

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний економічний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем

ОПОРНИЙ КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з дисципліни

“ТЕОРІЯ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ”

для студентів освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр»
напряму підготовки 6050201 – «Системна інженерія»

Частина 1

ТЕРНОПІЛЬ

Опорний конспект лекцій з дисципліни **“Теорія автоматичного управління”** (Частина 1) для здобувачів вищої освіти на першому (бакалаврському) рівні за спеціальністю 151 – «Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології» / Укл.: Николайчук Я.М., Возна Н.Я.– Тернопіль: **Гал-друк**, 2016. – 71 с.

Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт складаються з частин, що рекомендовані програмою на основі галузевого стандарту вищої освіти України з напрямку підготовки 6050201 – «Системна інженерія»

Укладачі: Николайчук Ярослав Миколайович д.т.н., професор
Возна Наталія Ярославівна к.т.н., доцент

Рецензенти: Сабадаш І.О. к.т.н., директор інституту мікропроцесорних систем керування об’єктами електроенергетики

Франко Ю. П. к.т.н., доцент кафедри комп’ютерних технологій Тернопільського національного педагогічного університету

Затверджено на засіданні кафедри спеціалізованих комп’ютерних систем, протокол №2 від 19.09.2016,

Розглянуто та схвалено науково-методичною комісією з системної інженерії протокол №2 від 19.09.2016.

Розглянуто та схвалено науково-методичною радою факультету комп’ютерних інформаційних технологій, протокол №2 від 22.09.2016 р.

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Лекцій 1. Класи та структури систем автоматизованого управління.....	5
Лекція 2. Архітектури проблемно-орієнтованих КСУ.....	9
Лекція 3. Структура САУ та системні характеристики ОУ	26
Лекція 4. Класифікація типів ОУ по діапазону квантування та числу інформаційних каналів	33
Лекція 5. Способи кодування станів об'єктів управління.....	38
Лекція 6. Моделі об'єктів управління	47
Лекція 7. Автокореляційні функції та спектральні моделі	52
Лекція 8. Види збурень. Логіко-статистичні інформаційні моделі	64
Список використаних джерел.....	71

ВСТУП

На сучасному етапі інвестиційного й інноваційного розвитку економіки України автоматичні системи керування (АСК) є важливою та невід'ємною частиною всіх галузей матеріального виробництва. Вони широко застосовуються у промисловості, електроенергетиці, транспорті, зв'язку, сільському господарстві, побуті тощо.

Основна мета опорного конспекту лекцій - надання допомоги студентам усіх форм навчання під час вивчення дисципліни "Теорія автоматичного керування". Даний конспект орієнтований на студентів, що навчаються за базовим напрямом 6.050201 "Системна інженерія".

Метою дисципліни "Теорія автоматичного керування" є вивчення загальних принципів будови автоматичних систем керування промисловими й електроенергетичними об'єктами та інженерними методами аналізу й синтезу таких систем. Принципи будови та дослідження АСК у цій дисципліні вивчаються на підставі розгляду принципів керування розмаїттям технічних об'єктів. Ці принципи керування мають істотно ширший загальний зміст, і можуть застосовуватися під час вивчення процесів керування в інших кібернетичних системах, наприклад, біологічних, економічних, соціальних тощо. Кібернетика — наука про загальні закономірності процесів керування — ґрунтується на вивченні керованих об'єктів під час зовнішніх впливів, отриманні інформації про перебіг процесів у цих об'єктах і формуванні керівних діянь, що забезпечують оптимальний, у визначеному сенсі, стан керованих об'єктів.

Керованими об'єктами можуть бути: живі організми (тварини, рослини), колективи людей, виробничі підприємства, цехи, окремі агрегати, машини їхні комплекси чи системи. Залежно від виконуваних функцій керованим об'єктом завдання АСК можуть бути різними - від найпростіших автоматичних регуляторів, які підтримують сталість довільної фізичної величини (наприклад, напруги, температури, тиску, швидкості тощо) до складних кібернетичних систем із десятків комп'ютерів, які розв'язують завдання оптимального керування множиною об'єктів.

Останнім часом ставляться високі вимоги щодо точності та стійкості АСК. У конспекті цим питанням надається достатньої уваги. Стисло викладаються питання коригування й синтезу лінійних ланок АСК.

Реальні АСК є нелінійними. Розглядаються інженерні методи аналізу АСК із урахуванням нелінійності характеристик їхніх ланок. Викладені теоретичні засади аналізу стійкості автоколивань методом гармонійної лінеаризації та критерій абсолютної стійкості.

Даний конспект допоможе студентам із системної інженерії відповісти на питання стосовно основних питань й означень класичної теорії автоматичного керування, принципів побудови автоматичних систем керування технічними об'єктами.

Лекція 1

КЛАСИ ТА СТРУКТУРИ СИСТЕМ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ

Класифікація систем управління:

- Комп'ютеризована система управління;
- Система регулювання;
- Комп'ютеризована система керування;

Теоретичні основи управління:

- Теорія управління;
- Теорія системи;
- Теорія інформації;
- Теорія сигналів;

СТРУКТУРИ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ.

1. Структура та функції комп'ютеризованої системи управління (КСУ).

КСУ призначена для людинно-машинного управління промисловими технологічними об'єктами у реальному масштабі часу. В таких системах автоматичне управління виконується спеціалізованими комп'ютерними засобами, а людина-оператор виконує функції моніторингу станів ОУ, їх ідентифікацію в стані норми, не норми та аварії.

Спеціалізовані комп'ютерні засоби таких систем виконують функції регулювання параметрів технологічного процесу згідно заданих уставок (рис.1.1).

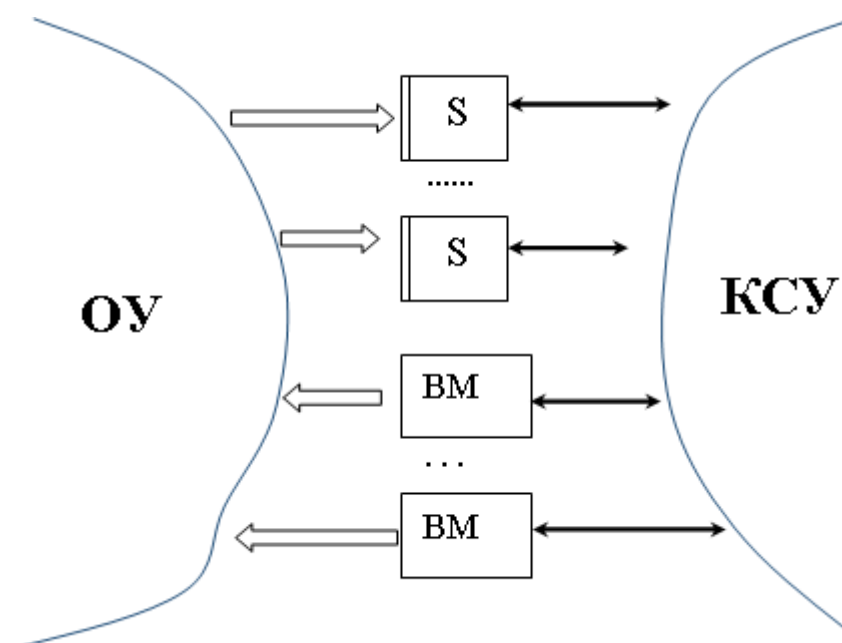


Рис.1.1. Структура комп'ютеризованої системи управління.

КСУ (об'єкт управління) інформація передається на сенсори (S);

ОУ – об'єкт управління;
ВМ – виконавчі механізми;

Класи ОУ:

Прості ОУ:

- Один технологічний параметр;
- Один технологічний процес;
- Один соціальний об'єкт.

Складні ОУ:

- Одна технологічна установка;
- Група операторів;

Дистрибутивні – системи, що виконують функції вимірювання, збору та опрацювання інформації:

- Оператор;

Корпоративні системи – керуючі системи, до складу яких входять ОУ, оператори та комунікаційні системи.

2. Структура та функції системи автоматичного регулювання (САР):

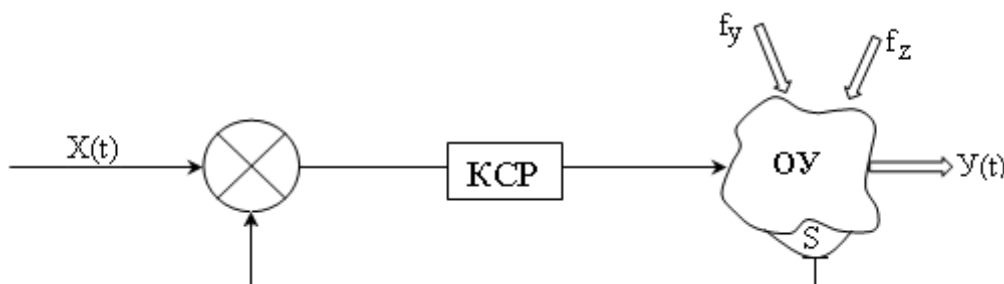


Рис.1.2. Структура системи автоматичного регулювання.

$X(t)$ – параметр, завдання, установка;

⊗ – схема порівняння;

f_y – вхідна функція;

f_z – функція зовнішніх впливів;

$Y(t)$ – вихідна функція;

S – сенсор;

КСР – контролер системи регулювання

3. Структура та функції комп'ютеризованої системи керування (КСК).

В даній системі оператори виконують функції моніторингу та керування параметрами ОУ, при цьому оператори користуються інтерфейсними послугами процесорів, які реалізують моделі ОУ, розраховують оптимізаційні характеристики ОУ та ін в якості рекомендацій для операторів. (рис.1.3).

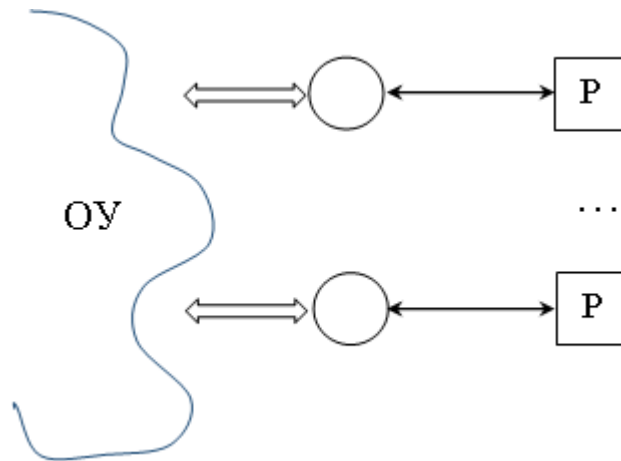


Рис.1.3. Структура комп'ютеризованої системи керування.

P – процесор;

Усі три класи системи управління синтезовані та структурно-об'єднані на виробництві у вигляді трьохрівневої мережевої КСУ (рис.1.4).

4. Структура та функції трьохрівневої мережевої КСУ

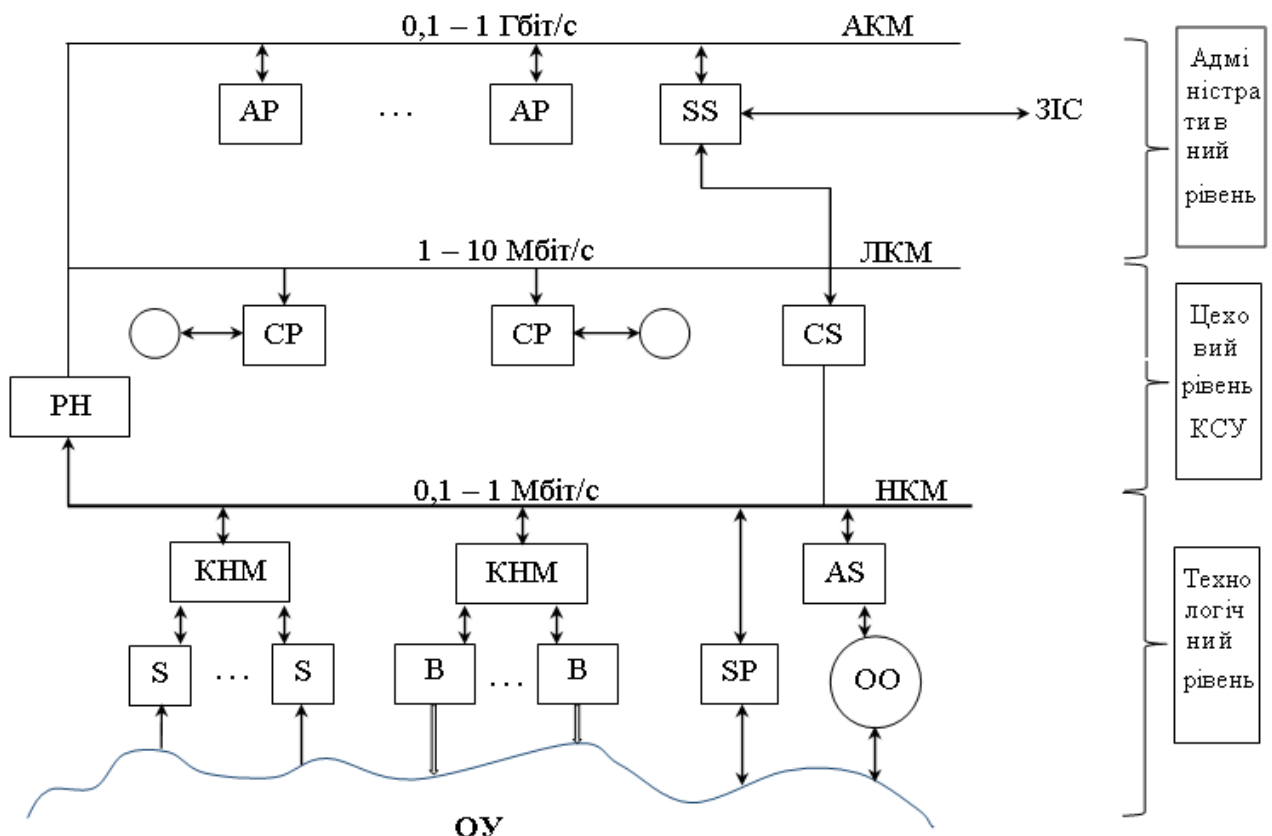


Рис.1.4. Структура трьохрівневої мережевої КСУ

Складові компоненти трьохрівневої КСУ:

OU – складний об'єкт управління, що представляє собою комплекс взаємопов'язаних інформаційно та матеріально технологічних установок по випуску конкретної продукції, який обслуговується інформаційною

вимірювальною системою, системами автоматичного регулювання та операторами трьох рівнів (технологічного, цехового та адміністративного), які оснащені автономними процесорами програмного опрацювання даних;

S – сенсори виконують функції вимірювання фізичних значень технологічних параметрів та перетворення в стандартні електричні сигнали;

BM – виконавчі механізми – пристрої управління, оснащені інтерфейсними засобами дистанційного зв'язку, які виконують фізичне регулювання технологічними параметрами;

SP – спецпроцесори, які виконують функції побудови моделей ОУ на основі статистичного, кореляційного, спектрального та ентропійного опрацювання сигналів;

OO – оператор, який виконує функції моніторингу та управління об'єктом в ручному режимі;

AS – абонентська станція оператора, оснащена промисловим комп'ютером та модемом для телекомунікаційного зв'язку з вищими рівнями мережі;

KHM – контролери низової мережі, який виконує функції аналого-цифрового перетворення сигналів сенсорів, цифрове опрацювання даних, їх кодування та забезпечення інтерфейсного зв'язку з верхніми рівнями системи;

PH – процесор-шлюз-фірми виконує функції комутації пакетів даних між різними рівнями мережі та узгодження швидкості їх передавання;

NKM – низова комп'ютерна мережа виконує функції інтерфейсного зв'язку між різними KHM та шлюзом;

CP – цеховий процесор – персональні комп'ютери, якими оснащені оператори цехів, що виконують операції збору інформаційних даних та їх опрацювання згідно моделей ОУ;

O – оператори виконують функції моніторингу станів окремих технологічних установок або окремих груп параметрів (витрата електроенергії, газу, води...)

CS – комутаційний сервер призначений для організації черезрівневого інформаційного зв'язку між технологічним та адміністративним рівнями системи;

LKM – локальна комп'ютерна мережа виконує функції інтерфейсного зв'язку між процесором та операторами цехового рівня, має швидкодію на порядок вищу по відношенню до швидкодії НКМ;

AP – адміністративний процесор представляє собою ПК, яким оснащені оператори адміністративної системи: гол.інженер, гол.метролог, гол.енергетик, гол.технолог та оператори бухгалтерської підсистеми;

SS – системний сервер виконує функції організації інтерфейсних зв'язків всіх трьох рівнів, а також модему зв'язку з вищими рівнями управління;

AKM – адміністративна комп'ютерна мережа, яка має високу швидкодію і захищена від зовнішнього впливу;

ZIS – зовнішнє інформаційне середовище;

Лекція 2

АРХІТЕКТУРИ ПРОБЛЕМНО-ОРІЄНТОВАНИХ КСУ

1. Нерозподіленні системи КСУ:

1.1. Монопольна КСУ

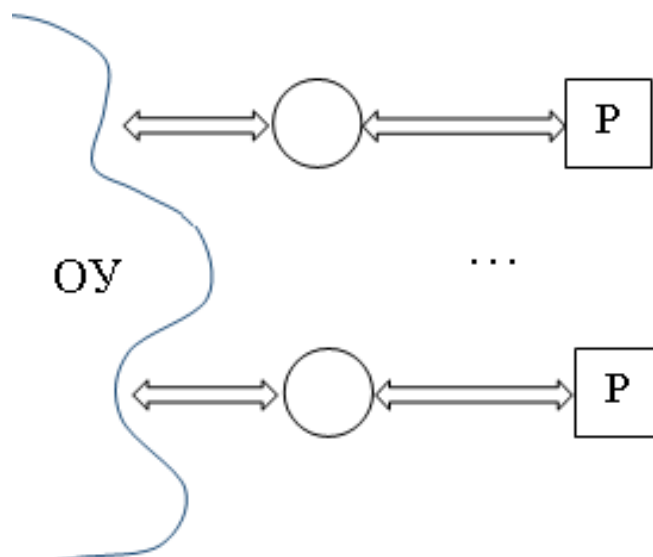


Рис.2.1. Архітектура монопольної КСУ.

Монопольна архітектура (рис.2.1) характеризується максимальним паралелізмом руху даних, внаслідок цього має максимальну подільність та живучість.

Крім того, кожен оператор володіє всіма ресурсами персональних ЕОМ, включаючи повний об'єм пам'яті, швидкодію, операційне та прикладне програмне забезпечення, час.

Основними недоліками такої архітектури є:

- відсутність інформаційних зв'язків між комп'ютерами, що не дозволяє операторам використовувати масиви даних та прикладні програми інших операторів без фізичного переміщення носіїв даних;
- надзвичайно висока собівартість опрацювання даних, обумовлена невідповідністю ресурсів операторів і процесорів. Наприклад, швидкість формування даних оператором з клавіатури 5–12 операцій/с, а швидкість опрацювання даних процесорів $10^6 - 10^9$ операцій/с;
- недостатнє використання часового ресурсу (4–6 год./добу, що складає 25% потенційних можливостей ПК);
- непрофесійність, недостатня кваліфікація та низька математична підготовка операторів, які не використовують всі можливості операційної системи та прикладного програмного забезпечення. Тому експертна оцінка ефективності монопольної архітектури складає 0,01 %.

1.2. КСУ розділеного часу.

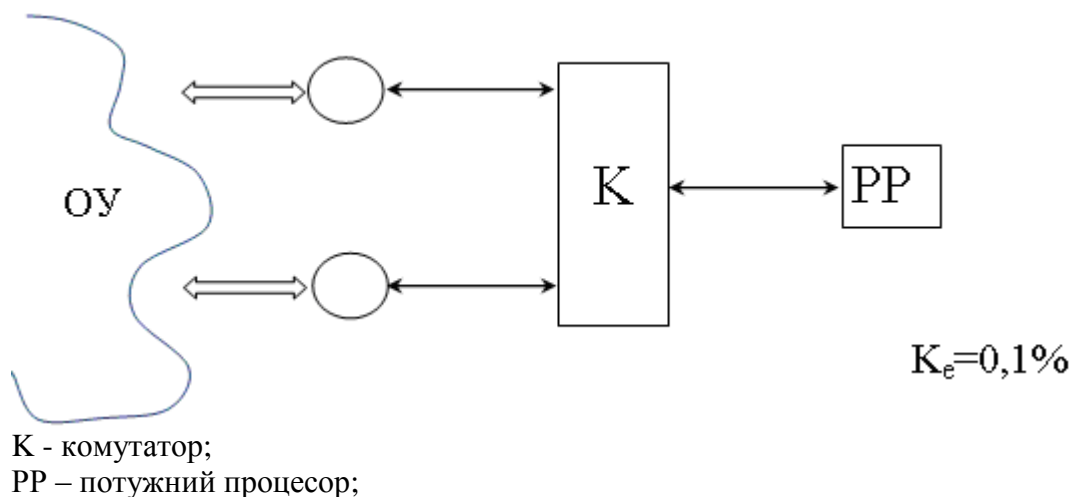


Рис.2.2. Архітектура КСУ розділеного часу.

Архітектура розділеного часу (рис.2.2) не забезпечує високопаралельного режиму роботи, що обумовлено наявністю комутатора інформаційних потоків.

При цьому також виникають ефекти старіння інформації. Позитивними характеристиками такої архітектури є зниження собівартості опрацювання даних за рахунок більш ефективного завантаження КС в часі та колективного користування ПЗ і масивами даних.

Основними недоліками даної архітектури є суттєве зниження надійності, яке обумовлене наявністю комутатора та одного колективного процесора, а також обмеження ресурсів часу для кожного оператора та монопрограмне рішення задач, що може призводити до створення черг на рівні операторів ($ККД = 0,1\%$).

1.3. Мультипрограмна КСУ

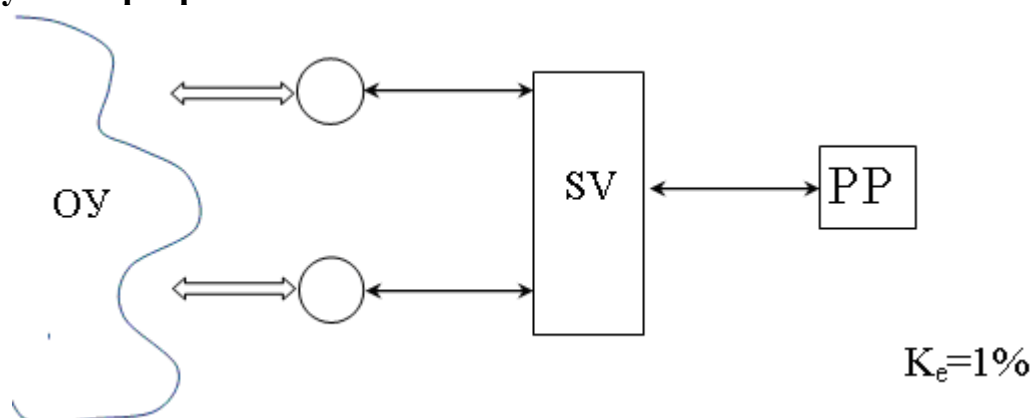
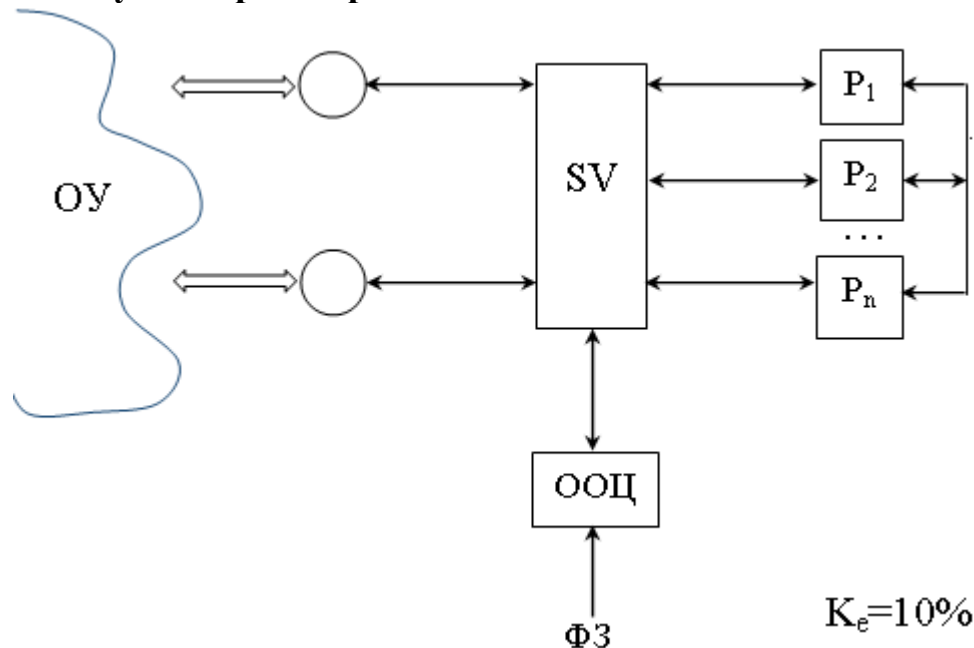


Рис.2.3. Архітектура мультипрограмної КСУ

Мультипрограмна архітектура (рис.2.3) дозволяє розпаралелити інформаційні потоки та організувати одночасне виконання всіх задач в мультипрограмному режимі.

Недоліками такої архітектури є значна вартість опрацювання даних внаслідок використання одного потужного процесора та складного ПЗ з багаторівневою системою переривань та пріоритетів. Дана структура характеризується невисокою надійністю, великою ймовірністю зависання та невизначеністю часу завершення конкретних задач, що породжує невизначеність часу очікування окремих операторів. Крім того, завантаженість системи залежить від активності операторів (ККД= 1,0–1,2%).

1.4. Мультипроцесорна КСУ.



ООЦ – оператори обчислювального центру;
ФЗ – фонові задачі, які мають найнижчий рівень пріоритету;

Рис.2.4._Архітектура мультипроцесорної КСУ

Мультипроцесорна архітектура (рис.3.6) забезпечує суттєве підвищення надійності системи, можливості розпаралелення інформаційних потоків та суттєве зниження собівартості опрацювання даних за рахунок одночасного використання супервізора та групи процесорів різної потужності.

При цьому супервізор не тільки аналізує активність та характер задач, які виконуються операторами, але й розподіл потужностей процесорів та їх головних ресурсів. Незалежність від активності сенсорних даних забезпечується цілодобовим рішенням фонових задач, які завантажуються в супервізор операторами через комутатор. Позитивною характеристикою даної архітектури є наявність прямих інформаційних зв'язків між процесорами на основі високошвидкісної паралельної шини (ККД= 5–10%).

Системи першого класу належать до класу концентрованих систем управління.

2. КСУ з однорівневим мережевим інтерфейсом

2.1. Магістральна архітектура КСУ

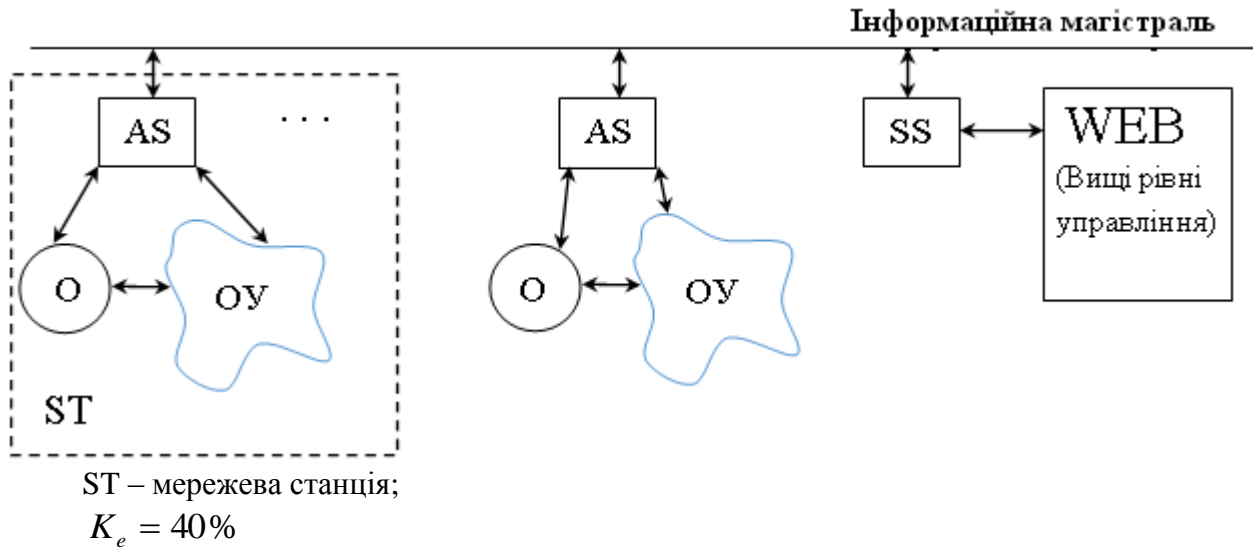


Рис.2.5. Магістральна архітектура КСУ.

Магістральна архітектура (рис.2.5) характеризується зниженням собівартості опрацювання розподілених даних за рахунок суттєвого зниження вартості магістрального фізичного каналу зв'язку на основі провідних ліній (витої пари та коаксіального кабеля) або волоконно-оптичних ліній.

Головними перевагами такої архітектури є можливість встановлення безпосередніх інформаційних зв'язків між станціями, а також колективне використання ресурсів сенсорних даних та сервера.

В той же час дана архітектура має ряд суттєвих недоліків, обумовлених можливістю колізій та конфліктів, які ліквідуються на основі спеціальних складних протоколів доступу, а також низьку надійність, обумовлену одним каналом зв'язку. Для ліквідації колізій використовується метод доступу з контролем несучої (МДКН) (рис.2.6).

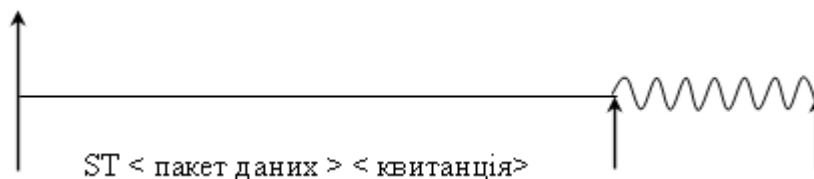


Рис.2.6. Метод доступу з контролем несучої

Коли обмін між станцією і іншими станціями або системними серверами завершується квитанцією і жодна станція не виходить на зв'язок то системний сервер генерує несучу;

Друга коалізія може виникати, коли інші станції одночасно звертаються до каналу зв'язку. Тому на кожне з'єднання викликається генератор випадкових чисел і вони в роздільному часі можуть користуватись зв'язком. Найвищий пріоритет має системний сервер.

Сигнал SOS блокує інші станції і обслуговує проблемну станцію. Ці недоліки є ліквідовані у зірковій архітектурі.

Незважаючи на ці недоліки, ККД становить 20–30%.

Поняття, архітектура та функції мережевої станції КСУ

Мережеві архітектури КСУ організуються на основі реалізації функцій формування, цифрового опрацювання, зберігання, управління об'єктами та передавання інформації мережевими станціями (ST) з базовою архітектурою, яка показана на рис.2.7. На рис.2.7: ОУ - об'єкт управління; О – оператор; АП – абонентський пункт; Р – процесор; ММ – модем; КМ – комп'ютерна мережа; S – сенсор; КНМ – контролер низової мережі; ВМ – виконавчий механізм.

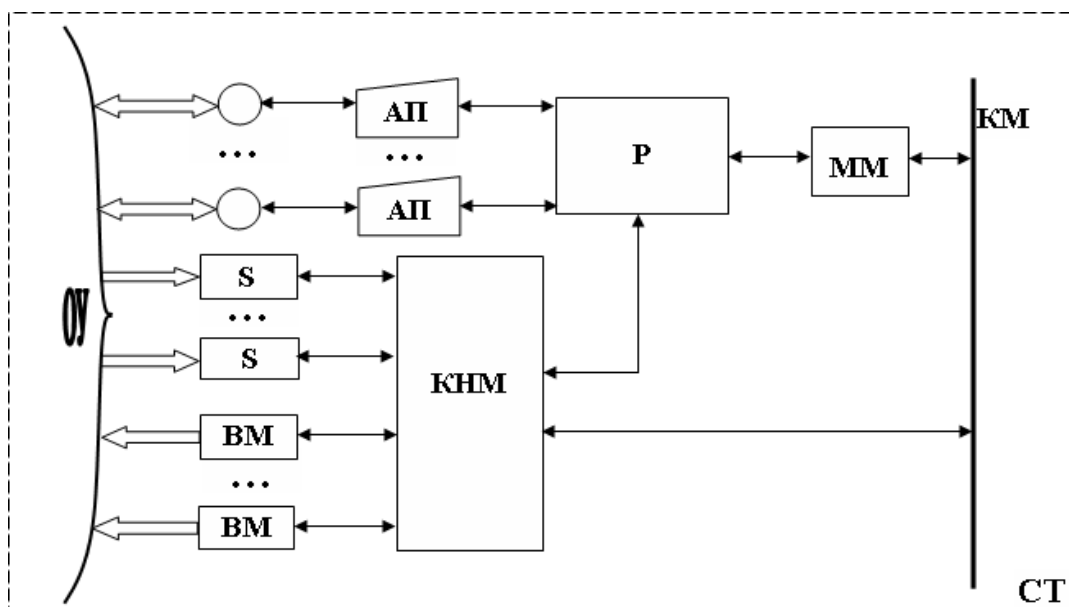


Рис.2.7. Архітектура мережевої станції КСУ.

Компоненти мережевої станції виконують наступні функції:

- збір та аналіз технологічних та техніко-економічних даних (ТЕД) в реальному масштабі часу виконують оператори, оснащені спеціалізованими абонентськими пунктами у вигляді промислових комп'ютерів, спеціалізованих пультів, табло, панелей перемикачів та ін.;

- сенсори реалізують перетворення фізичних процесів в стандартні сигнали та інтерфейси;

- виконавчі механізми реалізують команди управління механізмами, автоматичними засувками, роботами, верстатами з програмним управлінням...;

- контролер низової мережі реалізується на основі двопроцесорної структури у вигляді спеціалізованого мікроконтролера з оптоелектронною гальванічною розв'язкою пиле-, волого- та вибухобезпечного виконання, в якому один процесор виконує функції збору, кодування, реєстрації технологічних даних та управління мікрокомандами виконавчих механізмів, а другий процесор реалізує функції телекомунікаційного зв'язку з базовим процесором станції, а в окремих випадках

- згідно інтерфейсу низової комп'ютерної мережі ресурсами влаштованого модему;

- базовий процесор станції Р виконує функції оперативної архівації даних на заданому інтервалі часу, побудові інформаційних моделей ОУ згідно характеристичного функціоналу X_{OU} , контролю відхилень станів ОУ від норми та організації мережевого зв'язку через модем з іншими станціями та серверами КСУ.

Функціонал X_{OU} описує набір аналітичних функцій, згідно яких виконується опрацювання даних сенсорів, розрахунок функцій та математичних сподівань, кореляцій та ін., які використовуються для моніторингу стану ОУ та контролю його відхилень від норми.

2.2. Зіркова архітектура.

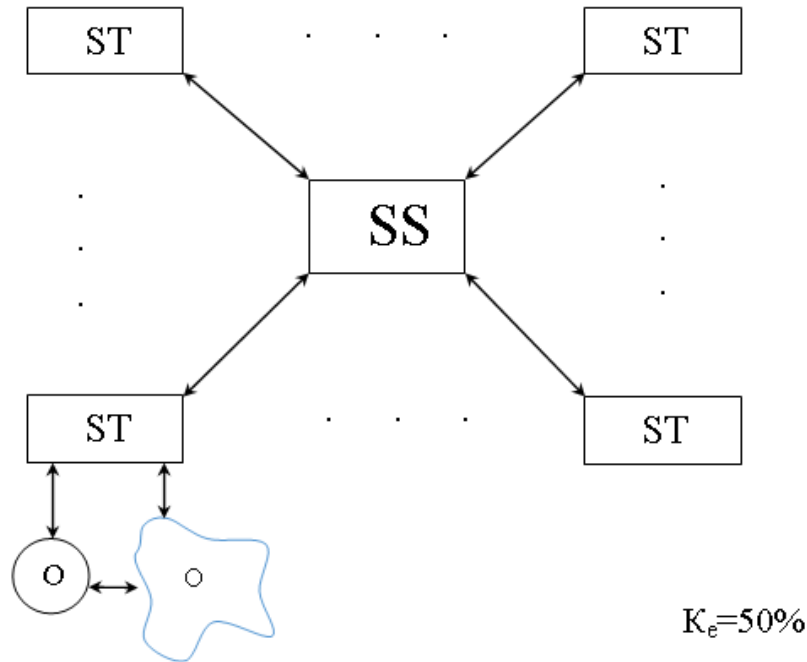


Рис.2.8. Зіркова архітектура.

Зіркова архітектура (рис.2.8) найчастіше використовується для створення локальної обчислювальної мережі (ЛОМ) з концентрованою базою даних (БД) на рівні сервера (SS).

В даній архітектурі відсутні колізії та організуються прямі інформаційні зв'язки між станціями за рахунок високошвидкісного матричного комутатора. Перевагою даної архітектури є колективне користування ресурсами потужного сервера. Основним недоліком зіркової архітектури є відносно висока вартість системи каналів зв'язків та недостатня надійність, обумовлена комунікаціями через один сервер. В той же час ККД становить 20–30%.

2.3. Кільцева архітектура.

Кільцева архітектура (рис.2.9) найбільш ефективна з даного класу архітектур. Характеризується низькою вартістю каналу зв'язку, що представляє собою шинну магістраль, замкнуту в кільце. Швидкісний маркер, який циркулює в кільці, виключає колізії та спрощує протоколи доступу до каналу. При однократному розриві каналу зв'язку робота мережі не порушується, а по часу поширення

сигналів між станціями сервер може локалізувати місце розриву та видати повідомлення про необхідність його профілактики.

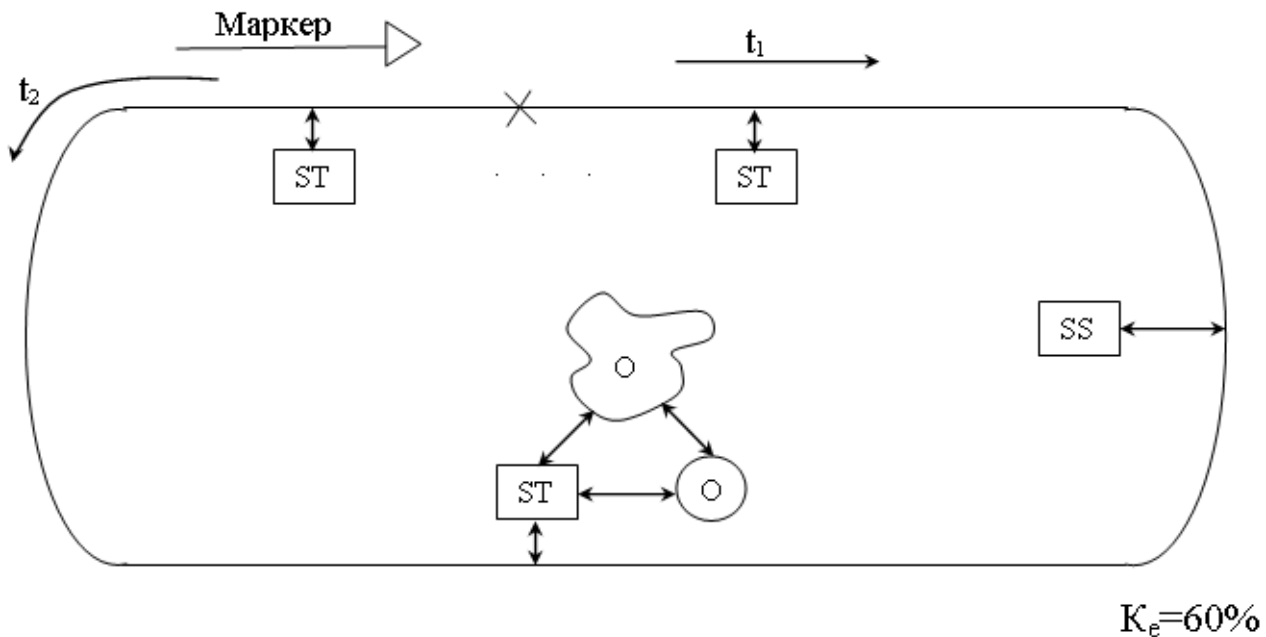


Рис.2.9. Кільцева архітектура.

Маркер – це код дозволу, який по черзі дозволяє з'єднуватись кожній станції; Головним недоліком такої архітектури є можливість довготривалої затримки маркера на станції, яка вийшла з ладу, що потребує додаткового тестування мережі з метою вилучення таких станцій.

ККД становить 30–40%. В окремих випадках організовується реалізація каналу на основі подвійного кільця, що суттєво підвищує надійність такої мережі. Тоді ККД може становити 50%.

2.4. Систолічна архітектура КСУ.

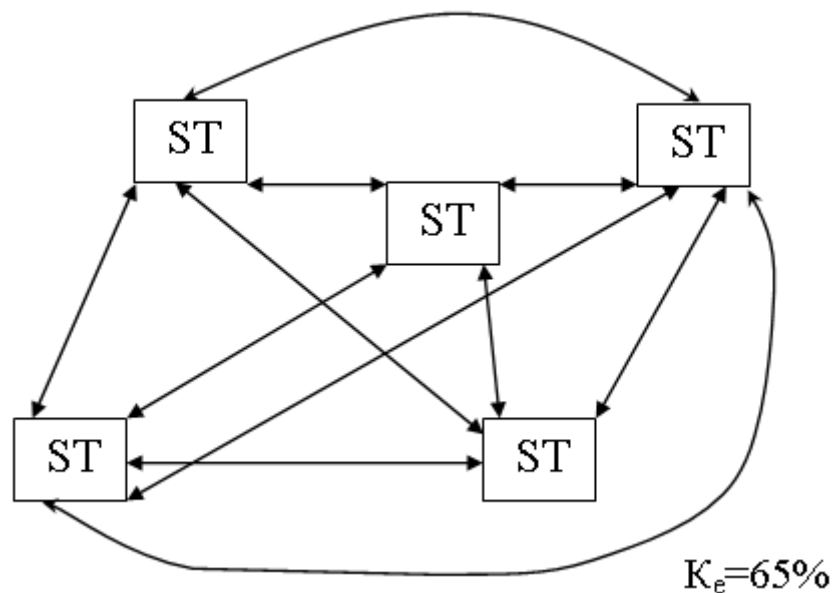


Рис.2.10. Систолічна архітектура.

Систолічна архітектура (рис.2.10) базується на організації всіх прямих інформаційних зв'язків між будь-якою парою станцій, що забезпечує максимальну надійність телекомунікаційної системи.

До класу таких мереж належать системи передавання даних, системи з комутацією каналів. ККД становить 50–60%, але в той же час ця архітектура характеризується основними недоліками: максимальною вартістю каналів зв'язку, можливістю кластерного збудження мережі та необхідності створення розподіленої БД. Суть кластеризації полягає в тому, що кілька станцій можуть настільки активізувати свої інформаційні зв'язки, що інші станції не мають можливості доступу до їх ресурсів та відповідних ОУ. Систолічні архітектури є високо емерджентні $K_e > 2$.

3. Багаторівневі архітектури КСУ.

3.1. Ієрархічна архітектура КСУ.

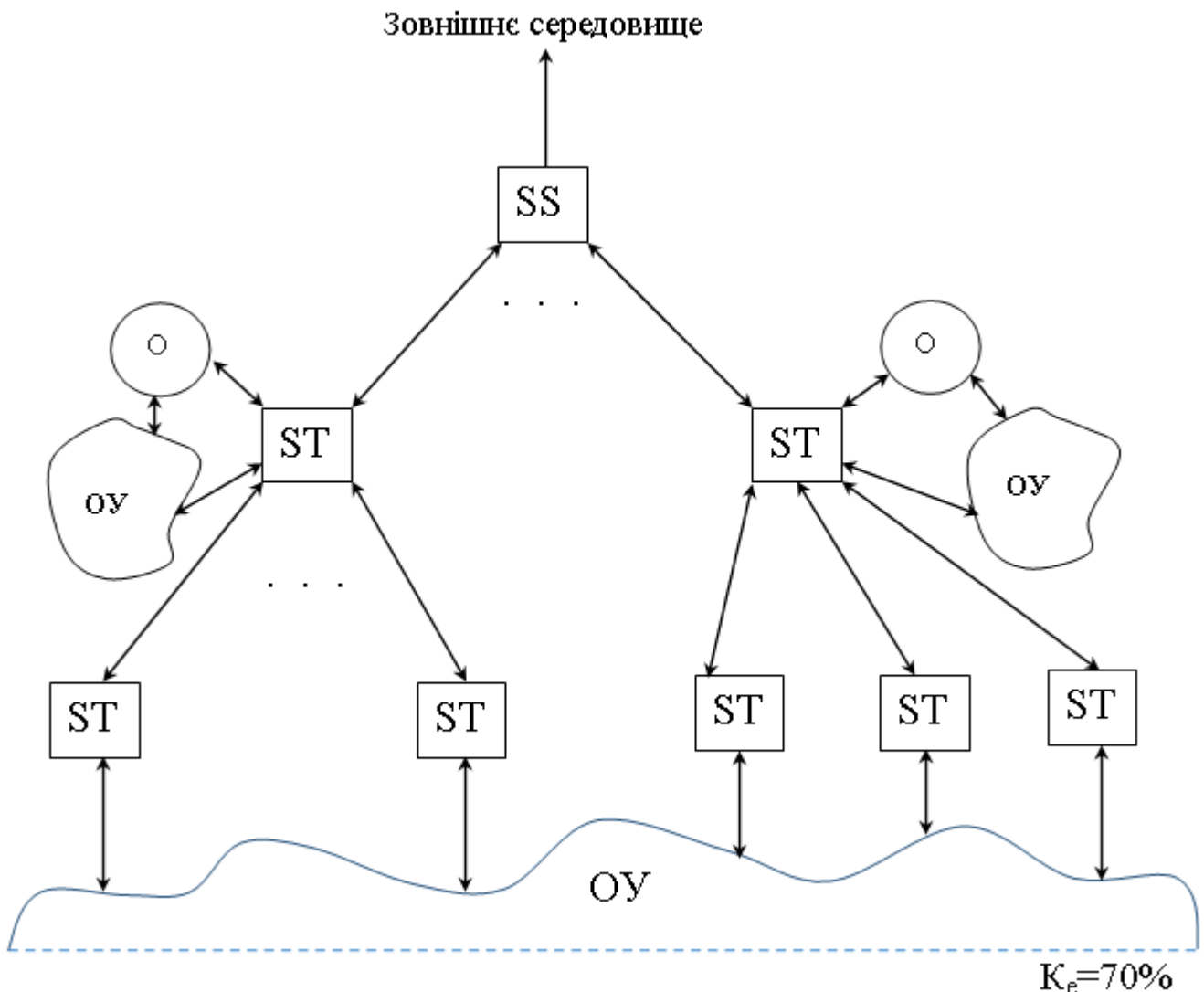


Рис.2.11. Ієрархічна архітектура.

Ієрархічна архітектура (рис.2.11) комп'ютеризованих систем опрацювання даних багаторазово повторює зіркову архітектуру, тобто є її розширенням.

Головною перевагою ієрархічної архітектури є зниження собівартості опрацювання даних за рахунок адаптації ресурсів КМ на кожному рівні або в окремих ієрархічних вітках. Такі архітектури характеризуються максимальною стійкістю. В той же час кожна станція або окремі абоненти мають можливість користуватися потужними обчислювальними ресурсами інших рівнів. ККД таких архітектур становить 40–60%.

Головними недоліками даної архітектури є:

- відсутність прямих інформаційних зв'язків між станціями одного рівня;
- низька емерджентність (інтелектуальність), яка визначається відношенням числа зв'язків до числа станцій, $K_e < 1$;
- можливість катастрофічного розмноження помилок при переміщенні даних з верхніх рівнів до нижніх;
- зростання ваги помилок при переміщенні даних з нижніх рівнів до верхніх;
- відсутність властивості кібернетичності, яка обумовлена проходженням інформаційних потоків знизу-вверх та зверху-вниз через одні і ті ж станції, а не окремим інформаційним зворотнім зв'язком;

3.2. Мережно-ієрархічна архітектура КСУ.

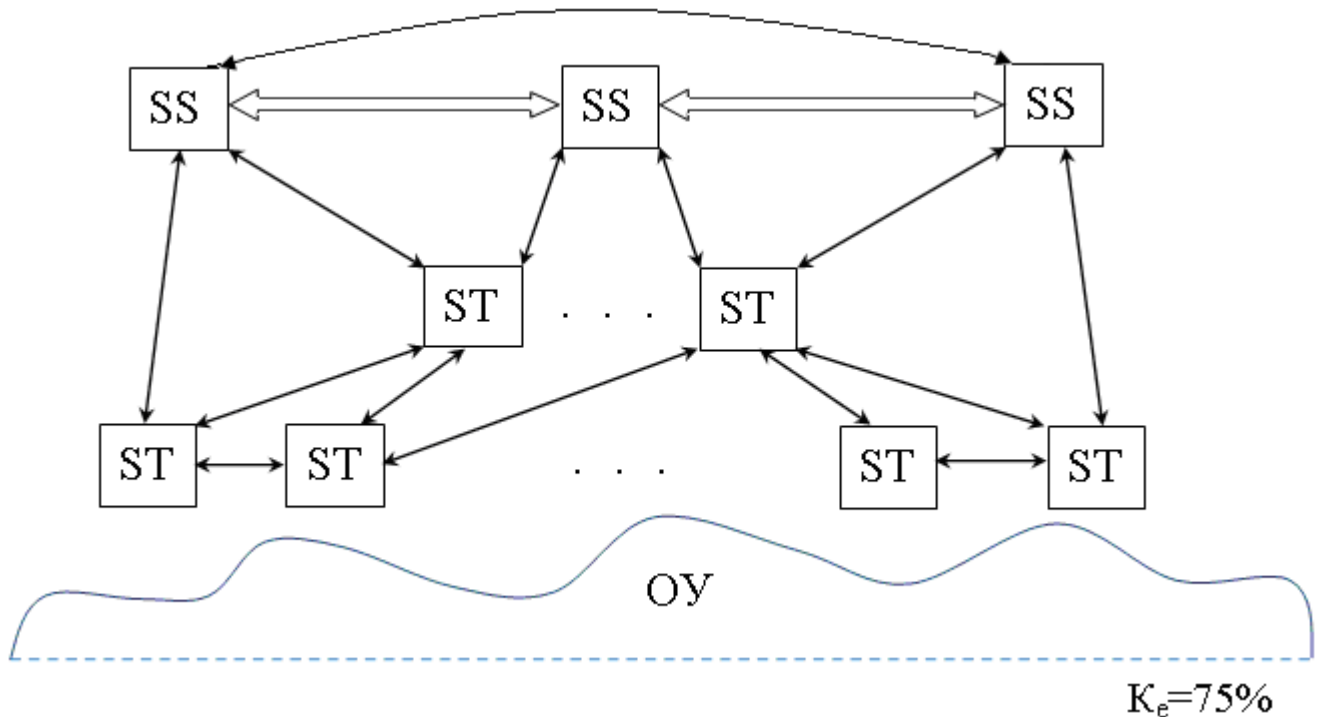


Рис.2.12. Мережно-ієрархічна архітектура.

Мережно-ієрархічна архітектура (рис.2.12) одночасно об'єднує елементи багаторівневої мережної та ієрархічної архітектур.

Дана архітектура відрізняється наявністю групи рівноправних серверів, об'єднаних швидкісною інформаційною шиною верхнього рівня КСУ. Даний елемент архітектури забезпечує високий інтелект та надійність системи.

Особливістю такої архітектури є наявність зв'язків між окремими станціями на певних рівнях, а також черезрівневі зв'язки між серверами верхнього рівня та будь-якого іншого рівня ієрархічної компоненти архітектури КСУ. При цьому у процесі проектування КСУ реалізується максимальна адаптація архітектури КСУ до топології реального розподіленого ОУ. Перевагами є: багаторівневність, відсутність колізій, часткова систологічність, адаптація числа і потужність каналів зв'язку, високий рівень інтелекту.

Одним з недоліків такої архітектури КСУ є складність організації та ведення розподіленої бази даних на рівні серверів.

3.3. Магістрально-ієрархічна архітектура КСУ.

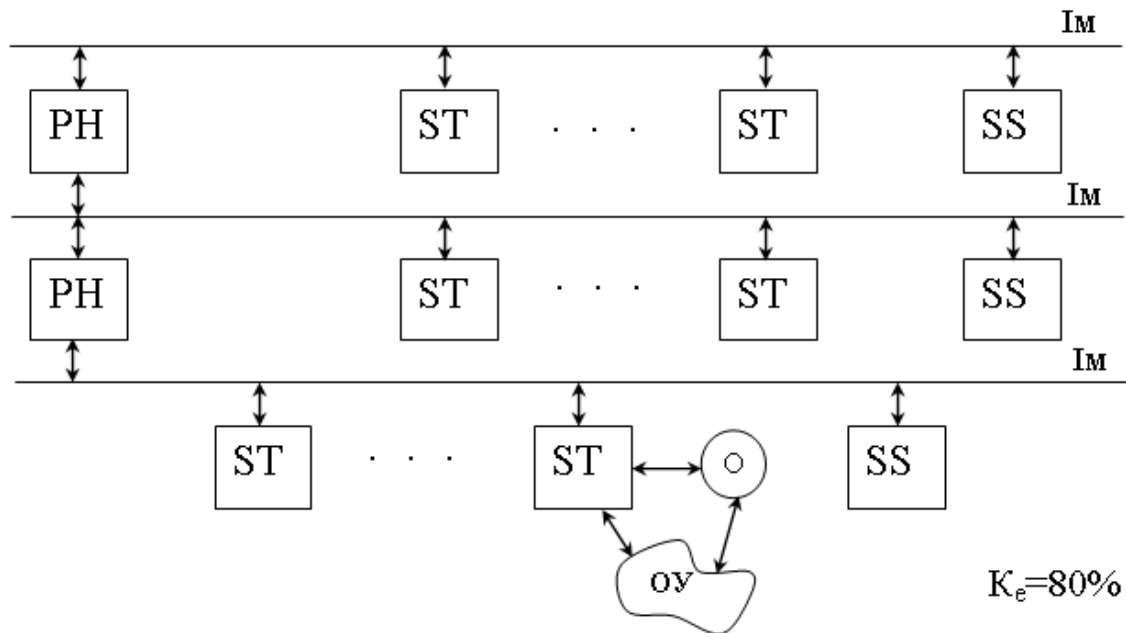


Рис. 2.13. Магістрально-ієрархічна архітектура.

Дана архітектура (рис.2.13) максимально адаптована до структури промислових виробництв і охоплює три рівні: технологічний (сенсори, виконавчі механізми, оператори, технологи та станції, кодери), цеховий (ЕОМ типу сервер та цехові ПК), адміністративний (ПЕОМ адміністративного апарату та системний сервер з адміністратором БД). ККД становить 50–65%.

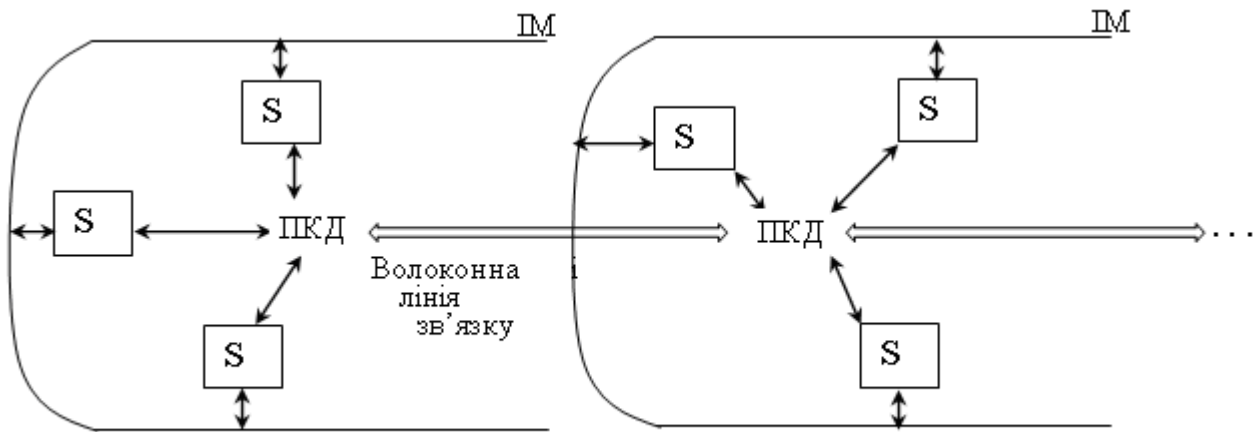
Переваги:

- суттєве зниження вартості каналів зв'язку;
- можливість черезрівневих та однорівневих зв'язків.

Недоліки:

- можливі коалізії;
- низька надійність.

3.4. Зірково-магістральна архітектура КСУ.



$K_e=80\% - 90\%$

Рис.2.14. Зірково-магістральна архітектура.

ПКД – пам'ять колективного доступу;

Функції ПКД:

I зона – дані, які завантажили адміністратори;

II зона – поштові скриньки абонентів станції;

III зона – сенсори записують інформацію, яка доступна усім рівням;

Дана архітектура (рис.2.14) (розробник Роберт Гі) характеризується суттєвими перевагами по відношенню до інших описаних архітектур, що виражається в наступному:

- багаторівнева розподілена обробка даних;
- відсутність міжрівневих шлюзів, які значно обмежують ресурси багаторівневих систем;
- висока надійність і живучість за рахунок реалізації розпаралелення обробки даних, в тому числі при черезрівневих обмінах;
- висока емерджентність;
- реалізація принципів паралелізму на рівні сенсорів та ПКД.

Загальним недоліком мережевих КСУ є наявність фізичних каналів зв'язку. Тому існують безпроводні архітектури КСУ.

4. Безпроводні архітектури КСУ.

4.1. Безретрансляторна архітектура КСУ.

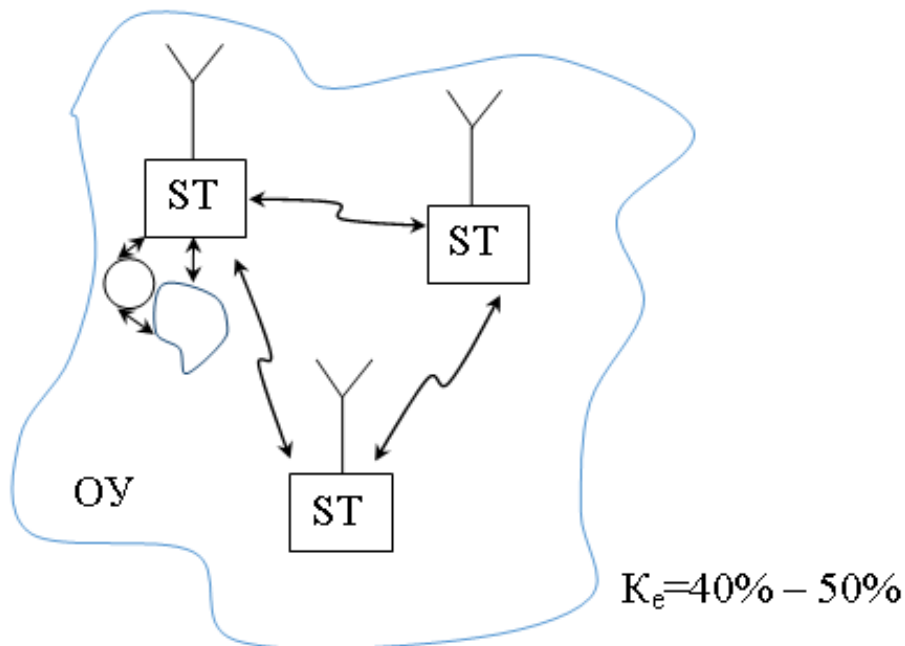


Рис.2.15. Безретрансляторна архітектура.

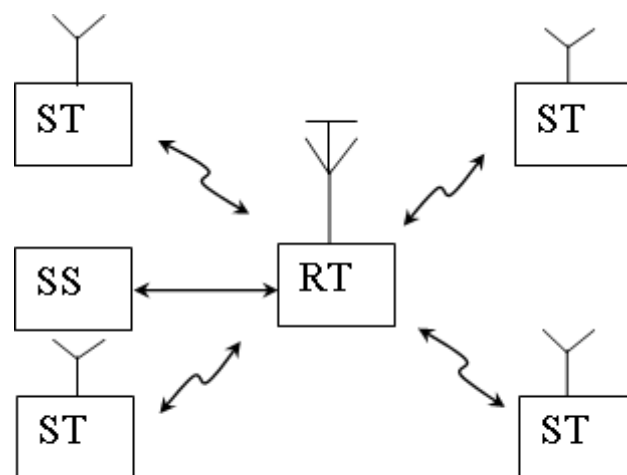
Переваги:

- відсутність каналів зв'язків;
- розподіленість системи управління.

Недоліки:

- виникнення колізій;
- висока потужність передачі сигналів;
- розділеність обміну даних часів;
- наявність мертвих зон.

4.2. Архітектура з пасивним ретранслятором.



$K_e=50\% - 60\%$

Рис. 2.16. Архітектура з пасивним ретранслятором.

Переваги:

- Відсутність колізій;
- Зниження потужності станції обчислювальної і каналної;

Недоліки:

- Зниження надійності, обумовлене наявністю одного пасивного ретранслятора.

4.3. Кільцева архітектура з активним ретранслятором

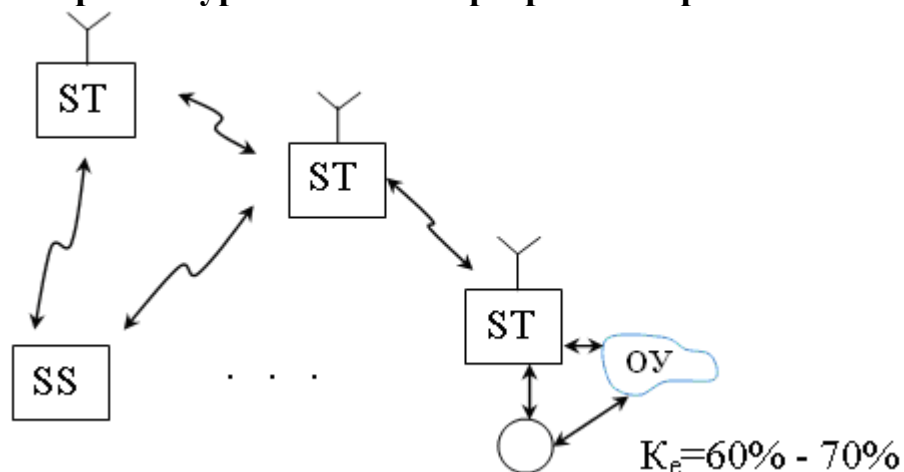


Рис. 2.17. Кільцева архітектура з активним ретранслятором.

Переваги:

- відсутність колізій;
- зниження потужності каналів та потужності станцій;
- низька вартість каналів;

Недоліки:

- неможливість паралельних обмінів між станціями;
- на відкриті канали впливають атмосферні завади (пил, дощ).

4.4. Стільникові КСУ.

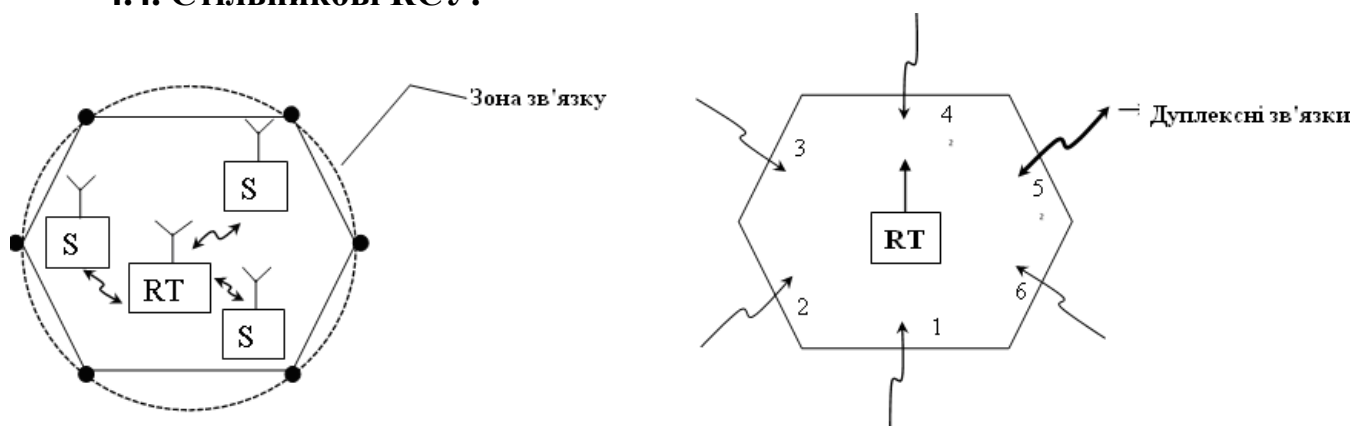


Рис. 2.18. Стільникові архітектури.

- 1) 12 несучих частот;
- 2) 6 – з розділеним часом;
- 3) 6 – з кодовим розділом на основі шумоподібних сигналів

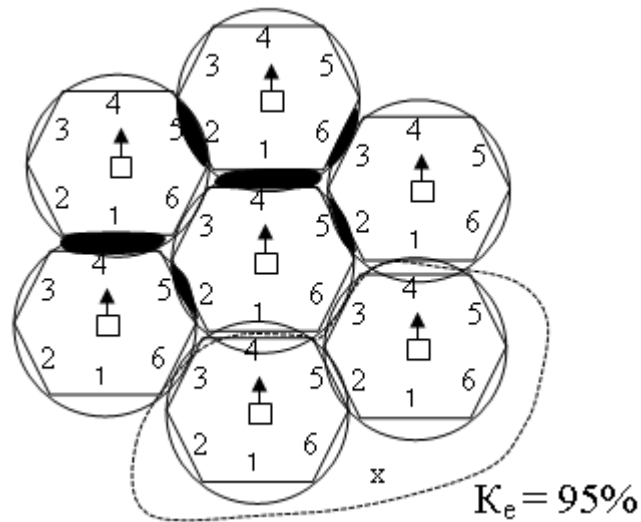


Рис. 2.19. Стільникова архітектура.

Переваги:

- максимальна надійність і живучість;
- можливість паралельних зв'язків між паралельними станціями;
- можливість різних шляхів черезрівневих зв'язків;
- високий інтелект системи;
- можна реалізувати будь-які інші КСУ.

Недоліки:

- високий рівень реалізації мікропроцесорів;
- переміна несучої частоти залежно від зони;
- автоматична зміна потужності передавача;
- кореляційні прийоми передавачів.

5. КСУ з відкритим оптичним каналом.

5.1. Міжмережева.

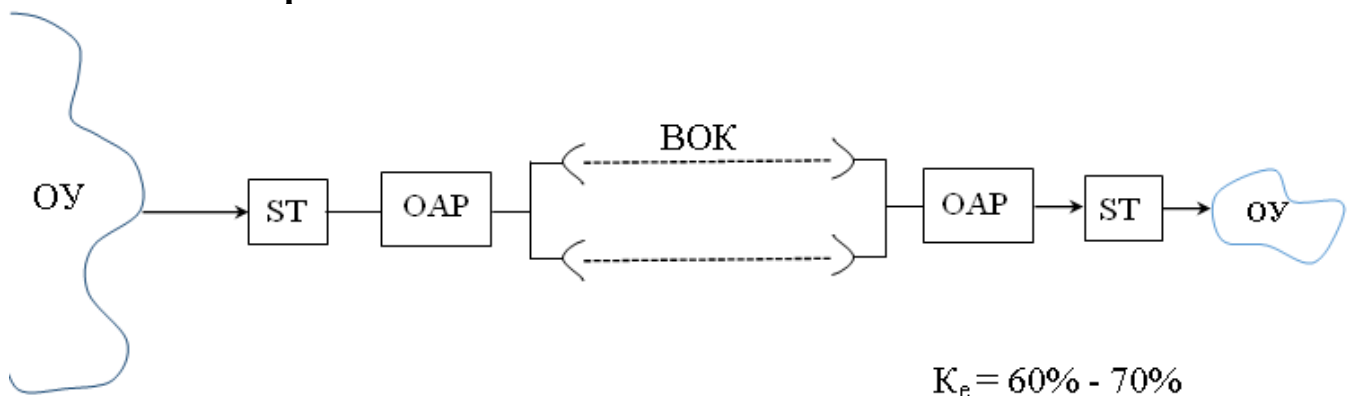


Рис. 2.20. Міжмережева КСУ.

$K_e = 60\% - 70\%$

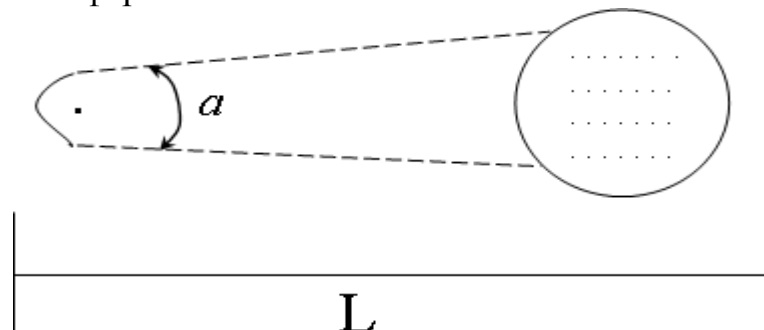
Переваги:

- відсутність фізичних ліній зв'язку;
- висока швидкість передачі інформації;
- складність несанкціонованого доступу до каналу.

Недоліки:

- невелика дальність передачі в умовах атмосферних завад;
- складність розгалуження системи.

Приклад розширення потужності оптичного променя в залежності від віддалі між станціями в атмосфері.



α - кут розширення оптичного променя

Рис. 2.21. Схема розширення потужності оптичного променя.



L_0 – віддаль передавання оптичного сигналу при чистій атмосфері;

L_1 – віддаль передавання оптичного сигналу при атмосферних завадах (дощ, пил, сніг, туман);

Рис. 2.22. Вплив завади на оптичні сигнали.

При наявності оптичної завади віддаль передавання інформації зменшується в 3 рази.

5.2. Кільцева з оптичним активним ретранслятором (ОАР).

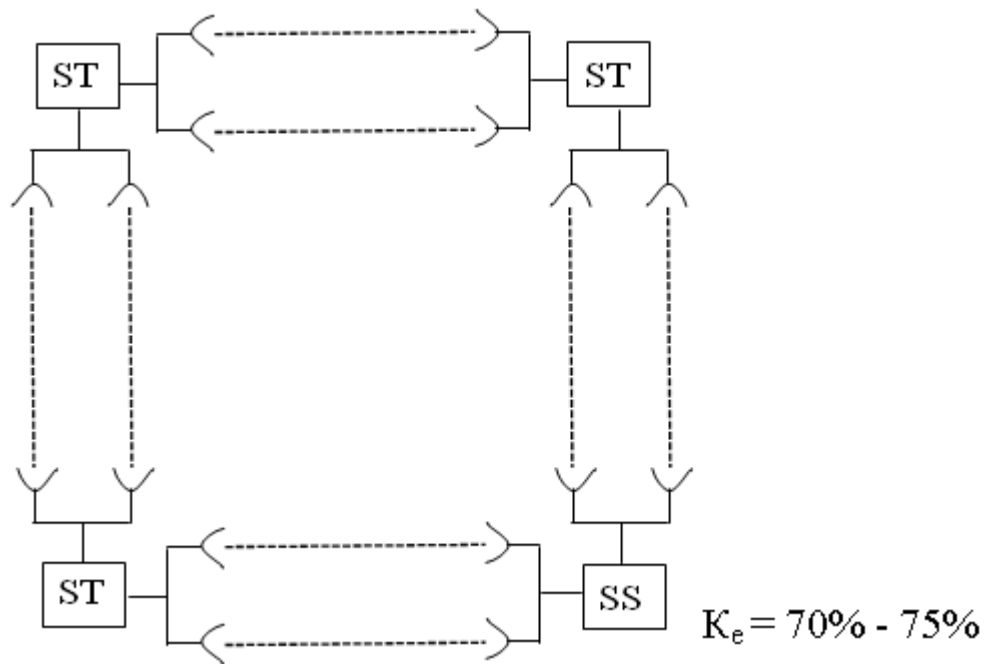


Рис. 2.23. Кільцева архітектура з оптичним активним ретранслятором.

Переваги:

- різке зниження потужності прийому передавачів;
- відсутність колізій.

5.3. Ієрархічна архітектура.

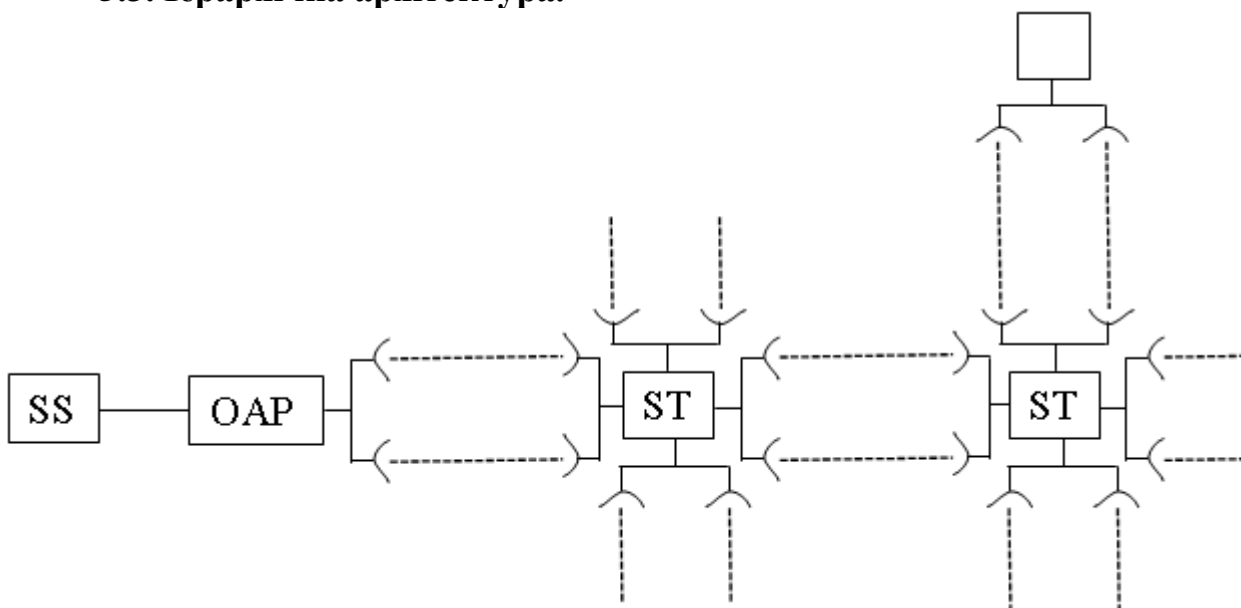


Рис. 2.24. Ієрархічна архітектура.

Переваги:

- Адаптація до топології об'єкту управління

5.4. Оптична система із сканерами.

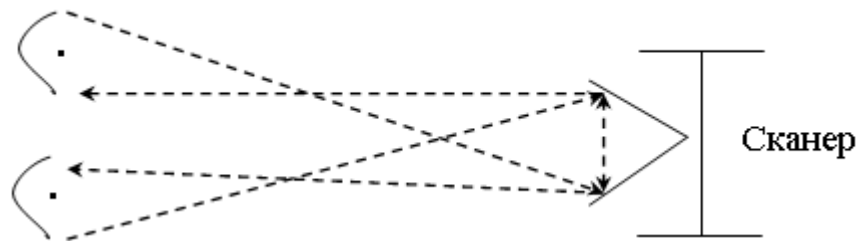
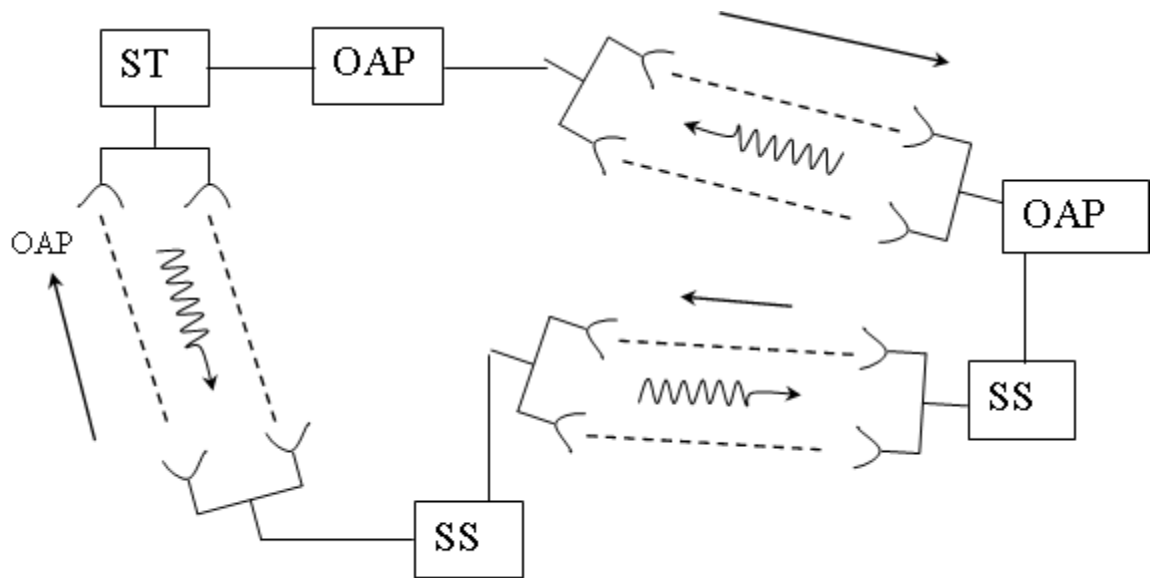


Рис. 2.25. Оптична система із сканерами.

В оптичній системі із сканерами відбувається автоматична юстіровка.



OAP – оптичний активний ретранслятор

Рис. 2.26. Приклад кільцевої системи КСУ зі сканерами.

Лекція 3

СТРУКТУРА САУ ТА СИСТЕМНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОУ

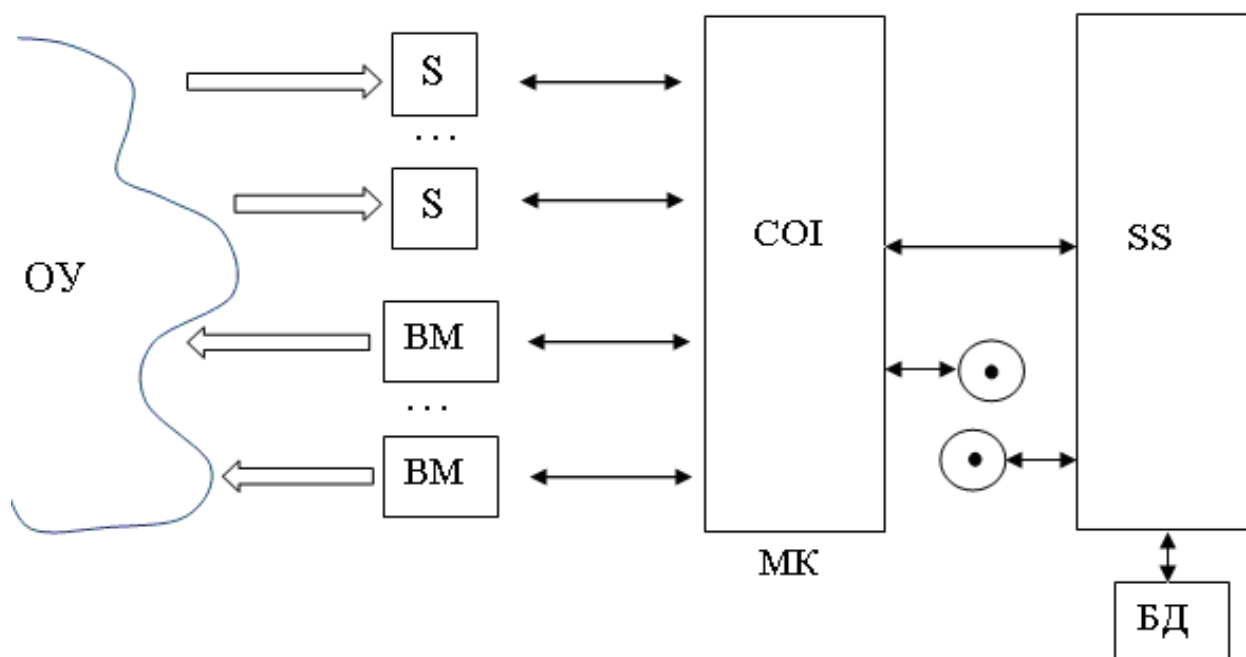


Рис. 3.1. Структура САУ.

↔ - інформаційний зв'язок;

➔ - фізичний зв'язок;

⊙ - оператор;

S – сенсори – перетворюють технологічні параметри в стандартизовані електричні сигнали;

BM – виконавчі механізми, які виконують операції управління ОУ;

COI – система обробки інформації;

МК – мікроконтролер;

БД – база даних;

S – системний сервер.

Функції COI:

- збір, реєстрація та архівація даних про стани об'єктів управління;
- моніторинг та діагностика відхилень станів ОУ від норми;
- розрахунок та формування моделей ОУ;
- інтерфейс з операторами;
- інтерактивний інтерфейс оператора;
- передавання відхилених від норми та захищених від несанкціонованого доступу даних *SS*. *SS* – формує БД про ОУ та інтерактивне управління режимними параметрами ОУ.

Системні характеристики ОУ

В залежності від системних характеристик ОУ виконується проблемно-орієнтована реалізація САУ. В залежності від поведінки ОУ у часі, існують наступні класи ОУ:

- стаціонарні;
- квазістаціонарні;
- нестаціонарні.

Стаціонарні ОУ – це ОУ, які не змінюють своїх системних характеристик у часі.

Приклад поведінки одного з параметрів $x(t)$ стаціонарного ОУ наведено на рисунку, де дисперсія D_x відображає динамічні характеристики стаціонарного ОУ:

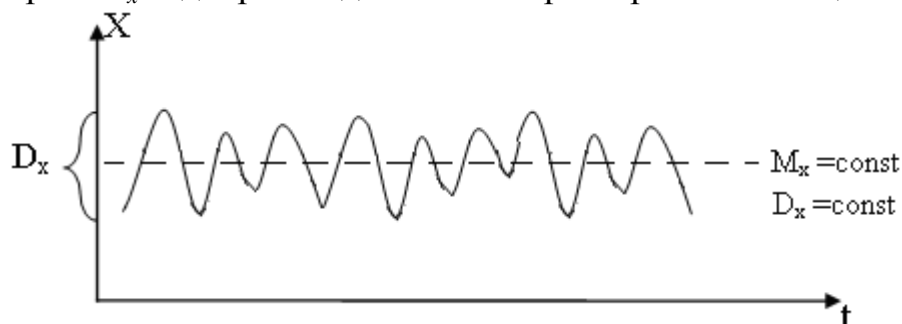


Рис. 3.2. Приклад поведінки одного з параметрів $x(t)$ стаціонарного ОУ.

Загальні характеристики ОУ описуються атрибутами $F(\cdot)$ функціоналу X_{OY} :

$$X_{\hat{O}O} = F(\{x_i\}, \{x_j\}, S_{\hat{O}O}, M_x, M_j, M_v, D_x, \delta_x, R_{xx}, R_{xy}, S_w, L_i, \rho_{ij}, S_{ij}, P_{ij}, I_x),$$

де: $\{x_i\}, \{x_j\}$ - масиви оцифрованих моніторингових даних параметрів ОУ;

$S_{\hat{O}O}$ - відповідно семантичний, інформаційний та технологічний стани ОУ;

M_x, M_j, M_v - відповідно вибіркове, ковзне та вагове математичні сподівання;

D_x, δ_x - відповідно дисперсія та середньоквадратичне відхилення;

R_{xx}, R_{xy} - автокореляційна та взаємкореляційні функції;

S_w - спектри параметрів ОУ у різних теоретико-числових базисах;

L_i - логіко-статистичні інформаційні моделі (ЛСІМ), $i \in \overline{1, 5}$;

$\rho_{ij}, S_{ij}, P_{ij}$ - відповідно матриці коефіцієнтів взаємкореляції, кластерної моделі ймовірнісних переходів та ентропійних станів;

I_x - кореляційна міра ентропії стану ОУ.

Якщо всі атрибути X_{OY} незмінні в часі, то ОУ належить до класу стаціонарних. При цьому структура та функції САУ – найпростіші і функції управління реалізуються в автоматичному режимі без адаптації.

Квазістаціонарні ОУ – це такі ОУ, які стрибкоподібно в певний момент часу переходять з одного стаціонарного стану в інший.

Приклади поведінки квазістаціонарних ОУ зі зміною математичних сподівань (M_i), кореляційних (R_{xx}), спектральних ($S(\omega)$) та ентропійних (I_i) характеристик показано на рисунках 3.3, 3.4.

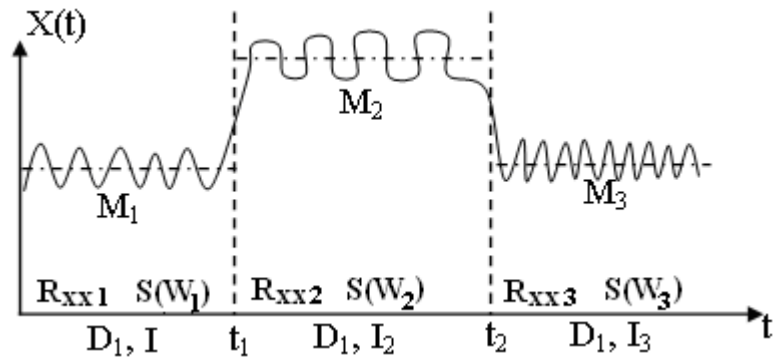


Рис.3.3. Приклад поведінки квазістаціонарного ОУ.

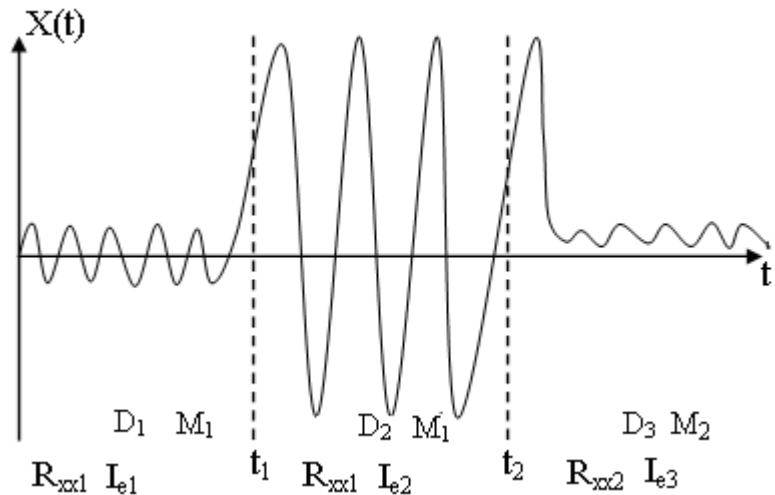


Рис. 3.4. Приклад поведінки квазістаціонарного ОУ.

Нестационарні ОУ – це такі об’єкти, в яких всі системні характеристики змінюються в часі.

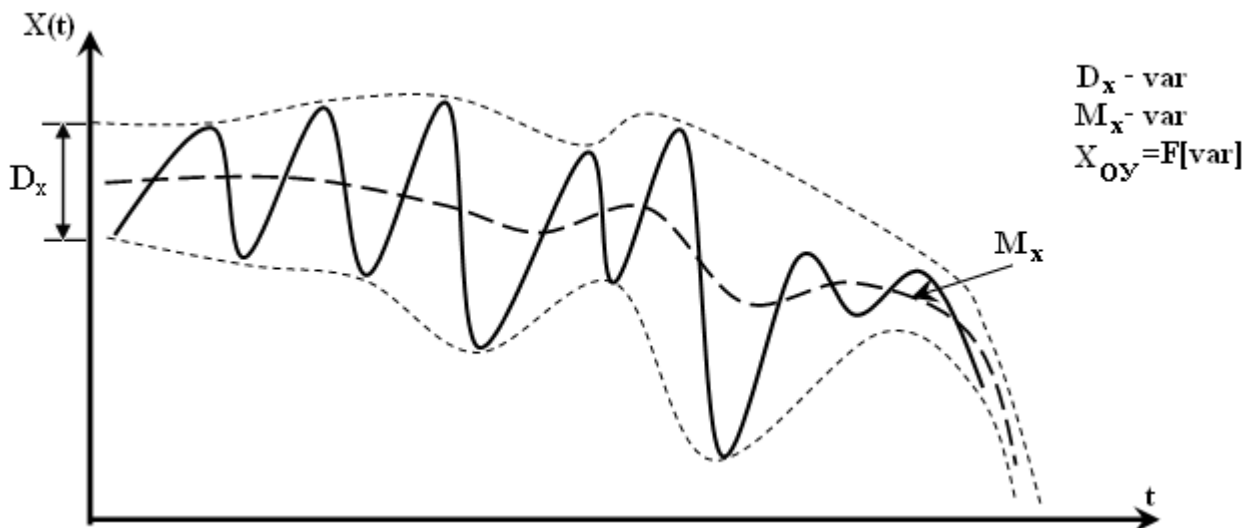


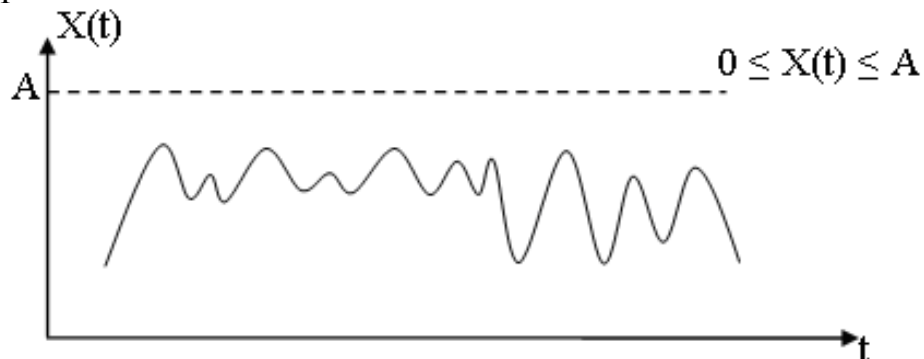
Рис. 3.5. Приклад поведінки нестационарного ОУ.

Задача управління нестационарними об’єктами найскладніша і потребує математики на основі ймовірнісних методів в умовах невизначеності. Такими у математиці є так звані некоректні задачі.

Існують чотири класи ОУ за характеристиками центрованості відносно осі абсцис (t):

- нецентровані,
- центровані,
- ненормовані;
- нормовані.

Нецентровані



A – діапазон зміни станів ОУ.

Рис. 3.6. Приклад поведінки нецентрованого ОУ.

Центровані

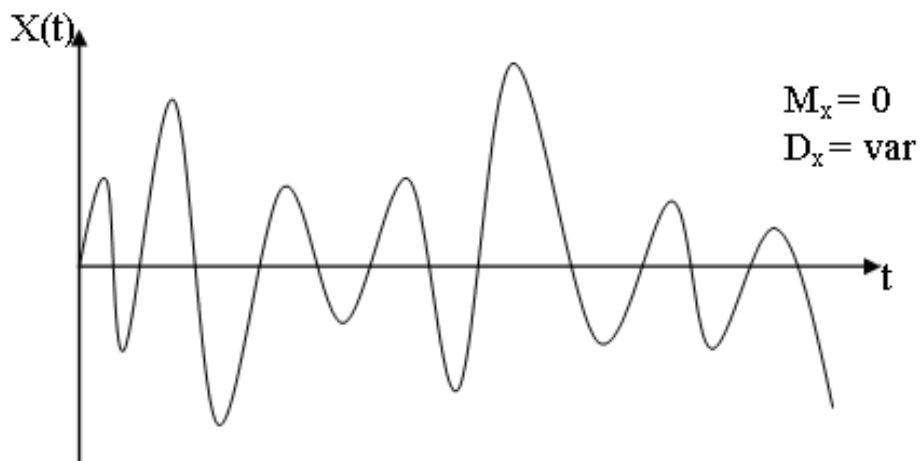


Рис. 3.7. Приклад поведінки центрованого ОУ.

Ненормовані

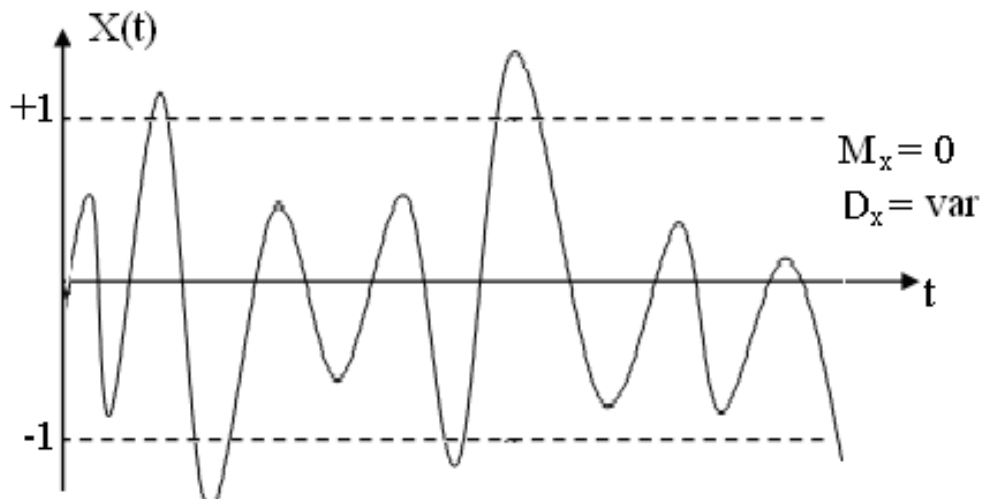


Рис. 3.8. Приклад поведінки ненормованого ОУ.

Нормовані

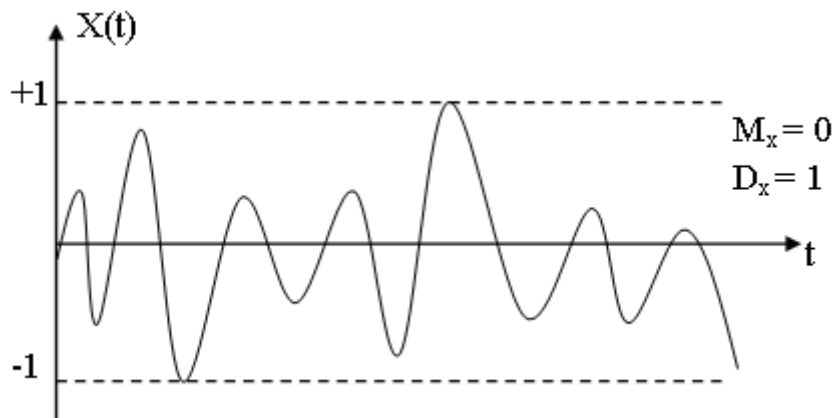


Рис. 3.9. Приклад поведінки нормованого ОУ.

Ці характеристики представляють продукційні стани ОУ.

Методи перетворення аналогових характеристик.

Методи перетворення аналогових характеристик ОУ у дискретні виконуються у двовірному Хеммінговому просторі шляхом округлення до більшого цілого, меншого цілого та найближчого цілого у вузлах двовірного Хеммінгового простору:

$$\Delta t = \text{const}; \delta = \text{const};$$

Δt – крок дескритизації в часі;

δ – крок квантування по амплітуді.

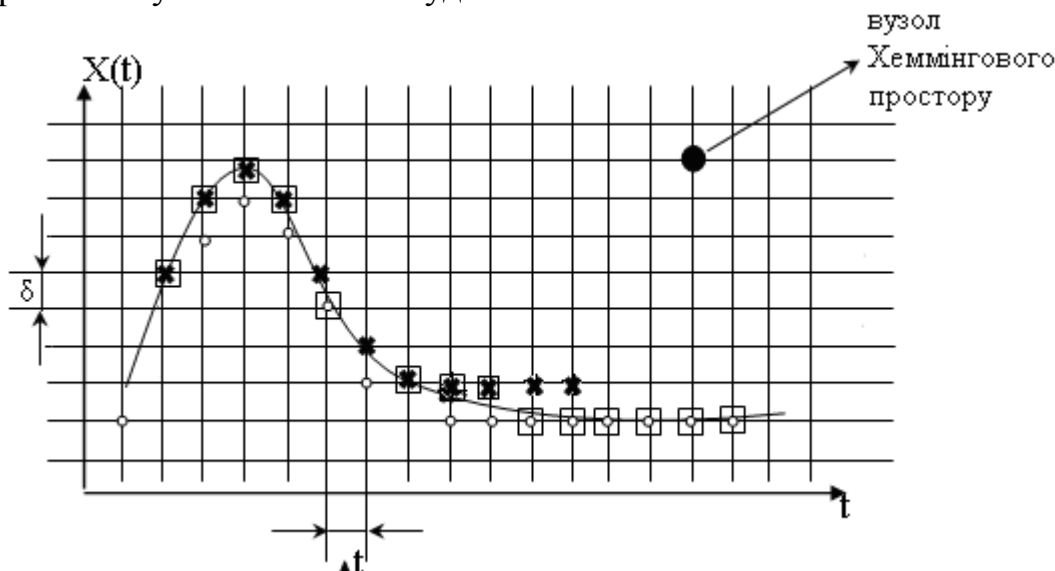


Рис. 3.10. Методи перетворення аналогових характеристик ОУ.

В дискретному стані ОУ описується Хеммінговий простір.

Існують 3 способи аналого-цифрового перетворення шляхом:

округлення до більшого цілого $x_i = \tilde{E} \left[\frac{x(t)}{\delta} \right] (x);$

округлення до меншого цілого $x_i = \tilde{E} \left[\frac{x(t)}{\delta} \right] (o);$

округлення до найближчого цілого $x_i = \tilde{E} \left[\frac{x(t)}{\delta} \right] (\square),$

де $E[\bullet]$ - цілочисельна функція з округленням до більшого (\hat{E}), меншого (\check{E}), найближчого (\tilde{E}).

В результаті дискретизації і квантування аналогового сигналу $x(t)$ отримують модель ОУ у вигляді ридітчастої функції (рис.3.11).

Кристали АЦП, які тиражуються фірмами, як правило реалізують округлення до меншого цілого. В окремих випадках в аудіосистемах для покращення звукових сигналів виконується округлення до найближчого цілого.

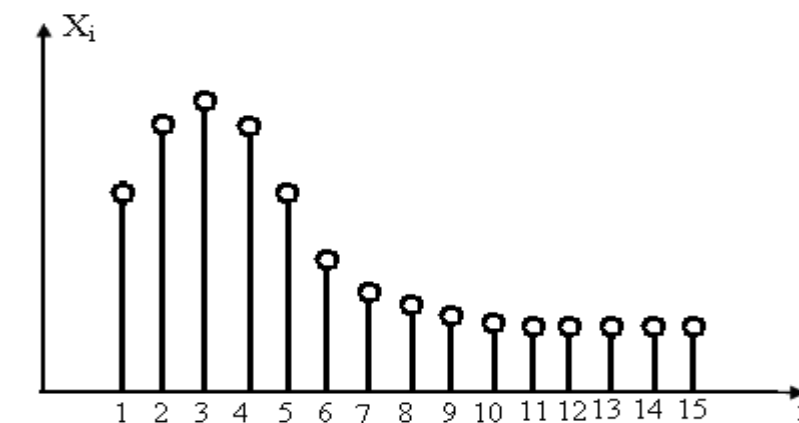


Рис. 3.12. Ридітчаста функція аналогового сигналу.

На основі ридітчастої моделі ОУ виконується обчислення ентропії станів ОУ та об'ємів отримуваної інформації згідно наступних оцінок:

1. формула ентропії Р.Хартлі

$$I_{i\check{O}}(H) = n \cdot \hat{E}[\log_2 A]$$

2. формула ентропії К.Шеннона

$$I_{i\check{O}}(Sh) = \sum_{j=0}^{A-1} n_j \cdot (\log_2 n - \log_2 n_j)$$

3. формула ентропії Я.Николайчука

$$I_{i\check{O}}(N) = n \cdot \hat{E} \left[\frac{1}{2} \log_2 \frac{1}{m} \times \sum_{j=1}^m (D_x^2 - R_{xx}^2(j)) \right].$$

Формула Р.Хартлі не аналізує статистику станів ОУ і є верхньою оцінкою ентропії та об'єму інформації.

Формула К.Шеннона враховує ймовірність станів управління, але не реагує на різні ймовірності переходів ОУ з одного стану в інший.

Формула Я.Николайчука в найбільшій степені наближається до власної ентропії ОУ.

Існує інший метод аналого-цифрового перетворення, в якому $\delta = const$, а крок дискретизації змінний $\Delta t = var$ (рис.3.13).

При цьому цифрові відліки x_i реєструються в моменти пересічення аналогового сигналу квантів амплітуди.

Перевагою такого методу є зменшення об'ємів цифрових даних при нединамічній поведінці ОУ, а недоліком – відсутність простих алгоритмів кореляційного та іншого опрацювання інформації.

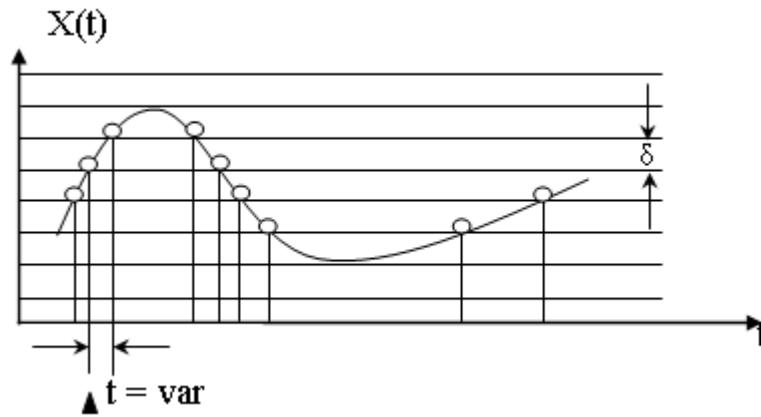


Рис. 3.13. Решітчаста функція.

Лекція 4

КЛАСИФІКАЦІЯ ТИПІВ ОУ ПО ДІАПАЗОНУ КВАНТУВАННЯ ТА ЧИСЛУ ІНФОРМАЦІЙНИХ КАНАЛІВ

Особливістю функціонування структури САУ є можливість колективного використання ресурсів різних сенсорів ОУ. При цьому КНМ виконують три системні функції:

а) управління технологічними процесами в режимі локальної автоматики;
б) комунікаційне транспортування інформації від сенсорів в ПК верхніх рівнів і команд управління ВМ;

в) цифрова обробка сигналів сенсорів, формування інформаційних моделей, архівація на рівні КНМ.

Як правило функціонування таких систем здійснюється під керівництвом стандартних операційних систем OS/2, Windows 9x, Windows NT, Unix, Linux.

Існує класифікація ОУ, яка включає наступні їх типи:

- одноканальне однобітове (рис. 4.1а);
- одноканальне багаторівневе (рис. 4.1б);
- багатоканальне однобітове (рис. 4.1в);
- багатоканальне багаторівневе (рис. 4.1г).

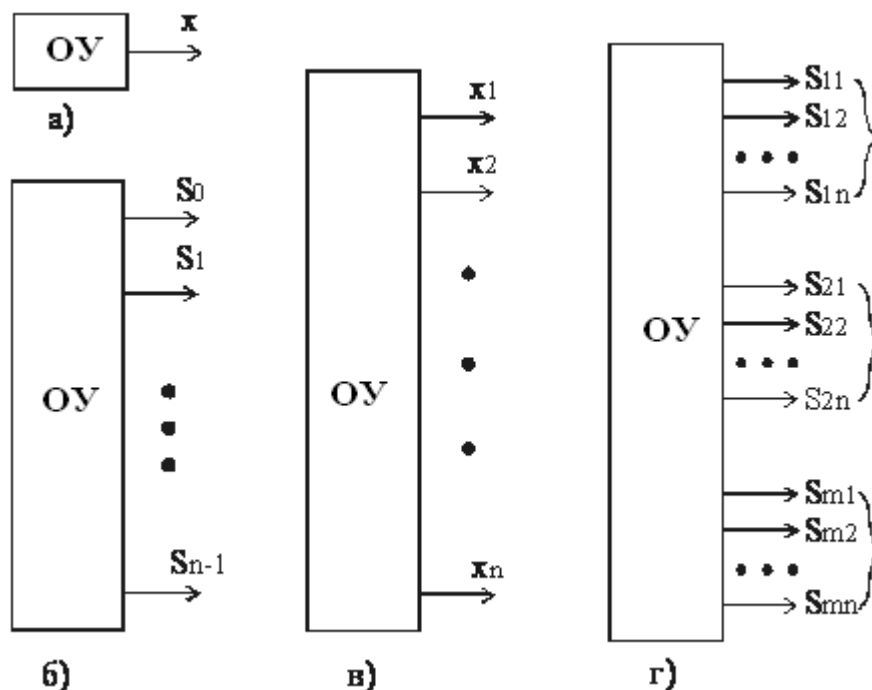


Рис. 4.1. Типи ОУ: x_n – булеві сигнали; S_{mn} – кодові сигнали.

Загальною характеристикою сигнальної моделі класифікованих ДІ є формування на їх виходах булевих значень станів ДІ, які приймають значення “0”

або "1":

$$b_i = \begin{cases} 1, & x_j(t) \geq \varepsilon_x \\ 0, & x_j(t) < \varepsilon_x \end{cases},$$

де i – дискретний часовий параметр станів ОУ;

$i \in \overline{1, n}$; t – параметр часу;

$x_j(t)$ – аналогове представлення станів j -го ОУ;

$j \in \overline{1, m}$; ε_x – пороговий рівень булевих значень.

Структура, схема реалізації та решітчаста функція вихідних сигналів одноканального однобітового ОУ показана на рис.4.2.

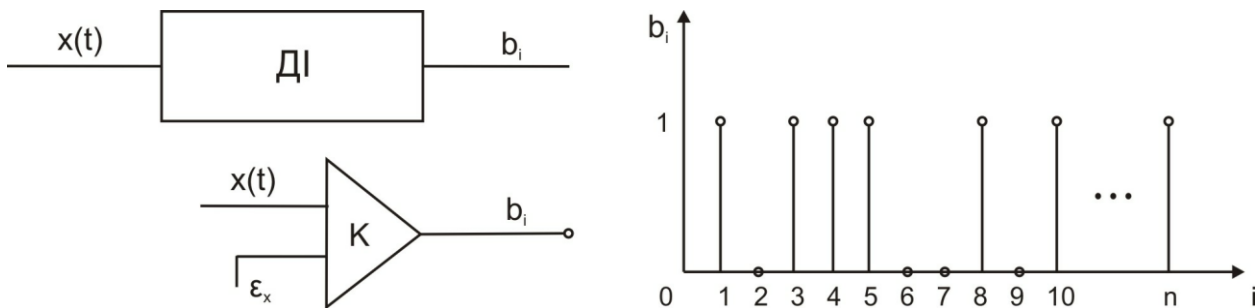


Рис. 4.2. Структура, схема та решітчаста функція одноканального однобітового ДІ, К – компаратор

Ентропійні характеристики даного класу ДІ визначаються статистичними характеристиками імпульсних потоків b_i .

Структура та решітчаста функція одноканального багаторівневого ОУ показана на рис.4.3.

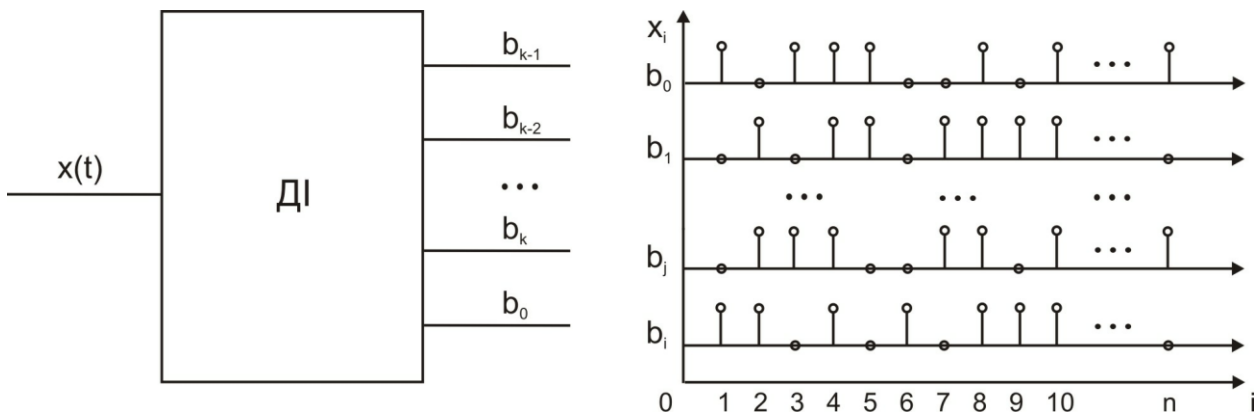


Рис. 4.3. Структура та решітчаста функція інформаційних потоків одноканального багаторівневого ОУ

Структура, схема реалізації та решітчаста функція вихідних сигналів багатоканального однобітового ОУ показана на рис.4.4.

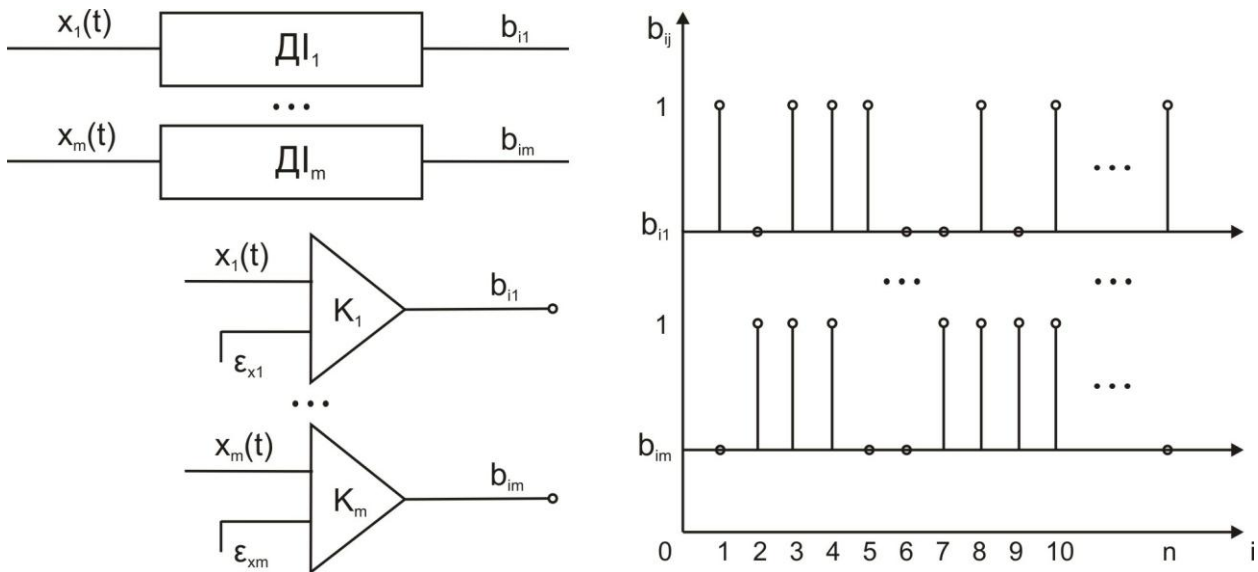


Рис. 4.4. Структура, схема та решітчаста функція багатоканального однобітового ОУ

Найбільш поширеним класом ОУ на низових рівнях КСУ, промислових системах є багатоканальні багаторівневі ОУ (рис.4.5), решітчасті функції яких аналогічні решітчастим функціям одноканального багаторівневого ОУ.

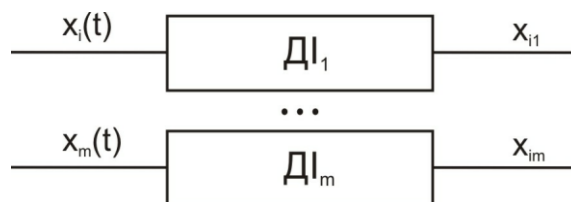


Рис. 4.5. Багатоканальне багаторівневе ОУ

Такі типи ОУ класифікуються трьома характеристиками станів:

- а) семантичні ($S_i; i = 1, 2, \dots, s$);
- б) технологічні ($X_j; j = 1, 2, \dots, q$);
- в) інформаційні ($I_k; k = 1, 2, \dots, h$),

де s, q, h – відповідна кількість класифікованих станів ОК.

Інформаційна система контролю та ідентифікації станів ОУ повинна бути обладнана відповідними засобами автоматики і включати: сенсори (C_p); логічні та евристичні аналізатори семантичних (S_i), технологічних (X_j) та інформаційних

(I_k) станів ОУ; промислові контролери (ПрК), низову комп'ютерну мережу (НКМ) та базовий комп'ютер-сервер диспетчерського центру (рис. 4.6).

Оператор технологічної установки (О) виконує функції евристичної ідентифікації семантичних та екологічних станів ОК, які інваріантні різним технологічним та інформаційним станам ОК, і не можуть бути однозначно визначені логічними аналізаторами S_i, X_j, I_k автономно.

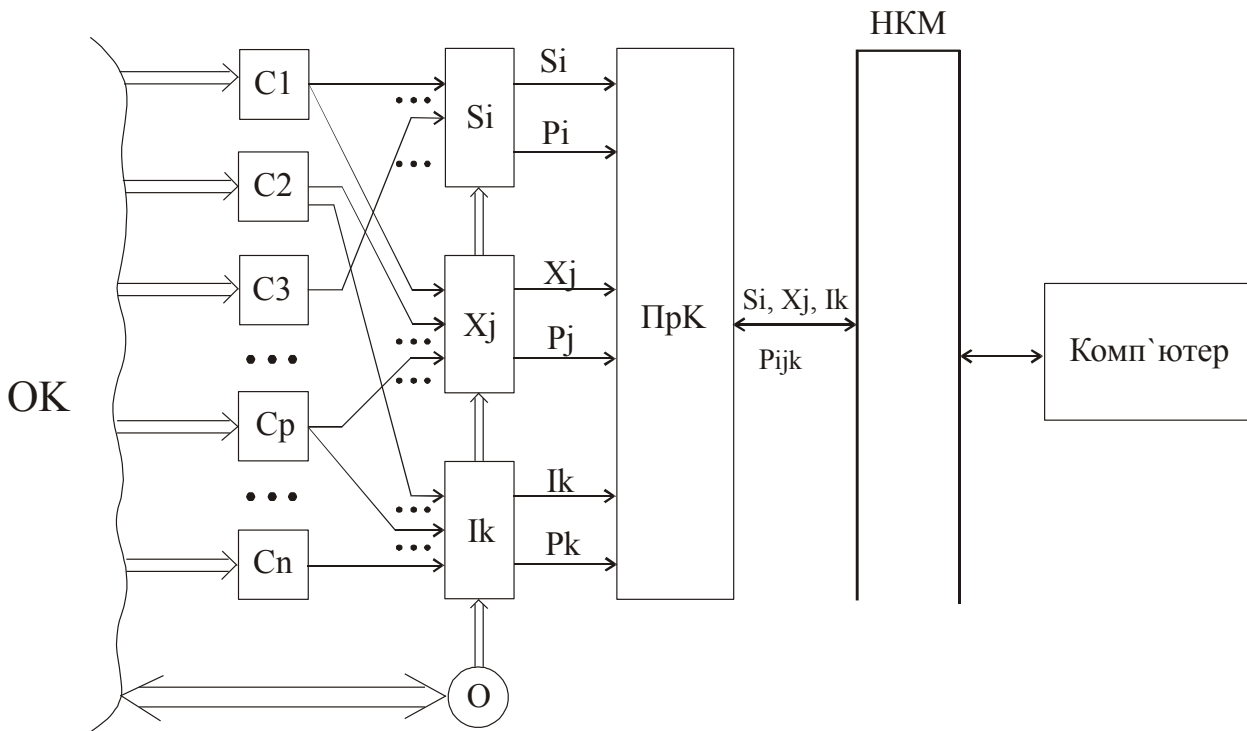


Рис. 4.6. Архітектура системи ідентифікації семантичних, технологічних та інформаційних станів ОК: О – оператор технологічної установки; P_i, P_j, P_k, \dots – формалізовані параметри семантичних, технологічних та інформаційних станів ОУ; P_{ijk} – характеристичний параметр екологічного стану ОУ.

Інформаційна система контролю та ідентифікації станів ОУ дає змогу зменшити надлишковість даних на етапі первинної обробки. Обсяг даних, що формується усіма сенсорами на порядок перевищує обсяг вихідних даних промислового контролера, що через НКМ надходять до комп'ютера-сервера. Скорочення обсягів даних досягається за рахунок кодування стану ОУ та формалізованого параметра, що описує даний стан. Якщо об'єкт контролю має 15 сенсорів, кожний з яких формує 10-ти розрядне значення і може перебувати в одному з восьми станів, то застосування запропонованої системи дозволяє скоротити обсяг даних зі 150 біт до 13 біт, а в окремих випадках до 3 біт.

Одержана інформація про ОК та про сигнали, що його описують, подається у формах:

- доступних безпосередньо вимірюванню входів, виходів, змінних стану;
- моделей ОУ, ДІ або сигналів;
- оцінок сигналів та станів.

Властивості кожного з вищезгаданих класів ОУ можуть бути описані у вигляді сигнальної, статистичної та ентропійної моделей.

Інформація про ОУ надається у НКМ у цифровому вигляді. Тому у названих моделях доцільно дослідити системні властивості різних класів дискретних ОУ, відповідно властивості аналогових ОУ можуть бути описані в класі дискретних ОУ з певною заданою точністю.

Визначення інформаційних станів ОУ ґрунтується на теорії і технології кодування дискретних ОУ. При цьому найбільш актуальним завданням є кодування квазістаціонарних ОУ, до яких відносять широкий клас промислових об'єктів.

Лекція 5

СПОСОБИ КОДУВАННЯ СТАНІВ ОБ'ЄКТІВ УПРАВЛІННЯ

Існує два види способів кодування станів ОУ:

- лінійні;
- нелінійні.

У лінійних способах використовують лінійні функції і лінійні перетворення, а у нелінійних – нелінійні перетворення.

1. Лінійні:

1.1. Представлення станів ОУ у вигляді традиційної моделі подання знань.

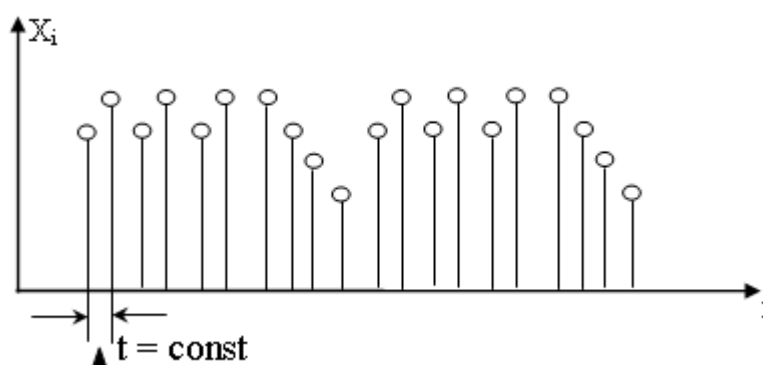


Рис. 5.1. Представлення станів ОУ.

При цьому найважливішою характеристикою є спектр.

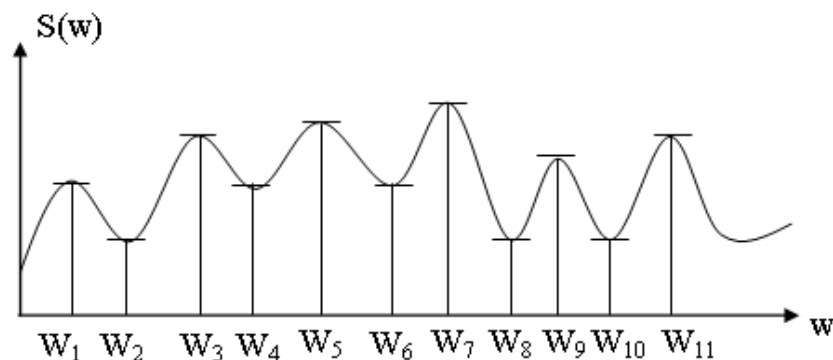


Рис. 5.2. Представлення станів ОУ у вигляді спектру.

1.2. Диференціальний спосіб кодування станів ОУ.

Використання, коли важливою характеристикою ОУ є не амплітуда станів, а динаміка, тобто приріст.

$$\Delta x_{i+1} = x_i - x_{i-1}$$

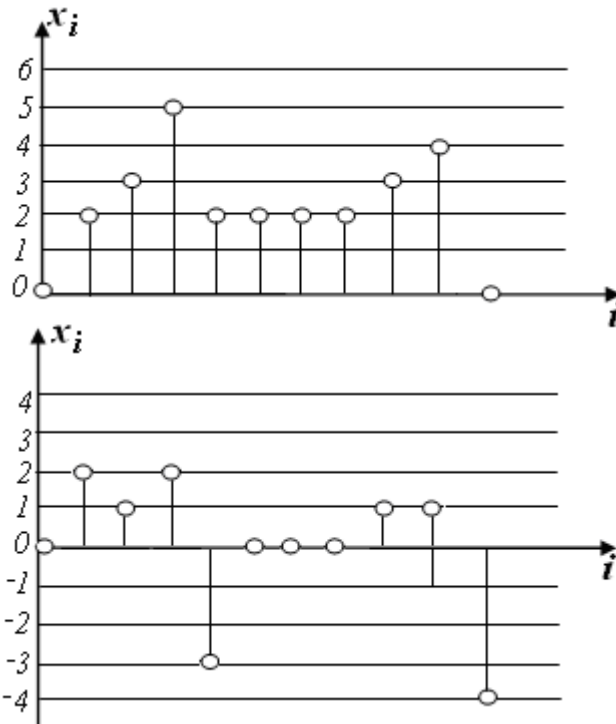


Рис. 5.3. Диференціальний спосіб кодування станів ОУ.

Модель ОУ характеризується центрованим значеннями. Оскільки змінюється \pm відносно 0 .

Переваги: зменшення об'ємної орієнтації, оскільки амплітуда пристроїв Δx_i є меншою від амплітуди станів ОУ.

Недоліки: при появі однієї помилки, вона не ліквідується, а розмножується.

При кодуванні станів ОУ диференціальним способом відбувається спектральне опрацювання даних, при чому у спектрі приростів залишаються високочастотні складові.

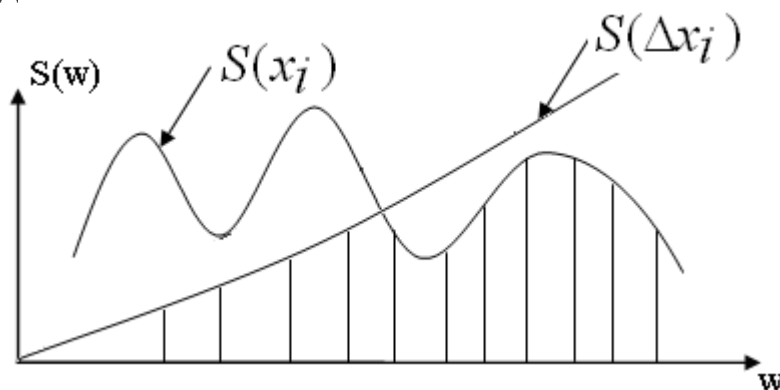


Рис. 5.4. Спектральне опрацювання даних.

1.3. Спосіб центрування станів ОУ.

Центрування виконується на основі математичного сподівання:

$$x_i = x_i - M_x; \quad M_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

-
- x_i – центроване значення;
- x_i – цифрове значення;
- M_x – математичне сподівання.

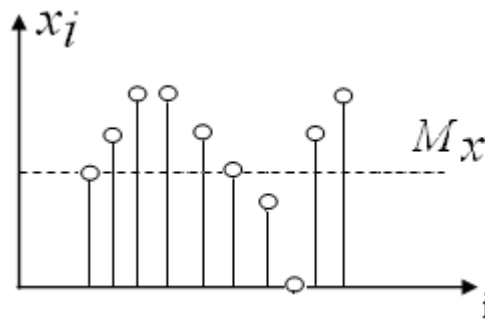


Рис. 5.5. Математичне сподівання.

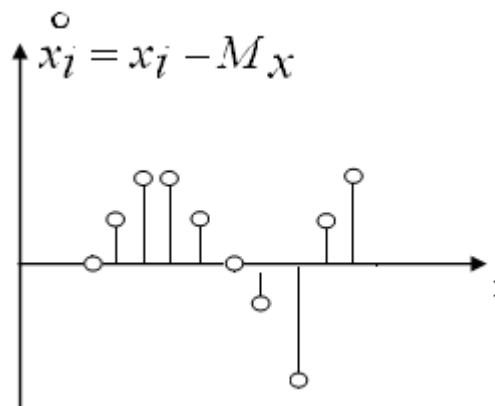


Рис. 5.6. Центровані значення.

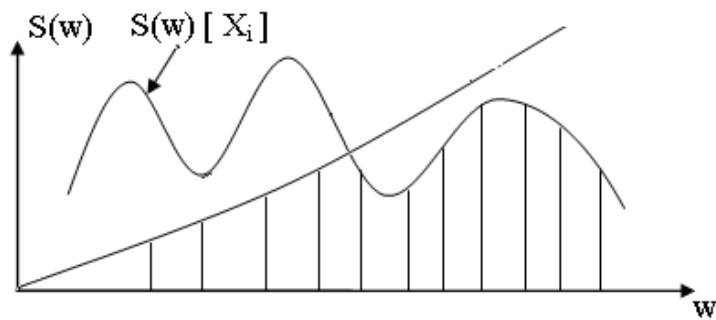


Рис. 5.7. Зміна спектру при кодуванні станів ОУ центрованими значеннями.

1.4. Інтегральний спосіб

$$Z_i = \sum_{i=1}^n x_i$$

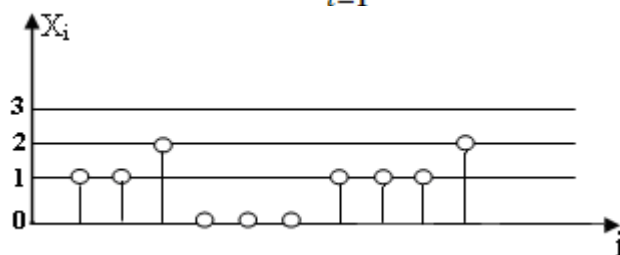


Рис. 5.8. Решітчатa функція.

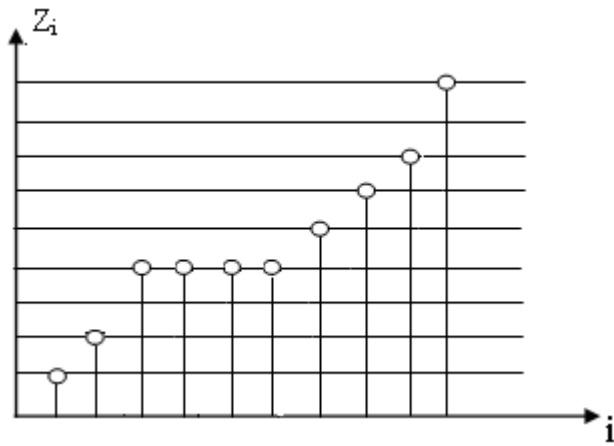


Рис. 5.9. Інтегральний спосіб.

Даний спосіб використовується у лічильниках витрат електричної енергії, води, газу.

Заміна спектру:

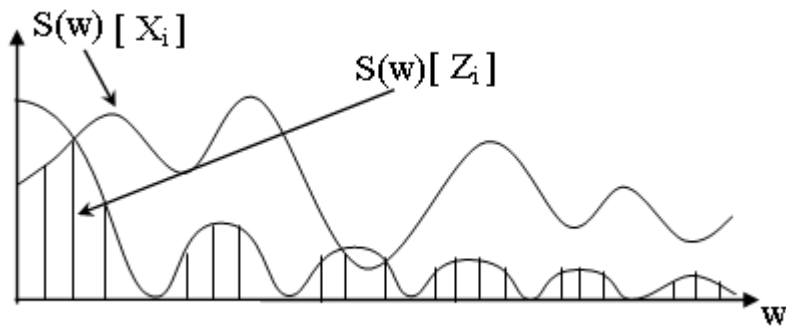


Рис. 5.10. Зміна спектру.

Інтегральний спосіб дозволяє виділити низькі частоти, а високі погашає.

1.5. Цифровий фільтр.

$$Z_i = \sum_{i=1}^n x_i w_i$$

w_i – вагова функція характеристики цифрового фільтра.

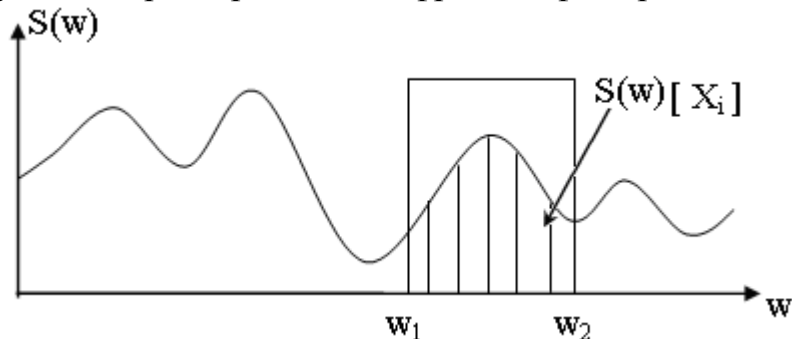


Рис. 5.11. Цифровий фільтр.

За допомогою вибору властивості функції, можна виділити певну область спектра, яка є інформативною.

1.6. Функціональне перетворення

$$X_i \rightarrow f(x_i)$$

Для того щоб захистити об'єкт від динамічних перевантажень реєструють $X \rightarrow x_i^z$

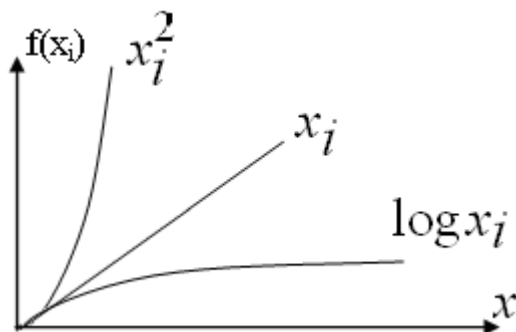


Рис. 5.12. Функціональне перетворення.

Використовується в лічильниках електроенергії.

2. Нелінійні:

2.1. Метод залишків

$$b_i = \text{res } x_i (\text{mod } p)$$

res – операція обчислення найменшого невід'ємного залишку по *mod p*.

$$x_i = 26, 30, 17, 4, 10.$$

$$p = 5$$

$$b_i = 1, 0, 2, 4, 0$$

Приклад масиву даних, які кодуються методом залишків.

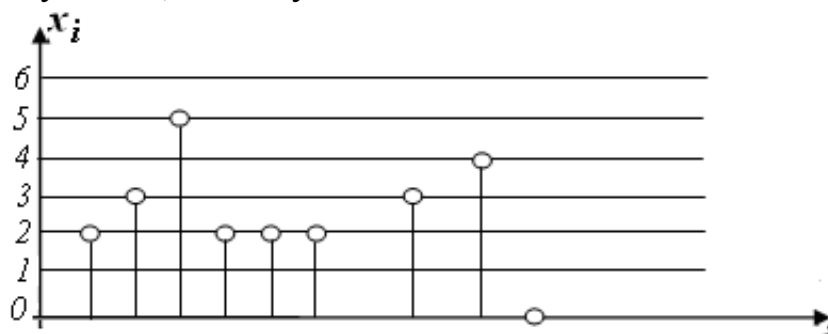


Рис. 5.13. Масив даних.

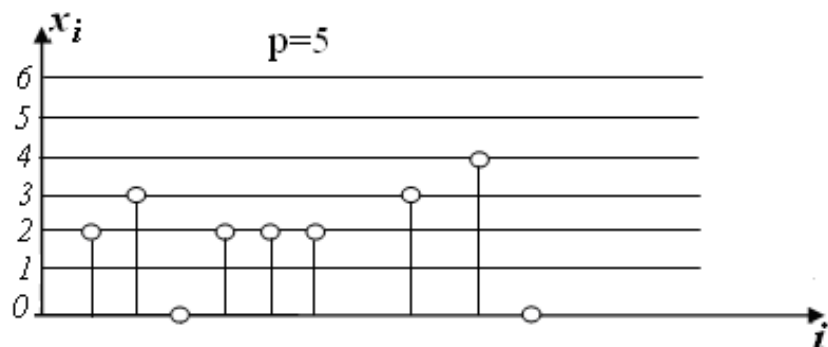


Рис. 5.14. Залишки *mod*5.

Переваги:

- Зменшення об'єму інформації
- Відсутнє розмноження помилок

$\Delta x_i \leq \frac{p}{2}$, то стани ОУ можна представити $x_1, b_1, b_2, \dots, b_i \dots b_n$

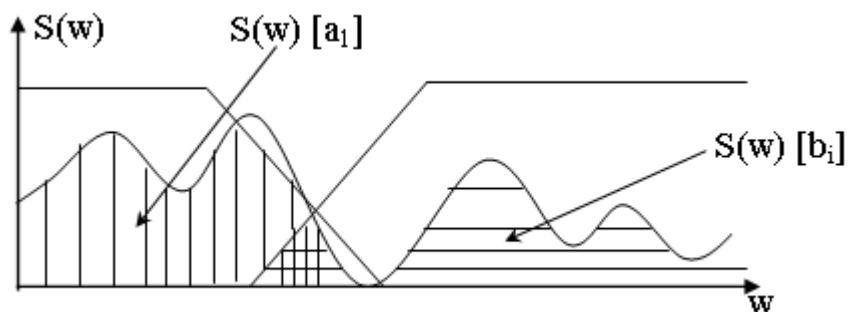


Рис. 5.15. Зміна спектру при кодуванні методом залишків.

$x_i = a_i \cdot P + b_i$, де a – ранг, b_i – залишок

За рахунок нелінійних перетворень залишків спектри розділяються.

2.2. Δ -модуляція

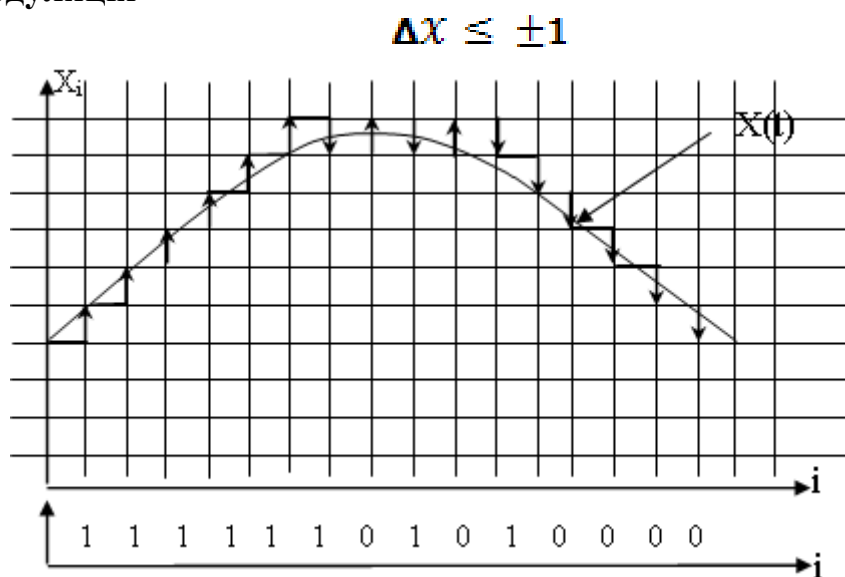


Рис. 5.16. Δ -модуляція.

Переваги:

- Великий коефіцієнт стиснення інформації і зменшення обміну даних
- Формування біт орієнтованого потоку про стани об'єктів потоку.
- Адаптивно Δ -модуль (дозволяє передбачати різниці 0)

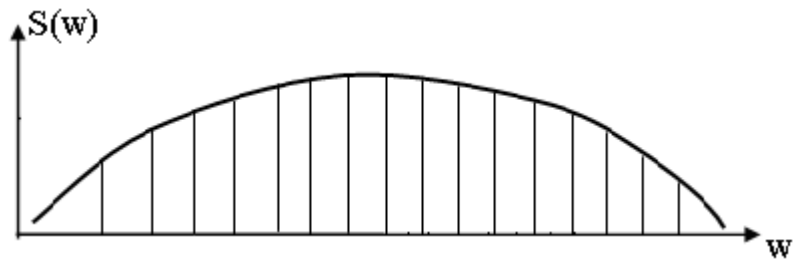


Рис. 5.17. Спектр Δ -модуляції.

2.3. Код станів об'єктів управління у базисі Галуа

R – базис Радемахера
 G – базис Галуа
 C – базис Крестенсона

	X_i				G
0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	1	0
2	0	0	1	0	0
3	0	0	1	1	0
4	0	1	0	0	1
5	0	1	0	1	1
6	0	1	1	0	0
7	0	1	1	1	1
8	1	0	0	0	1
9	1	0	0	1	0
10	1	0	1	0	1
11	1	0	1	1	0
12	1	1	0	0	1
13	1	1	0	1	1
14	1	1	1	0	1
15	1	1	1	1	1

\oplus
 ↓
 1111010110010000

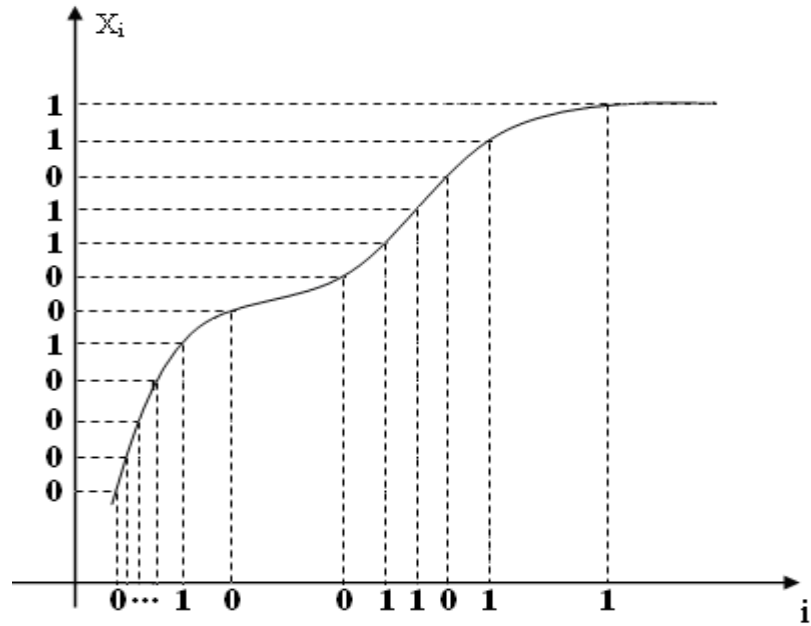
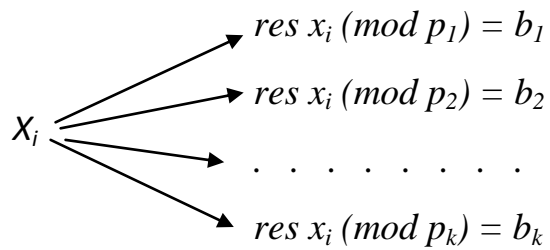


Рис. 5.18. Спосіб кодування методом Галуа.

- 1) Біт Галуа реєструється тільки в момент переходу кванта амплітуди.
- 2) Часова віддаль між бітами.

2.4. Код станів об'єктів управління у базисі Крестенсона

У базисі Крестенсона кожен цифрове значення x_i представлено у вигляді набору залишків у системі взаємо-простих модулів.



p_i	3	5	7
0	0	0	0
1	1	1	1
2	2	2	2
3	0	3	3
4	1	4	4
5	2	0	5
6	0	1	6
7	1	2	0
8	2	3	1
9	0	4	2
10	1	0	3
11	2	1	4
12	0	0	5

$$X_i = (b_1, b_2, \dots, b_k)$$

Порівняння арифметичної операції у базисі Радемахера і Крестенсона.

$$\begin{array}{r}
 111111111 \\
 + \quad \quad \quad 1 \\
 \hline
 1000000000
 \end{array}
 \quad \leftarrow \text{Наскрізний перенос}$$

$$\begin{array}{r}
 3 = (0\ 3\ 3) \\
 + \quad 4 = (1\ 4\ 4) \\
 \hline
 7 = 1\ 2\ 0
 \end{array}$$

$$\begin{array}{r}
 3 = (0\ 3\ 3) \\
 \times \quad 4 = (1\ 4\ 4) \\
 \hline
 12 = (0\ 2\ 5)
 \end{array}$$

Лекція 6

МОДЕЛІ ОБ'ЄКТІВ УПРАВЛІННЯ

1. Статистичні.

1.1. Вибіркове математичне сподівання M_x

Одними з найрозповсюдженіших і ефективних засобів аналізу дискретних ОУ є статистичні моделі. В першу чергу – це оцінки математичного сподівання та середнє по ансамблю. Оцінка середнього по ансамблю потребує наявності певної кількості реалізацій, тому може використовуватись для статистичного аналізу повідомлень після їх отримання. В КСУ реального часу на низових рівнях широко використовується модель математичного сподівання, класичним варіантом якої є вибіркова оцінка

$$M_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

Вибіркова оцінка математичного сподівання дозволяє зменшити об'єм даних в n разів і здійснити низькочастотну фільтрацію динаміки станів ОУ.

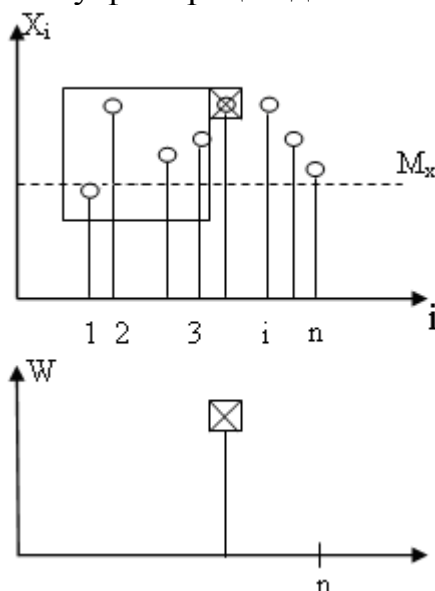


Рис. 6.1. Вибіркова оцінка математичного сподівання M_x .

Переваги:

- в n -разів зменшення об'єму даних
- M_x порівнюється з уставкою регулятора і він може змінювати характеристики

Недоліки:

- змінюється спектр;
- ефект старіння інструкції, тому що M_x відноситься до середини інструкції.

1.2. Ковзна математичне сподівання M_f

Модифікацію оцінки середнього по часі є ковзна оцінка

$$M_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1+j}^{n+j} x_{i+j},$$

де j – дискретний зсув в часі.

Ковзна модель математичного сподівання також здійснює низькочастотну фільтрацію і зменшує вплив одиничних випадкових стрибків станів ОУ на відображення інтегрального усередненого стану ОУ. На відміну від попередньої, ковзна модель M_j з більшою точністю відтворює середньостатистичну динаміку станів ОУ, проте об'єм даних практично не зменшується (рис.6.2).

В M_j вибирається число, наприклад $n=7$.

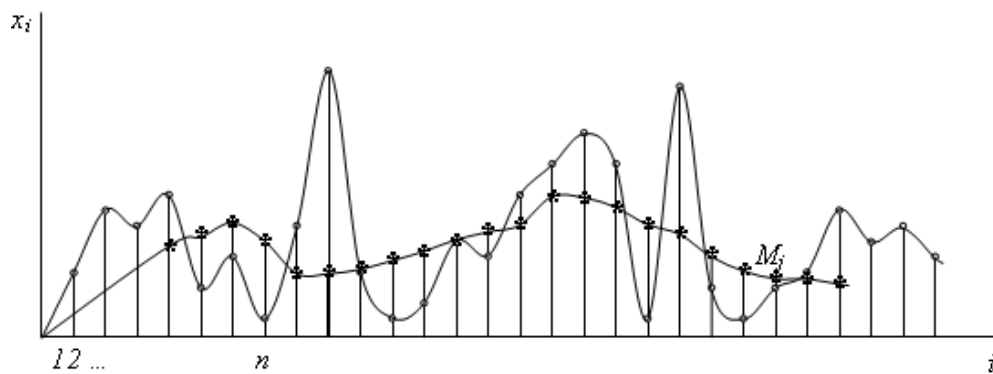


Рис.6.2. Решітчаті функції повідомлень x та ковзної оцінки математичного сподівання M_j .

Переваги:

Суттєве зменшення старіння інструкцій

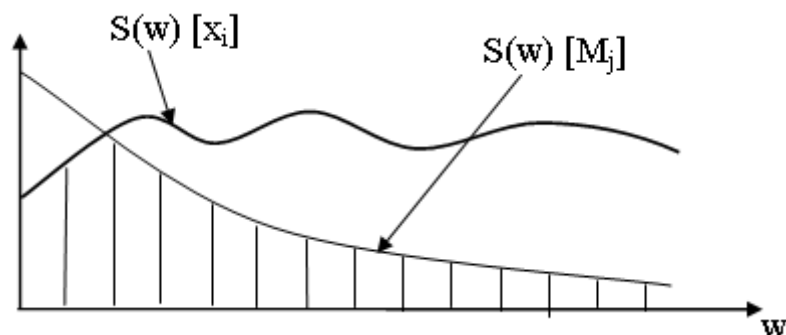


Рис. 6.3. Спектр ковзного математичного сподівання.

1.3. Вагове математичне сподівання M_V

Існує також зважена оцінка середнього по часі, яка враховує старіння даних про стани ОУ, використовуючи вагові коефіцієнти (рис.7.7)

$$M_V = \sum_{i=1+j}^{n+j} p_{i-j} \cdot x_{i+j},$$

де p_i – вагові коефіцієнти, при чому $\sum_{i=1}^n p_i = 1$.

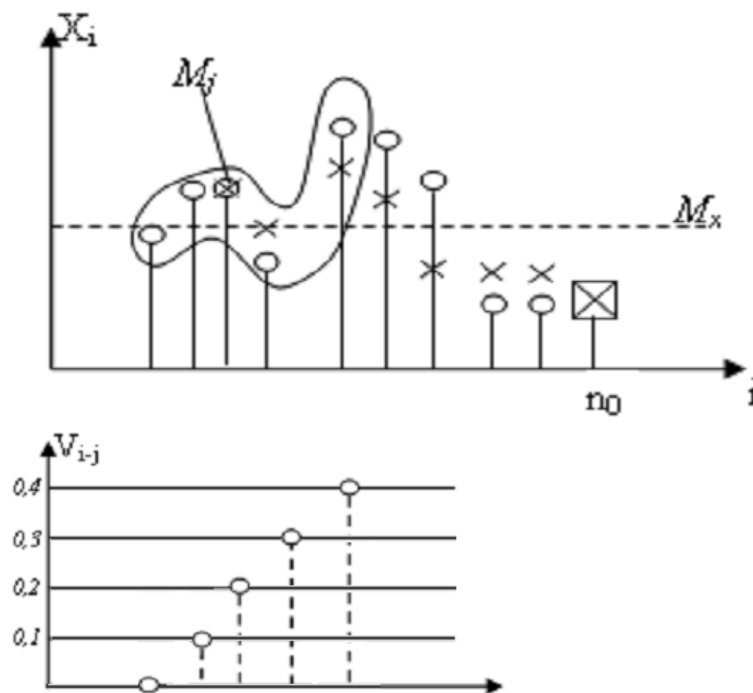


Рис. 6.4. Зважена оцінка математичного сподівання M_V .

Якщо взяти вибіркове M_x на інтервалі M_o то його значення не відображає динаміку станів об'єктів управління.

Ковзне M_j має менший коефіцієнт старіння інформації і краще відображає середньостатистичну динаміку станів ОУ.

Ведення вагової функції V_{i-j} зменшує інформацію минулих станів ОУ і надає максимальну інформативність текучому стану. Таким чином ліквідується процес старіння інформації.

Це дозволяє виявляти передаварійні і аварійні стани ОУ.

Загальним недоліком оцінок математичного сподівання є відсутність контролю динаміки станів ОУ. Тому для контролю динаміки виконується дисперсія.

Спеціальним підбором аналітичного виразу вагової функції V_{i-j} можна виділити окрему зону спектру після опрацювання вхідних даних за допомогою вагового математичного сподівання. Тобто вагове математичне сподівання реалізує функцію цифрового фільтра.

1.4. Дисперсія

Важливою статистичною характеристикою динаміки станів ОУ у квадратичному просторі є дисперсія, оцінка якої визначається виразом:

$$D_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - M_x)^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \hat{x}_i^2,$$

де n – об'єм вибірки, x_i – масив вихідних даних, M_x – вибіркове математичне

сподівання, \hat{x}_i - центровані дискретні значення станів ОУ.

$$x_i - M_x = \hat{x}_i$$

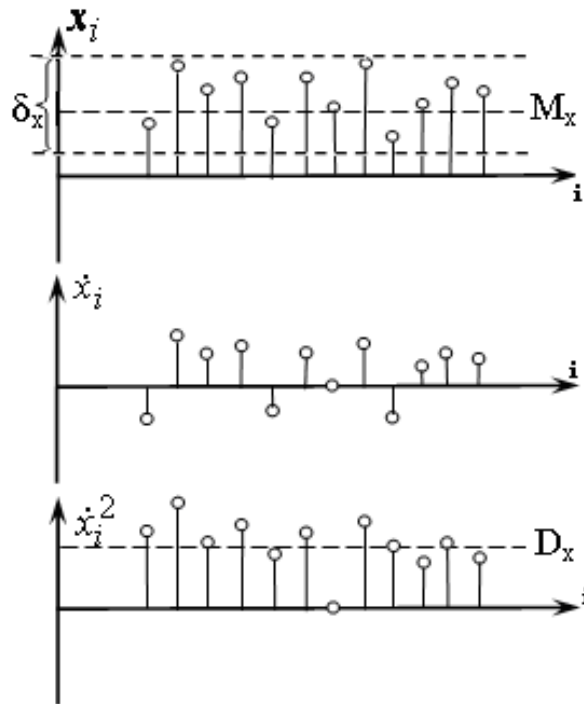


Рис. 6.5. Асимптотика дисперсії.

Алгоритм обчислення дисперсії:

1. Заданий масив вхідних даних:
2. Обчислення вибіркового математичного сподівання:

$$M_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad i \in \overline{1, n}$$

3. Визначається масив центрованих даних: $\{\hat{x}_i\}; i \in \overline{1, n}; \hat{x}_i = x_i - M_x$
4. Визначається масив квадратів центрованих даних: $\{\hat{x}_i^2\}; i \in \overline{1, n};$

Для того щоб ліквідувати ефект зміни для енергії внаслідок піднесення до квадрату більших і менших x_0 одиниць вибирають повний масштаб щоб всі значення $|\hat{x}_i| > 1$.

Дисперсія представляє собою середньостатистичну динаміку станів ОУ у квадратичному просторі у вигляді вибіркового математичного сподівання квадратів центрованих значень.

Для конкретного відображення текучої динаміки станів ОУ, використовується ковзна дисперсія.

$$D_{x_j} = \frac{1}{n} \sum_{i=1+j}^{n+j} (x_{i+j} - M_j)^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \hat{x}_i^2$$

Приклад ковзної дисперсії

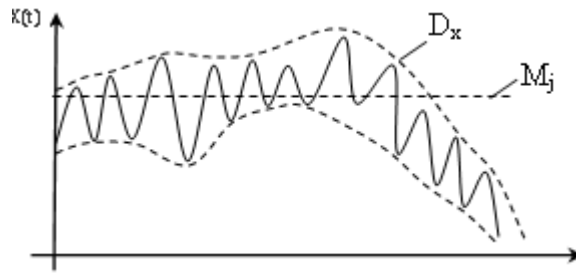


Рис. 6.6. Приклад ковзної дисперсії.

$\sigma_x = \sqrt{D_x}$ – оцінка динаміки станів ОУ у лінійному просторі.

Після обчислення D_x і визначення σ_x можна відобразити динаміку станів ОУ у решітчатому просторі.

σ_x – використовується станів відхилення від норми об'єктів на динаміці.

Недоліком цього є відсутність контролю, можливість переходу об'єктів з одного стану в інший. Статистику переходів від одного стану в інший відображають кореляційні моделі.

Процеси бувають корельовані та некорельовані.

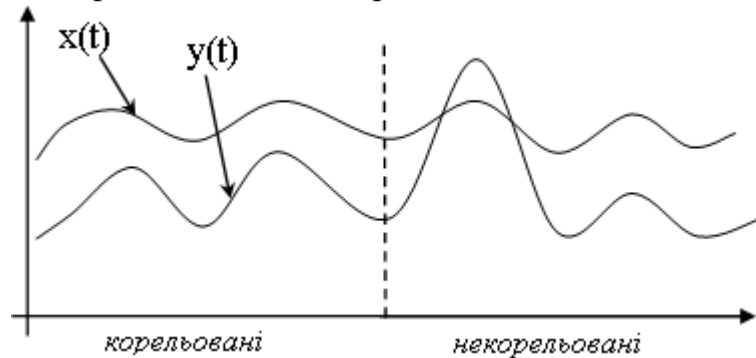


Рис. 6.7. Приклад корельованості процесів.

Лекція 7

АВТОКОРЕЛЯЦІЙНІ ФУНКЦІЇ ТА СПЕКТРАЛЬНІ МОДЕЛІ

Автокореляційні функції (АКФ) $R_{xx}(j)$

Взаємокореляційні функції (ВКФ) $R_{xy}(j)$

Автокореляційні аналізують ймовірності переходів в різні стани одного об'єкту в часі.

Властивості АКФ

1. АКФ в компактній формі представляє багато параметрів ОУ.
2. АКФ – відображає наявність змістовної інформації у вибірці станів ОУ.
3. Якщо в спектрі станів ОУ є якісь частоти, то вони повністю відображаються.

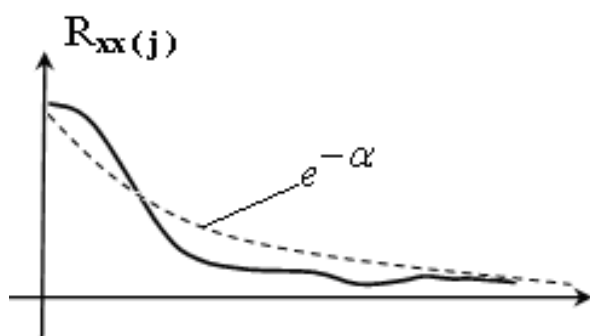


Рис.7.1. Приклад графічного зображення АКФ.

Якщо кореляційна функція представляє собою затухаючу експоненту (пунктир), то досліджуваний об'єкт не несе корисної інформації, оскільки представляє собою тільки шум.

4. Парна функція містить лише косинусоїди.

Класифікація АКФ:

1. Знакова функція автокореляції.

Знакова автокореляційна модель ОУ використовується для аналізу швидкопротікаючих процесів та високої динаміки станів ОУ, який проводиться на основі виявлення залежності між полярністю зсунутих в часі центрованих значень

\hat{x}_i . Знакова автокореляційна функція (рис.7.2) описується виразом:

$$H_{xx}(j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \text{sign}(x_i) \cdot \text{sign}(x_{i+j}),$$

де $\text{sign}[x_i] = \begin{cases} 1, & x_i \geq 0; \\ -1, & x_i < 0 \end{cases}$ – знакова функція.

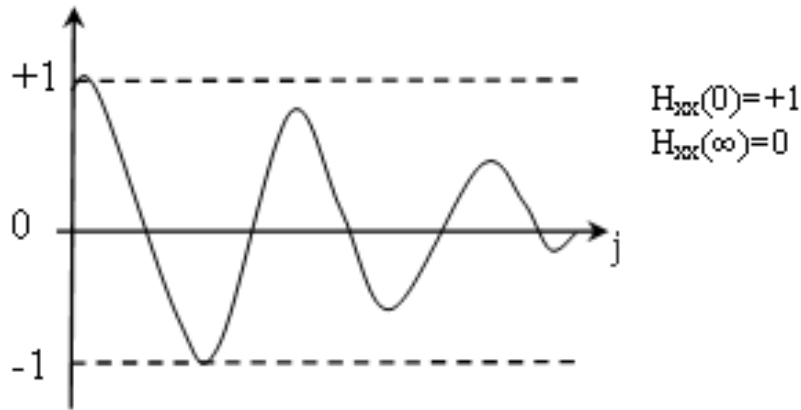


Рис.7.2. Модель знакової функції автокореляції.

На практиці, модель реалізується за допомогою логічного процесора, який здатний працювати з високою частотою (1-100 ГГц), проте вона втрачає в точності і потребує великої вибірки $n \geq 1024$. Очевидно, що $H_{xx}(0) = 1$ і діапазон значень оцінки знаходиться в межах $-1 \leq H_{xx}(j) \leq 1$.

Переваги:

Простий алгоритм обчислення (відсутність операції x);

Ця функція нормована і центрована (в діапазоні ± 1);

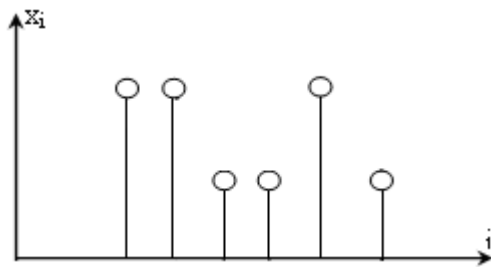
Недоліки:

Великий об'єм вибірки ($n \geq 1024$ $m=32$)

Алгоритм обчислення знакової АКФ:

1. Вхідні дані $\{x_i\}; i \in \overline{1, n}; n \geq 1024, m = 32$.

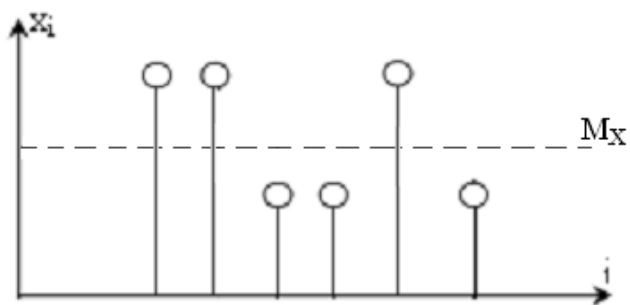
m – число точок АКФ, n – об'єм вибірки, $\{x_i\}$ – вхідний масив даних.



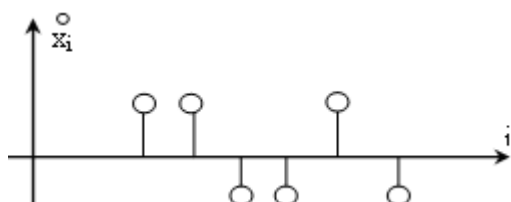
2. Аналітичний вираз обчислення знакової АКФ:

$$H_{xx}(j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \text{sign} x_i \cdot \text{sign} x_{i+j} \quad j \in \overline{0, m}$$

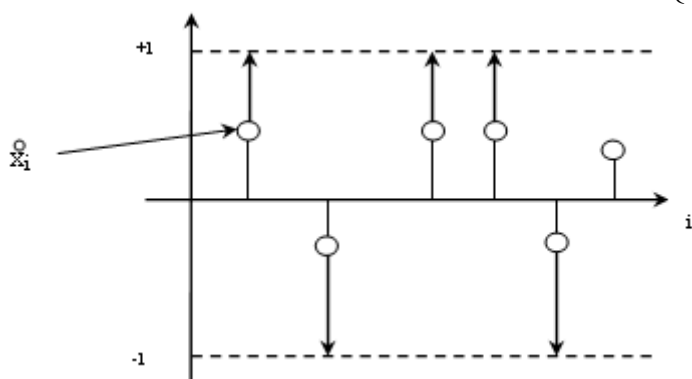
3. Обчислюємо математичне сподівання: $M_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$



4. Обчислюємо масив центрованих значень: $\{\dot{x}_i\}$, $\dot{x}_i = x_i - M_x$; $i \in \overline{1, n}$.



5. Обчислюємо знакові величини $sign \dot{x}_i = \begin{cases} 1, \dot{x}_i \geq 0; \\ 0, \dot{x}_i < 0 \end{cases}$



6. Обчислюємо знакову АКФ

$$j=0 \quad \frac{\overset{\circ}{sign}x_1 \quad \overset{\circ}{sign}x_2 \quad \dots \quad \overset{\circ}{sign}x_n \quad \dots \quad \overset{\circ}{sign}x_{n+m}}{\overset{\circ}{sign}x_1^2 \quad \overset{\circ}{sign}x_2^2 \quad \dots \quad \overset{\circ}{sign}x_n^2 \quad \dots \quad \overset{\circ}{sign}x_{n+m}^2},$$

$$j=1 \quad \frac{\overset{\circ}{sign}x_1 \quad \overset{\circ}{sign}x_2 \quad \dots \quad \overset{\circ}{sign}x_n \quad \dots \quad \overset{\circ}{sign}x_{n+m}}{\overset{\circ}{sign}x_1 \quad \overset{\circ}{sign}x_2 \quad \dots \quad \overset{\circ}{sign}x_{n-1} \quad \dots \quad \overset{\circ}{sign}x_n},$$

$$\frac{\overset{\circ}{sign}x_1 \cdot \overset{\circ}{sign}x_2 \quad \dots \quad \overset{\circ}{sign}x_n \cdot \overset{\circ}{sign}x_{n-1} \quad \dots \quad \overset{\circ}{sign}x_{n+m} \cdot \overset{\circ}{sign}x_n}$$

$$H_{xx}(1) \rightarrow \dots \rightarrow j = m$$

Для обчислення m точок знакової АКФ береться вибірка $(m+n)$

Приклад обчислення АКФ

$$n = 4 \quad m = 4$$

$$\begin{array}{cccc} +1 & +1 & -1 & -1 \\ \times & \times & \times & \times \\ +1 & +1 & -1 & -1 \end{array} \quad (j=0)$$

$$(1 \quad +1 \quad +1 \quad +1) \quad H = 1$$

$$\begin{array}{cccc} +1 & +1 & -1 & -1 \\ \times & \times & \times & \times \\ +1 & +1 & -1 & -1 \end{array} \quad (j=1)$$

$$1 \quad -1 \quad +1 \quad -1 \quad H_{xx}(1) = 1$$

$$\begin{array}{cccc} +1 & +1 & -1 & +1 \\ \times & \times & \times & \times \\ +1 & +1 & -1 & -1 \end{array}$$

$$1 \quad +1 \quad +1 \quad -1 \quad H_{xx}(4) = 2$$

Знакові АКФ використовують в системах передачі інформації і в мобільній техніці.

Код Баркера

Прикладом обчислення знакової АКФ є згортка коду Баркера, який використовується для передачі інформації в сучасних ситових мережах та мобільному зв'язку. Існує 13 кодів Баркера.

Розглянемо приклад 7-ми бітного коду Баркера, що представлений послідовністю знаків $+1$ та -1 та захисним інтервалом - 7 нулів.

Для визначення згортки коду Баркера замінюють $+1$ на -1 , а -1 на $+1$.

$$\langle 1 \quad 1 \quad 1 \quad 0 \quad 0 \quad 1 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \rangle$$

$$-1 \quad -1 \quad -1 \quad +1 \quad +1 \quad -1 \quad +1 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0$$

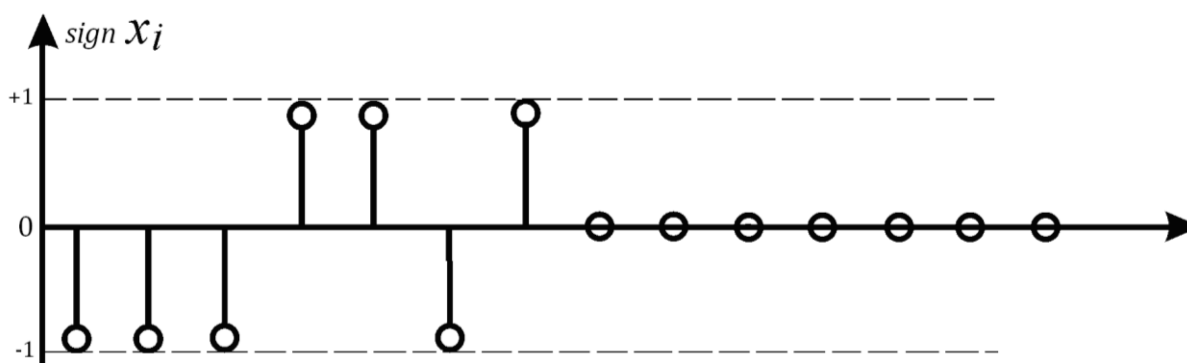


Рис.7.2. Знакова функція коду Баркера.

В результаті обчислення знакової АКФ отримаємо наступну функцію з окремим піком.

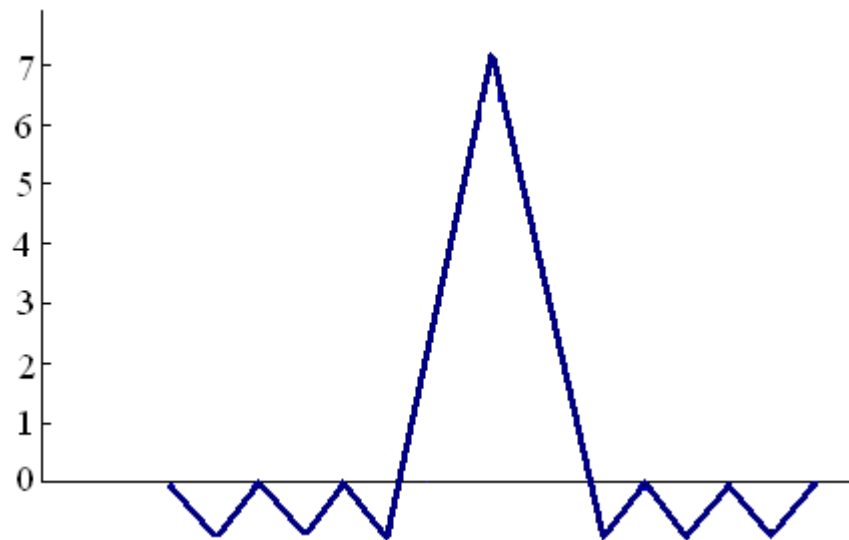


Рис.7.3. Знакова АКФ коду Баркера.

$$\begin{array}{cccccccc} -1 & -1 & -1 & +1 & +1 & -1 & +1 & \\ -1 & -1 & -1 & +1 & +1 & -1 & +1 & ; \\ \hline +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1=7 \end{array}$$

$$\begin{array}{cccccccc} -1 & -1 & -1 & +1 & +1 & -1 & +1 & 0 \\ 0 & -1 & -1 & -1 & +1 & +1 & -1 & +1 \\ \hline 0 & +1 & +1 & -1 & +1 & -1 & -1 & 0=0 \end{array}$$

$$\begin{array}{cccccccccc} -1 & -1 & -1 & +1 & +1 & -1 & +1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & -1 & -1 & +1 & +1 & -1 & +1 \\ \hline 0 & 0 & +1 & -1 & -1 & -1 & +1 & 0 & 0=-1 \end{array}$$

2. Релейна функція автокореляції

Релейна автокореляційна модель ОУ (рис.7.4) дозволяє підвищити точність оцінки і зменшити об'єм вибірки, зберігаючи досить високу швидкодію:

$$P_{xx}(j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \cdot \text{sign}[x_{i+j}] \quad \text{або} \quad P_{xx}(j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \cdot \text{sign}[x_{i+j}].$$

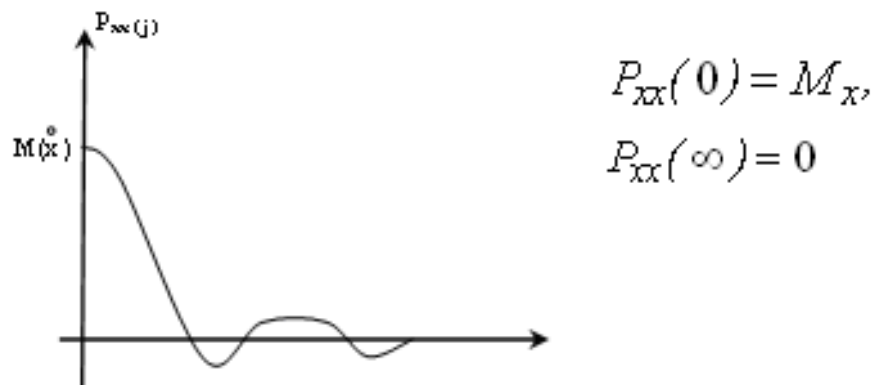


Рис.7.4. Модель релейної функції автокореляції.

Релейна автокореляційна модель ОУ характеризується високою швидкістю обчислень, оскільки не містить операцій множення і потребує менший об'єм вибірки $n \geq 512$. Перевагою даної моделі є знаходження математичного сподівання в нульовій точці без використання додаткового алгоритму. В той же час дана модель не є нормованою і не може бути прямим чином використана для обчислення спектрів.

Переваги:

- не містить операції множення

Недоліки:

- $n \geq 1024$, в окремих випадках $n \geq 512$

3. Коваріаційна функція автокореляції.

Автоковаріаційна модель не містить операції центрування (x_i) і дозволяє проводити оцінку статистичних зв'язків згідно аналітичного виразу:

$$K_{xx}(j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \cdot x_{i+j}.$$

Автоковаріаційна модель (рис.7.5) завжди приймає позитивні значення і в нульовій точці несе інформацію про математичне сподівання M_x і дисперсію D_x :

$$K_{xx}(0) = D_x + M_x^2, \text{ і при } j \rightarrow \infty \text{ прямує до } M_x^2.$$

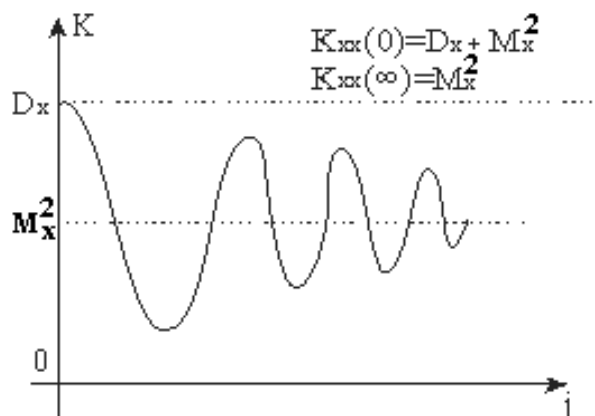


Рис.7.5. Модель коваріаційної функції.

Переваги:

- Не потребує центрування цифрових даних і обчислення M_x і D_x
- $n \geq 512$ об'єм вибірки

В процесі обчислення цієї функції отримуємо дисперсію D_x і математичне сподівання N_x

$$D_x = K_{xx}(0) - K_{xx}(\infty); \quad \sqrt{K_{xx}(\infty)} = M_x$$

Функція є інформативною

Недоліки:

- наявність операцій множення
- нецентрована і ненормована

4. Кореляційна функція автокореляції.

Високий рівень розвитку і широке впровадження мікропроцесорної техніки, великих інтегральних схем, спецпроцесорів та сучасних технологій об'єктно-орієнованого програмування для обробки повідомлень забезпечує простоту реалізації та можливість широкого використання моделей цієї групи. В основу даного класу моделей ОУ покладено автокореляційну функцію $R_{xx}(j)$, яка розроблена в теорії мультиплікативних функцій базису Фур'є (рис.7.6):

$$R_{xx}(j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \overset{\circ}{x}_i \cdot \overset{\circ}{x}_{i+j}$$

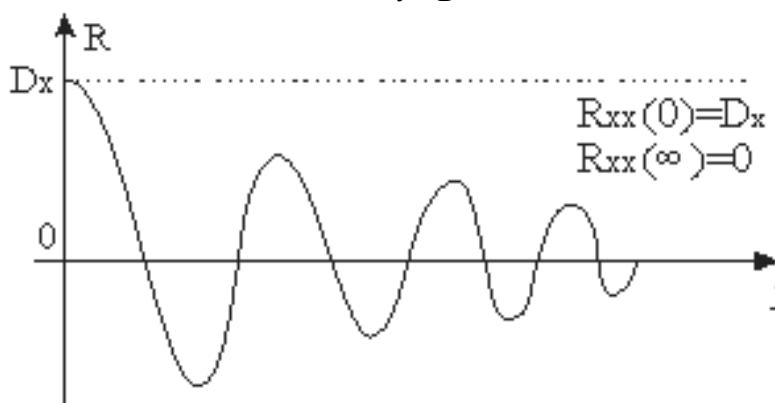


Рис.7.6. Модель кореляційної функції.

Обчислення автокореляційної функції забезпечує достатню точність визначення статистичних зв'язків між станами ОУ при вибірці $n \geq 512, m = 64$, де m – число точок. Вона також має важливі асимптотичні властивості: значення кореляційної функції при нульовому зміщенні рівне дисперсії $R_{xx}(0) = D_x$, а для ергодичних процесів при $j \rightarrow \infty, R_{xx}(j) \rightarrow 0$. Діапазон квантування зменшується за рахунок використання центрованих значень, але це також приводить до значного ускладнення алгоритму обчислень та затрат часу, що негативно відображається на швидкодії отримання автокореляційної моделі ОУ. На основі кореляційної функції можна побудувати ряд інших моделей такого типу.

Переваги:

- в нульовій точці отримуємо D_x

Недоліки:

- операція множення
- операція децентрування
- функція центрована, але ще не нормована.

5. Нормована кореляційна АКФ.

$$\rho_{xx}(j) = \frac{R_{xx}(j)}{D_x}$$

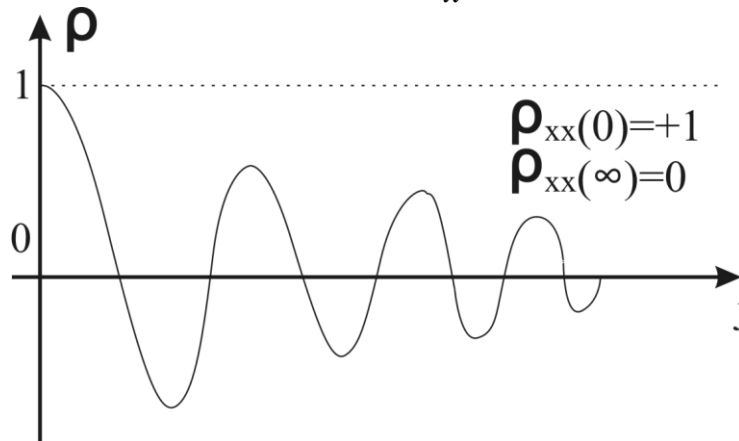


Рис.7.7. Модель нормованої кореляційної функції.

Переваги:

- центрованість і нормативність

Недоліки:

- відносно великий об'єм вибірки
- найскладніший алгоритм вибірки
- точність обчислення різко знижується при зростанні $(j) n \geq 512$

Загальним недоліком кореляційних функцій є затухання до M_x

6. Структурна функція автокореляції.

Структурна автокореляційна модель ОУ (рис.7.8), теоретичні основи якої розроблені академіком А.Н.Колмогоровим, забезпечує високу точність оцінки при великих зміщеннях j і дає можливість в асимптотичному наближенні отримати значення дисперсії $C_{xx}(j) \xrightarrow{j \rightarrow \infty} D_x$:

$$C_{xx}(j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - x_{i+j})^2 .$$

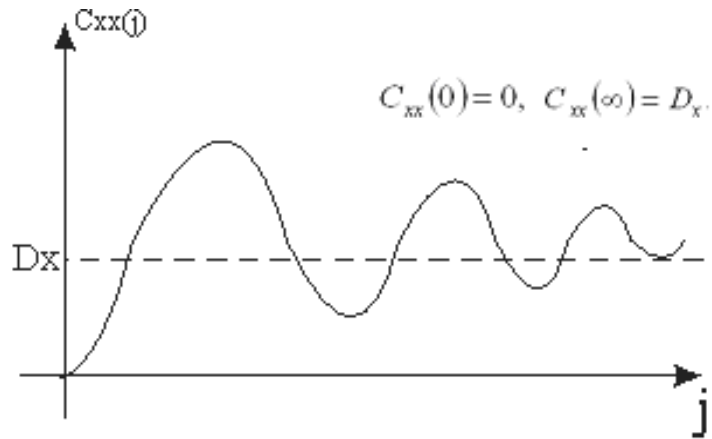


Рис.7.8. Модель структурної АКФ.

Ця функція широко використовується для контролю відхилень станів ОУ по динаміці (найкраще відображається дисперсія)

Переваги:

- малий об'єм вибірки;
- висока точність обчислення при зростанні j ;
- отримання дисперсії без спектру центрування і математичного сподівання;
- відсутність операцій множення.

Недоліки:

- складність операції піднесення до квадрату.

7. Модульна функція автокореляції.

Модульна автокореляційна модель ОУ (рис.7.9) має усі властивості структурної, але дозволяє отримати результат в лінійному просторі:

$$G_{xx}(j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - x_{i+j}|.$$

Модель $G_{xx}(j)$, для марківських процесів, в асимптотиці, при $j \rightarrow \infty$, приймає значення математичного сподівання M_x і має високу швидкодію.

Структурна і модульна автокореляційні моделі дають підвищену точність оцінки внаслідок більшої інформативності елементів суми.

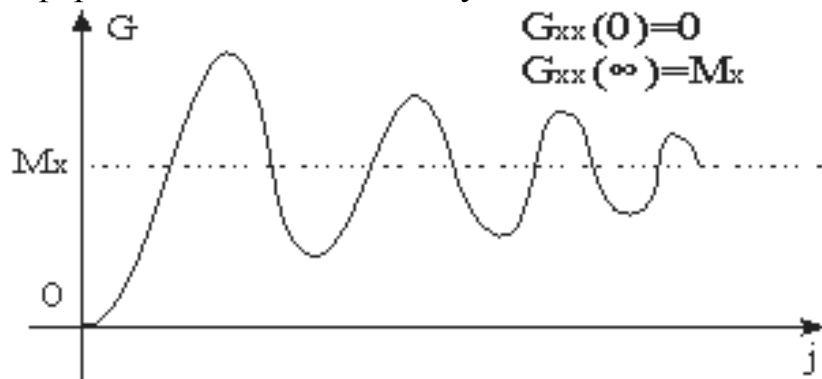


Рис.7.9. Модель модульної АКФ.

Переваги:

- невеликий об'єм вибірки $n \geq 256$;
- в точність при зростанні j ;
- отримання математичного сподівання, яке контролює вставку ОУ;
- відсутність множення і піднесення до квадрату.

8. Функція еквівалентності.

Автокореляційна функція еквівалентності (рис.7.10), теоретичні основи якої розроблені Я.М.Николайчуком, забезпечує високу ефективність в оперативній обробці інформації, за рахунок можливості реалізації її з найбільшою швидкістю серед усіх кореляційних моделей:

$$\check{F}_{xx}(j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \check{z}_i[x_i, x_{i+j}],$$

де $\check{z}_i[x_i, x_{i+j}] = \check{z}_i = \begin{cases} x_i, & \text{іде } x_i \leq x_{i+j}, \\ x_{i+j}, & \text{іде } x_i > x_{i+j}. \end{cases}$ – функція “менше з двох”.

Характерною властивістю моделі є те, що в нульовій точці функція еквівалентності рівна математичному сподіванню: $F_{xx}(0) = M_x$.

Модель еквівалентності можна подати в модифікованому вигляді замінивши функцію “менше з двох” \check{z} на функцію “більше з двох” \hat{z}

$$\hat{F}_{xx}(j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \hat{z}_i[x_i, x_{i+j}].$$

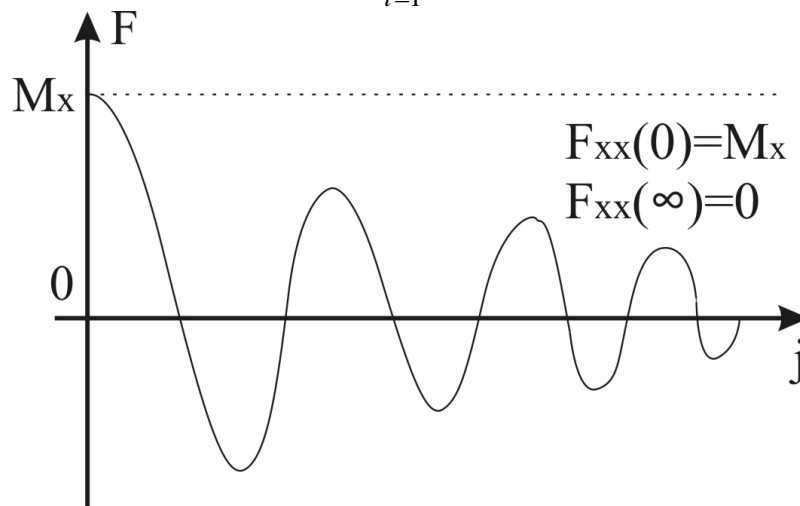


Рис.7.10. Модель функції еквівалентності.

Переваги:

- мінімальний об'єм вибірки $n \geq 128$;
- $f_{xx}(j) = \frac{F_{xx}(j)}{M_x}$;
- нормована функція еквівалентності вивчається у вигляді відношення і на ній можна визначити спектр;
- для визначення використовують тільки співвідношення.

Спектральні моделі ОУ.

Оцінка спектру визначається коефіцієнтом взаємкореляції між нормованою і центрованою АКФ та базисною функцією теоретико-числового базису (ТЧБ).

$$S(\omega_j) = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m W_{xx}(\omega_j) \cdot w_j,$$

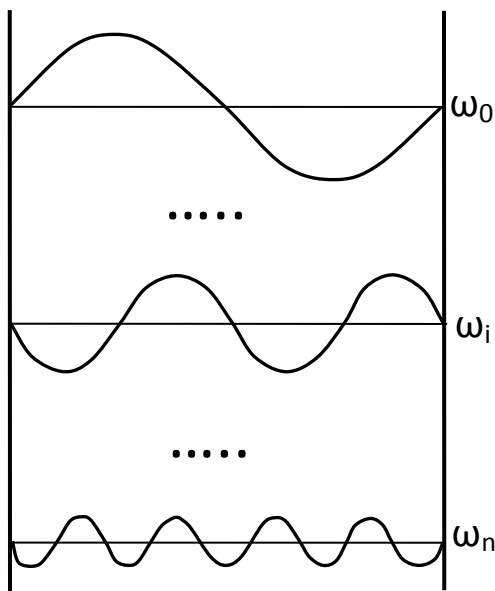
де W_{xx} - одна з нормованих та центрованих АКФ,

w - ортогональна функція ТЧБ.

Існують наступні ТЧБ:

- Фур'є (гармонічні функції $\cos x$);
- Радемахера (прямокутні меандрові функції);
- Крестенсона (пилоподібні функції)

Приклади таких ортогональних функцій показані на рис.....



$$x(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cos(k\omega t) + b_k \sin(k\omega t)),$$

$\omega = 2\pi/T$ - колова частота основної гармоніки з періодом T ;

a_k і b_k - коефіцієнти ряду Фур'є:

$$a_k = \frac{2}{T} \int_0^T x(t) \cos(k\omega t) dt, (k = \overline{1, \infty});$$

$$b_k = \frac{2}{T} \int_0^T x(t) \sin(k\omega t) dt, (k = \overline{1, \infty}).$$

$$\int_0^T x_i(t) \cdot x_j(t) dt = 0$$

Рис.7.11. Функції базису Фур'є.

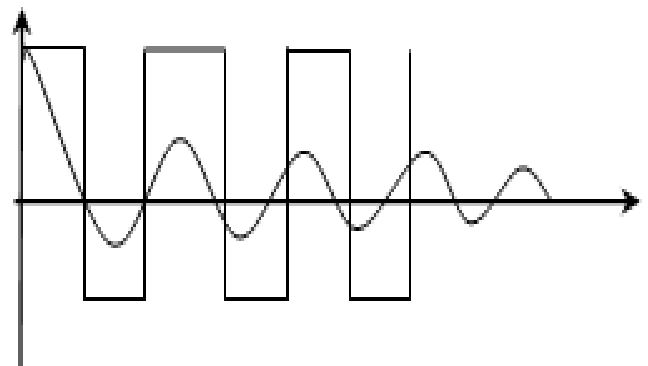
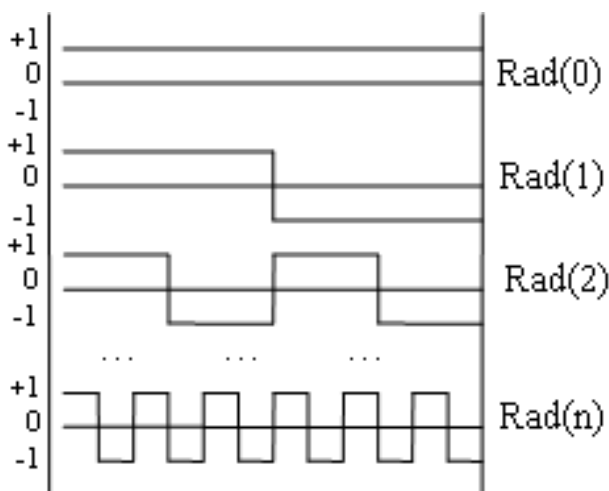


Рис.7.12. Базис Радемахера

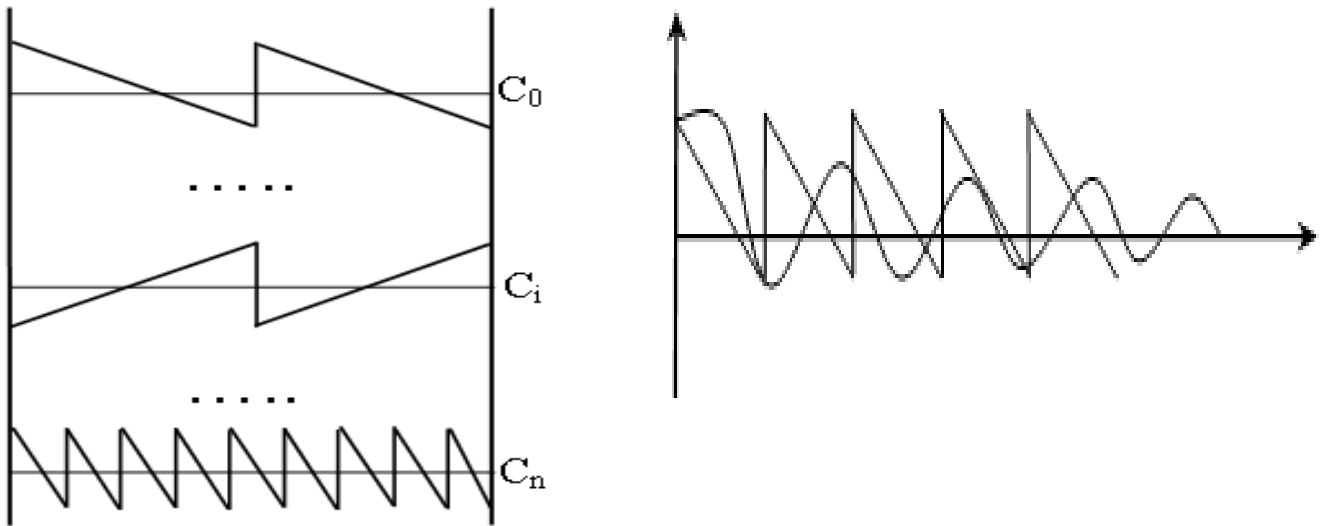


Рис.7.13. Базис Крестенсона

Перехід від базису Фур'є до інших ТЧБ спрощує спектральний аналіз станів ОУ.

Лекція 8.

ВИДИ ЗБУРЕНЬ. ЛОГІКО-СТАТИСТИЧНІ ІНФОРМАЦІЙНІ МОДЕЛІ

Важливими характеристиками моніторингу та контролю станів САУ є діагностика відхилень станів ОУ від норм, які бувають:

- по амплітуді;
- по динаміці;
- по фазі;
- по спектру;
- по глобальній дисперсії.

Для побудови ЛСІМ потрібне попереднє обчислення $(\{x_i\}, M_x, M_j, M_V, D_x, \sigma_x, R_x, S_{(w)})$

ЛСІМ 1 – контролює відхилення станів ОУ від норми по амплітуді окремих параметрів

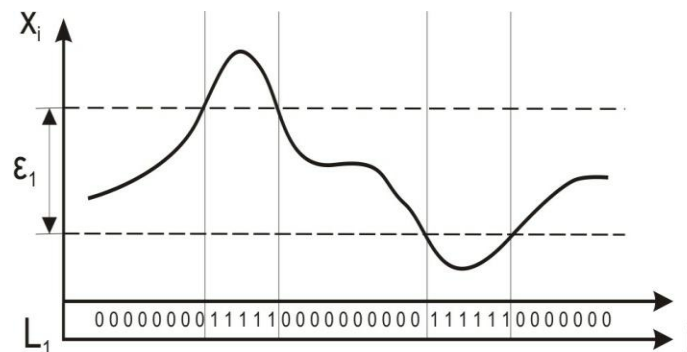


Рис. 8.1. ЛСІМ-1.

x_i – технологічний параметр ОУ, E_1 – апертура.

Якщо ОУ знаходиться в нормі, контролер формує символи “0”

Якщо не в нормі - то “1”

Якщо ЛСІМ формує одиницю, інформація передається на центральний сервер, який ініціює переривання її програми і запускає програму аналізу цього об'єкту.

$$L_1 = \begin{cases} 0, & x_i \in \varepsilon_1 \\ 1, & x_i \notin \varepsilon_1 \end{cases}, L_1 \in \overline{0,1}$$

Переваги:

- простий алгоритм обчислення без старіння інформації;
- великий коефіцієнт стиснення інформації;
- об'єкти інформації зменшується в 2 – 3 рази.

ЛСІМ – 2 – контролює відхилення станів ОУ по динаміці.

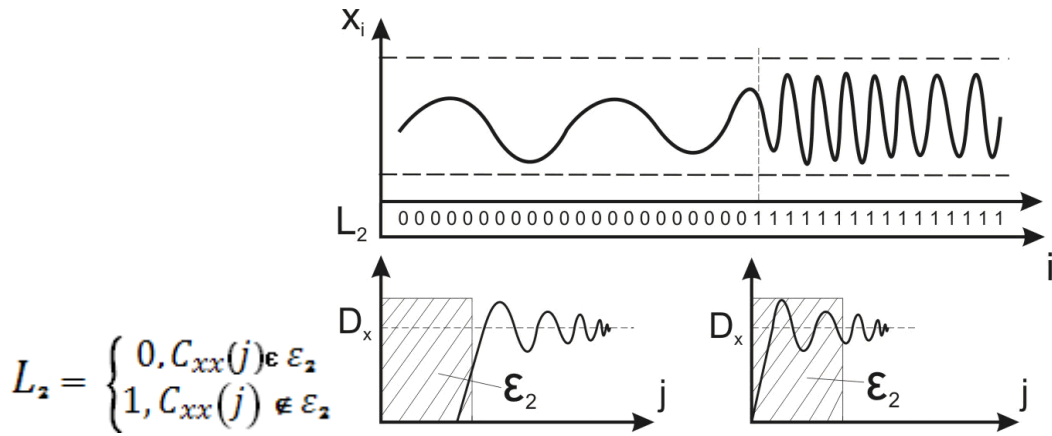


Рис. 8.2. ЛСІМ-2.

Для виявлення зміни динаміки станів ОУ використовується структурна АКФ, яка вичисляється в ковзному режимі.

Для нединамічного процесу структурна функція також не динамічна, а для динамічного вона швидше досягає дисперсії.

Переваги:

- стан ОУ контролюється по динаміці в умовах амплітуда процесу не виходять за границі ε_1 ;
- зменшення об'єму інформації.

Недоліки:

- складніший алгоритм обчислення C_{xx} .

Контроль відхилення станів ОУ по приростах Δi приводить до викидів приростів які будуть не доцільно робити переривання центрального сервера.

ЛСІМ – 3 – виконує контроль відхилення станів ОУ від норми по фазі.

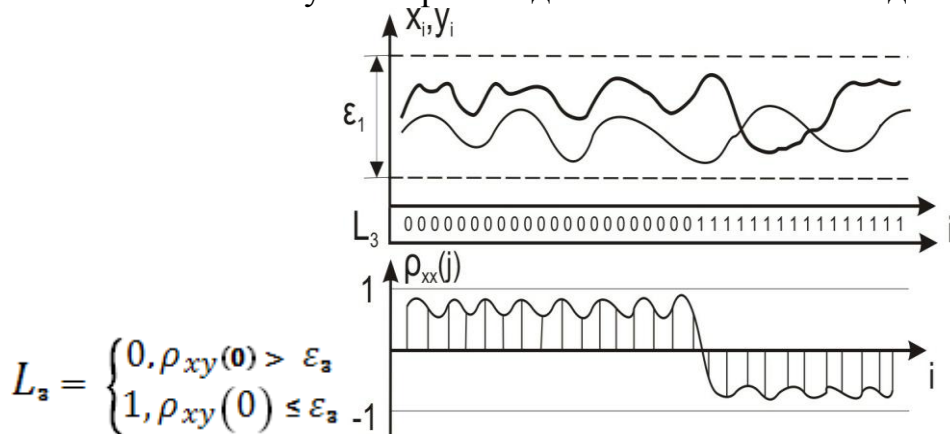


Рис. 8.3. ЛСІМ-3.

Переваги:

- контроль важливого параметру відхилення по фазі коли від зміни по динаміці і по амплітуді.

Недоліки:

- складний алгоритм обчислення.

ЛСІМ – 4 – контролює відхилення станів ОУ по спектру.

Однією з функцій SS є побудова кластерних та образно-кластерних моделей, на які ділиться оператор КСУ.

Вхідною інформацією для розрахунку глобальної дисперсії є матриця нормативних коефіцієнтів взаємкореляції параметрів ОУ $\rho_{ij} \rightarrow i \in \overline{1, m}$

$$\begin{pmatrix} \rho_{11} & \rho_{21} & \dots & \rho_{i1} & \dots & \rho_{m1} \\ \rho_{12} & \rho_{22} & \dots & \rho_{i2} & \dots & \rho_{m2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \rho_{1j} & \rho_{2j} & \dots & \rho_{ij} & \dots & \rho_{mj} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \rho_{1m} & \rho_{2m} & \dots & \rho_{im} & \dots & \rho_{mm} \end{pmatrix}$$

Дослідження властивостей цієї матриці:

$$1. \quad \rho_{i,j}(0) = \frac{R_{i,j}(0)}{\sigma_i \cdot \sigma_j} = \frac{R_{i,j}(0)}{\sqrt{D_i \cdot D_j}},$$

$R_{i,j}(0)$ - центрований коефіцієнт взаємкореляції

$$\rho_{ij}(0) = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n \dot{x}_i \dot{x}_j; \quad \dot{x}_i = x_i - M_{xi}; \quad \dot{x}_j = x_j - M_{xj}$$

i, j - відповідно i -й та j -й параметр ОУ.

$$2. \quad \rho_{ij} = +1; \quad i = j$$

Ці діагональні елементи матриці не несуть ніякої інформації про об'єкт.

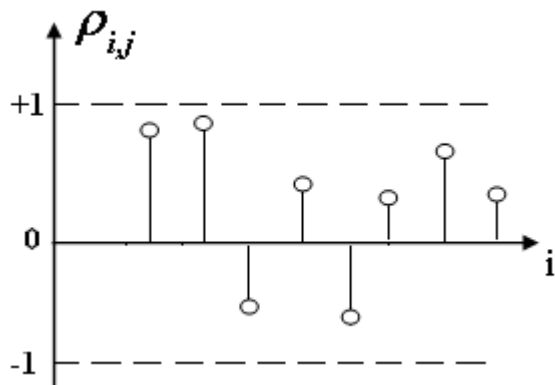
$$3. \quad \text{Матриця елементарна } \rho_{ij} = \rho_{ji}$$

$$4. \quad -1 \leq \rho_{ij} \leq +1$$

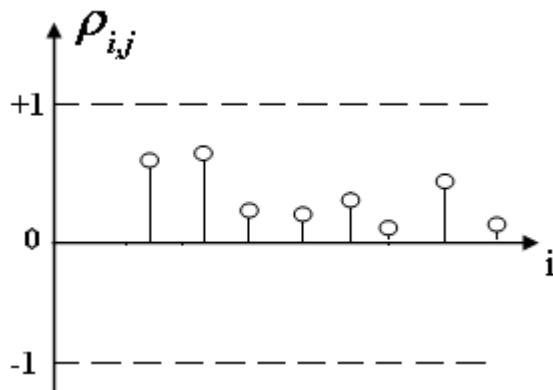
Для розрахунку глобальної дисперсії коефіцієнт взаємкореляції інформативної частини матриці записується у вигляді вектора.

$$\{\{\rho\}_{21} \cdot \rho_{31}, \dots, \rho_{i2}, \dots, \rho_{m1} \cdot \rho_{22} \dots \rho_{m2} \cdot \rho_{34}, \dots, \rho_{m4}, \dots, \rho_m, m-1\} - \text{масив даних}$$

Представлення у вигляді графа:



Підноситься до квадрату:



Глобальна дисперсія представляє собою математичне сподівання (M_x) квадратів норми коефіцієнту взаємкореляційної інформативної частини матриці кореляційного монітору ОУ.

В результаті в реальному часі отримують тренд глобальної дисперсії

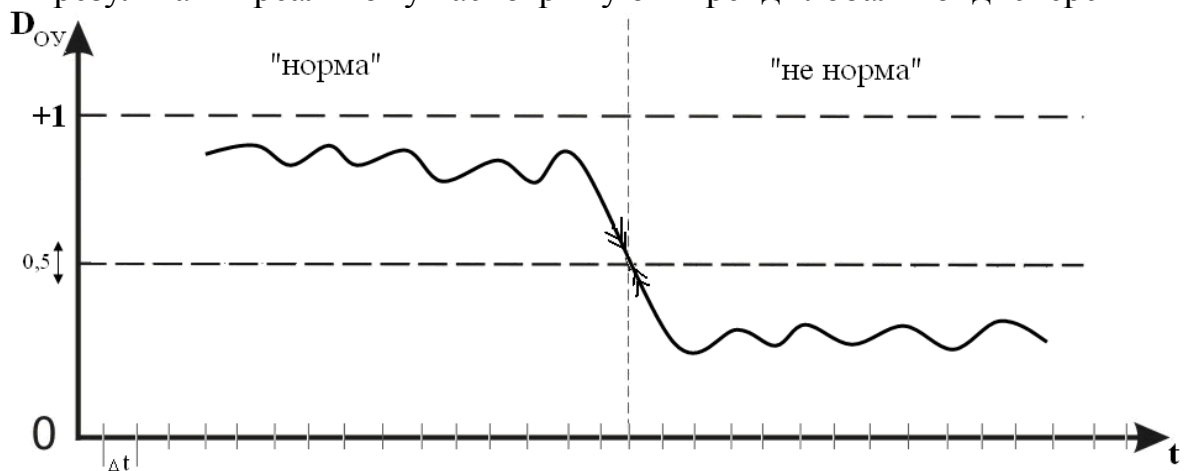
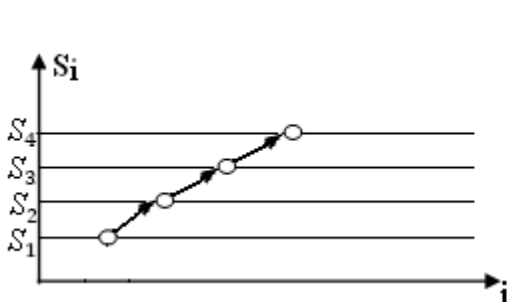


Рис. 8.6. Тренд глобальної дисперсії.

Недоліки:

- відсутність врахування реєстрації та використання станів ОУ.



i – дискретний час, S_i -ий стан ОУ

S_i → ○ Перехід в S -норма
 S_i → ⊗ Перехід в S -не норма

$S_1 \rightarrow S_5 \rightarrow S_{10}$ – "норма"

$S_1 \rightarrow S_4 \rightarrow S_{10}$ – "не норма"

Кластерна модель



$0 \leq d_{ij} \leq +1$ – коефіцієнт ймовірності штатного переходу

Образно-кластерні моделі ОУ.

Параметри ОУ, на основі яких ідентифікуються його статистичні, кореляційні та ентропійні стани визначаються згідно фрейму оператора та формується його структуризована образно-кластерна модель згідно виразу:

$$X_{i0} = F(\{x_i\}, \{x_j\}, S_{i0}, M_x, M_j, M_v, D_x, \delta_x, R_{xx}, R_{xy}, S_w, L_i, \rho_{ij}, S_{ij}, P_{ij}, I_x)$$

де: $\{x_i\}, \{x_j\}$ - масиви оцифрованих моніторингових даних параметрів ОУ; S_{i0} - відповідно семантичний, інформаційний та технологічний стани ОУ; M_x, M_j, M_v - відповідно вибіркове, ковзне та вагове математичні сподівання; D_x, δ_x - відповідно дисперсія та середньоквадратичне відхилення; R_{xx}, R_{xy} - автокореляційна та взаємкореляційні функції; S_w - спектри параметрів ОУ у різних теоретико-числових базисах; L_i - логіко-статистичні інформаційні моделі (ЛСІМ), $i \in \overline{1, 5}$; $\rho_{ij}, S_{ij}, P_{ij}$ - відповідно матриці коефіцієнтів взаємкореляції, кластерної моделі ймовірнісних переходів та ентропійних станів; I_x - кореляційна міра ентропії стану ОУ.

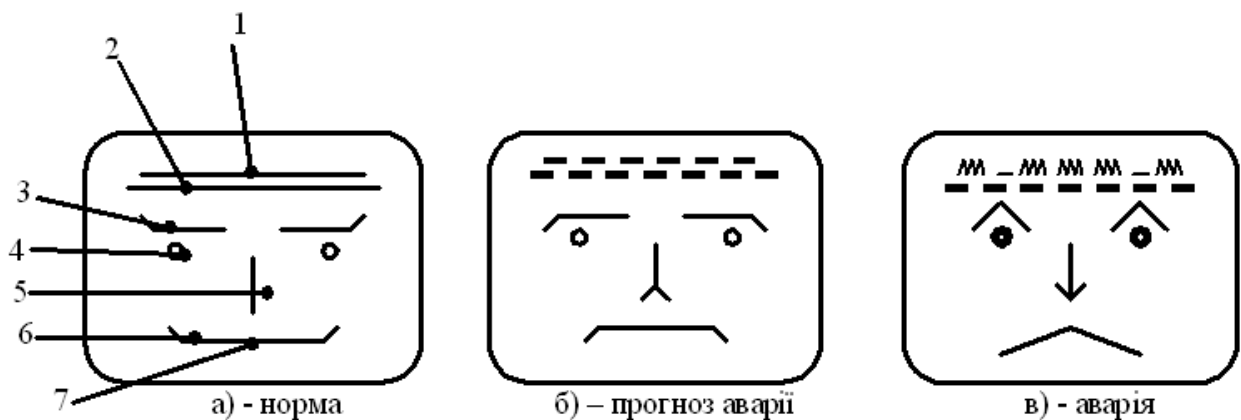


Рис.8.7. Образно-кластерна модель.

На рис.8.7:

1. Контроль відхилення параметрів: ковзного математичного сподівання L_1 , середньостатистичної динаміки станів технологічного процесу по кожному параметру L_2 , по спектру L_4 .
2. Ідентифікація параметрів технологічного процесу згідно кореляційної міри ентропії I_x .
3. Контроль нормованих коефіцієнтів взаємкореляції між кожною парою параметрів $\|\rho_{ij}\|$ в області можливих значень норми L_3 .
4. Контроль кластерної моделі матриці ймовірностей переходу технологічного процесу з одного стану в інший (P_{ij}).
5. Контроль значень ковзних математичних сподівань M_j в межах заданих уставок регуляторів технологічних параметрів.
6. Контроль значень вагових математичних сподівань M_{vx}, M_{vy} .
7. Контроль значень вибірових математичних сподівань M_x, M_y у порівнянні з заданими уставками регуляторів технологічних параметрів.

Оснoву цих моделей складають розраховані дані X_{OY} , а також кластерні моделі.

Образно-кластерні моделі дозволяють в сотні тисяч раз зменшити об'єм даних.

ОКМ може відображати об'єкт, де є сотні тисяч сенсорів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Николайчук Я.М. Теорія джерел інформації / Николайчук Я.М. - Тернопіль: ТНЕУ, 2008. – 536с.
2. Николайчук Я.М., Возна Н.Я., Пітух І.Р. Проектування спеціалізованих комп'ютерних систем / Навчальний посібник / - Тернопіль: ТЗОВ "Терно-граф". 2010. – 392с., іл.
3. Згуровский М.З. Интегрированные системы оптимального управления и проектирования. - К.: Вища шк., 1990. - 351с.
4. Бобух А.О. Автоматизация инженерных систем: Навч. посібник. - Харків: ХНАМГ, 2005. - 212с.
5. Автоматизированные системы управления городским хозяйством / Под ред. академика В.М. Глушкова. - К.: Будівельник, 1978. - 144с.
6. Стефани С.П. Основы построения АСУ ТП: Уч. пособие для ВУЗов. - М.: Энергоиздат, 1982. - 352с.
7. Дружинин Г.В. Автоматизированные системы управления технологическими процессами. - М.: Энергия; 1988. - 216с.
8. АСУ ТП. Предпроектная разработка алгоритмов управления / Скурихин В.И., Дубровский В.В., Шифрин В.Б. - К.: Наук. думка, 1980. - 226с.
9. Основы построения и проектирования автоматизированных систем управления в строительстве / Михайлов В.С., Билецкий О.Б. - К.: Вища шк., 1984. - 392с.
10. Романенко В.Д. Методи автоматизації прогресивних технологій: Підручник. - К.: Вища шк., 1995. - 519с.
11. Солодовников В.В., Плотников В.М., Яковлев А.В. Основы теории и элементы систем автоматического регулирования. - М.: Машиностроение, 1985. - 536с.
12. Теорія автоматичного керування. Навчальний посібник Авт. Сорока К.О. – Харків, ХНАМГ, 2006 – 187 с.
13. Попович М.Г., Ковальчук. О.В. Теорія автоматичного керування. – К.: Либідь, 1997. – 544 с.
14. Фельдбаум А.И. Методы теории автоматического управления. – М.: Наука, 1971-744с
15. Куропаткин П.В. Теория автоматического управления . – М.: Высш. шк., 1973 – 528 с.
16. Айзерман М.А. Теория автоматического управления. М.: Наука, 1966.
17. Нетушил А.В. Теория автоматического управления. Ч.1. Линейные системы
18. Воронов А.А. (под ред.). Теория автоматического управления. Ч.1 – М.: Выс. шк. 1986. – 367 с.
19. Юревич Е.И. Теория автоматического управления. – Л.: Энергия, 1975. – 416 с.
20. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования. – М.: Физматгиз, 1975. – 768 с.
21. Власов К. П. Специальный курс по теории автоматического управления. — Х.: Харьк. политехн. ин-т, 1974. — 198 с.
22. Теорія автоматичного керування. Навчальний посібник Авт. Сорока К.О. – Харків, ХНАМГ, 2006 – 187 с.
23. Макаров И. М., Менский Б. М. Линейные автоматические системы. — М.: Машиностроение, 1977. - 464 с.