахування складності структури ВС, навіть у тому випадку, якщо воно є одноканальним.

У розвитку ВС можна виділити два етапи, межа між якими визначається включенням до складу систем засобів обчислювальної техніки. На першому етапі структура та функції системи однозначно узгоджені і вимірювальна функція є визначальною. Інформаційні функції, пов'язані з відображенням результатів вимірювань, розглядаються як допоміжні.

На другому етапі система стає інформаційною в широкому сенсі, тобто дозволяє реалізувати не тільки вимірювальну, але й інші інформаційні функції. Результатом є створення ІВС, які призначені для виконання, на основі вимірювань, функцій контролю, випробувань, діагностики та інша спрощена структура такої ІВС, запропонована в літературі [6].

Розвиток ІВС доцільно розглядати у двох аспектах: структурному і функціональному. Перший відображає інтегрування різних підсистем, широке використання засобів обчислювальної техніки, що приводить до виникнення систем з гнучкою структурою. Другий аспект характеризує різке зростання числа функцій, які виконуються системою. При цьому центр ваги переноситься з вимірювальних функцій на інші інформаційні функції, пов'язані з використанням результатів вимірювань. Таким чином, в ІВС вимірювання у все більшій мірі стає нерозривно пов'язаним з іншими функціями (логічної обробки, аналізу результатів вимірювань та ін.) і його виділення не завжди можливе. З огляду на наведені вище особливості ІВС можна дати два наступних визначення ВС і ІВС в широкому сенсі.

Вимірювальна система - система засобів вимірювань та допоміжних технічних засобів, що являє собою засіб вимірювань. Вимірювальна інформаційна система - інформаційна система, що складається з інформаційних засобів, включаючи засоби вимірювань, і допоміжних технічних засобів, у якій вимірювальна інформація перетворюється в інші види інформації.

Найбільшою структурною одиницею ІВС, для якої можуть нормувати метрологічні характеристики (МХ), є вимірювальний канал (ВК). Він являє собою послідовне з'єднання ВС, що утворюють ІВС (деякі з цих ВС самі можуть бути багатоканальними, в цьому випадку слід говорити про послідовне з'єднання ВК зазначених ВС). Таке з'єднання ВС, передбачене алгоритмом функціонування, дозволяє виконувати закінчену функцію від сприйняття вимірюваної величини до індикації або реєстрації результату вимірювань включно, або перетворення його в сигнал, зручний для подальшого використання поза ІВС, для введення в цифровий чи аналоговий обчислювальний пристрій, що входить до складу ІВС, для спільного перетворення з іншими величинами, для впливу на виконавчі механізми.

Типова структура ВК включає в себе первинний вимірювальний перетворювач, лінії зв'язку, проміжний вимірювальний перетворювач, аналого-цифровий перетворювач, процесор, цифроаналоговий перетворювач. Розрізняють прості ВК, що реалізують процедуру виміру будь-якої величини, і складні ВК, реалізують процедури вимірювання декількох величин і отримання шуканої величини розрахунковим шляхом на основі відомих функціональних залежностей між виміряними і розрахованими величинами. Початкова частина складних ВК поділяється на декілька простих ВК, наприклад, при вимірюваннях потужності в електричних мережах початкова частина ВК складається з простих каналів вимірювань електричної напруги та струму. З огляду на багатоканальність в ІВС можливе використання одних і тих самих пристроїв у складі різних ВК, останні можна виділити найчастіше тільки функціонально і їх конфігурація реалізується програмним шляхом.

Протяжність ВК може становити від декількох метрів до декількох сотень кілометрів. Кількість ВК може сягати кількох тисяч. Інформація від первинних перетворювачів передається, зазвичай, за допомогою електричних сигналів (рідше - пневматичних) - струм, напруга, частота проходження імпульсів. У деяких областях вимірювань сучасні первинні вимірювальні перетворювачі мають цифровий код. При великій протяжності ВК використовуються

радіосигнали. Частина ІВС, що знаходиться після ліній зв'язку, які з'єднують її з первинними перетворювачами, звичайно називають вимірювально-обчислювальним комплексом. Значна частина сучасних ІВК будується на базі контролерів, як правило, модульного виконання, що включають у себе аналого-цифрові і цифроаналогові перетворювачі, процесор, модулі дискретної (бінарної) інформації (вхідні і вихідні), допоміжні пристрої. Склад, конфігурація, програмне забезпечення ІВК конкретизуються з урахуванням специфіки об'єкту. Складність структури і багатоканальність ІВС призводить до того, що державному метрологічному контролю і нагляду може підлягати не вся ІВС, а тільки частина її ВК. Складність метрологічного забезпечення пов'язана з наявністю в структурі ІВС ряду окремих частин, що розміщуються на об'єктах, які міняють місце розташування. У результаті частина ІВС може працювати з різними приймальними частинами в процесі одного і того ж циклу вимірювань у міру переміщення об'єкту.

При випуску і при експлуатації таких ІВС заздалегідь невідомі конкретні екземпляри приймальної і передавальної частин, які будуть працювати спільно, тим самим відсутній "стандартний" об'єкт, для якого регламентуються МХ. Контроль ІВС як цілісного об'єкту ускладнює можливе використання первинних вимірювальних перетворювачів, вбудованих в технологічне обладнання.

Широке використання у складі ІВС обчислювальної техніки висуває проблему атестації алгоритмів обробки результатів вимірювань.

Особливості ІВС роблять особливо актуальною для них проблему розрахунку МХ ІВС. Метод розрахунку МХ ВК ІВС істотно залежить від того, чи відносяться ВС до лінійних пристроїв. Методи розрахунку нелінійних систем залежать від виду нелінійності, можливості розчленування ВС на лінійну інерційну і нелінійну безінерційну частини та від інших обставин.

11.1.1 Призначення і види ІВС

Основними ознаками ІВС є: область застосування; спосіб комплектування; структура, види вхідних сигналів; види вимірювань; режим роботи, функціональні властивості компонентів.

За областю застосування ІВС ділять на групи:

- I. для наукових досліджень;
- II. для випробувань і контролю складних виробів;
- III. для управління технологічними процесами.

За способом комплектування:

- IV. агрегатні;
- V. неагрегатні, складаються з компонентів, спеціально розроблених для конкретних систем.

Агрегатні ІВС, як правило, включають універсальне ядро на основі якого, використовуючи давачі різних фізичних величин можна будувати ІВС різного призначення.

За структурними ознаками:

- системи паралельно-последовної структури. Основною ознакою такої структури є наявність ІК циклічно комутованого з безліччю давачів;
- системи паралельної структури, що включають безліч одночасно працюючих каналів, вихідні системи яких перетворюються єдиним функціональним перетворювачем і обробляються в одному обчислювальному пристрої.

Сигнали на вході ІВС можуть бути безперервними або дискретними, детермінованими чи випадковими.

Залежно від співвідношення між швидкістю зміни вхідних сигналів і інерційними властивостями системи розрізняють два основних режиму роботи ІВС: статичний і динамічний.

У динамічному режимі інерційні властивості системи впливають на результат вимірювання.

Під компонентом ІВС розуміють технічні пристрої, які виконують одну з функцій, передбачених процесом вимірювань і перетворення вимірювальної інформації в інші види інформації. Відповідно до функцій, компоненти поділяють на вимірювальні, сполучні, обчислювальні та інформаційні.

Вимірювальний компонент ІВС - засіб вимірювань: вимірювальний прилад, вимірювальний перетворювач, міра, вимірювальний комутатор. Вимірювальні компоненти по характеру

функціональних перетворень поділяються на аналого-цифрові і цифроаналогові.

Аналогові вимірювальні компоненти можуть бути лінійними і нелінійними, аналого-цифрові за своєю природою є нелінійними пристроями.

Компонент, що пов'язує ІВС - технічний пристрій або частина навколишнього середовища, що призначені або використовуються для передачі з мінімально можливими спотвореннями сигналів, які несуть інформацію про вимірювані величини, від одного компонента ІВС до іншого.

Обчислювальний компонент ІВС - цифровий обчислювальний пристрій (або його частина) спільно з програмним забезпеченням, виконує функцію обробки (обчислення) результатів спостережень для отримання розрахунковим шляхом результатів вимірювань, що виражаються числом або відповідним кодом.

Обчислювальні компоненти поділяються на:

- аналогово-обчислювальні - аналогові пристрої, вихідний сигнал яких є функцією двох або більше сигналів;
- цифрові обчислювальні пристрої, вихідний цифровий сигнал яких є функцією двох або більше сигналів.

Інформаційний компонент ІВС - технічний засіб, призначений для отримання інформації, зберігання, перетворення і передачі інформації. З точки зору інформаційної теорії вимірювальних пристроїв процес вимірювання, який виконується будь-яким вимірювальним пристроєм (включаючи необхідні дії людини-оператора), складається з ряду послідовних перетворень інформації про вимірювані величини, що проводяться до тих пір, поки вона не буде представлена в тому вигляді, задля отримання якої і виконується даний вимір. ВС розглядається як канал прийому (отримання) та передачі інформації (вимірювальної). Таким чином, ВС і вимірювальний компонент ІВС є різновидом інформаційного компоненту.

11.1.2 Особливості метрологічного забезпечення ІВС

Будь-яка ІВС повинна бути метрологічно коректною та задовольняти вимогам системи забезпечення єдності вимірювань відповідно з державними законодавчими актами та міжнародними нормативними документами ISO, OIML та ін. Виділення ІВС в окремий специфічний різновид ВС обумовлено рядом їх особливостей, які породжують специфіку їх метрологічного забезпечення (МЗ). Актуальними питаннями теоретичної підтримки вирішення проблем МЗ ІВС є: регламентація МХ ВК, експериментальне визначення і контроль МХ, прогнозування і визначення характеристик невизначеності вимірювань у відповідності з нормативними документами за виразом невизначеності вимірювань.

Оцінка характеристик точності програм обробки даних. Розвиток вимірювальної техніки, зокрема ІВС, які використовуються в складі АСУ ТП, ускладнення вимірювальних завдань і умов експлуатації ВС, висуває нові вимоги до опису їх властивостей, перш за все, призначених для системного застосування. Прилади, розраховані на застосування в якості самостійних ВС, для яких призначення класу точності однозначно визначили комплекс нормованих МХ (НМХ), практично непридатні при синтезі ВК ІВС. Комплекс НМХ повинен вибиратися так, щоб за деякої сукупності ВС, засобів обчислювальної техніки та інших пристроїв, що утворюють ВК, можна було визначити його МХ. Інтелектуалізація ВС і ІВС, тобто включення до їх складу мікропроцесорів і ЕОМ з метою автоматизації обробки даних, виконання обробки в режимі on-line, управління процедурою вимірювань, приводить до зростаючого значення метрологічного аспекту створення та використання алгоритмів і програм обробки даних. На скільки ІВС призначені для вирішення тих чи інших завдань класифікації, на стільки виникає проблема поширення на конкретні області і на класифікацію в цілому основних понять і методів метрології. Результати аналізу основних особливостей ІВС і виникаючих у зв'язку з цим проблем МЗ ІВС наведено нижче.

1. Багатофункціональність породжує проблему забезпечення одночасного вимірювання ряду фізичних величин; побудова узагальнених оцінок на основі вимірювання великого числа параметрів; обчислення комплексних параметрів.

2. Наявність у складі системи ЕОМ зобов'язує вирішувати завдання, пов'язані з оцінкою якості алгоритмів обробки обчислень.

3. Багатоканальність ставить вимогу проводити оцінку зменшення або виключення впливу каналів один на одного.

4. Нерозривний зв'язок багатьох ІВС з об'єктом, на якому вони експлуатуються, неможливість зняття таких систем з об'єктів, які не порушують його цілісності ставить задачу єдиного вирішення проблем проведення метрологічного обслуговування в умовах неможливості прив'язки використовуваних ЗВ до еталону шляхом їх переміщення до місця дислокації еталона. Неможливість комплектної повірки ВК за умовами установки давачів на об'єкті.

5. Складність опису об'єктів і їх моделювання зумовлює складність врахування впливу об'єктів на точність виміру в умовах дефіциту вихідної (апріорної) інформації.

6. Агрегатний спосіб побудови створює можливість дослідження ІВС як цілісного засобу лише при його перебуванні на об'єкті.

7. Розподіленість компонентів і складових частин ІВС в просторі зобов'язує проводити облік впливу на точність вимірювань різних умов експлуатації компонентів ІВС.

8. Можливість зміни складу ІВС в процесі експлуатації призводить до складності регламентації вимог до систем на момент їх випуску з виробництва.

9. Наявність динамічних режимів вимірювання призводить до необхідності дослідження динамічних властивостей системи і узгодження їх з об'єктом.

Приклади:

- ІВС для наукових досліджень - системи, для яких характерна різноманітність вимірюваних величин, складність обробки інформації, використання ЕОМ з великими обсягами пам'яті;

- ІВС в складі систем контролю та випробувань складних виробів (літальних апаратів, транспортних машинобудівних об'єктів, двигунів) - характеризуються багатоканальністю, різноманітністю вимірюваних величин, наявністю в їх складі пристроїв вбудованого контролю МХ. У комплекс технічних засобів для статичних випробувань літальних апаратів входять ІВС місцевих деформацій, ІВС переміщень, навантажень і т.д.;

- ІВС у складі АСУ ТП - характеризуються розкидом первинних перетворювачів по об'єкту, протяжністю ліній зв'язку, прив'язкою до конкретного об'єкту (енергоблоків, енергосистем, хімічних виробництв і т.д.);

- ІВС в системах льотних випробувань літальних апаратів містять наземну та бортову частини, характеризуються наявністю складних сполучних компонентів, наявністю радіоканалів, засобів зберігання вимірювальної інформації;

- ІВС в системах отримання навігаційної інформації характеризуються різноманітністю вимірюваних величин, застосуванням складних ВС, для яких не встановлюється тип і використовуються індивідуальні МХ ВС.

Запитання для самоконтролю засвоєння знань

1. Охарактеризуйте існуючі підходи до розгляду поняття інформаційно-вимірювальна система.

2. На що вказує подвійність назви по відношенню до інформаційно - вимірювальних систем?

3. Проаналізуйте особливості двох етапів у розвитку вимірювальних систем.

4. Поясніть, як вимірювальні функції в інформаційно- вимірювальних системах пов'язані з функціями аналізу результатів вимірювань та їх логічної обробки.

5. Що є найбільшою структурною одиницею інформаційно-вимірювальних систем?

6. Дайте визначення, що таке вимірювальний канал, охарактеризуйте його структуру.

7. У чому полягає складність здійснення державного метрологічного контролю та нагляду по відношенню до інформаційно - вимірювальних систем?

8. Як поділяються інформаційно-вимірювальні системи а) по області застосування? б) за способом комплектування? в) за структурними ознаками?

9. Охарактеризуйте особливості компонентів інформаційно - вимірювальних систем.

10. Проаналізуйте, які проблеми з метрологічного забезпечення виникають в зв'язку з

основними особливостями інформаційно-вимірювальних систем.

12 ЗАВДАННЯ ТА ОРГАНІЗАЦІЯ РОБОТИ З МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІВС

12.1 Загальні положення

Основні проблеми МЗ ІВС можна розділити на три групи: фундаментальні, прикладні і організаційно-правові.

До фундаментальних проблем відносяться:

1. Розробка методів оцінки МХ ІВС в умовах експлуатації. Рішення проблеми вимагає поєднання теоретичних та експериментальних методів.

2. Створення методів синтезу ІВС різних структур за метрологічними критеріями, тобто встановлення оптимальних точних характеристик компонентів ІВС за заданими нормами точності для системи в цілому.

3. Розробка методів випробувань, калібрування, повірки, метрологічних досліджень ІВС. Ця проблема включає оптимізацію обсягу і дотримання випробувальних процедур, що забезпечують достовірність оцінки МХ ІВС.

Прикладні проблеми включають:

1 Розробку методів автоматизації випробувань, повірки, калібрування ІВС.

2 Розробку програмно-керованих засобів для метрологічних випробувань ІВС.

3 Розробку алгоритмів і програм автоматизованої перевірки ІВС.

4 Розробку комплектів засобів повірки для оснащення метрологічних лабораторій державної і відомчих метрологічних служб.

До організаційно-правових проблем відносяться створення комплексу НД, що регламентують питання МЗ ІВС і забезпечення загальної координації робіт по МЗ ІВС на всіх етапах їх життєвого циклу: розробки (проектування), виробництва, монтажу та наладки, ремонту, експлуатації.

Межі поняття МЗ ІВС досі ще чітко не визначені, що обумовлено складністю проблеми у зв'язку зі специфікою ІВС (автоматизація вимірювань, проведення вимірювань в динамічному режимі, сумісність ЕОМ різних рівнів, наявність несправностей систем контролю, мінливість структур, вимірювання великої кількості величин, уніфікація алгоритмів вимірів, застосування безконтактних методів і засобів вимірювань і т.д.). Складність структур ІВС і робота її компонентів в різних умовах приводить до необхідності розробки додаткових заходів по забезпеченню принципу відносної інваріантності результатів вимірювання. Незважаючи на недостатність апріорної інформації, складність методів і засобів вимірювань, принципову "деформацію" властивостей об'єкта при його експериментальному дослідженні, вплив зовнішніх умов і вплив суб'єктивного елемента, результати вимірювань повинні залишатися адекватними (в межах прийнятої моделі) оцінками вимірюваних величин при повторному здійсненні однієї і тієї ж експериментальної обстановки (умов) і повинні відтворюватися з обмеженою невизначеністю, обумовленою зазначеними факторами.

Складність МЗ ІВС обумовлена ще одним важливим фактором, пов'язаним з функціональним призначенням ІВС. Здійснювані з допомогою ІВС функції вимірювань, контролю, випробувань, діагностики, виявлення і розпізнавання зводяться до класифікаційних завдань різного рівня, вирішення яких засновано на *вимірювальній інформації*. У рамках самої ІВС важко, а часто неможливо, розмежувати вимірювальні і невимірювальні інформаційні функції, які реалізуються системою, оскільки границя в більшості випадків проходить "через" програмний компонент. Розгляд ІВС в цілому, включаючи невимірювальні функції і підсистеми призводить до необхідності розширення меж поняття "метрологічне забезпечення ІВС". Спочатку поняття МЗ розкривалося у визначенні, наведеному в ГОСТ 1.25-76. "Метрологічне забезпечення - це встановлення і застосування наукових і організаційних основ, технічних засобів, правил і норм, необхідних для досягнення єдності вимірювань". Практика проведення метрологічних робіт і досліджень показала, що поняття МЗ повинно бути ширшим.

Було запропоновано наступне визначення: "Метрологічне забезпечення вимірювань – діяльність метрологічних та інших служб, спрямована на створення в країні необхідних еталонів, зразкових і робочих засобів вимірювань, розробку та встановлення метрологічних правил і норм, виконання ряду інших метрологічних робіт, необхідних для забезпечення потрібної якості

вимірювань". На початку 80-х років у зв'язку з впровадженням робототехніки і гнучких виробничих систем виникла необхідність в їх метрологічному забезпеченні.

З'явилося поняття "метрологічне забезпечення ДП", яке розглядалося як похідне поняття. Наголошувалося, що МЗ ДП має свою специфіку, зокрема, обумовлену необхідністю контролю точнісних характеристик не вимірювальних засобів (наприклад, точності розпізнавання об'єктів). ІВС є системами, що знаходяться в складі ДП і на них поширюється зазначена вище специфіка. Незважаючи на те, що МЗ ІВС є похідним поняттям від МЗ вимірювань, необхідність забезпечення якості невимірювальної підсистеми, від напряму якої залежить підсумковий результат функціонування ІВС, в розшифровці визначення МЗ не враховувалася. При подальших системних дослідженнях у галузі метрології були запропоновані такі визначення, що враховують роботу всіх підсистем ІВС.

МЗ ІВС - система наукової, технічної, правової та організаційної діяльності, спрямованої на досягнення єдності процесів перетворення інформації, яка здійснюється в ІВС і необхідної точності результатів її функціонування.

Єдність процесів перетворення інформації - якість процесів перетворення інформації, при якій їх результати, певні з використанням МХ інформаційних засобів, порівнянно. ? Необхідною умовою порівнянності результатів є однаковість МХ.

Точність результату функціонування ІВС - якісна характеристика системи, яка відображає близькість дійсного результату функціонування до істинного (необхідного).

Метрологічна експертиза (складова МЗ ІВС) - аналіз і оцінювання оптимальних науково-технічних рішень, пов'язаних з забезпеченням єдності процесів перетворення інформації, здійснюваних в ІВС. У ВС, в порівнянні з ІВС, переважають функції вимірювання, а функції обробки та зберігання вимірювальної інформації незначні або відсутні зовсім. Тим не менше, на ІВС може бути поширена класифікація, прийнята в МІ 2438-97 для ВС. Відповідно можна виділити:

- ІВС широкого застосування, що розробляються для серійного виробництва у вигляді закінчених виробів, які випускаються або імпортуються партіями, для встановлення яких на місці експлуатації достатньо вказівок, викладених в їх експлуатаційній документації (ІВС-1);
- ІВС цільового застосування, що розробляються для одиничного (разового або повторюваного дрібними партіями) виготовлення у вигляді закінченого виробу або імпортовані одиничними екземплярами або дрібними партіями, для встановлення якого на місці експлуатації достатньо вказівок, викладених в його експлуатаційної документації (ІВС-2);
- ІВС цільового застосування, що проектується під певні об'єкти (групи однорідних об'єктів), створюються як закінчений виріб безпосередньо на об'єкті експлуатації шляхом його комплектації з компонентів серійного або одиничного виготовлення та відповідного монтажу та наладки, здійснюваних згідно з проектною документацією (ІВС-3).

12.1.1 Завдання та зміст робіт

Ефективність МЗ ІВС закладається на стадії їх розробки (проекування) і залежить від спільних зусиль розробників, виробників, споживачів ІВС і метрологічних служб, які здійснюють їх МЗ. Для ІВС, що входять до складу більш складних автоматизованих систем, слід враховувати вимоги керівних документів і вимоги технічної документації (ТД) на ці системи. ІВС в таких складних структурах може виділятися на функціональному рівні.

Основними роботами з МЗ ІВС є:

- встановлення єдиних вимог до МХ систем;
- розробка методів і засобів контролю МХ;
- метрологічна експертиза (МЕ) технічної документації (ТД);
- забезпечення єдності і достовірності результатів функціонування ІВС шляхом проведення випробувань з метою затвердження типу ІВС або їх одиничних екземплярів;
- затвердження типу або одиничного примірника ІВС;
- проведення випробувань на відповідність ІВС затвердженому типу;
- аналіз стану МЗ ІВС і розробка на його основі комплексних програм розвитку МЗ;

- організація та здійснення державного метрологічного контролю та нагляду за станом і застосуванням ІВС;
- організація та проведення повірочних і калібрувальних робіт;
- організація та проведення робіт з атестації алгоритмів обробки інформації, що застосовуються при роботі ІВС. МЗ ІВС здійснюється на всіх етапах їх життєвого циклу.

Необхідною умовою для МЗ ІВС є наявність в технічній документації, що супроводжує етапи життєвого циклу ІВС, переліку вимірювальних каналів ІВС та їх МХ. Аналіз стану МЗ ІВС проводять з метою встановлення можливості здійснення постійного контролю метрологічної справності систем, які перебувають в експлуатації; встановлення відповідності тих що розробляються, виготовляються і перебувають в експлуатації ІВС вимогам НД і розробці на цій основі заходів щодо вдосконалення ІВС та їх МЗ. Державний метрологічний контроль і нагляд, відомчий контроль встановлює:

- Наявність НД, що регламентують вимоги до організації та порядку проведення розробки, виробництва та експлуатації ІВС, а також вимоги до точності результату функціонування ІВС, порядок і правила повірки ІВС;
- Ефективність робіт по проведенню МЕ конструкторської, технологічної, проектної документації;
- Правильність експлуатації ІВС та організації контролю за їх станом;
- Наявність необхідних еталонів для здійснення повірок;
- Правильність проведення повірок ІВС в процесі експлуатації та дотримання міжповірочних інтервалів.

Загальна мета МЕ ТД - забезпечення ефективності МЗ, виконання загальних і конкретних вимог до МЗ найбільш раціональними методами та засобами. Конкретні цілі МЕ визначаються призначенням і змістом ТД.

Залежно від виду ІВС і етапу їхнього життєвого циклу проводиться МЕ наступної документації:

- технічного завдання (ТЗ) на розробку або його замінного документа, що містить вихідні дані для розробки, проектування - для всіх видів вітчизняних ІВС на етапі їх розробки (проектування);
- технічних умов (ТУ) - для вітчизняних ІВС-1, конструкторської та технологічної документації - для ІВС-1 та ІВС-2 на етапах їх розробки та виробництва (виготовлення) відповідно;
- проектної документації, призначеної для виготовлення (комплектації), монтажу, налагодження і експлуатації вітчизняних ІВС-3 на об'єкті, на етапі їх проектування;
- комплекту документації (перекладеної на російську мову) фірми виробника на імпортований тип або одиничний екземпляр - для всіх видів ІВС (у тому числі проектної документації, призначеної для комплектації, монтажу, налагодження і експлуатації для ІВС-3) на етапі вивчення технічних характеристик та доцільності імпорту ІВС.

МЕ ТД на вітчизняні ІВС проводиться метрологічними службами організацій (підприємств), що розробляють, виготовляють, проектують та експлуатують ІВС, головними і базовими організаціями метрологічної служби в галузях, а також органами державної метрологічної служби та державними науковими метрологічними центрами в тому числі акредитованими в якості державних центрів випробувань засобів вимірювань в установленому порядку. Основним змістом МЕ ТЗ на розробку (проектування) ІВС, або процедури, що її замінює, що містить вихідні дані для розробки (проектування), є перевірка достатності вихідних вимог, що приводяться в проекті ТЗ, для раціональної регламентації МХ ВК ІВС на етапі їх розробки та побудови ефективного способу їх МЗ на наступних етапах життєвого циклу системи. Основним змістом МЕ ТУ, конструкторської, технологічної, проектної і експлуатаційної документації є перевірка відповідності закладених у вказаній документації комплексу МХ ВК і їх компонентів, методів і засобів їх визначення, контролю і (або) розрахунку, вихідним вимогам ТЗ, а також дотримання метрологічних правил, вимог і норм, що регламентовані в НД.

Зокрема, перевіряють:

- наявність в ТУ та експлуатаційній документації вичерпного переліку ІК та

метрологічних вимог до них;

- нонтролепридатність конструкції ІВС;
- наявність у проектній документації, призначеній для монтажу і налагодження ІВС на об'єкті, вимог до параметрів і характеристик, необхідних для контролю якості монтажу ІВС;
- наявність і зміст матеріалів (протоколів, актів, журналів, звітів тощо) попередніх випробувань, що стосуються метрологічних властивостей ІВС.

Атестація алгоритмів обробки інформації, що застосовуються при роботі ІВС проводиться для визначення, якою мірою алгоритм обчислень відповідає функції, що зв'язує величину, що вимірюється, з результатами прямих вимірювань. Звичайно ця невідповідність зумовлена можливостями обчислювальної техніки і вимушеними спрощеннями алгоритму обчислень (лінеаризацією функцій, їх дискретними уявленнями і т.п.). Завдання експерта оцінити суттєвість методичної складової невизначеності вимірювань через недосконалість алгоритму. Алгоритм обробки інформації повинен забезпечувати правильність кінцевого результату, тобто отримання класифікаційної інформації - інформації, яку отримують в результаті вирішення однієї з класифікаційних завдань, розв'язуваних ІВС, наприклад, контролю, діагностики, виявлення, розпізнавання образів.

Випробування з метою затвердження типу проводяться для ІВС, що підлягають застосуванню і застосовуються у сферах розповсюдження. Випробування у цілях сертифікації відповідності проводяться для ІВС, які підлягають державному нагляду. Якщо в сфері поширення державного нагляду знаходиться тільки частина із загального числа ВК ІВС, а інша частина - поза цією сферою, то випробуванням з метою затвердження типу ІВС піддається тільки перша частина ВК. Повіріці піддаються ВК ІВС, що застосовуються в сферах розповсюдження державного нагляду. Зміст робіт з перевірки визначається документацією повірочної методики ІВС. Калібруванню піддаються ВК ІВС, які не підлягають до застосування і не застосовуються у сферах поширення Державного нагляду.

ВК слід описувати таким чином:

- зазначенням місць з'єднань компонентів ІВС, між якими визначають вимірювальний канал;
- описом складу вимірювального каналу;
- описом алгоритму обробки проміжних результатів вимірювань в ВК для отримання кінцевого результату вимірювань.

Запитання для самоконтролю засвоєння знань

1 Охарактеризуйте фундаментальні, прикладні та організаційно-правові проблеми метрологічного забезпечення інформаційно-вимірювальних систем.

2 Що розуміють під метрологічним забезпеченням інформаційно-вимірювальних систем?

3 Перерахуйте основні роботи з метрологічного забезпечення інформаційно-вимірювальних систем.

4 На яких етапах життєвого циклу здійснюється метрологічне забезпечення інформаційно-вимірювальних систем?

5 Охарактеризуйте спільні цілі метрологічної експертизи технічної документації на інформаційно-вимірювальні системи різних видів.

13 МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ІВС

13.1 Загальні положення

Актуальними питаннями теоретичної підтримки вирішення нових проблем МЗ і нормування МХ ІВС є:

- розрахункові методи прогнозування та визначення характеристик невизначеності вимірювань, встановлених у посібнику з описом невизначеності вимірювань (Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement) з урахуванням спотворень, викликаних взаємодією ВК ІВС з об'єктом вимірів, завад, впливу навколишнього середовища, можливою адаптивною рекомбінації структури ВК, поправок і корекції поточних результатів;

- методи регламентації і визначення характеристик невизначеності, вноситься програмами обробки даних. Згідно з положенням, прийнятим у Посібнику з оглядом невизначеності вимірювань, нижче наведено визначення для оцінок (мір) невизначеності показів і невизначеності вимірюваної величини.

Оцінка невизначеності по типу А - метод оцінювання невизначеності шляхом статистичного аналізу рядів спостережень. Мірою невизначеності, що оцінюється по типу А, є стандартне відхилення u_A .

Оцінка невизначеності по типу В - метод оцінювання невизначеності в інший спосіб, ніж статистичний аналіз рядів спостережень. Мірою невизначеності, що оцінюється по типу В, є аналог стандартного відхилення u_B .

Стандартна невизначеність - невизначеність результату вимірювання, виражена як стандартне відхилення (аналог стандартного відхилення).

Сумарна стандартна невизначеність u - стандартна невизначеність вимірюваної величини (міра невизначеності вимірюваної величини), коли результат отримують шляхом вирахування з ряду значень інших вимірюваних величин. Якщо невизначеність обумовлена дією відомого ефекту величини впливає на результат вимірювання, то ефект називають систематичним ефектом. При оцінці невизначеності за типом У вважається, що в результат вимірювання внесені поправки на всі відомі значущі систематичні ефекти.

13.2 Принципи та особливості нормування МХ

МХ відображає властивості ЗВ (ВК), що роблять визначальний вплив на результат і точність вимірювань. Нормування МХ - це встановлення комплексу МХ і способів їх подання.

Загальні принципи нормування, які застосовуються до ІВС:

- можливість порівняння і вибору ЗВ;
- можливість визначення невизначеності вимірюваної величини з урахуванням нормованих МХ практично реалізованими методами;
- можливість визначення оцінки невизначеності результатів вимірювань, що проводяться за допомогою даного ЗВ. Комплекс МХ повинен включати в себе МХ інваріантні до умов застосування і режиму роботи. Способи представлення МХ повинні забезпечувати простоту їх контролю.

Особливості ІВС обумовлюють специфіку регламентації їх метрологічних властивостей, де слід враховувати:

- - особливості випуску та комплектування систем;
- - умови їх експлуатації з урахуванням просторової рознесеності компонентів системи;
- - використання в складі систем складних обчислювальних пристроїв.

Розглянемо докладніше цей вплив.

1. Якщо ІВС випускається і комплектується як єдине ціле, то в НД встановлюються МХ ВК, а також методи їхнього контролю в цілому. Якщо ІВС будується за агрегатним принципом, то тоді регламентуються розрахункові МХ і методи розрахунку МХ ВК систем по МХ що входять

до їх складу компонентів, або нормують індивідуальні характеристики ВК систем та методи їх експериментального визначення.

2. Якщо всі компоненти ІВС перебувають в однакових зовнішніх умовах, то функції впливових величин і додаткові складові невизначеності, що виникають під їх впливом, нормуються як для звичайних ЗВ. Якщо в різних - нормування і визначення - винятково складне завдання, для його вирішення вдаються до планування експерименту.? Якщо функція впливу на МХ залежить від інших впливових факторів - необхідно нормувати і визначати багатовимірні функції впливу і проводити багатофакторний експеримент.

3. Якщо використовуються аналогові обчислювальні пристрої, то їх розглядають як звичайний вимірювальний компонент системи і відповідним чином нормують його МХ. Якщо використовують складні обчислювальні пристрої (включаючи ЕОМ), то виникає потреба регламентації МХ алгоритмів обчислень.

Основною структурною одиницею ІВС є ВК (послідовний ланцюг вимірювальних компонентів, сполучених каналами зв'язку). Початком ВК є або вхід системи, або вихід проміжного пристрою, від якого розходяться кілька таких послідовних ланцюгів, кінцем ВК є вихід системи, або вхід системи розгалуження. Таким чином, щоб досить повно описати метрологічні властивості системи, необхідно нормувати МХ:

- ВК системи;
- вимірювальних компонентів системи;
- аналогових обчислювальних компонентів;
- -алгоритмів обчислення, реалізованих цифровими обчислювальними компонентами.

13.3 Метрологічні характеристики

Розглянемо дві групи МХ: типові та індивідуальні. Типові МХ нормуються в НД на типи ІВС (можуть визначатися і розрахунковим шляхом за МХ компонентів ІК). Індивідуальні МХ характеризують властивості конкретних ІК і визначаються експериментально або розрахунковим шляхом за знайденими експериментально МХ компонентів.

До типових МХ відносяться:

1. Номінальна функція перетворення ВК, що закінчується вимірювальним перетворювачем або приладом, шкала якого градуйована не в одиницях вхідного сигналу ВК системи - $f_{sa}(x)$

2. Ціна поділки рівномірної шкали, мінімальна ціна ділення нерівномірної шкали ВК, закінчується вимірювальним (показуючим або реєструючим) приладом.

3. Вид вихідного коду, число розрядів коду, номінальна ціна одиниці найменшого розряду коду - для ІК з видачею результату в цифровому коді.

4. Показники точності і правильності показань ІК, отриманих в результаті вимірювання:

а) характеристики невизначеності показань ІК, обумовленої дією систематичних ефектів (ΔS) з числа наступних:

- допустиме відхилення (ΔSP) функції перетворення ВК від номінальної, обумовлене дією систематичних ефектів; номінальне значення поправки θ ІК щоб виявити на виході ВК $M(\Delta S)$ і стандартне відхилення $\sigma(\Delta S)$, яке є мірою невизначеності поправки.

Як θ ІК може бути прийнята оцінка математичного сподівання $M(\Delta S)$, отримана на етапі попередніх досліджень з визначення типової поправки (нормування $M(\Delta S)$ і $\sigma(\Delta S)$) доцільно за умови, що вони трохи змінюються в часі).

б) характеристики невизначеності показань ВК, обумовленої дією випадкових ефектів:

- межа $\sigma_p(\Delta 0)$ Допустимих значень стандартного відхилення, які є мірою невизначеності показів ВК, які оцінюються по типу А;

- нормована автокореляційна функція $r_0(\tau)\Delta$ або спектральна щільність $S_a(\omega)\Delta$ межі допустимих відхилень від їх регламентованих значень.

- в) характеристики невизначеності показів Δ ВК: межа допустимого відхилення ΔP функції перетворення ВК від номінальної;

- міра невизначеності показів ВК $\sigma(\Delta)$, що оцінюється по типу А.

Нормування $\sigma(\Delta)$ проводиться в тому випадку, якщо

$$\sigma(\Delta) \leq \Delta p q_{max} / 100, \quad (13.1)$$

де q_{max} – встановлюється в НД на конкретні види систем.

г) межа допустимого значення варіації ВК.

5. Характеристики, що дозволяють врахувати можливий вплив на невизначеність показів взаємодії ІК з об'єктом вимірів і з підключеними до його виходу пристроями.

6. Динамічні характеристики (ДХ):

- повна ДХ - перехідна характеристики $h_a(t)$. Повні ДХ нормують для ВК, які можуть вважатися лінійними;
- імпульсна перехідна характеристика $g_a(t)$;
- амплітудно-частотна $A_a(\omega)$ та фазочастотна $\phi(\omega)$ характеристики;
- час реакції τ на ІК - характеристика, яка визначає тривалість встановлення вихідного сигналу в задані межі при стрибкоподібній зміні вхідного сигналу.

Нормується для ВК, включають як аналогові, так і аналого-цифрові компоненти.

7. Чутливість ВК системи до впливових величин:

а) функції впливу $\psi_a(\xi)$ (у вигляді граничного значення, або з вказанням допустимих відхилень від регламентованих значень);

б) найбільш допустимі зміни $\epsilon_p(\xi)$ МХ, викликані відхиленнями від нормальних умов.

8. МХ, що відображають вплив каналу на канал.

9. Параметри ліній зв'язку.

Якщо виробник не комплектує ІВС лініями зв'язку, то в НД вказуються параметри лінії зв'язку, що забезпечують нормовані МХ ВК. Нормування характеристик невизначеності показань для робочих умов проводиться, якщо найбільші відхилення МХ під дією впливових факторів не перевищують заданого значення, обумовленого в НД. У НД на конкретні види систем нормують комплекси МХ, достатні для обліку властивостей систем при оцінці їх точності.

Індивідуальними характеристиками є:

1. Індивідуальна функція перетворення ВК системи $f_s(x)$, що закінчується на виході вимірювальним перетворювачем, шкала якого градуйована в одиницях, що відрізняються від одиниць вхідного сигналу, що надходить на каналу.

2. Характеристики невизначеності показів конкретного екземпляру ВК системи:

а) характеристики невизначеності показів ВК Δ_{SC} , обумовленої дією систематичних відхилень:

- верхня Δ_{SIC} і нижня Δ_{SLC} межі відхилень функції перетворення ІК від номінального значення після введення поправок на всі значимі систематичні відхилення;
- ймовірність $P_{\Delta sc}$ або нижня межа її допустимих значень, з якою відхилення функції перетворення ІК від номінального значення знаходиться в інтервалі, обмеженому Δ_{SIC} і Δ_{SLC} ;

б) характеристики невизначеності показів $\sigma(\Delta)$ зумовленої дією випадкових відхилень:

- стандартне відхилення, яке є мірою невизначеності показів ВК, яке оцінюється за типом А;
- стандартне відхилення $\sigma(\Delta)$ і нормована автокореляційна функція $(a_0(\omega)\Delta)$ або спектральна щільність $S(a_0(\omega)\Delta)$.

в) характеристики невизначеності показів ВК Δ_s : верхня Δ_{IC} і Δ_{LC} нижня межі інтервалу можливих відхилень функції перетворення ВК від номінального значення і ймовірність P_{Δ_s} або нижня межа $P_{\Delta LC}$ її допустимих значень, з якої відхилення знаходиться в зазначеному інтервалі.

При цьому характеристики нормують тільки для ВК систем, в яких невизначеність показів, що оцінюється за пунктом б), значно менше невизначеності показів, які оцінюється за пунктом а).

г) варіація ВК системи.

3. Характеристики, що враховують вплив взаємодії ВК з об'єктом дослідження і з підключеним до його виходу пристроєм.

4. Індивідуальні динамічні характеристики ВК:

а) повна динамічна характеристика: перехідна характеристика $h c(t)$, імпульсна перехідна характеристика $g c(t)$, амплітудно-частотна $A c(\omega)$ та фазочастотна $\psi c(\omega)$;

б) час реакції $\tau_{гс}$ ВК.

5. Характеристики чутливості ВК : а) функції впливу $\psi(\xi)$;

б) функції впливу ВК системи на ВК, метрологічні характеристики якого визначаються.

13.4 Експериментальне визначення метрологічних характеристик

Проблема експериментальних досліджень метрологічних властивостей ІВС важлива на стадіях їх розробки, виготовлення і експлуатації.

Найбільші труднощі виникають під час випробування макетів, коли апріорна інформація мінімальна, і потрібно приймати рішення про методи і засоби випробувань та номенклатури МХ, а також при експлуатації систем, коли доступ до них ускладнений.

Специфічні особливості експериментальних досліджень:

- Взаємний вплив каналів;
- Просторова розподіленість ВК (якщо в різних умовах);
- Неможливість активно впливати на входи ВК (через конструктивні обмеження їх і

труднощі формування випробувальних сигналів в неелектричній формі).

Основні етапи експериментального визначення МХ ВК: підготовка до проведення експерименту; проведення експерименту, обробка експериментальних даних з метою отримання значень МХ або аналітичних виразів для них.

Підготовка до експериментального визначення МХ.

1. Вивчити НД на систему; вихідну інформацію про її властивості, конструкції, принцип дії, вхідних сигналах. Джерела інформації: література, опитування експертів, результати попередніх експериментів.

2. Розробити модель ВК і уточнити перелік, за яким експериментально визначаються МХ.

3. Встановити вид експерименту, зробити вибір досліджуваних точок, діапазону вимірювань і числа вимірів у досліджуваній точці.

4. Сформулювати вимоги до методів, апаратури та умовам проведення експерименту.

5. Встановити факторний простір і побудувати план експерименту для оцінки функції впливу.

У програмі та методиці атестації викладають методи вибору досліджуваних точок по діапазону вимірювань, число вимірів у точці, методи і режими вимірювань, отримання представницької вибірки.

Специфічні особливості підготовки експерименту для ІВС:

- побудова математичної моделі (ММ);
- планування експерименту з визначенням функції впливу. На етапі підготовки експерименту будується якісна модель. Модель повинна відображати: характер залежності між

вхідним і вихідними сигналами і вхідним сигналом, чутливим до впливових факторів, режим (статичний або динамічний), істотність випадкової складової невизначеності і варіації. Відомо декілька видів опису ВК. Найбільш поширеними є детерміновані стохастичні моделі. Статичні моделі описують стаціонарні, тобто ті процеси, що не змінюються в часі. Динамічні моделі описують перехідні процеси, тобто нестационарні процеси. І ті, й інші можуть відноситися до детермінованої або стохастичної моделі типу (умовно ділять моделі на безперервні (аналогові) і дискретні).

Процес побудови моделі ВК містить наступні етапи:

1. Складання змістовного опису;
2. Побудова формалізованої схеми ВК;
3. Побудова моделі ВК;
4. Перевірка адекватності моделі ВК.

Змістовний опис може бути складено у результаті вивчення НД з урахуванням накопиченого досвіду спостережень за функціонуванням аналогічних ВК, або в результаті спостереження процесу і фіксації кількісних характеристик. У змістовний опис входить: постановка завдання, яке визначає мету моделювання; перелік шуканих величин із зазначенням їх практичного

призначення і необхідної точності їх визначення; чисельні значення відомих характеристик і параметрів процесу. На підставі аналізу змістовного опису уточнюється номенклатура МХ. Формалізована схема - проміжна ланка між змістовним описом і моделлю. Вона розробляється тільки при складності досліджуваного каналу. Для побудови формалізованої схеми необхідно вибрати характеристики процесів, встановити систему параметрів, що визначають процес перетворення вхідного сигналу ІК, визначити залежність між характеристиками і параметрами процесу перетворення з урахуванням всіх факторів. На етапі побудови формалізованої схеми повинно бути складене точне математичне формулювання завдання дослідження із зазначенням остаточного переліку шуканих величин і оцінюваних залежностей. Для перетворення формалізованої схеми в ММ необхідно записати в аналітичній формі всі співвідношення, які ще не були записані.

Розглянемо як приклад побудову ММ, що враховує вплив зовнішніх факторів на прикладі ВК, який складається з лінійних аналогових компонентів, прийнявши, що із зміною в часі впливами можна знехтувати. Інтегральне співвідношення

$$y(t) = \int_{-\infty}^t g(t, \tau) x(\tau) d\tau \quad (13.2)$$

пов'язує вихідний сигнал $y(t)$ ВК з основними характеристиками самого каналу і діючими на нього вхідний сигнал $x(t)$ і збуреннями.

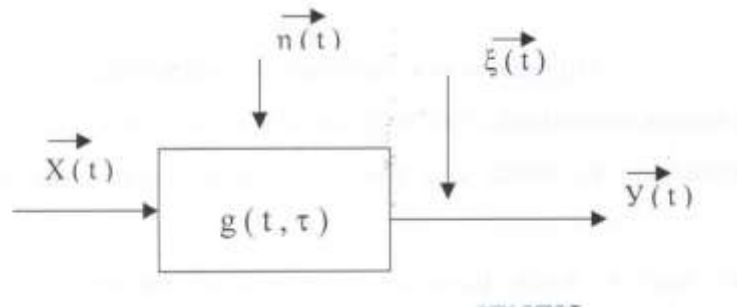


Рисунок 13.1 - Структурна модель ВК ІВС

Математична модель ІК пов'язує вихідний сигнал $Y(t)$ з основними характеристиками самого каналу, вплив характеристик на нього вхідним сигналом $X(t)$ і збуреннями впливових величин $\eta_i(t)$ (рисунок 13.1). ВК, який знаходиться під дією впливових факторів описується випадковою імпульсною перехідною функцією, що відображає сукупність 2 ефектів перетворення - інерційності і стохастичності, які можна розглядати як діючі незалежно. Модель такого ВК можна представити у вигляді двох з'єднаних послідовно елементів, перша з яких визначає динамічні властивості ВК, а друга, що є безінерційним перетворювачем з випадковим коефіцієнтом перетворення, враховує стохастичності (рисунок 13.2).

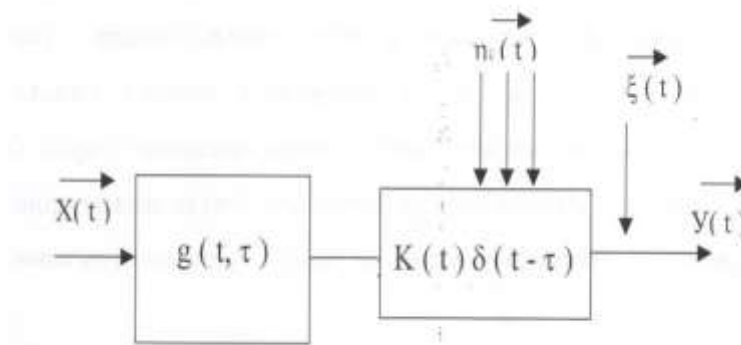


Рисунок 13.2 - Бінарна структурну модель ВК

Тоді загальну імпульсну перехідну функцію ВК можна представити через імпульсні перехідні

функції $g_l(t, \tau)$,

$$g_l(t, \tau) = g_o(t - \tau) \quad (13.3)$$

$$g_2(t, \tau) = k_o(t) \delta(t - \tau) \quad (13.4)$$

і виразом

$$g(t, \tau) = \int_{\tau}^t g_2(t, \tau) g_l(t, \tau) dt = k_o(t) g_o(t - \tau) \quad (13.5)$$

де $g_o(t - \tau)$ - імпульсна перехідна функція ВК в нормальних умовах;

$k_o(t)$ - випадковий коефіцієнт перетворення, що враховує стохастичний характер неконтрольованих впливів;

$\delta(t - \tau)$ - дельта-функція;

$k_o(t)$ можна представити сумою детермінованої і випадкової складової

$$k_o(t) = kc + \varepsilon(t), \quad (13.6)$$

де kc - значення коефіцієнта перетворення в нормальних умовах,

$\varepsilon(t)$ - складова, що враховує випадковий характер коефіцієнта перетворення впливів.

Позначивши через $\Sigma = \eta(t)$ - безліч впливів, отримаємо таку модель впливів:

$$y(t) = [kc + \sum a_i \eta_i] \int g_o(t - \tau) x(\tau) dt + \sum b_i \eta_i(t) \quad (13.7)$$

де $\sum a_i \eta_i$ і $\sum b_i \eta_i$ – складові функції впливу розкладені в ряд Маклорена.

Модель придатна для визначення імпульсної перехідної функції, коефіцієнтів чутливості функції впливу a_i та b_i характеристик додаткової невизначеності показів ВК обумовленої впливами (складові невизначеності від дії систематичних ефектів і спектральні характеристики).

Для нормальних умов динамічна модель приймає вигляд:

$$y(t) = kc + \int_{-\infty}^{\infty} g_o(t - \tau) x(\tau) d\tau \quad (13.8)$$

Для статичного режиму, коли $\int g_o(t - \tau) d\tau = 1$ і робочих умов експлуатації:

$$y(t) = kc + \sum a_i \eta_i(t) + \sum v_i \eta_i(t). \quad (13.9)$$

Для статичного режиму в нормальних умовах експлуатації: $y = kox$. Ця модель служить для визначення невизначеності показів ВК в нормальних умовах його застосування.

Для перевірки адекватності моделі досліджуваного процесу задаються критерієм адекватності і перевіряють за цим критерієм збіг значень сигналу на виході ВК та чисельних значень, що отримуються з ММ при тих самих вхідних впливах.

Процедура корегування моделі за критерієм адекватності найбільш наочна при застосуванні методів планування експерименту. Суть його полягає в побудові адекватної стохастичної моделі оцінки параметрів цієї моделі та оптимального вибору значень вхідних впливів при оцінці параметрів ММ.

Розглянемо планування експерименту при визначенні характеристик додаткової похибки ВК, обумовленої відхиленням впливів від їх нормальних значень. Основною характеристикою додаткової невизначеності показів є функція впливу.

Нехай функція впливу описується лінійною моделлю, причому вона враховує значення трьох впливів, незалежних один від одного і від вимірюваного сигналу.

Так, як в більшості випадків впливи викликають значні зміни невизначеності показів ВК, то

$$\psi_c(\zeta) = \sum \psi_{\Delta s}(\zeta_i), \quad (13.10)$$

де $\psi_{\Delta s}(\zeta_i) = A_i \Delta \zeta_i A_i = const (i = 1 \dots k)$

Тоді рівняння моделі функції впливу

$$\psi c(\xi) = \sum_{i=1}^{K=3} A_i \xi_i. \quad (13.11)$$

Після вибору моделі функції впливу, у природній для дослідження області факторного простору планують і проводять експеримент для оцінки числових значень коефіцієнтів цього рівняння.

Для побудови плану експерименту оцінимо область визначення впливів на основі ретельного аналізу вихідної інформації про ВК.

Встановивши область визначення, вибирають нульову точку факторного простору та інтервали варіювання кожного з впливів. Як нульовий вибирають точку $\zeta_i(0)$, яка відповідає початковим значенням впливу при нормальних умовах. При виборі інтервалів варіювання $\pm \Delta \zeta_i$ використовують попередню інформацію про точність фіксування впливів, про діапазон зміни параметрів вихідного сигналу і т.д. Вибравши нульові рівні та інтервали варіювання, приступають до побудови плану експерименту.

Перший етап - варійовані фактори приймають значення, які відповідають нижньому $\zeta_i(H)$ і верхньому $\zeta_i(B)$ рівням, симетрично розташованим щодо нульового рівня $\zeta_i(0)$. Кожен фактор при цьому приймає значення

$$\zeta_i(B) = \zeta_i(0) + \Delta \zeta_i, \quad (13.12)$$

$$\zeta_i(H) = \zeta_i(0) - \Delta \zeta_i, \quad (13.13)$$

де $\Delta \zeta_i = \frac{1}{2} [\zeta_i(B) - \zeta_i(H)]$.

Для спрощення обробки результатів експерименту зручно перейти до безрозмірних змінних η_i :
Згідно з формулою

$$\eta_i = 2 [\zeta_i - \frac{1}{2} (\zeta_i(H) + \zeta_i(B))] / [\zeta_i(B) - \zeta_i(H)], \quad (13.14)$$

При цьому кожному фактору: верхнього рівня відповідає запис $\eta_i = 1$, нижнього рівня $\eta_i = -1$, а нульового рівня $\eta_i = 0$. Кількість дослідів при проведенні повного факторного експерименту типу 2^n дорівнює $N = 2^n$, де n - кількість впливів. Використовуючи таблицю 13.1, можна побудувати матрицю для трьох факторів.

Після переходу від вихідних змінних ζ_i до безрозмірних змінних η_i рівняння моделі запишеться у вигляді

$$\psi c(\zeta) = A_1 \eta_1 + A_2 \eta_2 + A_3 \eta_3, \quad (13.15)$$

де $\psi c(\zeta)$ - розрахункове значення функції впливу.

Використовуючи дані матриці планування, і застосовуючи для обробки експериментальних даних метод найменших квадратів, визначаємо коефіцієнти моделі за формулами:

$$A_1 = (1/N) \sum_{i=1}^N \eta_{ij} \psi_{cj}, \quad (13.16)$$

$$A_2 = (1/N) \sum_{i=1}^N \eta_{zj} \psi_{cj}, \quad (13.17)$$

$$A_3 = (1/N) \sum_{i=1}^N \eta_{zj} \psi_{cj}. \quad (13.18)$$

Оцінка значущості коефіцієнтів проводиться за критерієм Стьюдента:

$$t_i = A / \sqrt{S^2 \{A\}}, \quad (13.19)$$

де $S^2 \{A\}$ - дисперсія коефіцієнтів моделі

$$S^2 \{A\} = S^2_{зал.} / [N - (K+1)] \quad (13.20)$$

Таблиця 13.1

Номер досліджу	План експерименту			Результат експерименту
1	2			3
1	-1	-1	-1	$\psi_c(\xi)$
2	+1	-1	-1	$\psi_c(\xi)$
3	+1	-1	+1	$\psi_c(\xi)$
4	-1	-1	+1	$\psi_c(\xi)$
5	-1	+1	-1	$\psi_c(\xi)$
6	+1	+1	-1	$\psi_c(\xi)$
7	+1	+1	+1	$\psi_c(\xi)$
8	-1	+1	+1	$\psi_c(\xi)$

Залишкову дисперсію $S^2_{зал.}$ визначають:

$$S^2_{зал.} = \sum_{i=1}^N (\psi_{ci} - \psi_c)^2 / (N - K), \quad (13.21)$$

де $(N - k)$ - число ступенів свободи.

Коефіцієнт вважається значущим, якщо виконується умова $t_i > t_{kp}$ (t_{kp} - вибирають за таблицею). Перевірка адекватності моделі додатково невизначеності показів проводиться за критерієм Фішера:

$$F_{розр} = S^2_{зал.} / S^2_{\Delta c}, \quad (13.22)$$

Дисперсія відтворюваності

$$S^2_{\Delta c} = \sum_{i=1}^N (\psi_{ci} - \psi_c)^2 / (N-1), \quad (13.23)$$

$$\text{де } \psi_c = \sum_{i=1}^N \psi_{ci} / N.$$

Знайдене значення порівнюється з $F_{кр}$. Модель вважається адекватною, якщо $F_{розр.} < F_{кр}$.

Якщо адекватність лінійної моделі не підтверджується, то переходять до моделі більш високого порядку, або зменшують інтервали варіювання і проводять новий експеримент на отримання адекватної лінійної моделі. Використання методів планування експерименту дозволяє широко застосовувати ЕОМ для побудови моделей, а також автоматизувати процедуру їх дослідження.

Попередній експеримент і обробка результатів. Для уточнення ММ оцінюють істотність стандартного відхилення (міри невизначеності, що оцінюється по типу А) і варіації. Перевірку проводять, як правило, у трьох точках діапазону вимірювань ВК (на початку, всередині і в кінці). У кожній з трьох точок діапазону за результатами 20 вимірювань при збільшенні (прямий хід) і 20 вимірювань при зменшенні вимірюваної величини (зворотний хід) визначають значення розмаху за вибірковими значеннями відхилення функції перетворення ВК від номінального значення $\Delta = \Delta_{max} - \Delta_{min}$ на прямому і зворотному ході. Якщо значення половини розмаху $\Delta / 2$ менше або дорівнює значенню q у всіх трьох точках діапазону вимірювань, то вважають, що міра невизначеності, яка оцінюється по типу А не істотна.

Перевірку суттєвості варіації визначають в тих же трьох точках діапазону і по тих самих вибірках за критерієм $b \leq q$, де b - оцінка варіації, обчислена для кожної з трьох точок діапазону вимірювань за результатами 20 вимірювань в прямому і зворотньому ході. Критерій значущості q наводиться в нормативних документах на конкретні типи ВК.

Алгоритм обробки результату вимірювань (приклад)

Якщо враховується варіація, то визначають відхилення Δ_{ijy} показів на виході ВК від номінального значення, отриманого при підході до точки x_i вхідного сигналу з боку великих і з боку менших значень (j - номер точки, $1 \leq i \leq n$)

$$\Delta'_{ijy} = y'_{ij} - f_{sfc}(x_j),$$

$$\Delta''_{ijy} = y''_{ij} - f_{sfc}(x_j),$$

де y'_{ij} і y''_{ij} - масив значень вихідного сигналу ВК при підході до точки ij з боку великих і менших значень вхідного сигналу відповідно;

$f_{sfc}(x_j)$ - номінальна статична функція перетворення ІК. Визначають Δ_{jy} як максимальне з двох чисел

$$\Delta_{jy} = \max(\max_i |\Delta'_{ijy}|, \max_i |\Delta''_{ijy}|) \quad (13.24)$$

Визначають середнє відхилення від номінальної функції перетворення ВК

$$\Delta_{sjy} = (\Delta^{-}{}_{iy} + \Delta^{-}{}_{jy}) / 2, \quad (13.25)$$

де $\Delta^{-}{}_{jy} = (\sum_{i=1}^n \Delta''_{ijy}) / n$; $\Delta^{-}{}_{iy} = (\sum_{i=1}^n \Delta'_{ijy}) / n$,

Для визначення міри невизначеності, що оцінюється по типу А, обчислюють стандартне відхилення комбінованого ряду

$$\Delta^{-}{}_{sjy} = (\sum_{I=1}^n \Delta_{ijy}) / n, \quad (13.26)$$

Без урахування варіації усереднене відхилення оцінюється середнім арифметичним ряду отриманих відхилень:

$$\Delta^{-}{}_{sjy} = (\sum_{I=1}^n \Delta_{ijy}) / n, \quad (13.27)$$

де $\Delta_{ijy} = Y_{ij} - F_{sfc}(XJ)$.

Обчислюється стандартне відхилення $S_y = \sigma^{-}(\Delta')$

$$\sigma^{-}y(\Delta') = \sqrt{\left\{ \sum_{I=1}^n (\Delta_{ijy} - \Delta_{sjy})^2 \right\} / (2n-1)} \quad (13.28)$$

У разі, коли відсутня необхідність проведення попереднього експерименту, наведені вище оцінки, знаходять на підставі обробки результатів вимірювань, що проводяться в основному експерименті.

Основний експеримент і обробка результатів

Розрізняють три види експерименту з визначення МХ ВК: активний, пасивний, змішаний.

Активний експеримент полягає у формуванні на вході ВК випробувального сигналу заданої форми, значення і параметрів, встановлення значень ВВ, згідно з розробленим планом експерименту і реєстрації вихідного сигналу.

Метод дозволяє визначити МХ з високою точністю і в найкоротший час. Недолік методу - складність створення апаратури, відтворюючих впливів.

Пасивний експеримент полягає в синхронній реєстрації вхідних і вихідних сигналів впливів з наступною обробкою результатів для отримання шуканих МХ.

Дослідження проводять без активного втручання в функціонування досліджуваного ВК. Перевага цього методу - можливість проведення експерименту без порушення природного режиму функціонування ВК. Недолік - неможливість створення випробувальних сигналів бажаного вигляду, велика тривалість експерименту, збільшення обсягу та ускладнення обчислень при визначенні МХ. Особливості методів пасивної ідентифікації:

1. Для статичних моделей у випадку стаціонарних вхідних, вихідних сигналів і впливів використовують метод ненаправленої локалізації, який полягає в тому, що формування вибірки проводиться довільно без збереження тимчасової реєстрації даних.

2. Велике значення має правильне визначення проміжку часу між відліками.

3. Для оцінки необхідного числа дослідів користуються співвідношенням $(N - n) / n \geq 20$, де N -число дослідів;

n - число змінних параметрів у моделі.

4. Велике значення має вибір величини інтервалу часу між двома відліками.

При малих Δt два сусідніх покази будуть досить корельовані між собою. Однак Δt не повинно сильно перевищувати максимальний інтервал кореляції, тому що в цьому випадку дані покази можуть бути перекручені нестационарними змінами.

Для визначення Δt застосовується спосіб, заснований на розрахунку автокореляційних функцій вхідного, вихідного сигналів та впливів.

Час згасання τ_0 кожного з них (інтервали кореляції) визначають

$$|\tau_{xx}(\tau_0)| \geq (0,03 \dots 0,05)r_{xx} \quad (13.29)$$

5. До використання експериментальних даних необхідно визначити придатність вимірювальної інформації, для чого обчислюють

$$v = (X_{i \max} - X_{i \min}) / \Delta X, \quad (13.30)$$

де X_{\max} , X_{\min} - максимальне і мінімальне значення параметра в даній вибірці;

ΔX - величина, що визначається як половина інтервалу, в якому знаходиться значення вимірюваної величини, визначеного на основі показів реєструючого приладу і апріорної інформації про його похибку.

Якщо v мале ($v < 3 \dots 5$), то X визначається в даному експерименті занадто грубо. Необхідно використовувати більш точні прилади.

Змішаний експеримент полягає у формуванні на вході ВК випробувального сигналу заданої

форми і синхронної реєстрації значень впливів і вихідного сигналу ВК. Значення шуканих МХ отримують розрахунково-експериментальним шляхом. Для цього виду експерименту потрібна адекватна ММ, яку будують у попередньому експерименті. Вид і значення параметрів функції впливу визначають розрахунковим шляхом, а значення інших МХ - шляхом обробки результатів вимірювань значень вихідних сигналів.

Розглянемо методи визначення основних МХ ІК в активному експерименті. Індивідуальну характеристику $f_c(x)$ визначають в заданих точках діапазону вимірювань (з урахуванням варіації і невизначеності, що оцінюється по типу А). За значення функції беруть середні значення вихідного сигналу (з якого вилучена варіація) за час, обумовлений в НД на конкретний ВК. При аналітичному завданні індивідуальної характеристики значення функції апроксимуються поліномом порядку не вище другого. Ступінь полінома визначають залежно від залишкової суми квадратів апроксимації. Оцінку варіації визначають:

$$H_c = \Delta'' - \Delta'. \quad (13.31)$$

Визначають середнє відхилення:

$$\Delta_{sc} = (\sum_{i=1}^n \Delta i) / n. \quad (13.32)$$

Обчислюють стандартне відхилення:

$$\sigma(\Delta c) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\Delta i - \Delta_{sc})^2 / (2n-1)}. \quad (13.33)$$

Автокореляційна функція:

$$r_{o\Delta c} = \sum_{i=1}^{I=2n-\tau T} (\Delta i - \bar{\Delta}) (\Delta i + \tau T - \bar{\Delta}) / (2n - \tau T) D(\Delta c), \quad (13.34)$$

де n - число відліків при визначенні автокореляційна функції;

τ_o - інтервал часу між двома послідовними звітами.

Спектральна щільність визначається:

$$S_{\Delta c}(\omega) = (\sigma^2(\Delta c) / 2\pi) \int_{-\infty}^{\infty} r_{\Delta c}(\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau, \quad (13.35)$$

де $r_{\Delta c}(\tau)$ - аналітична функція, апроксимуюча оцінки $r_{\Delta c}(\tau)$.

При цьому нормалізована автокореляційна функція визначається за точками для дискретних значень аргументу τ , для яких τ/T_o приймає цілочисельні значення. Інтервал часу T_o повинен задовольняти умові $T_{max}/2 < T_o \leq \tau_1$, де τ_1 - перше, після нульового, значення аргументу τ , для якого визначається значення автокореляційної функції; τ_{max} - задана верхня межа діапазону аргументу, у якому визначається нормалізована автокореляційна функція.

Визначення функції впливу каналів на досліджуваний канал проводиться в двох експериментах:

- перший - на входи кожного з ВК, вплив яких оцінюється, підключенням навантаження, еквівалентного джерелу вхідного сигналу і визначаються МХ вимірювального і досліджуваного каналу;

- другий - входи ВК, вплив яких досліджується, підключаються за схемою, що відповідає режиму експлуатації і визначається МХ досліджуваного ВК. Різниця між значеннями МХ дає значення функції ВК впливу на досліджуваний канал.

При визначенні динамічних характеристик вибирають методи по ГОСТ 8.256-77. Розглянемо простий метод визначення імпульсної перехідної функції. На вхід ВК подають двійковий сигнал у вигляді m - послідовності з відомою амплітудою А. Вимірюючи значення взаємно кореляційної

функції вхідного і вихідного сигналів $r_{xy}(\tau)$, значення імпульсної перехідної характеристики отримують масштабуванням результатів вимірювань

$$g_c(\tau) = r_{xi}(\tau) / A^2, \\ i = n, 1$$

Цей метод впливає з відомого співвідношення, що зв'язує автокореляційну функцію вхідного сигналу $r_{xx}(\tau)$ з взаємно кореляційною функцією вхідного і вихідного сигналів через імпульсну перехідну функцію $g_c(\tau)$:

$$r_{xy}(\tau) = \int_0^t g_c(t) r_{xx}(t-\tau) dt. \quad (13.36)$$

У разі вхідного сигналу у вигляді m -послідовності $r_{xx}(\tau) = B^2 \delta(\tau)$ із відомих властивостей δ -функції виходить:

$$r_{xy}(\tau) = B^2 g_c(\tau). \quad (13.37)$$

Для визначення перехідної функції $h_c(t)$ вимірювального каналу подається ступінчастий сигнал $x(t) = AV$, де A - відома амплітуда 0 при $t < 0$ і 1 при $t > 0$. Вихідний сигнал реєструють у дискретних точках $\{t\}^n$.

Значення перехідної функції визначають масштабуванням результатів вимірювань $h_c(t_i) = y(t) / A$, $i = 1, n$. Отримані значення можна використовувати або для побудови графіка, або аналітичної апроксимації. Для визначення АЧХ - $A_c(\omega)$ та ФЧХ - $\varphi_c(\omega)$ на вхід вимірювального каналу подають випробувальний сигнал виду: $x(t) = A \sin \omega t$ з постійною амплітудою $A = const$ і змінною частотою ω . Встановлюючи значення частоти ω_i , вимірюють амплітуду вхідного сигналу $y(\omega_i)$, після чого $A_c(\omega) = y(\omega_i) / A$, $i = n, 1$.

На цих же частотах визначають значення фазочастотної характеристики $\varphi_c(\omega)$. Вибір методу визначення характеристики ВК залежить від необхідної точності. При оцінці точності характеристики ВК слід враховувати не тільки невизначеність показів, але й відхилення відтвореного випробувального сигналу від номінального значення. Якщо значення характеристики супроводжує розкид, необхідно провести багаторазове визначення шуканої характеристики та отримані результати усереднити.

13.5 Розрахункові методи визначення МХ ІВС та ІВК

Необхідність застосування розрахункових методів визначення МХ систем по МХ компонентів обумовлена агрегатним принципом їх побудови. Оскільки розрахункові методи передбачають ідеалізацію властивостей системи і потребують більшого обсягу апіорної інформації, їх використання має бути обгрунтовано техніко-економічними причинами. Методи поширюються на ВК, які складаються з послідовно включених лінійних аналогових компонентів, а також на ВК, що містять дискретні компоненти, впливом дискретності яких на невизначеність показів ВК можна знехтувати.

Для того щоб правильно надати вихідні дані для розрахунку в вигляді функціональних залежностей, що пов'язують МХ з вхідним (вихідним) сигналом, потрібно вибрати математичну модель компонента. Як правило, в НД відсутні повні дані, необхідні для побудови моделі. Тому при використанні розрахункових методів необхідно провести дослідження і роботи з побудови моделі і перевірки її адекватності.

У загальному випадку розрахунок номінальної функції перетворення, характеристик невизначеності показань ВК заснований на послідовному приведенні до виходу каналу функції перетворення і складових невизначеності показів ВК з подальшим їх підсумовуванням.

Розглянемо методику розрахунку статичних МХ на прикладі визначення номінальної функції перетворення ВК.

Вихідні дані:

N - кількість компонентів в каналі;

$f_{sai}(x)$ - номінальна функція перетворення кожного компонента ($i = 1, 2, \dots, N$) задається у вигляді лінійної функції вхідного сигналу.

$$f_{sai}(x) = A_i x + a_i,$$

де A_i і a_i - мультиплікативна і адитивна складові функції перетворення, що визначають нахил і зсув f_{sai} .

Мультиплікативна складова функції перетворення визначається за формулою

$$A(i) = \prod_{j=i+1}^N A_j, \quad \text{при } i=1, 2, \dots, N. \quad (13.37)$$

Адитивна складова функції перетворення каналу визначається з виразу

$$a = \sum_{i=1}^N a_i \prod_{j=i+1}^N A_j. \quad (13.38)$$

Тоді для каналу в цілому $f_{sai}(x) = A x + a$, де $A(0) = A(i)$ при $i = 0$. Наприклад, для ВК, що складається з трьох послідовно з'єднаних компонентів, k_1, k_2, k_3 адитивні і мультиплікативні функції перетворення, які позначимо $A_1, a_1, A_2, a_2, A_3, a_3$ відповідно, розрахунок номінальної функції перетворення відображається таким чином. Сигнал на виході K_1 можна записати у вигляді $x_1 = A_1 x + a_1$

Цей сигнал є вхідним для компонента k_2 - вихідний сигнал, якого можна отримати з виразу

$$x_2 = A_2 x_1 + a_2 = A_2 (A_1 x + a_1) + A_2 = A_1 A_2 x + A_2 a_1 + a_2. \quad (13.39)$$

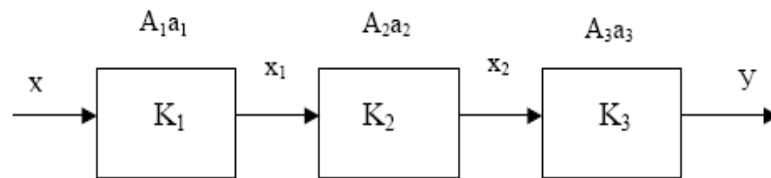


Рисунок 13.3 - Найпростіша лінійна модель ВК

Для компонента K_3 :

$$y = A_3 x_2 + a_3 = A_3 (A_1 A_2 x + A_2 a_1 + a_2) + a_3 = A_1 A_2 A_3 x + A_2 A_3 a_1 + A_3 a_2 + a_3, \quad (13.40)$$

що відповідає формулі для $f_{sa}(x)$.

Вихідними даними для розрахунку динамічних характеристик ВК є:

$A_{ai}(\omega)$ - номінальна АЧХ компонента;

$\Delta \varphi_{ai}(\omega)$ - номінальна ФЧХ компонента;

$\Delta A_{ai}(\omega), \Delta \varphi_{ai}(\omega)$ - найбільші допустимі відхилення АЧХ та ФЧХ від номінального значення.

Номінальну АЧХ ВК і $\Delta A_a(\omega)$, розраховують за формулами:

$$\Delta A_{ai}(\omega) = \sum_{i=1}^N \Delta A_i(\omega) \prod_{i=1}^{i-1} A_i(\omega) \prod_{i+1}^N A_i(\omega) \quad (13.41)$$

Номінальну ФЧХ і найбільші допустимі відхилення від неї розраховують за формулами:

$$\varphi_{ai}(\omega) = \sum_{i=1}^N \varphi_{ai}(\omega), \quad \varphi_a(\omega) = \sum_{i=1}^N \Delta\varphi_i(\omega). \quad (13.42)$$

Дані співвідношення можна використовувати при двох наступних умовах:

- ВК складається з лінійних аналогових компонентів, або включає дискретні компоненти, нелінійними інерційними властивостями яких можна знехтувати;
- у ВК має місце стаціонарний динамічний режим, коли математичне очікування і дисперсія вимірюваного сигналу не залежать від часу, а кореляційна функція залежить від різниці часу.

У більшості випадків ВК містить аналого-цифровий перетворювач (АЦП), який здійснює дискретизацію в часі і квантування по амплітуді неперервного сигналу $y(t)$ на виході аналогової частини ВК системи.

При побудові моделей ВК ІВК виходять із припущення, що в ЦАП квантування проходить ідеально. Однак, при широкосмугових сигналах, а також вимірюванні та регулюванні швидко змінних величин динамічна модель буде виглядати, як це представлено на рисунку 3.4 ВК представлений як послідовне підключення аналогових компонентів ІВС, які включають вхідні пристрою АЦП (аналогова лінія частина ВК), з дискретною нелінійною частиною, в якій виконуються операції дискретизації в часі і квантуванням за рівнем.

У цьому випадку динамічні властивості аналогової частини ВК ІВС описуються її амплітудно-і фазочастотними характеристиками, певними викладеними вище методами з урахуванням АЧХ лінійної частини АЦП, а динамічні властивості дискретної частини - середньою затримкою відліку і апертурних часу - характеристиками динамічних властивостей АЦП. При цьому затримка (випередження) відліку - різниця між заданим і дійсним моментами відліку, має систематичну складову (постійний зсув) $t_{3.c}$, який завжди можна врахувати як поправку і випадкову складову $\Delta t_{3.0}$ тобто $t_{3.0} = t_{3.c} + \Delta t_{3.0}$

Числова характеристика розподілу затримки відліку $P(\Delta t_{3.0})$ називається апертурною часу t_a . Оскільки $t_{3.0}$ залежить від рівня та швидкості зміни вхідного сигналу АЦП, розподілу $P(\Delta t_{3.0})$ і, відповідно, t_a поряд з АЧХ аналогової частини каналу можуть бути використані для розрахунку динамічної похибки каналу.

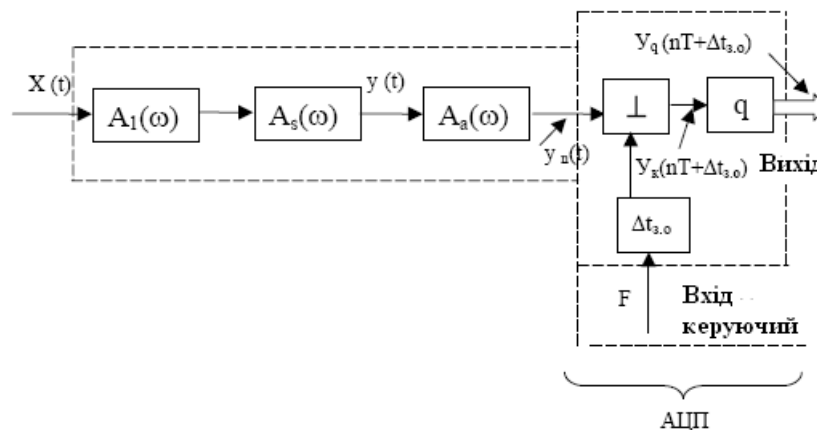


Рисунок 13.4 - Модель ВК ІВС з урахуванням інерційних властивостей АЦП

Математичний опис перетворення вихідного сигналу $x(t)$ з спектром $S_x(\omega)$ аналогової частини каналу має вигляд:

$$y_k(t) = (1/2\pi) \int_{-\infty}^{\infty} S_x(\omega) \prod_{i=1}^S A_{ai}(\omega) A_{ay}(\omega) e^{j\omega t} d\omega \quad (13.43)$$

де $A_{ai}(\omega)$ - АЧХ аналогових лінійних компонентів;

А $y(\omega)$ - АЧХ аналогової частини АЦП. Сигнал на виході дискретизатора:

$$y_k(nT + \Delta t 3.0) = \int_{nT-\alpha}^{nT+\alpha} y_k(t) \sum_{-\infty}^{\infty} \delta [t-(nt+\Delta t 3.0)] dt, \quad (13.44)$$

де α - інтервал інтегрування ліворуч і праворуч від заданого тимчасового положення n -го відліку; T - період дискретизації.

Сигнал на виході квантувача та ВК в цілому може бути представлений за допомогою нелінійної пилоподібної функції $\varepsilon(y_k)$ у вигляді:

$$y_g(nT + \Delta t 3.0) = y_k(nT + \Delta t 3.0) - \varepsilon(y_k). \quad (13.45)$$

Тоді динамічна похибка дорівнює

$$\Delta y_k = (y_g \Delta t 3.0) / nT. \quad (13.46)$$

На підставі цієї формули по конкретних значеннях часового ряду, отриманого в результаті вимірювань, можна обчислити оцінку похибки в кожний момент часу і nT . Якщо відомі статичні характеристики $y_k(t)$ і $\Delta t 3.0$ можна знайти загальну оцінку невизначеності показів ІК і стандартне відхилення. Але розрахунок характеристики за наведеними вище виразами ускладнене через складності обчислень.

Для випадків, коли облік інерційних властивостей дискретних компонентів необхідний, можна рекомендувати метод математичного моделювання з використанням моделі каналу, наведений на рисунку 13.4.

13.6 Визначення МХ програм обчислень

При метрологічній атестації алгоритмів досліджуються три основні групи показників: точності, стійкості і складності.

Показники точності - характеризують точність результатів, отриманих за допомогою даного алгоритму при дотриманні введеної моделі вхідних даних.

Показники стійкості (надійності) - характеризують стійкість по відношенню до спотворень вихідних даних, перешкод.

Показники складності визначають трудомісткість рішення задачі при використанні даного алгоритму (число елементарних операцій обробки даних). Мета атестації алгоритму - вибір оптимального алгоритму для вирішення конкретного завдання (на етапі розробки системи). Під МХ програми обчислень розуміють характеристики тих властивостей програми обчислень, які впливають на результат вимірювань і можуть призвести до додаткових втрат вимірювальної інформації. Втрати вимірювальної інформації можуть бути обумовлені: застосуванням наближених методів обчислень (недосконалість методів чи алгоритмів);

- недостовірність експериментальних даних, що надходять на вхід обчислювального компоненту (спадкова втрата вимірювальної інформації);
- похибкою округлення результатів обчислень.

Одна і та ж програма обчислень, реалізована в одному і тому ж середовищі, однієї й тієї ж операційної системи на обчислювальному компоненті одного типу, не буде мінятися від екземпляра до примірника (може бути поєднана з конкретною копією). Зміни в програмі можуть виникнути при зміні обчислювального компонента або операційної системи.

Коли мають місце істотні обмеження обчислень (за часом відліку, кроком дискретизації,

числом операцій) - доцільно використовувати функцію зв'язку між MX і цими обмеженнями. Функція зв'язку має різний вигляд залежно від типів застосовуваних алгоритмів.

Отримавши в процесі МА залежність, наприклад, методичної похибки його кроку дискретизації можна вибрати значення параметру обмеження, при якому ця похибка буде мінімальною, і рекомендувати даний алгоритм при отриманому значенні параметра обмеження.

Оцінка MX програм обчислень може бути отримана за допомогою обчислювальних експериментів, організація яких асоціюється з методом "зразкового засобу" або методом "зразкового приладу". У першому випадку на вихід обчислювального компонента подають цифрові сигнали, що імітують роботу аналогової частини системи (рисунок 13.5. а). Пристрій, який генерує сигнали, називається цифровим векторним імітатором.

Необхідна послідовність числових даних може утворюватися шляхом звернення до запам'ятовуючого пристрою або відтворюється програмними засобами ЕОМ по заданому алгоритму. У будь-якому випадку на вхід пристрою поступають порівняльні числові дані $N(t_i) \rightarrow a_i$ та очікувані результати їх обробки і повинні бути відомі з заданою точністю. Для організації експерименту за методом "Зразкового приладу" використовується (рисунок 13.5. б) машинна імітація результатів прямих вимірювань $N(t_i)$ (з урахуванням відомих законів розподілу показів і відомої інформації про величини, піддаються вимірюванням).

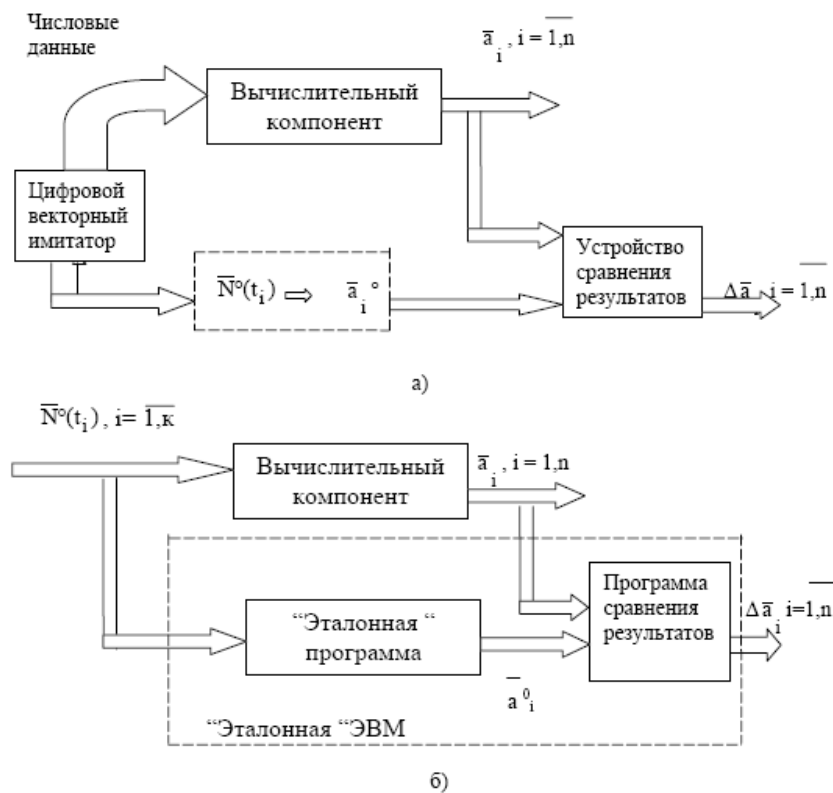


Рисунок 13.5 - Методи визначення MX програм обчислень

Результат застосування програми обчислень і а порівнюється з ідеальним значенням *pro* і а, визначеним з урахуванням апріорної інформації про досліджувану систему (наприклад, за допомогою ЕОМ). Однак через складність цей експеримент часто є не доцільним. МА програм обчислень проводиться тільки для тих, що заново розробляються або не пройшли атестацію програм обчислень. Повторна атестація проводиться при зміні обчислювального компонента.

Запитання для самоконтролю засвоєння знань

- 1 У чому полягають загальні принципи нормування метрологічних характеристик інформаційно-вимірювальних систем?
- 2 Які особливості інформаційно-вимірювальних систем у першу чергу обумовлюють специфіку регламентації їх метрологічних характеристик?
- 3 Які характеристики вимірювальних каналів відносяться до динамічних?

- 4 Охарактеризуйте основні проблеми та специфічні особливості експериментальних досліджень метрологічних властивостей інформаційно - вимірювальних систем?
- 5 У чому полягає підготовка до експериментального визначення метрологічних характеристик інформаційно- вимірювальних систем?
- 6 Які завдання вирішуються в процесі побудови моделей вимірювальних каналів? Наведіть приклад побудови математичної моделі вимірювального каналу.
- 7 Як враховується вплив впливових факторів при визначенні метрологічних характеристик інформаційно- вимірювальних систем?
- 8 У чому полягає суть методів планування експерименту? Розгляньте приклад побудови плану експерименту за наявності трьох впливових величин.
- 9 Розгляньте методику розрахунку номінальної функції перетворення вимірювального каналу.
- 10 Які особливості аналого-цифрових перетворювачів необхідно враховувати при побудові моделі вимірювального каналу інформаційно - вимірювальної системи?
- 11 .Сформулюйте основні принципи, що використовуються при визначенні метрологічних характеристик програм обчислень.

14 ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО СУЧАСНИХ ІВК

14.1 Особливості сучасних багатоканальних ІВК

Основне призначення ІВК - автоматизація виробничих процесів. Це широке коло виробництв - теплові й атомні електростанції, газотурбінні установки, хімічні й металургійні комбінати, цементні виробництва, сховища сільськогосподарської продукції, системи кондиціонування, наукові дослідження, стендове обладнання, високоточні засоби вимірювання. До особливих вимог, які ставляться до сучасних ІВК можна віднести такі [29,30]:

Багатопрофільність ІВК - охоплює всі задачі автоматизації технологічних процесів, зв'язані з обробкою, керуванням, захистом, відображенням, збереженням і передачею інформації. Для всіх цих задач ІВК має єдиний інформаційний простір, єдині апаратні рішення і розвинутий САПР для підготовки прикладних програм. ІВК інваріантний щодо характеру технологічного процесу, тому його можна використовувати в різних галузях промисловості. У всіх випадках ІВК дозволяє автоматизувати окремі групи обладнання, окремі агрегати і виробництво в цілому.

Інтегрованість ІВК - дозволяє інформаційно об'єднати кілька автономних систем, керуючих різнорідними агрегатами одного підприємства. Він також може надавати зв'язок з АСУП підприємства.

Відкритість ІВК - відкрита система, що використовує найсучасніший метод інтеграції з іншими технічними засобами. Цей метод отримав міжнародне визнання і його сьогодні використовують багато зарубіжних компаній.

Масштабність ІВК - розрахована на автоматизацію як занова споруджуваних, так і реконструйованих об'єктів. Він оптимальний як для великих систем, число сигналів у який вимірюється багатьма тисячами і навіть десятками тисяч, так і для невеликих систем із сотнею сигналів. Найважливішою властивістю ІВК є сполучення алгоритмічної потужності і високої надійності з порівняно низькою вартістю і простотою обслуговування. У результаті створювані на базі ІВК системи керування мають оптимальне відношення вартість/продуктивність.

З'єднуваність ІВК, в тому числі і з вітчизняними периферійними засобами значно розширює його застосування. Він легко з'єднується з усіма видами давачів, які випускаються: засувки, клапанів, шибєрів, насосів, димососів, вентиляторів і інших виконавчих пристроїв.

Модульність. Модульна побудова апаратних засобів і об'єктно-орієнтоване програмне забезпечення створюють гарні передумови для поетапної модернізації ІВК із збереженням загальної концепції і всієї методології використання. Це дозволить надалі легко асимілювати в ІВК нові технологічні досягнення в області базових апаратних засобів і програмних продуктів.

Дружність. ІВК створюються групою фахівців, яка включає як співробітників, що мають більш ніж тридцятирічний досвід розробки засобів промислової автоматики, так і молодих фахівців в області сучасних інформаційних технологій. Це дозволяє в максимальній ступені врахувати категорії споживачів і створити систему, з якою легко і приємно працювати людям з різним ступенем підготовки.

Автоматизація проектування. Традиційно однією з найбільш складних проблем застосування програмно-технічних комплексів є підготовка прикладних програм. У цьому відношенні ІВК повинен надавати користувачу могутню систему автоматизованого проектування (САПР) з "дружнім" людино-машинним інтерфейсом, - у результаті все прикладне програмне забезпечення для функцій керування, представлення і збереження інформації може підготуватися технологіями і фахівцями інформаційно-вимірювальної техніки без залучення професійних програмістів.

14.2 Методика проектування ІВС на ІВК

Створення сучасних ІВС — досить складний процес, що вимагає скоординованих дій різних груп фахівців, які ведуть прикладне проектування систем керування. У рамках ІВК розроблена методологія такого проектування, що включає підготовку бази даних, технологічне програмування технічних засобів і полігонне налагодження запроєктованої системи. Усе

прикладне проектування ведеться за допомогою САПР, - невід'ємного інструмента Квінта, що істотно полегшує роботу системних і налагоджувальних організацій. ІВК збирають на полігонах і за допомогою імітаторів налагоджується запроєктована ІВС, що є аналогом реальної системи. Подібна технологія дозволяє максимально задовільнити індивідуальні запити споживачів, багаторазово скоротити час налагодження комплексу безпосередньо на об'єкті і вчасно навчити персонал роботі з ІВК.

У той же час, якщо проектована ІВС уже використовувалася на інших об'єктах, полігонне налагодження не потрібне, - необхідні роботи можна виконувати безпосередньо на автоматизованому об'єкті. У цьому випадку поза об'єктом проводиться лише тестування технічних засобів ІВС й встановлення на робочі станції базового і фірмового програмного забезпечення.

До основних етапів розробки ІВС необхідно віднести наступні:

1. Підготовлюється технічне завдання на ІВС, у якому визначається обсяг автоматизації, склад підсистем, принципи керування і специфічні вимоги. Це ТЗ узгоджується з всіма учасниками робіт (замовником, проектною і налагоджувальною організаціями). У ТЗ також визначається склад і число давачів і виконавчих пристроїв, задіяних у даній ІВС. На основі ТЗ підготовлюється структура системи керування, визначається склад технічних засобів і їхня розбивка на групи, оцінюються інформаційні потоки і вимоги до інтеграції, уточнюється територіальне розміщення, обсяг резервування, види кабельних зв'язків. Виходячи з прийнятої структури підготовлюється специфікація технічних засобів - типи і число контролерів, їхнє розміщення по шафах, склад УСО, склад і число робочих станцій, склад і число мережних засобів, склад допоміжного обладнання.

2. На підставі специфікації розробник замовляє і закуповує технічні засоби, проводить їхній вхідний контроль, "доукомплектовує" необхідним обладнанням, встановлює базове і фірмове програмне забезпечення, виконує комплексне тестування і пред'являє весь комплекс Квінта, що відповідає специфікації і структурі налагоджувальній організації. Паралельно розробляється проект ІВС.

3. Монтажна організація відповідно до виконаного проекту монтує технічні засоби на об'єкті - встановлює шафи і пульти з обладнанням, прокладає і підключає кабельні зв'язки.

4. Налагоджувальна організація розробляє прикладне програмне забезпечення і проводить його комплексне налагодження (як правило, ця робота виконується на полігоні розробника). Потім на об'єкті виконується налагодження і система здається замовнику.

Щоб прискорити роботу, у ІВК передбачена можливість розділення окремих її етапів. Зокрема, шафи (без контролерів) і пульти (без робочих станцій) можуть постачатися на об'єкт зі значним випередженням. Їх можна монтувати і підключати до них кабельні зв'язки паралельно з роботами по комплектуванню і тестуванню інших технічних засобів. З іншого боку, прикладне програмування можна почати на наявних у налагоджувальної організації стандартних персональних комп'ютерах, не чекаючи постачання замовлених технічних засобів і навіть до закінчення повного проектування ІВС.

Фактично робота може бути організована таким чином, що до закінчення проектування вже будуть підготовлені прикладні програми, а до закінчення прикладного програмування - змонтовані шафи і пульти та укомплектовані всі програмно-технічні засоби ІВК. У результаті весь цикл створення ІВС залежно від масштабу проекту займає від 3 до 12 місяців.

14.3 Технічний рівень ІВК

В ІВК використовується ієрархічна розподілена архітектура мережних засобів, на нижньому рівні яких розташовані спеціалізовані мікропроцесорні контролери, а на верхньому - інформаційно-обчислювальні засоби представлення і збереження інформації.

Для підвищення надійності ІВК можна дублювати блоки силового живлення і фідери, від яких вони живляться, дублювати чи вбудовувати окремі інформаційні канали, дублювати чи вбудовувати окремі модулі зв'язку з аналоговими і дискретними давачами, дублювати контролери цілком, дублювати цифрові канали послідовного зв'язку, резервувати робочі станції. Вбудовані в ІВК засоби самодіагностики забезпечують автоматичний перехід на гарячий резерв без зупинення

обладнання. При автоматизації великих, складних у керуванні, об'єктів особливе значення має організація людино-машинного інтерфейсу.

14.4 Концепція ІВК

В основі концепції ІВК лежать наступні принципи:

1. Принцип розподіленого керування, відповідно до якого загальна задача керування розбивається на ділянки, що обслуговуються окремими контролерами, зв'язаних між собою послідовними цифровими каналами.

2. Принцип виборчого централізованого контролю, при якому вся необхідна інформація передається оператору на екрані однієї чи декількох операторських станцій, зв'язаних з контролерами послідовними каналами цифрової передачі інформації.

3. Принцип повної централізації бази даних при підготовці проекту і її децентралізації в оперативному режимі роботи. Це забезпечує єдність загальної бази даних, з одного боку, і живучість системи керування, - з іншого.

4. Принцип технологічного програмування, який означає, що для підготовки, налагодження і модифікації прикладних програм не потрібно знань в області формальних методів програмування. У той же час сама властивість програмування зберігається, що додає ІВК універсальні можливості і дозволяє використовувати його для автоматизації найрізноманітніших технологічних процесів.

5. Принцип об'єктної орієнтації, що полегшує проектування, налагодження і модернізацію ІВК на базі ІВК.

6. Принцип масштабування, що дозволяє легко нарощувати систему керування, одержуючи для різного масштабу системи оптимальне відношення вартість/продуктивність.

7. Принцип проектової надійності, відповідно до якого стандартно використовується звичайна (не резервована) побудова технічних засобів, а в особливо відповідальних випадках користувачу надається можливість вибрати різні варіанти резервування, кожний з яких має відповідну апаратну і програмну підтримку.

Структура сучасних ІВК містить дві категорії програмно-технічних засобів: оперативні засоби та засоби проектування АСУ ТП.

Оперативні засоби працюють у режимі реального часу (on-line). Вони взаємодіють з технологічним об'єктом і виконують усі задачі, передбачені проектом автоматизації.

Засоби проектування працюють не в реальному часі (off-line). Вони не зв'язані прямо з технологічним процесом і призначені для підготовки прикладних програм, які налаштовують на специфіку конкретного автоматизованого об'єкту.

ІВК містить 3 види оперативних засобів: контролери, робочі станції і сервери, мережні засоби.

Контролери, які входять до складу ІВК відповідають за збір і попередню обробку інформації, автоматичне регулювання і логіко-програмне керування, захисти і блокування, вироблення команд керування і фіксацію подій.

Робочі станції і сервери ІВК - це персональні комп'ютери і сервери, виконані на платформі Intel і оснащені фірмовим програмним забезпеченням. Робочі станції і сервери ІВК займаються представленням, збереженням і аналізом інформації, а також спеціальними розрахунками, організацією служби єдиного часу і моніторингом технічних засобів.

Мережні засоби забезпечують єдиний інформаційний простір ІВК. У якості системної (опорної) мережі використовуються мережі Ethernet і FastEthernet, а також концентратори і комутатори, що працюють з цими протоколами.

Засоби проектування являють собою робочі станції і сервери класу PC, оснащені фірмовим програмним забезпеченням. Сукупність фірмових програм, що утворюють інтегроване середовище автоматизованого проектування (САПР), дозволяє адмініструвати весь проект, створювати інформаційну базу даних, підготувати мнемосхеми і розробляти технологічні алгоритми керування. ІВК містить у собі оперативні засоби, які працюють у режимі реального часу -

контролери, робочі станції, сервери, мережні засоби, а також засоби проектування АСУ ТП - робочі станції і сервери САПР.

До складу ІВК, як правило, входять два види контролерів: багатофункціональний контролер, захисний контролер.

Багатофункціональний контролер вирішує всі задачі автоматичного керування і реєстрації подій. Для об'єктів, що не пред'являють особливо високих вимог до підсистеми захистів, він може використовуватися також і в ланцюгах технологічних захистів і блокувань.

Захисний контролер призначений для підсистем теплотехнічних захистів і відрізняється особливо високою надійністю. При необхідності цей контролер може виконувати й інші функції, властиві багатофункціональному контролеру.

14.5 Склад ІВК

ІВК будується на базі робочих станцій і серверів, що працюють на комп'ютерній платформі Intel. До складу ІВК входять спеціалізовані програмні компоненти, які у сукупності вирішують всі задачі представлення, збереження й аналізу інформації. До цих засобів відносяться: операторська станція, випадкова станція, сервер архіву, станція аналізу, інженерна станція, приладова станція, розрахункова станція, станція єдиного часу.

Операторська станція використовується для представлення інформації оператору і для ручного керування. Інформація подається у вигляді мнемосхем, графіків, текстових і звукових повідомлень і т.п.

Випадкова станція, як і операторська, призначена для оператора, але її призначення вузькоспеціалізоване, - на екран випадкової станції виводиться тільки інформація про поточні події.

Сервер архіву зберігає всю інформацію про передісторію технологічного процесу, - як аналогову інформацію про безупинно мінливі параметри, так і дискретну інформацію про події, що минули.

Станція аналізу дозволяє переглядати архівну інформацію й аналізувати ситуацію за заданий проміжок часу. Ця станція готує також звітну інформацію - протоколи, відомості і т.д.

Інженерна станція використовується для завантаження технологічних програм у контролери, для налагодження параметрів контролера і його тестування.

Приладова станція, що розширює функції інженерної станції, дозволяє стежити за станом усіх технічних засобів ІВК. При будь-яких несправностях на екран приладової станції видається інформація про місце несправності і її причини.

Розрахункова станція виконує спеціалізовані розрахунки. Вона може використовуватися також для розрахунків, пов'язаних з оптимізацією технологічного процесу.

Станція єдиного часу забезпечує прив'язку до єдиного часу всіх технічних засобів ІВК. Ця станція може працювати або в автономному режимі, або коректуючи свій час за астрономічним часом, одержуваним від навігаційних супутників.

Кожна з зазначених вище функцій може виконуватися або на окремих робочих станціях, або одна робоча станція може одночасно виконувати кілька функцій.

14.6 Склад мережних засобів

До складу мережних засобів ІВК входять: базовий шлюз, резидентні шлюзи, орс-компоненти, концентратори, комутатори, "мережні кабелі".

Базовий шлюз використовується в комплекті з контролерами. Він інформаційно поєднує групу контролерів в один системний модуль і з'єднує його із системною мережею. Для всіх контролерів у ІВК використовується один тип базового шлюзу. Базові шлюзи звичайно використовуються у великих системах. Системи малого і середнього масштабу можуть будуватися без базових шлюзів.

Резидентні шлюзи виконують ту ж роль, що і базовий шлюз ІВК, але стосовно до технічних засобів, прямо в ІВК не є вхідним. Резидентні шлюзи дозволяють інтегрувати в ІВК інші технічні засоби, що не відповідають стандартам. Для кожного типу резидентів є «свій» тип

резидентного шлюзу.

ОРС-компоненти (клієнти і сервери) дозволяють використовувати разом із ІВК інші технічні засоби, що відповідають даній специфікації. На даний час цей стандарт підтримують багато провідних компаній, що працюють в області автоматизації виробничих процесів.

Концентратори і комутатори - це стандартні засоби, призначені для об'єднання абонентів мережі Ethernet у єдиний інформаційний простір. У ІВК такими абонентами є робочі станції, сервери, САПР, а також базові і резидентні шлюзи.

Мережні кабелі використовуються для фізичного об'єднання всіх технічних засобів ІВК (сюди не входять кабельні зв'язки для підключення давачів і виконавчих пристроїв). Залежно від відстані тут застосовується мідна кручена пара чи оптоволокно. В окремих (на сьогоднішній день рідких) випадках може використовуватися коаксіальний кабель.

14.7 Засоби проектування

ІВК містить такі програмні засоби проектування ІВС: адміністратор, аркада, графіт, пілон.

Адміністратор - це програма, за допомогою якої формується логічна структура всієї ІВС, визначаються її загальні властивості і задаються права доступу персоналу до різної інформації.

Аркада є програмним інструментом доступу до бази даних. За допомогою Аркади формуються інформаційні об'єкти системи керування - описуються їхні властивості і розподіл по категоріях, визначається склад текстових повідомлень, що супроводжують зміни стану об'єктів і т.п.

Графіт використовується для підготовки мнемосхем. Однак Графіт є чимось більшим, ніж звичайний графічний редактор. Він працює не тільки з графічними примітивами, але і з бібліотечними технологічними зображеннями - мнемосимволами й оперативними вікнами. У Графіті виконується анімація об'єктів, визначається реакція системи на дії оператора і всіх інформаційних об'єктів, що «прив'язуються» до бази даних ІВК.

Пілон - це програма технологічного програмування контролерів. Вона в графічній формі задає загальний алгоритм керування, попередньо розподіляючи його по окремих контролерах, а всередині кожного контролера - по окремих задачах.

Усі засоби проектування - адміністратор, аркада, графіт, пілон - формують єдину для всієї системи базу даних, що зберігається на **сервері бази даних**.

Після того, як база даних підготовлена, вона завантажується в усі робочі станції і, таким чином, в оперативній роботі сервер бази даних не використовується. До нього приходиться звертатися тільки тоді, коли потрібно відкоригувати проект, - додати нові компоненти, змінити параметри і т.п.

14.8 Архітектура ІВК

Архітектура ІВК відображає склад, супідрядність і інформаційну взаємодію окремих компонентів, як апаратних, так і програмних. У цілому архітектура ІВК описується трьома видами структур: логічною, фізичною, інформаційною. На логічному рівні визначається ієрархія структурних елементів Квінта, на фізичному - склад і фізичні зв'язки його компонентів, на інформаційному - потоки інформації між цими компонентами. Найбільшим логічним елементом ІВК є **інтегрована ІВС**, - звичайно це система керування підприємством у цілому (наприклад, всіма енергоблоками й електричною частиною електростанції, хімічним комбінатом і т.п). До складу інтегрованої системи входять **локальні ІВС і засобу САПР**. Приклад локальної ІВС - система керування енергоблоком, ректифікаційною колоною і т.д. Локальна система є порівняно автономним елементом інтегрованої системи, - її робота практично не залежить від роботи суміжних локальних систем. У той же час, усі локальні системи утворюють єдиний інформаційний простір у рамках інтегрованої ІВС. Кожна локальна система містить **засоби керування**, які складаються з **системних модулів**, і **засобу ІВК**.

Системний модуль — це сукупність контролерів, що обслуговують окрему ділянку технологічного процесу, наприклад, котел, турбіну і т.п. До складу ІВК входять багатофункціональні і захисні контролери. Крім того, у ІВК можуть застосовуватися ряд

контролерів інших фірм, названих резидентами.

Засоби ІВК складаються з робочих станцій і серверів. Робочі станції використовуються для представлення інформації операторам і інженерно-технічному персоналу, на серверах зберігається архівна інформація.

14.9 Фізична структура ІВК

Фізична структура відображає склад фізичних елементів ІВК і організацію реальних (кабельних) зв'язків між ними. Усі контролери підключаються до давачів і виконавчих пристроїв індивідуальними кабелями. Якщо до складу системи входять резиденти, то вони підключаються до давачів і виконавчих пристроїв так само, як контролери.

Групи контролерів, що входять в один системний модуль, підключені до шлюзу, причому контролери підключаються до базового шлюзу ІВК, а резидентні контролери - до резидентного шлюзу. Ці шлюзи виконують роль "майстра" контролерної мережі, що працює на частоті до 2 МГц. До складу ІВК входить також безшлюзний варіант контролера, - такі контролери підключаються прямо до системної мережі. Усі шлюзи на рівні з робочими станціями і безшлюзними контролерами є абонентами системної мережі. У залежності від масштабу системи ця мережа працює по протоколу Ethernet чи FastEthernet. У межах однієї локальної ІВС територіально зосереджені групи абонентів підключаються до локальних концентраторів, що, у свою чергу, підключаються до локального комутатора. Безпосередньо до локального комутатора підключається також сервер архіву. Локальні ІВС зв'язуються між собою за допомогою магістрального комутатора, до якого безпосередньо підключений сервер єдиної бази даних. Ці компоненти є загальними для інтегрованої системи керування, в іншому локальні ІВС працюють автономно і можуть функціонувати незалежно один від одного.

Структура ІВС характерна для систем великого масштабу. Системи середнього масштабу звичайно являють собою одну локальну ІВС, а малі системи можуть зовсім не мати комутаторів, - всі їхні засоби поєднуються за допомогою одного чи декількох концентраторів. В залежності від вимог до надійності можуть резервуватися всі елементи фізичної структури - контролери, концентратори, комутатори і мережі.

Усі засоби ІВК працюють у єдиному інформаційному просторі. Це означає, що інформація, формована кожним з компонентів ІВК, потенційно доступна будь-якому іншому компоненту. Але методи такого доступу залежать від призначення окремих компонентів. Організація інформаційних потоків у ІВК враховує рівень відповідальності різних підсистем ІВС.

З цього погляду всі елементи ІВК поділяються на 3 категорії:

1-а категорія - це найбільш відповідальна частина системи, безпосередньо взаємодіюча з технологічним процесом. Щоб забезпечити максимальну автономність засобів керування, давачі і виконавчі пристрої зв'язуються прямо з контролерами. У результаті керування об'єктом зберігається навіть при повній відмові засобів ІВК і мережних засобів.

2-а категорія - це засоби підвищеної відповідальності. До них відносяться засоби обміну інформацією між контролерами, засоби представлення інформації оператору-технологу і засоби ручного керування (обидві останні функції виконуються за допомогою операторської станції). Обмін інформацією між цими компонентами виконується без "посередників" у вигляді інших станцій ІВК, - це гарантує, що зазначені функції збережуться при відмові сервера чи архіву інших робочих станцій.

3-я категорія - всі інші технічні засоби, відмова яких не приводить до серйозних наслідків.

Повна інформаційна структура ІВС відрізняється наступними властивостями.

1. Контролери безпосередньо взаємодіють з технологічним об'єктом, а також з іншими контролерами, операторською, архівною, інженерною і приладовою станціями. В архів контролери направляють архівуючу інформацію, інженерна станція використовується для налагодження системи, а за допомогою приладової станції можна діагностувати роботу всіх технічних засобів ІВК.

2. Сервер архіву взаємодіє зі станцією аналізу, а також із випадковою, операторською і розрахунковою станціями. Архівна інформація передається на станцію аналізу для її аналізу, на випадкову станцію - для подання поточних подій оператору-технологу, на операторську станцію -

для представлення інформації у вигляді трендів, на розрахункову станцію - для виконання складних розрахунків. У свою чергу, операторська й інженерна станції записують в архів інформацію про дії персоналу. Через сервер архіву також організовується обмін інформацією з засобами ІВС.

3. Станція керівника являє собою варіант операторської станції. Ця станція працює тільки в інформаційному режимі (тобто з її допомогою нічого не можна змінювати) і одержує інформацію безпосередньо з архіву, причому це може бути як поточна (актуальна) інформація, так і передісторія процесу.

4. Станція єдиного часу зв'язана з усіма технічними засобами. Вона синхронізує "годинники", що знаходяться у всіх активних компонентах ІВК, і, тим самим, прив'язує всі події до єдиного часу.

Інформаційна структура є "віртуальною". Реально всі елементи ІВК з'єднуються за загальними правилами, прийнятими для мереж Ethernet.

14.10 Інформаційний масштаб ІВК

Інформаційний масштаб характеризує загальне число прийнятих, оброблюваних, формованих і переданих сигналів, що подаються у рамках однієї інтегрованої системи керування. У ІВК немає формальних обмежень на число таких сигналів, - усі залежать від ємності дисків і оперативної пам'яті робочих станцій і серверів. Має місце досвід застосування ІВК в різних системах з істотно різним числом сигналів - від декількох десятків до декількох десятків тисяч.

Інформаційно-обчислювальний комплекс ІВК - це сукупність робочих станцій і серверів, з одного боку, і фірмового програмного забезпечення, - з іншого.

Робочі станції ІВК являють собою персональні комп'ютери, на які встановлене базове програмне забезпечення **Windows 2000 Professional**. Сервери оснащуються базовим програмним забезпеченням **Windows 2000 Server**. "Поверх" базового програмного забезпечення на робочі станції і сервери встановлюється фірмове програмне забезпечення, розроблене спеціально для ІВК. Саме воно перетворює універсальні комп'ютери в спеціалізовані засоби програмно-технічного комплексу. У залежності від варіантів інсталяції фірмового програмного продукту комп'ютери перетворюються в операторські, випадкові, інженерні і всі інші станції ІВК. На один комп'ютер можна встановити різні програмні засоби ІВК, - у цьому випадку на ньому можна чи одночасно, чи по черзі запускати функції операторської, випадкової, інженерної й іншої станцій. З іншого боку, ту саму станцію можна запустити на різних комп'ютерах, - у цьому випадку вони будуть працювати паралельно. Наприклад, у рамках однієї ІВС можна задіяти кілька операторських чи інженерних станцій і на кожну з них викликати необхідну (ту саму чи різну) інформацію.

14.10.1 Операторська станція

До складу функцій операторської станції входить: спостереження за ходом технологічного процесу сигналізація про будь-які відхилення від норми, огляд трендів, ручне керування виконавчими пристроями. При спостереженні за ходом процесу інформація в операторській станції представляється на екрані монітора у вигляді мнемосхем, цифрових значень, барографів (стовпчиків), графіків і текстових повідомлень. Сигналізація свідчить про порушення ходу технологічного процесу. Для сигналізації використовуються світлові ефекти - колірне виділення і миготіння окремих елементів зображення, а також приваблюючі увагу оператора звукові чи голосові повідомлення. На екран операторської станції можна викликати з архіву тренди, що подають у графічному вигляді передісторію процесу. На одному графіку можна відобразити будь-яке число трендів, - обмеження пов'язані лише зі зручністю їхнього аналізу. Ручне керування призначене для ручної зміни положення виконавчих пристроїв і ручної зміни оперативних параметрів елементів керування - сигналів завдання, режимів регуляторів, станів крокових програм і т.п.

Операторська станція - це робоче місце оператора- технолога. Всі операторські станції однотипні і побудовані на базі персонального комп'ютера. Крім стандартного комп'ютера до складу операторської станції входить: адаптер зв'язку із системною мережею, **сторож** циклу та миша - планшетний маніпулятор.

Адаптер зв'язку - це плата стандарту Ethernet з частотою 10/100 МГц, що вставляється в одне з гнізд розширення комп'ютера і зв'язує операторську станцію із системною мережею. Сторож циклу являє собою спеціалізований модуль, що автоматично перезапускає операторську станцію у випадку її зависання. Миша використовується для вибору мнемосхем і для ручного керування. Щоб підвищити надійність, рекомендується використовувати оптичну мишу типу IntelliEye (без кульки) або сенсорний маніпулятор - нерухомий пристрій, виконаний у пилозахисеному виконанні, який заміняє мишу.

Операторська станція може працювати з монітором будь- якого розміру і будь-якого типу, але розмір, що рекомендується - 17 чи 21". Як монітор можна використовувати також проєкційний, газорозрядний чи рідиннокристалічний екран колективного користування (див. приклад на рисунку 14.1).

Операторська станція дозволяє одержати повну інформацію, необхідну оператору-технологу, так що в принципі ніякі інші традиційні контрольно-вимірвальні прилади і ключі керування не вимагаються. Однак, з метою підстрахування можна використовувати мінімальний набір ключів, в основному призначених для аварійної зупинки обладнання.

Вся інформація і всі команди ручного керування потенційно доступні одній операторській станції. Проте, у рамках однієї ІВС часто використовують кілька операторських станцій, - це дозволяє розмістити станції в різних приміщеннях, взаємно їх резервувати й одночасно спостерігати за великим числом параметрів.

У ІВК передбачені два режими роботи операторської станції - керуючий і інформаційний. У керуючому режимі можна спостерігати за процесом і керувати ним вручну, в інформаційному режимі функція ручного керування заблокована. Звичайно інформаційний режим устанавлюється на операторських станціях керівників - директора, головного інженера і т.д., а також на операторських станціях, з якими працює черговий персонал.

Оскільки ІВС має єдину базу даних, та будь-якій операторській станції потенційно доступна інформація про будь-який оперативний об'єкт, занесений в цю базу. Однак, існує можливість обмежити інформацію, що "бачить" кожна станція. Для цього в ІВС використовується поняття "зрізу". У ІВК зріз - це обмежена сукупність інформації, яку можна спостерігати на екрані тієї чи іншої станції.



Рисунок 14.1 - Операторські станції й екран колективного користування

Можливості зрізів широко використовуються в інтегрованих АСУ ТП, - наприклад, для

операторських станцій, що відносяться до агрегату N1, зріз може включати всі оперативні об'єкти цього агрегату плюс деяку частину об'єктів, що відносяться до агрегату N2 і навпаки. При роботі з операторською станцією вся інформація виводиться на екран монітора, що поділяється на дві області - системну і робочу (рисунк 14.2). У системній області, розташованій по краях екрану, відображається інформація про склад агрегатів, а також найбільш важлива інформація про установку в цілому; у цій же області розміщується головне меню з екранними клавішами. Системна область завжди видна, її зміст однозначно визначений на стадії підготовки прикладних програм і вона, як правило, не закривається іншими зображеннями.

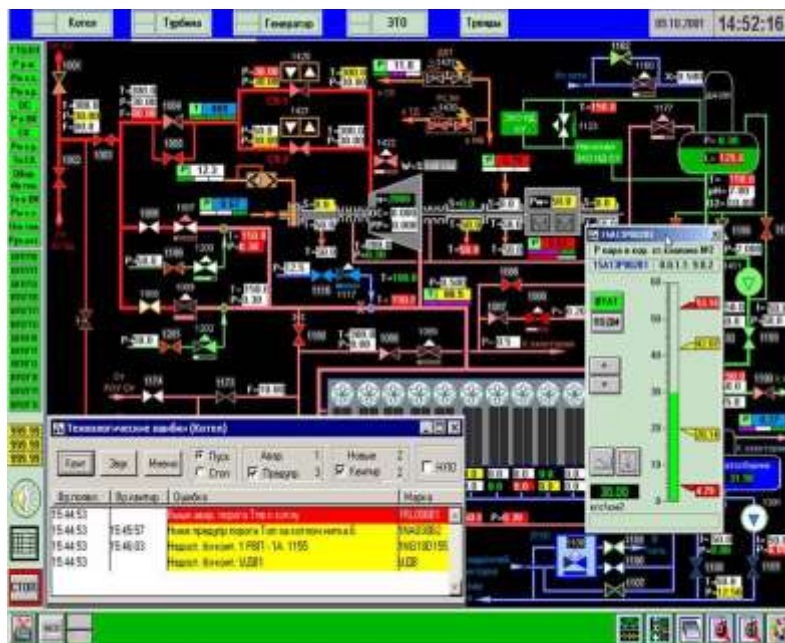


Рисунок 14.2 - Екран операторської станції

У робочу область, розташовану в центральній частині екрана, виводяться мнемосхеми, об'єктні вікна з детальною інформацією про об'єкти і діалогові вікна зі списками мнемосхем і списком сигналізації (див. нижче). Набір "картинок", викликаних у цю область, цілком визначається оператором - він може викликати сюди різні мнемосхеми, відкривати і закривати вікна керування, відкривати діалогові вікна і т.д. Звичайно на операторській станції подається великий обсяг інформації, що не може вміститися на одному екрані. У зв'язку з цим використовується виборчий принцип, а щоб скоротити час пошуку, інформація певним чином структурується. Всі оперативні об'єкти керування групуються по вузлах, причому передбачається ієрархічна структура вузлів, при якій вузли нижнього рівня входять у вузли верхнього рівня. У ІВК число рівнів такої ієрархії не обмежено, але на практиці використовується від двох до чотирьох рівнів.

Розглянемо як приклад інтегровану ІВС, у якій використовується 3 ієрархічних рівні вузлів: система, установка, агрегат.

Система - це вузол першого (верхнього) рівня ієрархії, що представляє всю інтегровану систему. У рамках інтегрованої ІВС система завжди одна.

Установка - це вузол другого рівня ієрархії, що представляє автономну ІВС (наприклад, енергоблок). Установка поділяється на агрегати, причому одна установка може містити будь-яке число агрегатів.

Агрегат - це вузол третього (нижнього) рівня ієрархії (наприклад, котел, турбіна і т.п.).

Подібна ієрархія не є обов'язковою, - проєктант ІВС сам конструює ієрархію вузлів, виходячи з особливостей технологічного процесу. В малих системах можна обмежитися двома чи навіть одним рівнем, а у великих системах - задіяти чотири чи навіть більші числа рівнів. У будь-якому випадку структура вузлів допомагає швидко знаходити необхідну інформацію. Досвід застосування Квінта показав, що при правильному структуруванні будь-яку інформацію можна викликати на екран за 2-3 секунди шляхом одного-двох натискань на клавіші миші.

У ІВК реалізований об'єктний принцип подання інформації. Під об'єктом оперативного

керування (надалі - об'єктом) розуміється сукупність інформації, що відображає властивості окремих елементів системи керування. Кожному об'єкту відповідає який-небудь фізичний (давач, засувка, клапан, і т.п.) чи віртуальний (регулятор, крокова програма і т.п.) елемент системи керування. Операторська станція містить велику бібліотеку об'єктів, яка включає більшість використовуваних на практиці типів давачів, виконавчих пристроїв, регуляторів і крокових програм. Всі оперативні об'єкти представлені на мнемосхемі у вигляді мнемосимволів – компактних мнемонічних (умовних) зображень, що відображають поточний стан об'єктів.

Для того, щоб одержати більш докладну інформацію про об'єкт, можна відкрити об'єктне вікно, що виводиться поверх мнемосхеми (див.рисунок 14.2). В одне об'єктне вікно виводиться інформація про один об'єкт. На відміну від мнемосхеми, на якій інформація представлена в стиснутому вигляді, в об'єктному вікні представлена більш повна і більш наочна інформація про обраний об'єкт. Об'єктні вікна виводяться або в нижню системну область екрана, або в його робочу область поверх поточної мнемосхеми. У системній області одночасно можна відкрити тільки одне об'єктне вікно, у робочій області - кілька об'єктних вікон. Звичайно вікна використовуються для ручного керування обраним об'єктом і детальним контролем за його станом. Вікна можуть переміщатися по екрані, розташовуватися поруч чи каскадно. Можна закрити одне з відкритих вікон або закрити усі відкриті вікна одночасно. Коли на екран викликається нова мнемосхема, склад відкритих об'єктних вікон не міняється. Сигналізація інформує оператора про порушення ходу технологічного процесу чи про відмову технічних засобів керування. Передбачається два види сигналізації - аварійна і попереджувальна. Аварійна сигналізація свідчить про наявну

серйозну небезпеку, попереджувальна - про можливий небажаний розвиток подій надалі. Звичайно аварійна сигналізація індикуюється червоним, а попереджувальна - жовтим миготливим кольором (ці кольори, як і частоту миготіння, можна змінювати за бажанням користувача).

Для сигналізації використовуються спеціальні мигалки, розташовані в системній області екрана. Якщо в якому-небудь об'єкті зафіксована помилка, починає мигати поле сигналізації відповідного вузла - установки, агрегату, групи і т.д., до якого відноситься об'єкт. Якщо "винний" об'єкт поданий на поточній мнемосхемі, то він виділяється спеціальним (заздалегідь обраним) кольором, у іншому випадку може бути автоматично викликана необхідна мнемосхема. Крім світлової передбачена також звукова сигналізація. У будь-який момент оператор може викликати список поточної сигналізації, з'ясувати причину помилки і її усунення. Після усунення звукова сигналізація знімається, а миготіння замінюється на рівне світіння. Тренди характеризують передісторію процесу. Один тренд може містити кілька сигналів (за аналогією з багатоточковим самописом). Інформація, представлена на трендах, викликається з архіву, при цьому виклику можна задати необхідний відрізок часу і "прокручувати" тренд уздовж осі часу. Точне значення сигналу можна відрхувати на тренді за допомогою візира. На один екран можна одночасно викликати кілька трендів, що відкриваються у вигляді вікон, що плавають. Як тренди можуть представлятися не тільки аналогові але і дискретні сигнали.

ІВК використовується на технічно складних і енергоємних установках. Неправильні дії персоналу при керуванні такими установками можуть призвести до серйозних економічних втрат і навіть людських жертв. Уникнути подібних наслідків дозволяє спеціальна система авторизованого доступу до інформації. Ця система містить список із прізвищами операторів і з указівкою на закріпленій за кожним оператором рівень доступу – інформаційний чи керуючий. На інформаційному рівні можна тільки спостерігати за процесом, але не можна ним керувати. Керуючий рівень припускає, що оператор може і спостерігати, і керувати процесом вручну.

Кожен оператор має персональну магнітну картку і тільки після того, як він вставить її в спеціальний пристрій, що зчитує, він одержить доступ до інформації, що відповідає його правам. Однак при необхідності можна працювати і без подібного захисту, - рішення про її використання приймає керівництво підприємства.

14.10.2 Випадкова станція

Завдання випадкової станції - представити оператору-технологу інформацію по усіх поточних подіях, - як штатних, так і позаштатних (умикання-вимикання механізмів, зміна

режимів роботи і т.п.). Випадкова станція допомагає оператору стежити за ситуацією на об'єкті і контролювати, чи відповідає послідовність подій тій, котру він очікує (наприклад, у процесі пуску чи зупинення обладнання). Інформація на екрані випадкової станції представлена у вигляді списку, кожен рядок якого відноситься до одного об'єкту. У цьому рядку зазначена назва об'єкту, вид події і час її виникнення.

Випадкова станція шляхом колірного виділення звертає також увагу оператора на несподівані (непередбачені) події, такі як несанкціоновані включення чи вимикання виконавчих пристроїв і спрацьовування захистів - це допомагає оператору завчасно вжити заходів проти небажаних наслідків таких подій.

На рисунку 14.3 показана структура інформації, виведеної на екран випадкової станції. У праве і ліве вікно виводяться списки відповідно штатних і позаштатних подій. Коли спрацьовує захист, поверх цих вікон виводиться спливаюче вікно з переліком захистів, що спрацювали.

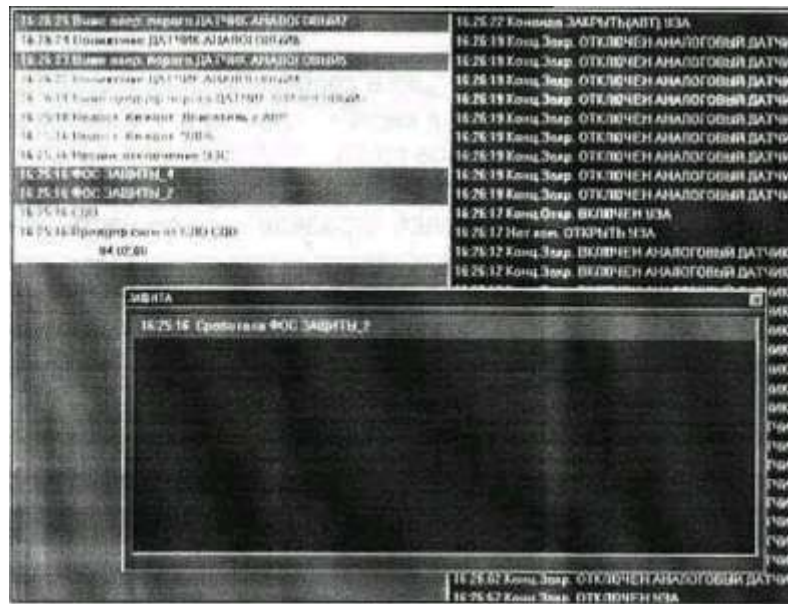


Рисунок 14.3 - Випадкова станція

14.10.3 Архівна станція

В архівну станцію записується наступна інформація: значення аналогових сигналів, технологічні події, виявлені помилки, дії персоналу.

Всі аналогові сигнали, що потрібно записувати в архів, поділяються на групи, що відрізняються інтервалом часу між записами. Ці інтервали можуть встановлюватися в діапазоні від 0,1 сек до декількох годин. В архів можуть записуватися будь-які сигнали, оброблювані Реміконтами, при цьому для всіх записів фіксується значення кожного сигналу і час його запису в архів. Крім періодичного запису аналогові сигнали можуть записуватися в архів за випадковим принципом, - значення сигналу направляється в архів лише після того, як воно змінилося на задану величину (апертуру) стосовно попереднього запису.

Крім аналогових сигналів в архів записуються всі події, зв'язані зі зміною стану об'єктів, помилками технічних засобів і діями оператора. При записі події в архіві фіксується також час виникнення події.

У Квінті передбачається два види архівів: поточний і довгостроковий. Поточний архів розміщується на жорсткому диску сервера архіву. Частина цієї інформації періодично (наприклад, раз на місяць) переноситься в довгостроковий архів, де вона може зберігатися будь-який час. Щоб не "засмічувати" надовго тимчасовий архів неважливою (з погляду наступного збереження) інформацією, користувач може заздалегідь визначити ту її частину, що буде листуватися в довгостроковий архів.

14.10.4 Станція аналізу

Станція аналізу дозволяє "заглянути" в архів і представити архівну інформацію в зручній для аналізу формі. Станція аналізу використовується в двох випадках - для аналізу позаштатної (зокрема, аварійної) ситуації і для підготовки і роздрукування протоколів і відомостей.

Звітні документи можуть роздруковуватися періодично (наприклад, раз у зміну) чи по спеціальній команді. Принтер може підключатися безпосередньо до станції аналізу або до системної мережі, - в останньому випадку він підключається через принт-сервер.

14.10.5 Розрахункова станція

У розрахунковій станції виконуються складні розрахунки, прямо не зв'язані з поточними задачами керування. В основному це розрахунки техніко-економічних показників, які характеризують дотримання норм і ефективність технологічного процесу. Результати подібних розрахунків можуть роздруковуватися і направлятися службам, що виконують контрольні функції.

Інша характерна функція розрахункової станції - розрахунки по оптимізації технологічного процесу (підвищення його ККД, поліпшення якості кінцевого продукту і т.п.). Результати подібних розрахунків передаються контролерам, які відповідним чином коректують параметри алгоритмів керування.

14.10.6 Інженерна станція

Інженерна станція є інструментом налагодника і фахівця служби КВП і автоматики. Ця станція використовується в процесі завантаження в Реміконт прикладного програмного забезпечення, при настроюванні контролерів і корекції технологічних програм контролерів.

14.10.7 Приладова станція

Приладова станція доповнює інженерну станцію. На її екран виводиться інформація по усіх поточних помилках, зв'язаних з несправностями обладнання, - як Реміконтів, так і підключених до них датчиків і виконавчих пристроїв. Станція інформує персонал про місце несправності, про конкретний Реміконт, модулі, канал.

14.10.8 Станція єдиного часу

У випадку серйозних позаштатних ситуацій, а, можливо, і аварій необхідно визначити першопричину подій, що минули. Для цього синхронізують всі технічні засоби Квінта до свого внутрішнього годинника за єдиним часом, що зформований станцією єдиного часу.

Ця станція може працювати в двох режимах. У повному варіанті час не тільки синхронізується, але і точно прив'язується до астрономічного часу. Для цього встановлюється спеціальна антена, орієнтована на навігаційні супутники (система GPS). Час, одержуваний через антену, передається станції єдиного часу і відтіля - усім технічним засобам ІВК. Якщо потрібна тільки синхронізація часу, станція єдиного часу не потрібно, - її функції виконує сервер архіву, синхронізуючи всі засоби ІВК по своєму внутрішньому годиннику.

14.11 Контролери

Задачі збору технологічної інформації і керування процесом здійснюються контролерами, оснащеними всіма необхідними апаратними і програмними засобами. До складу ІВК входять дві моделі контролерів: багатофункціональний контролер, захисний контролер.

Апаратура контролерів виконана в конструктивах євромеханіки, що включають наступні елементи: шафа, блоковий каркас, модуль.

У ІВК використовується кілька варіантів шаф. Блоковий каркас має ширину 19". У каркасі встановлюються модулі формату Е2 (233x220 мм). У шафі монтується комутаційні і сигнальні елементи, блоки живлення, силові перетворювачі, клемні колодки і встановлюються блокові каркаси з контролерами і шлюзами (рисунок 14.4). Шафи розраховані на одnobічне

обслуговування і можуть встановлюватися спиною одна до одної чи розміщуватися вздовж стіни. Характерна риса шаф контролерів - вони не вимагають окремих кросових шаф. Кабельні зв'язки підводяться безпосередньо до шаф контролерів і підключаються до розміщених в них клемних колодок, - це мінімізує розмір необхідних приміщень.

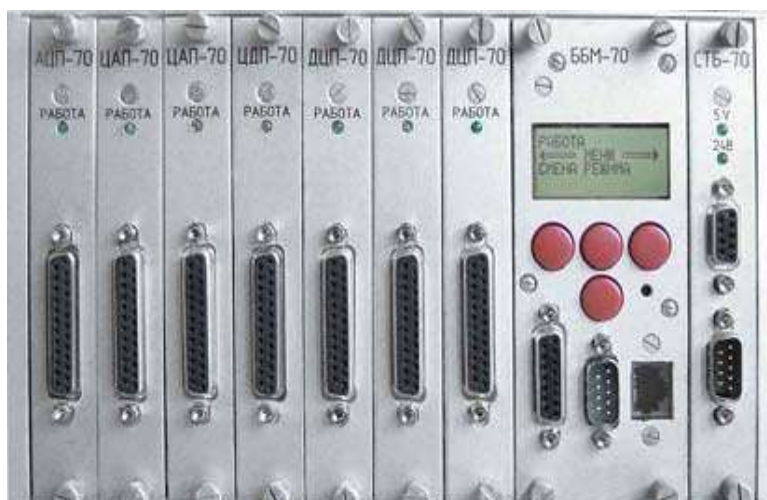


Рисунок 14.4 - Контролер ІВК

У кожній підложній шафі може розміщуватися один чи два блокових каркаси з модулями, а оскільки кожен блоковий каркас містить один чи два контролери, всього в одній підложній шафі можуть розміщуватися від одного до чотирьох контролерів. У начіпній шафі розміщується один каркас з одним чи двома контролерами.

Ліворуч від каркасів розташовані блоки живлення модулів, а у верхній частині шафи - блоки живлення аналогових і дискретних ланцюгів введення-виведення. Кожен каркас живиться від свого блоку живлення, причому блоки живлення можуть дублюватися і живитися від різних силових фідерів.

Нижня частина шафи зайнята клемними колодками, або звичайними, або сполученими із силовими перетворювачами. Останні використовуються для введення і виведення дискретних сигналів 220 В.

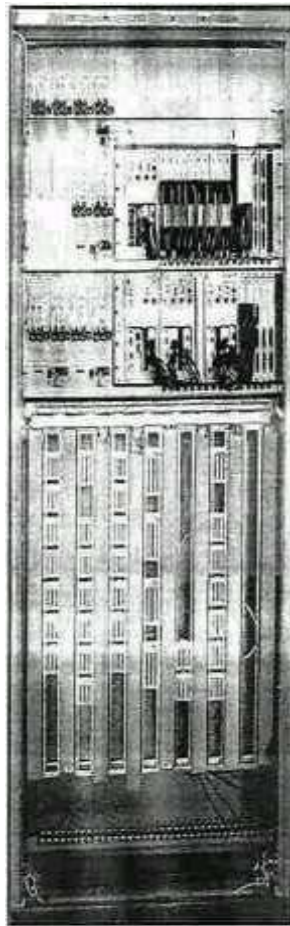


Рисунок 14. 5 - Шафа ІВК

Контролери мають два конструктивних виконання: повне і половинне. У повному виконанні контролер займає весь блоковий каркас шириною 19", у половинному виконанні у такому ж каркасі розміщуються 2 контролери. У будь-якому випадку кожен контролер має базовий і проектно-компонуючий комплект апаратури.

Базовий комплект є ядром контролера, його склад не залежить від розв'язуваної задачі і є обов'язковим елементом комплектації. Проектно-компонуючий комплект - це модулі УСО, склад і число яких визначається картою замовлення. У повному варіанті кожен контролер має 16 місць для установки модулів УСО і в залежності від типу модулів може прийняти від 256 до 1024 сигналів. У половинному варіанті кожен контролер має 5 місць для установки модулів УСО і може прийняти від 90 до 320 сигналів.

Особливістю контролерів є те, що всі його модулі УСО зв'язані з базовим комплектом внутрішньоблоковою швидкісною послідовною шиною, що працює по протоколу I2C на частоті 6 МГц. Це дозволило більш ніж у 5 разів зменшити число контактів роз'єднувачів і істотно скоротити потужність, споживану модулями. Базовий комплект контролера включає блоковий каркас і блок базових модулів. До складу цього блоку входять 3 модулі: процесор ПРЦ-60, модуль керування і сигналізації МКС-60, модуль інтерфейсного зв'язку МІЗ-60.

Процесор контролера являє собою одноплатну мікроЕОМ і виконаний на базі мікропроцесора 386/486/Pentium (вибирається в залежності від вимог до швидкодії).

Модуль керування і сигналізації містить ряд вузлів, загальних для контролера в цілому. З ним зв'язані клавіші місцевого керування й індикатори, що характеризують поточний режим роботи, стан активності і результати самодіагностики.

Модуль інтерфейсного зв'язку сполучає контролер з контролерною шиною, що працює на частоті до 2 МГц. Протокол цієї шини логічно відповідає специфікації Bitbus.

У базовому комплекті мається одне вільне посадкове місце, що зарезервоване для наступного розширення. Усі модулі базового комплекту об'єднані стандартною 16-розрядною шиною ISA.

Проектно-компонуючий комплект - це модулі УСО, за допомогою яких до Реміконту

підключаються різні типи датчиків і виконавчих пристроїв. Склад і число цих модулів залежать від необхідного типу і числа сигналів, зв'язаних з одним Ремиконтом, і для кожного контролера вказуються в замовленні.

У повному і половинному виконанні контролер має відповідно 16 і 5 посадкових місць для установки модулів УСО. На будь-яке вільне місце можна установити будь-який тип модуля, у межах вільних місць можна встановлювати будь-яке число однотипних модулів. Типи і характеристики модулів УСО визначає виробник ІВК.

14.12 Силові перетворювачі

Перетворювачі з'єднують вхідні дискретні сигнали 220 В змінного чи постійного струму із модулями УСО або з навантаженнями. Вхідні перетворювачі мають вбудовану систему завадозахисту. Вихідні перетворювачі оснащені високонадійними реле. Конструктивно силові перетворювачі з'єднані з клемними колодками, до яких підводяться кабельні зв'язки. Кожен перетворювач має по 16 незалежних каналів з індивідуальною гальванічною розв'язкою. Кожен контролер живиться від автономного блоку живлення, розрахованого на мережеву напругу 220 В змінного чи постійного струму. Блоки живлення можуть дублюватися і при необхідності живитися від різних мережних фідерів. Нижче на малюнку показані основні варіанти організації живлення контролерів. За аналогічною схемою живляться і зовнішні ланцюги 24 В, а також силові перетворювачі.

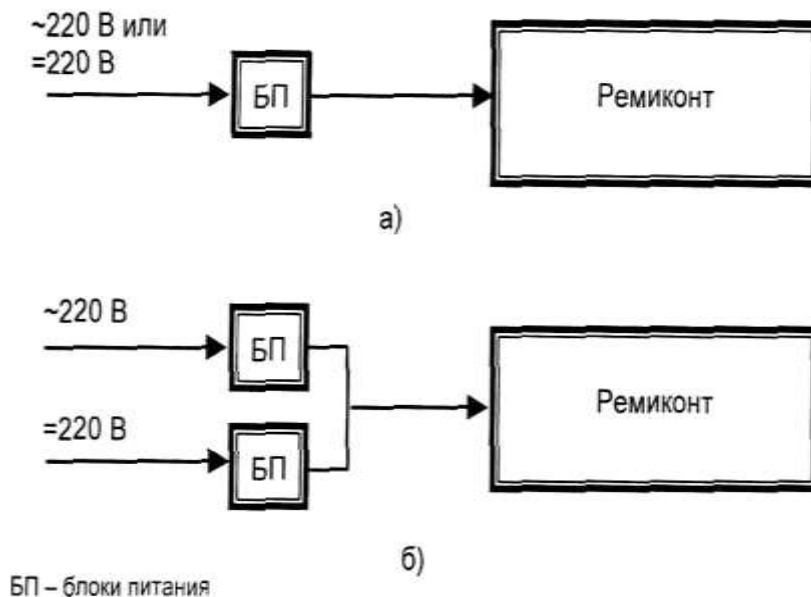


Рисунок 14.5- Варіанти живлення контролерів а) живлення від одного мережного фідера без дублювання б) дубльоване живлення від двох мереж 220 В змінного і постійного струму.

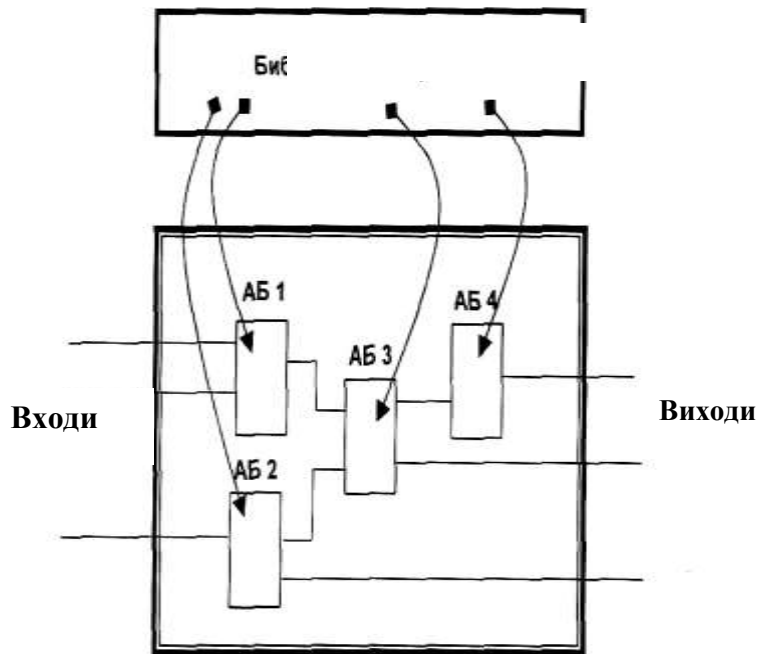
14.13 Віртуальна структура

Фірмове програмне забезпечення контролерів дозволяє проектувати алгоритми керування безпосередньо фахівцям з автоматики, не звертаючись до послуг професійних програмістів. Це програмне забезпечення "зашито" у постійну пам'ять контролера (типу Flash), не вимагає завантаження і не губиться в результаті програмних збоїв.

Зашите програмне забезпечення формує віртуальну структуру, націлену на виконання наступних функцій: збір і попередня обробка інформації, формування керуючих впливів, автоматичне регулювання, логічне крокове керування (з формуванням етапів і кроків і послідовності їхнього виконання), функціональні перетворення аналогових і дискретних сигналів, технологічні захисти (з різними схемами резервування), реєстрація подій, передача інформації іншим контролерам і прийом інформації від інших контролерів, запис інформації в архів (періодичний чи по відхиленню).

Віртуальна структура Реміонта складається з двох основних компонентів: алгоритмічних блоків (алгоблоків), бібліотеки алгоритмів.

Алгоблок це "контейнер", у який користувач може помістити будь-який бібліотечний алгоритм, причому кожний такий алгоритм можна використовувати багаторазово. В одному контролері можна задіяти до 1500 алгоблоків. Бібліотека алгоритмів контролера нараховує більш 100 алгоритмів, кожний з яких спеціалізований під задачі автоматизації виробничих процесів. До складу бібліотеки поряд із простими алгоритмами (підсумовування, логічне об'єднання, порівняння і т.п.) входять такі "великовагові поїзди", як регулятори, логічні крокові програми, алгоритми керування засувками, двигунами, клапанами і т.д. Вцілому у бібліотеці реалізовано більше 500 різних функцій, що утворюють типові технологічні "зв'язки".



АБ - алгоблоки

Рисунок 14.6 - Віртуальна структура контролера

Бібліотека алгоритмів містить не тільки алгоритми керування тепломеханічним, але й електричним обладнанням. До останніх, зокрема, відносяться алгоритми керування електричними вимикачами і регуляторами напруги під навантаженням, алгоритми безпечного контролю переносних заземлень і підрахунку виробленої чи спожитої електроенергії і т.п. Серед бібліотечних алгоритмів наявна група об'єктних алгоритмів, що формують повну інформацію про інформаційний об'єкт. По запитах ця інформація передається засобом ІВК, зокрема, операторській станції. Віртуальна структура Реміонта дозволяє:

1. Розбивати повний алгоритм керування на окремі порівняно автономні задачі. Кожну задачу можна індивідуально включати чи відключати, - це буває корисним на стадії налагодження, а також при ремонті технологічного обладнання. Загальне число задач в одному контролері-до 256.

2. Поміщати в будь-яку задачу будь-яке число (до 1500) алгоблоків, завантажувати кожен алгоблок будь-яким бібліотечним алгоритмом і визначати послідовність їхнього виконання (при цьому сумарне число алгоблоків для всіх задач повинно залишатися в межах 1500).

3. Вхід будь-якого алгоблока з'єднувати (програмно) з будь-яким виходом будь-якого алгоблока чи будь-яким вхідним сигналом контролера. Вихід будь-якого алгоблока зв'язувати з будь-яким вихідним сигналом контролера.

4. При необхідності інвертувати сигнал на будь-якому вході будь-якого алгоблока.

5. На будь-якому вході будь-якого алгоблока задавати необхідну константу, установлюючи тим самим потрібні параметри настройки.

Завдяки цим можливостям можна одержати алгоритмічну структуру практично будь-якого

ступеня складності. Порівняно простий алгоритм керування можна реалізувати в одній задачі одного контролера, у великих системах загальний алгоритм керування розділяється між сотнями окремих задач, що можуть обслуговувати від двох до декількох десятків контролерів кожна.

Ряд бібліотечних алгоритмів не тільки виконує обробку сигналів, але і формує інформацію про події, пов'язані зі зміною стану як реальних об'єктів - давачів і виконавчих пристроїв, так і віртуальних об'єктів - регуляторів, крокових програм і т.п. Крім того, подібні алгоритми опрацьовують команди ручного керування, що надходять від операторської станції. Як приклад на рисунку 14.7 показано стан засувки. Структура одного з алгоритмів, призначеного для керування засувкою. З рисунка видно, що один алгоритм вирішує всі задачі керування засувкою – обробляє ті команди, що надходять на вхід, аналізує їхні пріоритети, формує команди керування засувкою, а також формує інформацію про поточний



Рисунок 14.7 - Приклад бібліотечного алгоритму

14.14 Мережні засоби

Мережні засоби ІВК забезпечують вільний обмін інформацією між окремими підсистемами й окремими елементами програмно-технічного комплексу всередині підсистем. Мережна архітектура дозволяє зв'язувати не тільки компоненти, що входять в ІВК, але й підключати до нього окремі "сторонні" пристрої.

У ІВК передбачена дворівнева організація мереж. Нижній рівень поєднує між собою окремі контролери. Усі контролери одного великого проекту розбиваються на окремі технологічно зв'язані групи (системні модулі), кожна з яких має автономну контролерну мережу. На верхньому рівні системні модулі зв'язуються з засобами ІВК за допомогою системної мережі.

Мережні засоби ІВК складаються з наступних елементів: базові шлюзи, ОРС-компоненти, резидентні шлюзи, концентратори, комутатори, адаптери, кабельні зв'язки. Базовий шлюз керує обміном інформацією в межах одного системного модуля. Він поєднує групу контролерів і зв'язує їх із системною мережею. Спеціальна модель може безпосередньо підключатися до системної мережі, минаючи базовий шлюз. ОРС-компоненти дозволяють підключити до ІВК окремі технічні засоби, що підтримують ОРС- специфікацію, але не входять в нього. У тих випадках, коли

вхідні у ІВК засоби не сумісні з протоколами ОРС, можна використовувати вхідні в ІВК резидентні шлюзи, що дозволяють підключати до нього пристрої електричних захистів фірми АВВ, контролери Ломіконті і ТКМ-51, систему осцилографування електричних процесів БАРС і ін. Концентратори, комутатори й адаптери - це елементи, що використовуються для побудови системної мережі. Кабельні зв'язки утворюють фізичну основу мереж. Залежно від відстані в Квінті використовуються два види кабельних зв'язків - кручені пари категорії 5 і оптоволокно.

Контролерна мережа ІВК виконана за магістральним принципом. Усі контролери і базовий шлюз, що входять в один системний модуль, поєднуються відрізками кабелю у вигляді крученої пари категорії 5. У цій групі технічних засобів шлюз виконує роль ведучого (master), а контролери - підлеглих (slave) пристроїв. До одного шлюзу можуть підключатися до 12 контролерів (кожний з цих контролерів може бути одиночним чи дубльованим). В одній системі можна задіяти до 32 системних модулів.

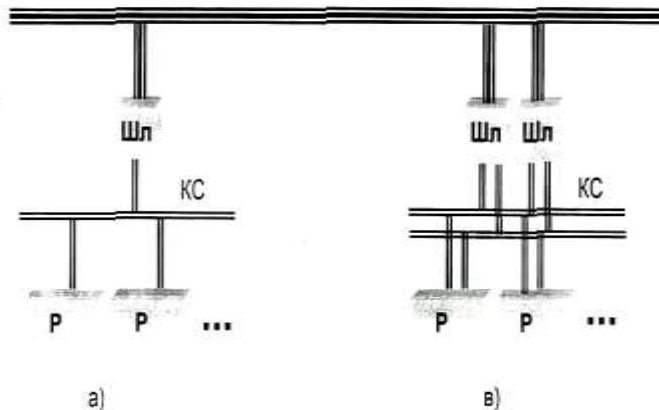
У ІВК передбачені 2 варіанти побудови контролерної мережі - без резервування і з повним резервуванням (рисунк 14.8.). У першому випадку ніякі мережні засоби не резервуються, у другому дублюються кабельні зв'язки, інтерфейсні канали і сам шлюз.

Системна мережа ІВК виконана в стандарті Ethernet чи FastEthernet. Ця мережа будується по загальноприйнятих принципах із застосуванням комутаторів і концентраторів, з'єднаних радіальними зв'язкам.

В одній системі на різних ділянках мережі може використовуватися як Ethernet (10 Мбіт/с), так і FastEthernet (100 Мбіт/с). Незважаючи на те, що Ethernet є мережею з випадковим доступом, за рахунок високої швидкості передачі інформації і використання комутаторів у Квінті ця мережа завантажена не більше ніж на 5-7 % щодо її максимальних можливостей. Завдяки цьому затримки в системній мережі мінімальні.

На різних ділянках системної мережі можуть використовуватися також різні види кабельних зв'язків. Якщо окремі радіальні відрізки мережі мають відстань менш 100 м, застосовується мідна кручена пара категорії 5, при великих відстанях (до 2 км) - оптоволокно. Застосовуючи проміжні концентратори і комутатори, можна збільшувати загальну довжину ліній зв'язку. Як і контролерна мережа, системна мережа при необхідності може резервуватися, причому дублюються як кабельні зв'язки, так і мережне обладнання - концентратори і комутатори. ІВК містить спеціальні програмні засоби, що підтримують таке резервування.

Системна мережа Ethernet/FastEthernet 10/100 Мбит.с



КС - контролерна мережа до 2Мбит/с

Р Реміконті

Шл - шлюзи

а) - контролерна мережа без резервування

в) - контролерна мережа з резервуванням каналів

каналів, кабелів і шлюзів

Рисунок 14.8 - Топологія контролерної мережі

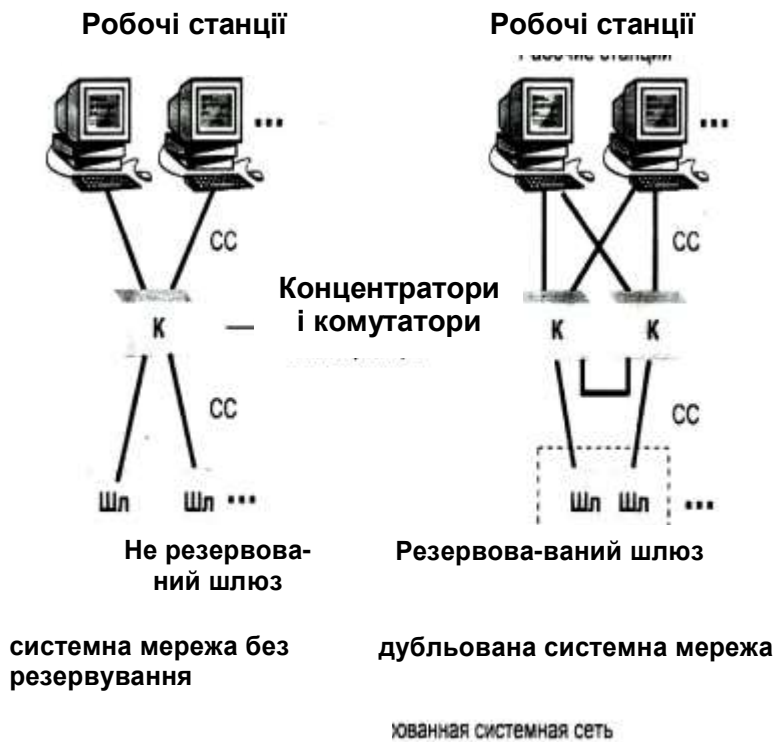


Рисунок 14.9 - Топологія системної мережі

14.15 Самодіагностика і резервування

При створенні ІВК проблемі забезпечення надійності приділялося першочергове значення. Висока надійність досягнута за рахунок наступних факторів:

1. Розроблено спеціалізовану апаратуру, що містить мінімум компонентів і має підвищену надійність. У найбільш відповідальних вузлах використовуються імпортовані комплектуючі елементи.

2. Прийнято спеціальні заходи для зниження споживаної потужності. Це зменшило перегрів апаратури і, як наслідок, зменшило імовірність відмов.

3. Усе базове програмне забезпечення контролерів записане ПЗП, що виключає ймовірність втрати великих масивів інформації і виключає необхідність її тривалого відновлення.

4. Передбачено розвинуті засоби самодіагностики, що дозволяють визначити несправність з точністю до модуля, а в окремих випадках - з точністю до мікросхеми. Інформація про виниклу неполадку відразу виводиться на екран станцій ІВК, а також записується в архів.

5. Забезпечено можливість проектного багаторівневого резервування, - окремих модулів і блоків у складі Реміконтів, Реміконтів і операторських станцій у цілому, шлюзів і мереж. Для автоматичного переключення на гарячий резерв використовуються результати роботи засобів самодіагностики.

Зазначені в перших чотирьох пунктах властивості навіть при відсутності резервування забезпечують високу надійність, а у випадку несправності - швидко локалізацію і заміну несправного вузла. Тому до резервування є необхідність звертатися тільки в найбільш відповідальних випадках.

Характерною рисою ІВК є те, що користувач сам може вибрати варіанти резервування, зважаючи на вартість технічних засобів і оцінюючи збиток завданий відмовою. На різних ділянках того самого технологічного процесу можуть використовуватися різні варіанти резервування - десь можна обійтися без резервування, десь використовувати один з варіантів резервування, а в особливо відповідальних випадках використовувати комбінацію різних методів резервування. Кожен канал аналогового чи дискретного введення інформації при необхідності може дублюватися чи потроюватися, причому резервовані канали можуть належати як одному, так і різним модулям УСО. Спеціальний алгоритм аналізує стан каналів і виділяє достовірну

інформацію.

Кожен контролер може застосовуватися в одиночному чи дубльованому варіанті. Передбачаються два варіанти включення Реміконтів у схему дублювання: з об'єднанням і з переключенням. У першому варіанті однойменні виходи контролера включаються за схемою "монтажне ЧИ", у другому варіанті спеціальний перемикач підключає навантаження до одного чи іншого контролеру. Стан основного контролера відслідковується резервним контролером за допомогою спеціального цифрового каналу, що зв'язує два контролери, - у результаті при відмові основного контролера переключення на резервний контролер виконується автоматично і ненаголошено. Резервування з об'єднанням використовується, коли контролер формує дискретні чи імпульсні вихідні сигнали. У ІВК передбачається два варіанти такого резервування. У першому з них у дубльованій парі маються основний (активний) і резервний (пасивний) контролери; при відмовленні активного керування його функції бере на себе резервний контролер. В другому варіанті обидва контролери активні і працюють паралельно.

Резервування з переключенням використовується, коли контролер формує аналогові вихідні сигнали.

У будь-якому варіанті вхідні аналогові і дискретні сигнали надходять одночасно на обидва контролери.

Кожен контролер може живитися від одного чи двох різних блоків живлення, підключених до одного чи різних фідерів, при цьому може використовуватися мережа як змінного, так і постійного струму 220 В. При відмові одного блоку чи живлення, відключенні одного з фідерів відбувається автоматичне ненаголошене переключення на другий блок живлення.

Оскільки кожна операторська станція поставлена однаковою користувальницькою програмою і має рівноправний доступ до будь-якої інформації, оброблюваної контролерами, ці станції резервуються природним чином. На одному об'єкті може використовуватися кілька операторських станцій, але в принципі досить, щоб у роботі залишалася одна - на її екран можна вивести будь-яку інформацію і через неї можна вручну керувати будь-якими виконавчими пристроями. Аналогічно резервуються інші робочі станції - випадкова, інженерна і т.д.

Живлення операторських станцій резервується за допомогою малогабаритних блоків безперебійного живлення.

В ІВК є можливість дублювання всіх мережних засобів, - шлюзів, концентраторів, комутаторів, мережних адаптерів і кабельних зв'язків. При несправності в одній з мереж автоматично задіється резервна мережа.

Основне призначення підсистеми захисту - захист тепломеханічного обладнання від неприпустимої зміни технологічних параметрів, що може призвести до руйнування агрегатів і створити загрози ОЗП для життя людей. Спрацьовування захистів призводить до зупинення технологічного процесу в рамках окремого агрегату чи установки в цілому. Після цього інформація, що накопичується в архіві, дозволяє проаналізувати причини, що привели до спрацьовування захистів.

Підсистема захисту ІВК будується на єдиній з іншими підсистемами програмно-апаратній платформі. Це дозволяє глибоко інтегрувати всі програмно-технічні засоби ІВК й одержати однорідне інформаційне середовище для задач контролю, керування і захистів. У той же час, специфіка захистів висуває особливі вимоги до великого числа функцій ІВК. Щоб відповідати цій специфіці, ІВК містить спеціальні компоненти, що охоплюють усі його рівні - контролери, станції проектування, робочі станції оперативного керування і мережні засоби.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Метрологическое обеспечение информационно- измерительных систем. Сб. руководящих документов. – М.: Издательство стандартов. 1984. -264с.
2. Закон України про метрологію та метрологічну діяльність. - К.: №111/98-ВР, 11.02.1998 р.
3. Дорожовець М. та ін. Основи метрології та вимірювальної техніки: Підручник у 2 т. / М.Дорожовець, В.Мотало, Б.Стадник, В.Василюк, Р.Борек, А.Ковальчик, за ред. Б.Стадника. – Львів: Видавництво національного університету «Львівська політехніка». 2005, - т.1. Основи метрології. – 532 с.
4. Дорожовець М. та ін. Основи метрології та вимірювальної техніки: Підручник у 2 т. / М.Дорожовець В.Мотало, Б.Стадник, В.Василюк, Р.Борек, А.Ковальчик, за ред. Б.Стадника. – Львів: Видавництво національного університету «Львівська політехніка». 2005, - т.2. Вимірювальна техніка. – 656 с.
5. .Обозовський С.С. Інформаційно-вимірювальна техніка: Методологічні питання теорії вимірювань.- К.:ІСДО, 1993. - 424 с.
6. Цапенко М. П. Измерительные информационные системы: Структуры и алгоритмы, системотехническое проектирование / Цапенко М.П. - М.: Энергоатомиздат, 1985. - 439 с.
7. Пістун Є.П., Лесовий Л.В. Нормування витратомірів змінного перепаду тиску. – Львів: видавництво ЗАТ «Інститут енергоаудиту та обліку енергоносіїв», 2006. - 576 с.
8. Семенцов Г.Н., Когуц Я.Р. Горбійчук М.І., Дранчук М.М. Новітні засоби контролю і автоматизації технологічних процесів в бурінні: Навчальний посібник. – Івано-Франківськ: Факел, 2004. – 190 с.
9. Семенцов Г.Н., Когуц Я.Р., Когуцяк М.І., Горбійчук М.І., Дранчук М.М., Вошинський В.С., Шавранський М.В. Основи автоматизації виробничих процесів в бурінні. Навчальний посібник. – Івано-Франківськ: Факел, 2004. – 270 с.
10. Контролери малоканалні мікропроцесорні Реміконт Р-130. Технічний опис ГДЖ 2.339.000 ТО; Івано-Франківськ, Спеціальне конструкторське бюро засобів автоматизації.2000.
11. - 637с.
12. Чеховський С.А. Математичне моделювання фізичних процесів. Навчальний посібник. – Івано-Франківськ: Факел, 2003. - 174с.
13. Вошинский В.С. Анализ погрешностей корректирующих устройств средств измерения количества газа //Измерительная техника, № 8, 1987, с.31-33.
14. Вошинський В.С. Аналіз сучасних коректуючих пристроїв для комерційного обліку газу // Методи та прилади контролю якості . - № 6. – 2000. – с.58-60.
15. Вошинський В.С., Іроденко В.В., Вошинський В.В. Установка з робочими еталонами об'єму газу типу УПЛГ- 2500 // Методи та прилади контролю якості. - № 4. – 1999. – с.104-106.
16. Вошинський В. В. Математична модель швидкостей потоку в кільцевому січненні турбінного лічильника газу. // Методи та прилади контролю якості - 2000. №6, с. 61-63.
17. Алешко П. И. Механика жидкости и газа. Харьков : Издательство при Харьковском государственном университете издательского объединения "Вища школа", 1977, - 320 с.
18. Контроль состава и качества природного газа / В.М.Плотников, В.А.Подрешетников, В.В.Радкевич, Л.Н.Тетеревятников. – Л.: Недра, 1983. – 192 с.
19. Ключев А.С. Товарнов А.Т. Наладка систем автоматического регулирования котлоагрегатов. – М.: Энергия, 1970, - 278с.
20. Кремлевский П. П. Расходомеры и счётчики количества:-Л.: Машиностроение. Ленинградское отделение, 1989. - 701 с.
21. Бошняк Л. Л. Бызов Л. Н. Тахометрические расходомеры. -Л.: Машиностроение, 1968, 212 с.
22. Бобровников Г. Н., Камышев Л. А. Теория и расчёт турбинных расходомеров; М.: Издательство стандартов; 1978,
23. - 128 с.
24. Голованов Н. Н. Геометрическое моделирование / Н. Н. Голованов – М.: Издательство физико - математической литературы, 2002. – 472 с.

25. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Гонсалес Р., Вудс Р. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.
26. Павловский А.Н. Измерение расхода и количества жидкостей газа и пара. – Изд.3, перераб. и доп. – М.: Издательство стандартов, 1987, 416 с.
27. Расчёт и конструирование расходомеров. Под. ред. П.П.Кремлёвского – М.: Машиностроение, 1975, 156с.
28. Новиков И.И. Термодинамика: М.: Машиностроение, 1984. - 592с.
29. Хазен М.М. Теплотехника.–Высшая школа, 1981.- 480с.
30. Чернявский Е.А. и др. Измерительно-вычислительные средства автоматизации производственных процессов: Учебное пособие для вузов/ Чернявский Е.А., Недосекин Д.Д., Алексеев В.В., - Л.: Энергоатомиздат. Ленинградское отделение, 1998. – 272с.
31. Алиев Т.М. и др. Системы отображения информации: Учебное пособие для вузов по спец. "Автоматизация систем обработки информации и управления"/ Алиев Т.М., Вигдоров Д.И., Кривошеев В.П. – М.: Высшая школа. 1988. – 233с.
32. Алиев Т.М. и др. Измерительные информационные системы в нефтяной промышленности. – М.: Высшая школа. 1981. – 220 с.

Паламар М. І. Контрольно-вимірювальні комплекси: Конспект лекцій. - Тернопіль: ТНТУ, 2014. – 157

с.

Конспект лекцій розроблено відповідно до навчального плану підготовки фахівців та робочої програми навчальної дисципліни «Комп'ютерні вимірювальні комплекси».

У конспекті лекцій викладено основи архітектури, програмного та апаратного забезпечення інформаційно-вимірювальних комплексів, наведено їх класифікації та технічні характеристики. Розглянуто основні складові частини інформаційно - вимірювальних комплексів: сучасні промислові контролери, аналого-цифрові перетворювачі, інтерфейси, локальні мережі, засоби відображення інформації. Розглянуто основні принципи математичного моделювання процесу вимірювання, метрологічного забезпечення та принципи побудови на їх базі інформаційно-вимірювальних систем. а також засобів їх розробки. Конспект лекцій призначено для підготовки бакалаврів за напрямом підготовки 6.051003 «Приладобудування»

Рецензент: доктор технічних наук, професор, доктор технічних наук, професор, професор кафедри екологічної безпеки та аудиту, Національний університет "Львівська політехніка"

Голова навчально-методичної ради ФРК Є.Б. Яворська

Член експертно-рецензійної комісії В.А. Андрійчук

Рекомендовано методичною радою університету (протокол № від 2014 р.)

© Паламар М.І., 2014

© ТНТУ ім. І. Пулюя, 2014