

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МИКОЛАЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-енергетичний факультет

Кафедра електроенергетики, електротехніки та електромеханіки

**Автоматизація технологічних процесів та системи автоматичного
керування**

(Частина I)

конспект лекцій

для здобувачів початкового рівня (короткий цикл) вищої освіти ОПП
«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» спеціальності 141
«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» денної форми
здобуття вищої освіти

Миколаїв

2023

Рекомендовано до друку науково-методичною комісією інженерно-енергетичного факультету Миколаївського національного аграрного університету від 30.03.2023., протокол №8

Укладачі:

Кошкін Дмитро – канд. тех. наук, доцент кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, Миколаївського національного аграрного університету;

Рецензенти:

Грубань Василь - канд. тех. наук доцент кафедри тракторів та сільськогосподарських машин, експлуатації і технічного сервісу;

Ставинський Андрій - д-р. тех наук професор кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, Миколаївського національного аграрного університету;

© Миколаївський національний аграрний університет, 2023

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Лекція 1. Основні поняття та визначення теорії автоматичного керування.....	5
Лекція 2. Принципи автоматичного керування.....	11
Лекція 3. Форми представлення математичних моделей САК у статиці та динаміці. Поняття передаточної функції.....	15
Лекція 4. Частотні характеристики. Типові структурні ланки. Типові вхідні впливи. Прямі показники якості САК.	20
Лекція 5. Елементи структурних схем. З'єднання ланок. Перетворення структурних схем.....	30
Лекція 6. Замкнені САК. Поняття про стійкість САК. Критерії стійкості.....	33
Лекція 7. Коректуючі пристрої. Поняття про ПД регулятори	37
Лекція 8. Основи синтезу коректуючих пристроїв. Метод кореневого годографу Метод бажаної ЛАЧХ.....	41
Лекція 9 Цифрові та дискретні системи.....	46
Література.....	53

Вступ

Автоматизація - один з найважливіших шляхів подальшого підйому продуктивних сил у сільському господарстві в умовах науково-технічного прогресу. Це та основа, на якій при високому рівні механізації й електрифікації сільськогосподарського виробництва треба удосконалювати сільськогосподарську техніку і підвищувати її експлуатаційні показники.

Інженери агропромислового комплексу повинні бути готовими до використання нових технологій і техніки, до широкого впровадження засобів автоматизації технологічних процесів, мікропроцесорної й електронно-обчислювальної техніки, а також електроніки, використання якої стає усе ширше в галузях агропромислового комплексу (АПК).

В агропромисловому виробництві автоматика і телемеханіка знаходять усе більше застосування, забезпечуючи високу ефективність виробництва, значну економію праці і засобів. Так, автоматизація годівлі і поїння тварин підвищує продуктивність дійних корів до 15 %, а комплексна автоматизація готування кормів на потокових лініях зменшує трудові витрати в 4...5 разів і знижує собівартість на 30...50 %. Автоматизація зернозбиральних комбайнів дозволяє скоротити втрати зерна на 2...2,5 % і збільшити його продуктивність на 10 %. Підтримка оптимального завантаження картоплезбирального комбайна приводить до збільшення продуктивності на 15 % і економії палива на 4 %. Автоматизація причіпних кормозбиральних агрегатів знижує втрати врожаю зелених кормів на 10...15 % і т.д.

Автоматизація сільськогосподарського виробництва підвищує надійність і подовжує термін роботи устаткування, полегшує і оздоровляє умови праці, підвищує її безпеку, скорочує текучість робочої сили і економить затрати праці, роблячи її більш престижною.

Лекція 1. Основні поняття та визначення теорії автоматичного керування

План лекції:

1. Поняття та визначення теорії керування

2. Види систем (класифікація)

1. Поняття та визначення теорії керування

Термін — *керування* (вживається також — *управління*) охоплює надзвичайно широке коло понять, що викликано різною природою об'єктів, наприклад керування технологічним процесом, підприємством чи державою.

Крім того, під керуванням (управлінням) розуміють також командування військами, керування транспортними засобами (судном, літаком, автомобілем), диригування оркестром і інш.

З цієї точки зору теорія автоматичного керування ТАК – частина кібернетики, яка вивчає процеси використання інформації і управління в системах різної фізичної природи.

Автоматизація виробництва – один з важливих факторів науково-технічного процесу, за рахунок якої відбувається інтенсифікація процесів випуску продукції та зменшення витрат енергетичних та матеріальних ресурсів.

Сучасні системи керування мають складну багаторівневу (ієрархічну) структуру, в якій використовуються обчислювальні мережі різного рівня на основі ЕОМ та мікропроцесорних засобів. Для складних технологічних об'єктів розробляються системи керування, які також мають достатньо складну структуру і розвинені зв'язки між окремими частинами(елементами).

Автоматика – *технічна наука, яка розробляє принципи побудови автоматичних систем та необхідних для них засобів, методи аналізу і синтезу цих систем.*

Керування *технічним процесом* – *цілеспрямована діяльність, направлена на досягнення бажаних результатів (отримання прибутку, мінімальної собівартості продукції, забезпечення її якості) на основі отримання та обробки інформації про стан об'єкта та умов його роботи.*

В процесі керування виконується ряд операцій, які відповідають таким етапам:

- збирання інформації про стан об'єкта та зовнішнє середовище;
- аналіз та обробка інформації;
- прийняття рішень на основі необхідної інформації;
- реалізація керуючих діянь за допомогою технічних засобів.

Виконання цих операцій забезпечує автоматичний контроль процесу, пуск та зупинку технологічних агрегатів, підтримання необхідних режимів при виконанні вимог надійності та стійкості.

Система автоматичного керування (САК) – сукупність об'єкта та автоматичного пристрою керування. Автоматизована система керування передбачає участь у формуванні керуючих дій людини (особи, яка приймає рішення - ОПР).

Автоматизовані системи створюються для складних об'єктів, де участь людини в прийнятті рішень є визначальною, а для цього необхідно отримати та переробити великі масиви інформації.

Автоматичні системи забезпечують виконання всіх функцій керування без участі людини (автоматично), але для обслуговування, ремонту та налагодження потрібні кваліфіковані спеціалісти.

Автоматичні системи *регулювання* (АСР) – сукупність об'єкта та пристрою керування (автоматичного регулятора), процес функціонування яких характеризується тим, що *відомі задані значення регульованих координат* $x_{зд}(t)$. Допускається також термін — *системи автоматичного регулювання* (САР).

Далі буде показано, що в процесі регулювання повинна виконуватись вимога $x(t) \rightarrow x_{зд}(t)$, де x – поточне значення регульованої координати.

Об'єкт керування (регулювання, автоматизації, керований об'єкт) – технологічний процес, агрегат або комплекс, призначений для здійснення впливу на сировину, матеріали для отримання продукту чи напівпродукту.

В складних системах керування об'єктом може бути виробництво, підприємство, галузь промисловості. В будь-якому випадку для досягнення мети функціонування необхідно сформулювати керуючі дії, які компенсують небажані відхилення від обраного режиму.

Зрозуміло, що об'єкти можуть бути різної природи, мають різне призначення, виконувати різні функції. В той же час система керування створюється саме для об'єкта, тому його властивості визначають основні характеристики системи керування – її структуру, функції, показники стійкості та якості.

Таким чином, саме об'єкт визначає призначення системи керування, наприклад : автоматизована система керування підприємством, автоматична система керування випарною установкою, автоматична система керування температури.

Автоматичний регулятор – технічний засіб, який реалізує керуючі дії в залежності від стану об'єкта та зовнішнього середовища: $U_{рег.} = f(x, z, t)$. Автоматичний регулятор реалізується також програмним шляхом в мікропроцесорних контролерах або ЕОМ. В складних системах функції керування виконують різні регулятори або спеціальні пристрої.

У будь-якому об'єкті існує певна функціональна залежність вихідних величин об'єкта від його керуючих і збудувальних впливів, тобто

$$U_{рег.} = f(x, z, t)$$

де f – оператор перетворення дій об'єкта (рис. 1.1).



Рис. 1.1.

Основна **задача керування** об'єктом полягає в тому, щоб, виходячи з мети автоматизації, критерію керування і фізичної природи об'єкта якомога точніше визначити і синтезувати алгоритм керування та технічні засоби для реалізації цієї мети.

2. Види систем (класифікація)

Системний підхід до проблеми класифікації об'єктів дозволяє виділити кілька основних класифікаційних ознак, що дозволяють розкрити внутрішню структуру об'єкта і його зв'язки (рис.1.2).

За зовнішніми зв'язками об'єктів із середовищем, тобто за кількістю вхідних і вихідних величин, об'єкти поділяються на: *одномірні* (що мають одну вхідну й одну вихідну величину) і *багатомірні* (що мають кілька входів і виходів). Багатомірні об'єкти, як правило, являють собою багатозв'язні системи, в яких є кілька регульованих величин, пов'язаних між собою таким чином, що зміна будь-якої з них викликає зміну інших.

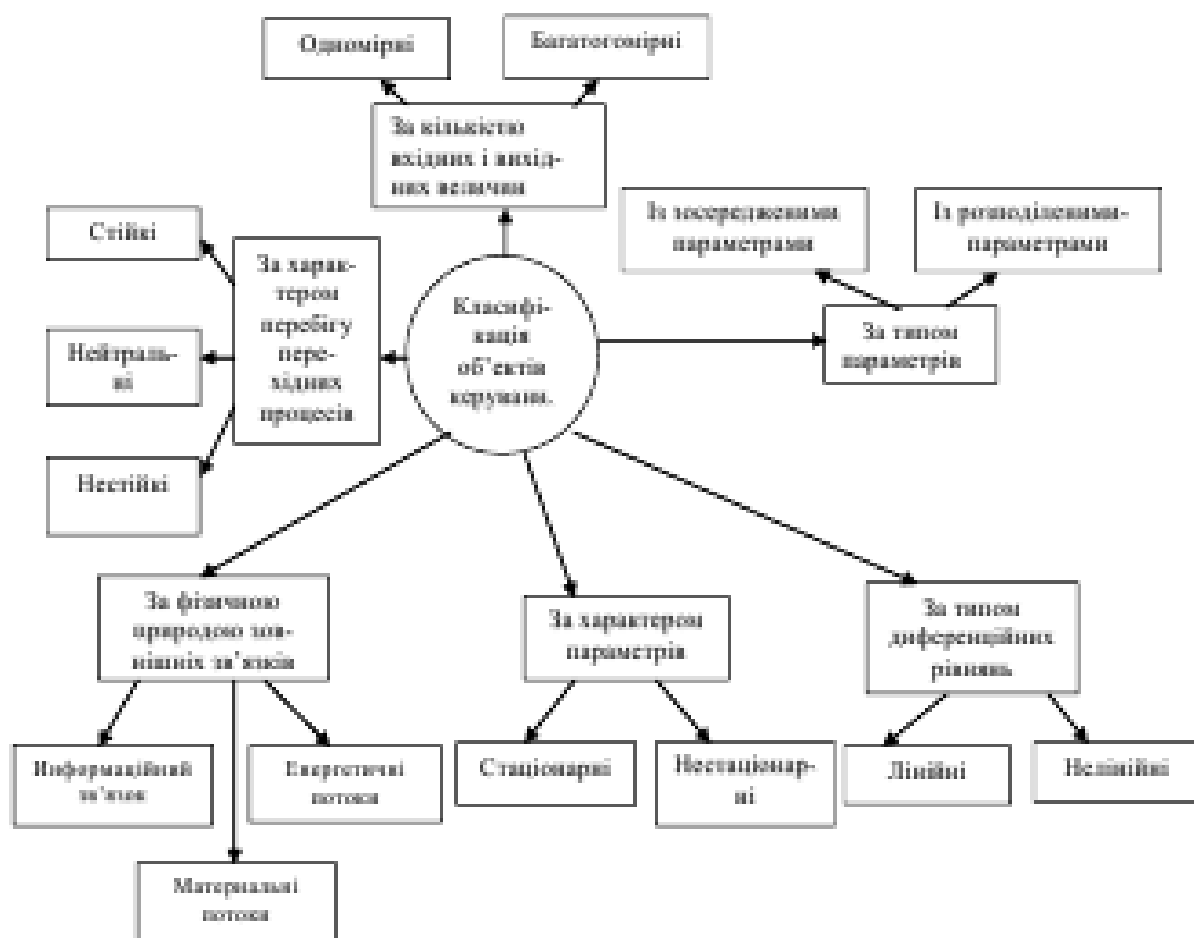


Рис. 1.2.

Характерними прикладами об'єктів регулювання можуть служити: паровий котел, де регульованими величинами є температура, тиск пари і рівень води; електричний двигун, у якому регулюються швидкість обертання і переміщення його вихідного валу. У даних прикладах кореляція (взаємовплив) між окремими регульованими величинами обумовлена природними (внутрішніми) властивостями об'єктів.

Більш складна задача регулювання виникає при автоматизації виробничих процесів. Взаємовплив між окремими регульованими величинами в цій групі, як правило, обумовлений технологічними факторами. Прикладом тут можуть служити системи автоматичного керування частотою обертання електроприводів валків і зазором між ними в станах холодної і гарячої прокатки. Обидві ці системи керування пов'язані між собою через металевий лист, що прокочується, і утворюють складну багатозв'язну систему. До багатозв'язних систем також можуть бути віднесені енергосистеми, ректифікаційні колони в нафтохімічній і газовій промисловості тощо.

Таким чином, теорія багатозв'язного регулювання є теоретичною основою при автоматизації багатьох виробничих і технологічних процесів.

Зовнішні зв'язки об'єктів із середовищем можуть мати різну фізичну природу, обумовлену внутрішньою структурою об'єкта. Причому зв'язки можуть бути одnobічними і двобічними. Для більшості реальних об'єктів характерні двобічні інформаційно-енергетичні зв'язки чи інформаційні зв'язки з матеріальними потоками, тому що в процесі будь-якого керування об'єктом необхідний інформаційний обмін між пристроєм керування і об'єктом для керування енергетичними чи матеріальними потоками в самому об'єкті.

Внутрішня структура об'єктів розкривається при вивченні їх складових елементів і кількісних співвідношень, які описують ці елементи. Параметри елементів системи характеризують основні властивості цих елементів (наприклад опір, індуктивність, ємність, коефіцієнт підсилення, теплоємність, інерційне запізнення, момент тертя, момент інерції), а отже, і об'єкта в цілому.

За типом параметрів об'єкти поділяються на об'єкти із *зосередженими* і з *розподіленими* параметрами. Більшість технологічних об'єктів мають розподілені параметри (теплообмінні агрегати, теплоенергетичні установки, апарати хімічної промисловості тощо). Однак для більш простого математичного опису розподілом їх параметрів іноді нехтують і розглядають приблизно як об'єкти із зосередженими параметрами.

Даний підхід справедливий далеко не завжди, оскільки є група об'єктів, які завжди необхідно розглядати як об'єкти з розподіленими параметрами. До таких об'єктів відносяться: залізнична сортувальна гірка, виробнича ділянка, екологічна система, нафтоносний шар.

За характером параметрів всі об'єкти поділяються на *стаціонарні* і *нестационарні*. Умови роботи об'єктів часто виявляються вкрай несприятливими: зміна навколишньої температури, тиску, вологості, коливання напруги живлення. Усе це призводить до дрейфу параметрів об'єкта (часовому, температурному і випадковому). Тому практично всі об'єкти мають нестационарні параметри. Однак, якщо на визначеному інтервалі спостереження параметри об'єкта не виходять за межі припустимих значень, то об'єкт приблизно можна розглядати як об'єкт зі стаціонарними параметрами. Інтервал спостереження і припустимі значення відхилення параметрів визначаються конкретними умовами, виходячи з мети автоматизації.

За основу класифікації також можуть бути взяті кількісні співвідношення між елементами об'єкта, і між об'єктом і зовнішнім середовищем, що

описуються різними рівняннями (алгебраїчними, диференційними тощо). Такі рівняння дозволяють проводити математичний аналіз фізичних явищ в об'єкті.

За типом диференційних рівнянь, що описують кількісні співвідношення в об'єктах, останні поділяються на *лінійні* і *нелінійні*. Об'єкт можна вважати лінійним, якщо в ньому існує однозначна пропорційна (лінійна) залежність вихідних величин від керуючих і збурювальних впливів.

З технічної точки зору лінійних об'єктів не існує. Реальні об'єкти нелінійні, тому що мають зони нечутливості, зони насичення, неоднозначність (гістерезис) тощо. Однак у ряді випадків об'єкт можна розглядати в лінійному наближенні, застосовуючи відповідні правила лінеаризації. Допустимість лінеаризації об'єкта визначається конкретними умовами його роботи (наприклад, при малих відхиленнях на лінійній ділянці характеристики).

В основі класифікації об'єктів можуть бути причинно-наслідкові зв'язки між навколишнім середовищем і об'єктом, та між його елементами. Завдяки цим зв'язкам відбувається процес передачі в часі інформації, енергії, речовини (матеріалу) від одного елемента об'єкта до іншого, чи від навколишнього середовища до об'єкта і навпаки.

У реальних об'єктах виявлення причинно-наслідкових зв'язків представляє великі труднощі, тому що процеси і явища, наприклад, у багатозв'язних об'єктах, залежать від багатьох причин у різній степені, а самі наслідки можуть виступати в подальшому як причини, що впливають на явища, які у минулому були причиною появи їх самих. Окремим випадком причинно-наслідкових зв'язків у техніці є перехідні процеси, що представляють собою реакцію об'єктів керування на стандартні часові ступеневі вхідні керуючі чи збурюючі впливи.

За характером протікання перехідних процесів об'єкти поділяються на стійкі (із самовирівнюванням), нейтральні і нестійкі. У стійких об'єктах при подачі на їх вхід ступеневого керувального сигналу вихідна величина з часом прагне до сталого значення (нагрівачі; теплообмінні агрегати; двигуни, якщо за їхню вихідну величину прийнята частота обертання ротора; електричні R, L, C - ланки та ін.). Відмінною рисою цих об'єктів є те, що після зняття вхідного впливу вихідна величина повертається до колишнього чи близького до нього значення.

У нейтральних об'єктах після подання ступеневого вхідного сигналу вихідна величина необмежено зростає в часі, а після припинення вхідного сигналу ніколи не повертається до колишнього значення, приймаючи новий сталий стан.

Прикладами таких об'єктів є об'єкти, що володіють інтегруючими властивостями (підсумовування і запам'ятовування). До них належать: резервуари, якщо за їх вихідну величину прийнятий обсяг рідини; двигуни, якщо за їх вихідну величину прийнятий кут повороту ротора; інтегруючі активні і пасивні RC-ланки.

У нестійких об'єктах після подання ступеневого вхідного впливу вихідна величина необмежено зростає в часі, а після зняття вхідного впливу - продовжує необмежено зростати.

Прикладами таких об'єктів можуть служити пристрої, у яких протікають лавиноподібні процеси (апарати хімічної промисловості з лавиноподібними реакціями, енергосистема в нестійких режимах тощо).

З короткого переліку класифікаційних ознак видно, що кожна ознака окремо розкриває тільки якусь одну властивість об'єкта і не може служити його повною характеристикою. Найчастіше в процесі класифікації складних об'єктів автоматизації досить важко чітко розмежувати їх окремі ознаки. В цьому випадку необхідно виходити з мети автоматизації і визначення тих даних (характеристик) об'єкта, що необхідні для знаходження оператора (алгоритму) керування. Як приклад, нижче наводиться класифікація деяких найбільш поширених типів об'єктів автоматизації.

Перший об'єкт - електричний двигун постійного струму з паралельним збудженням, якірним керуванням і глибоким регулюванням частоти обертання. Вивчення статичних, електромеханічних, перехідних характеристик двигуна, його властивостей, конструкції і умов роботи дозволяє дуже приблизно розглядати його як лінійний стійкий одномірний стаціонарний об'єкт із зосередженими параметрами.

Другий об'єкт - ректифікаційна колона для поділу багатокомпонентної суміші.

Для визначення оптимального оператора керування всебічне вивчення статичних, динамічних, експлуатаційних і економічних характеристик колони дозволяє приблизно розглядати її як нелінійний стійкий багатозв'язний об'єкт із розподіленими параметрами.

Лекція 2. Принципи автоматичного керування

План лекції:

1. Загальна структура САК
2. Фундаментальні принципи керування

1. Загальна структура САК. При створенні різних систем автоматичного керування для об'єктів різної природи та призначення використовуються загальні принципи. Загальна структура системи автоматичного керування може бути проілюстрована наступною схемою (рис. 2.1):

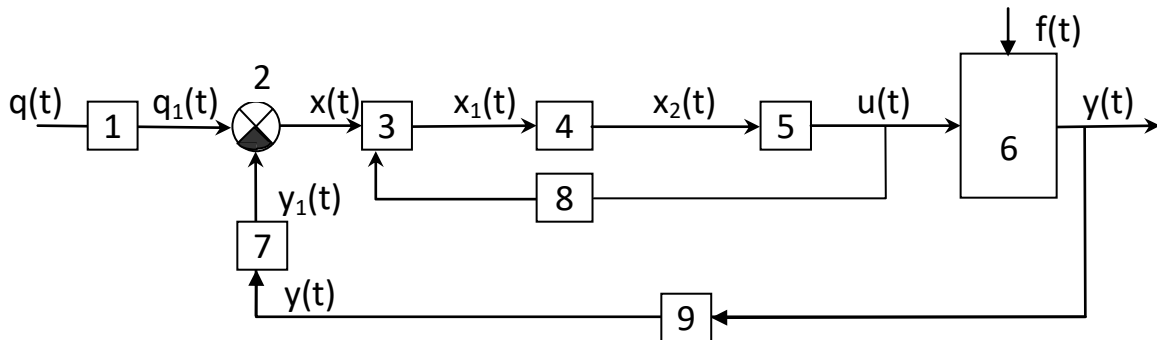


Рис. 2.1. Загальна структура САК. 1 – елемент-задатчик; 2 – елемент порівняння; 3 – перетворювач сигналу; 4 - підсилювач; 5 – виконавчий пристрій; 6 – об'єкт керування; 7 – чутливий елемент; 8 – місцевий зворотний зв'язок; 9 – головний зворотний зв'язок.

Призначення елементів, зображених на рис 2.1:

Елемент-задатчик – формує дію, яка задається $q(t)$ в величину $q_1(t)$, що дозволяє її порівняти з величиною, яка керується $y_1(t)$ (або перетворює сигнал величини, що керується).

Чутливий елемент – вимірює дійсне значення керованої величини $y(t)$ і перетворює її в величину $y_1(t)$ для порівняння з заданою $q_1(t)$.

Елемент порівняння – проводить обчислення різниці сигналів $x(t) = q_1(t) - y_1(t)$.

Перетворювач сигналу – перетворює сигнал в придатний вигляд для подальшої обробки або використання.

Підсилювач – підсилює сигнал до величини $x_2(t)$, що дозволяє привести в дію виконавчий пристрій.

Виконавчий пристрій – виробляє та подає на регулюючий орган об'єкта керування дію $u(t)$.

Місцевий зворотний зв'язок (або корекція)- вводиться для поліпшення якісних параметрів керування.

Головний зворотний зв'язок- це зв'язок між виходом і входом системи.

Деякі елементи САК можуть бути об'єднані.

Алгоритм функціонування – сукупність правил або математичних залежностей, що визначають правильне виконання технологічного процесу. (Ці правила складаються на базі технологічних, економічних та інших вимог без

врахування динамічного впливу автоматичних систем. В теорії автоматичного керування алгоритми функціонування вважаються заданими).

Алгоритм керування – сукупність команд, що визначають характер керуючих дій на об'єкт з метою здійснення ним заданого алгоритму функціонування з врахуванням властивостей системи.

2. Фундаментальні принципи керування. В основі алгоритмів керування, що використовуються в техніці, лежать *три фундаментальні принципи*:

1. *Принцип розімкнутого керування* – керування здійснюється на основі заданого алгоритму функціонування і не контролюється за фактичним значенням величини, що керується (рис. 2.2):



Рис. 2.2. Принцип розімкнутого керування

2. *Принцип керування за відхиленням* (принцип зворотнього зв'язку) – автоматичне керування:

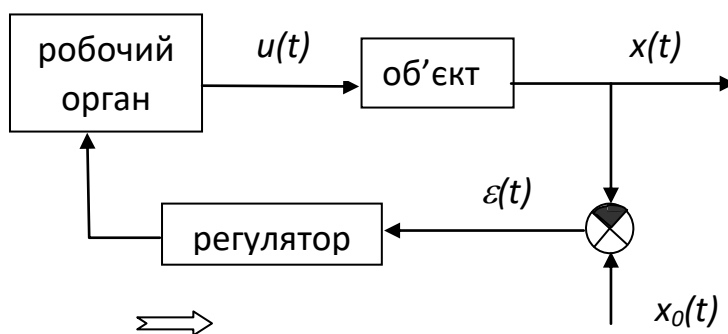


Рис 2.3. Принцип керування за відхиленням

Регулятор створює головний зворотний зв'язок. (Принцип зворотного зв'язку – універсальний: діє в техніці, природі, суспільстві). В той же час в цьому принципі закладено його основний недолік : автоматичний регулятор починає працювати лише після появи значного відхилення $\Delta x \neq 0$;

3. *Принцип регулювання за збуренням* (принцип компенсації):

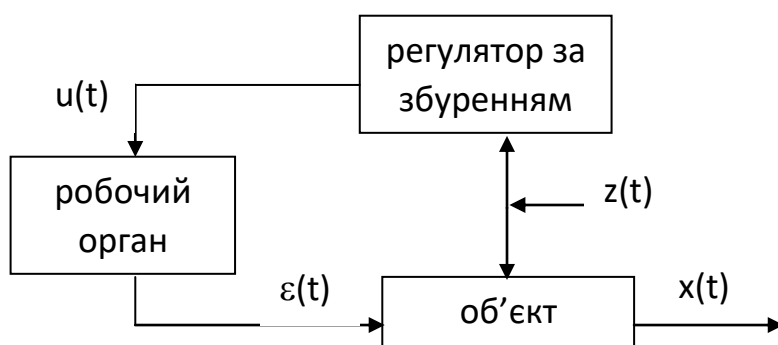


Рис 2.4. Принцип компенсації: $z(t)$ - збурення, $\varepsilon(t)=f(u,z)$.

Керування виробляється в функції збурення z так, щоб його дія на всю систему компенсувалась. В цьому випадку автоматичний регулятор розпочинає свою роботу одразу після виникнення збурення Z , ще до появи Δx , але проблема полягає в тому, що реалізація цього принципу вимагає вимірювання всіх без винятку збурень, а це практично неможливо. Застосування цього принципу обмежується тими випадками, коли процес функціонування об'єкта визначається незначною кількістю збурень, які можна вимірювати та використовувати для керування;

Система регулювання за збуренням в порівнянні з системами, що діють за відхиленням, відрізняються більшою стійкістю та швидкодією. До їх недоліків відносять складність вимірювання навантаження в великих системах, неповне врахування збурень (компенсуються тільки ті, що вимірюються). На практиці використовують комбінацію даних принципів.

4. Комбіновані системи

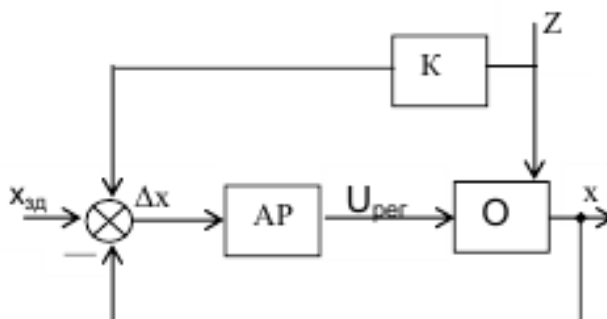


Рис 2.5. Комбінована система

При реалізації цього принципу обирається одне (або два – три) найбільш суттєве збурення, яке можна виміряти і перетворити за допомогою компенсатора K . Це дає можливість виконати умову інваріантності (незалежності) регульованої координати x від збурення Z , тоді Δx тотожно дорівнює нулю ($\Delta x \equiv 0$). Ця частина системи називається розімкненим контуром, і він є головним. Дію невимірюваних збурень, які завжди є в системі, компенсує допоміжний замкнений контур за відхиленням. Комбіновані системи дають можливість забезпечити необхідну якість процесу керування, але виникають проблеми щодо їх синтезу, зокрема з виконанням вимог фізичної реалізованості для складних об'єктів.

5. Екстремальні, адаптивні та оптимальні системи.

В системах керування функціонують об'єкти, статичні характеристики яких можуть мати точку екстремуму, в якій досягаються найвищі техніко-економічні показники роботи.

За допомогою спеціальних керуючих дій система підтримує режим роботи об'єкта в межах невеликих відхилень від екстремальної точки, яка змінює своє положення з часом. Такі системи називають екстремальними.

Адаптивні системи мають властивість пристосовування до змінюваних характеристик зовнішнього середовища та параметрів об'єкта. Це відбувається за рахунок зміни структури системи та (чи) параметрів окремих її частин.

Оптимальні системи призначені для досягнення найкращих результатів роботи протягом певного часу у відповідності з критерієм оптимальності (керування) в конкретних умовах з урахуванням існуючих ресурсів та обмежень. Це найбільш складні системи, в яких використовуються спеціальні математичні методи, а для їх реалізації потрібні ЕОМ з відповідним програмним забезпеченням.

Лекція 3. Форми представлення математичних моделей САК у статиці та динаміці. Поняття передаточної функції.

План лекції:

1. Статичні характеристики
2. Лінеаризація статичних характеристик
3. Динаміка

1. Статичні характеристики. Система автоматичного регулювання (або об'єкт регулювання чи будь – яка інша ланка системи) може знаходитись у двох станах: статики або динаміки. Статикою називають статичний (сталий) режим роботи системи, коли всі впливи, що діють на систему, і змінні системи мають сталі значення не змінюються з часом. Статичний режим характеризується узгодженістю матеріальних та енергетичних входів і виходів об'єкту і незмінністю в часі його параметрів. В динамічному режимі всі (або деякі) впливи і всі змінні системи змінюються з часом.

Залежності, що встановлюють зв'язок між досліджуваною величиною (вихідна величина) і впливом на вході елемента (технічний пристрій) системи (або системи в цілому), називають характеристиками елементів (або системи). При вивченні властивостей САК чи її елементів важливе місце займають дослідження, присвячені вивченню статичних і динамічних характеристик. Оцінка якості функціонування систем автоматичного регулювання базується на дослідженні статичних і динамічних характеристик.

Дослідження сталих станів є першим і основним питанням при дослідженні і розрахунках будь-яких САК. Так, дослідження властивостей технологічних процесів як об'єктів регулювання завжди починається з вивчення статичних властивостей процесу. Всі змінні, що характеризують технологічний процес, умовно підрозділяються на три групи (рис. 3.1): регульовані величини – це ті параметри, які характеризують протікання процесу і які необхідно підтримувати на заданому значенні (у загальному випадку їх може бути декілька, а у окремому випадку – це один регульований параметр, наприклад температура, рівень і т. п.); регулюючі впливи (параметри управління) – це ті параметри, зміна яких спричиняє заплановану зміну в ході процесу і які можна змінювати (їх також може бути декілька або один, наприклад, витрата пари, реагенту і т. п.); збурюючі впливи – це параметри, зміна яких порушує нормальний хід технологічного процесу і спричиняє відхилення регульованих параметрів від заданого значення. Після того, як виділені основні параметри, що характеризують технологічний процес, необхідно виявити статичні зв'язки (статичні характеристики) між цими параметрами.



Рис. 3.1 Параметри технологічних процесів

Статичною характеристикою елемента системи (системи в цілому) називається залежність вихідної величини (досліджуваної змінної) від вхідного впливу в сталому режимі. Статична характеристика є математичною моделлю каналу впливу об'єкту для його функціонування в сталому режимі.

Для елемента системи (рис. 3.2), що має один вхід і один вихід (стан якого визначається лише однією координатою, що залежить від одного керуючого впливу), існує тільки одна статична характеристика, що являє собою залежність вихідної величини φ від вхідного впливу μ в сталому режимі: $\varphi = f(\mu)$.

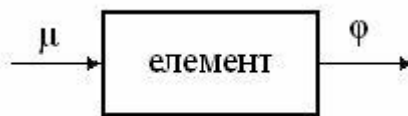


Рис. 3.2 Елемент системи

Статична характеристика може бути представлена алгебраїчним рівнянням, таблицею (таблична функція) або графіком. Статичні характеристики можуть бути лінійними або нелінійними. Якщо характеристика описується лінійним рівнянням і має вид прямої лінії див. рис. 3.3 (1) – вона лінійна.

Об'єкт (або елемент системи), що має таку характеристику, називають лінійним. Якщо характеристика описується нелінійним рівнянням і характеристика має криволінійний вигляд див. рис. 3.3 (2) або вигляд ламаної лінії див. рис. 3.3 (3), то вона нелінійна і об'єкт буде також нелінійним.

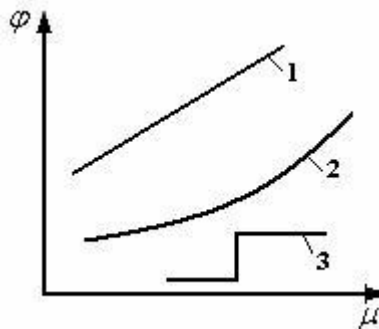


Рис. 3.3 Статичні характеристики

Якщо об'єкт має декілька входів, то він описується за допомогою сімейства або сімейств статичних характеристик. Об'єкт, що наведений на рис. 3.4, має два сімейства статичних характеристик (рис. 3.5).



Рис. 3.4 Об'єкт з двома входами

Перше сімейство характеристик – це криві залежності $x=F(f_1)$ для ряду фіксованих значень f_2 (f_{21}, f_{22}, f_{23}), а друге сімейство характеристик – це криві залежності $x=F(f_2)$ для ряду фіксованих значень f_1 (f_{11}, f_{12}, f_{13}).

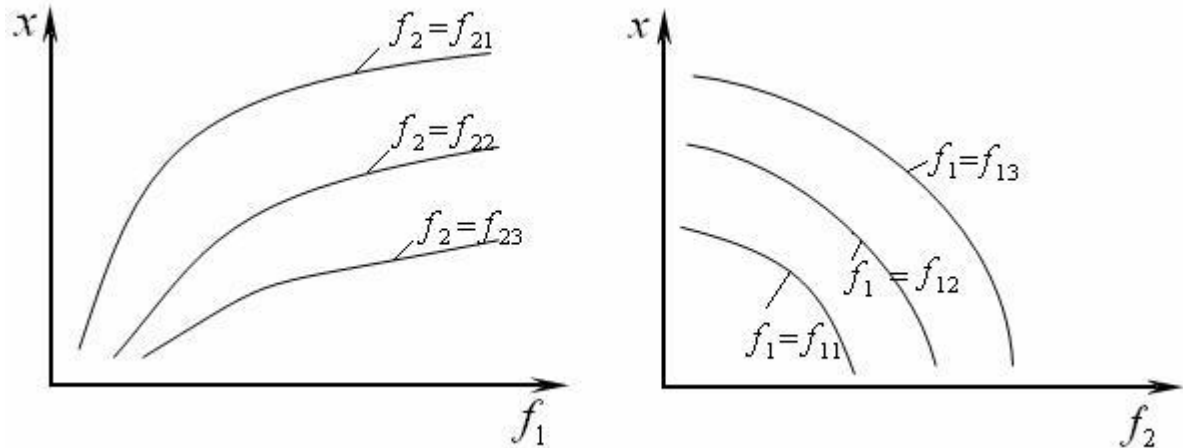


Рис. 3.5 Сімейства статичних характеристик багатомірного об'єкту

2 Лінеаризація статичних характеристик. Практично всі статичні характеристики реальних об'єктів і елементів систем регулювання нелінійні. Розрахунок систем регулювання з нелінійними статичними характеристиками є досить складним. У нелінійних об'єктів статична характеристика може носити суттєво нелінійний характер або мати несуттєву нелінійність.

Якщо характеристика має несуттєву нелінійність, то з математичної точки зору це означає, що графік статичної характеристики повинен мати гладку форму (наприклад, характеристика 2 на рис. 3.3). Тоді в обмеженому діапазоні зміни вхідної величини така характеристика може бути приблизно замінена (апроксимована) лінійною функцією. Наближена заміна нелінійної функції лінійною називається **лінеаризацією**.

Така процедура цілком правомірна, бо в процесі роботи об'єкту його вхідна величина міняється в невеликому діапазоні навколо базового значення і при цьому, відхилення вихідного параметру в реальних умовах роботи об'єктів повинні бути незначними. Якщо розглядати роботу елементів системи (чи системи в цілому) у деякому невеликому околі точки, прийнятої за базову, то в ряді випадків можна абстрагуватися від нелінійної статичної характеристики в околі зазначеної точки і нелінійну статичну характеристику замінити наближеною лінійною.

Не всі статичні характеристики піддаються лінеаризації. До характеристик, що не піддаються лінеаризації, відносять статичні характеристики, що мають суттєво нелінійний характер (рис. 3.6 – а), релейні статичні характеристики (рис. 3.6 – б, в), статичні характеристики, що мають зону нечутливості (рис. 3.6 – г, д), характеристики з гістерезисом – неоднозначні статичні характеристики (рис. 3.6 – е), і багато інших.

Основою для лінеаризації слугує припущення про достатньо невеликі відхилення всіх змінних, що входять в рівняння системи, і саме тоді на достатньо малій ділянці криволінійну характеристику можна замінити відрізком прямої.

Лінеаризацію можна виконувати в широкому діапазоні зміни вхідного параметра і в вузькому. При лінеаризації в широкому діапазоні є небезпека отримання неадекватної лінійної характеристики. Тому лінеаризувати в широкому діапазоні можна лише характеристики з несуттєвою нелінійністю, що дуже близькі до лінійних характеристик.

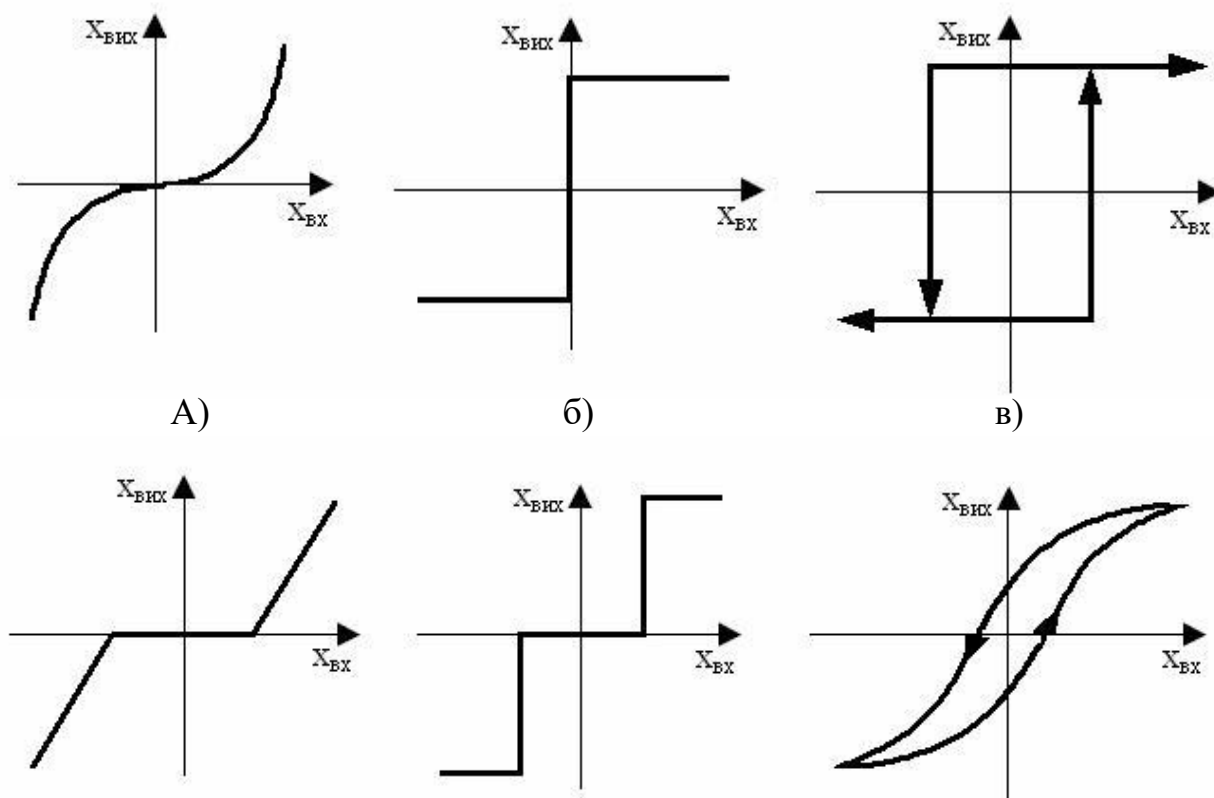


Рис. 3.6. Статичні характеристики нелінійних систем

Лінеаризація зазвичай здійснюється двома способами: графічним і аналітичним.

Якщо статична характеристика задана графічно, що найчастіше буває на практиці, то лінеаризація в точці $x_{вх0}$ полягає в заміні кривої лінії в околі даної точки дотичною до кривої в точці $x_{вх0}$. Якщо інтервал можливої зміни параметрів знаходиться в межах від $x_{вх1}$ до $x_{вх2}$, то дотичну необхідно проводити так, щоб величини $x_{вих1}$ і $x_{вих2}$ дорівнювали одна одній ($x_{вих1} = x_{вих2}$), як це показано на рис. 3.7. При цьому, точність лінеаризації буде визначатись величиною $x_{вих} = x_{вих1} = x_{вих2}$.

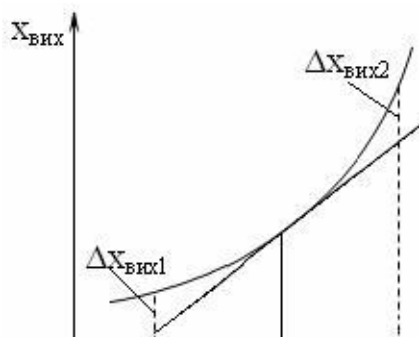


Рис. 3.7 Лінеаризація в точці

3 Динаміка. Динамічний режим характеризується залежністю в часі вихідної (керованої) величини під впливом вхідних (керуючих) дій у неусталеному режимі. Динамічні властивості АСК та їх складових частин (ланок) математично описуються диференціальними рівняннями. Порядок складання диференціальних рівнянь полягає в наступному:

- визначають вхідні та вихідні величини та діючі на них фактори;
- вибирають початок відліку;
- виявляють і використовують основні фізичні закони, що визначають зв'язок між вхідними та вихідними величинами.

Загальний вигляд диференціального рівняння системи:

$$a_0 x_{\text{вих}} + a_1 \frac{dx_{\text{вих}}}{dt} + \dots + a_n \frac{d^n x_{\text{вих}}}{dt^n} = b_0 x_{\text{вх}} + b_1 \frac{dx_{\text{вх}}}{dt} + \dots + b_n \frac{d^n x_{\text{вх}}}{dt^n}$$

Рівняння можуть бути лінійними та нелінійними.

Для спрощення їх розв'язку, застосовують методи операційного числення, суть якого полягає в переході від змінних величин у функції часу $x(t)$ до змінних у функції деякого комплексного аргументу $x(p)$. $x(t)$ називається оригіналом, а $x(p)$ – зображенням.

$$x(p) = \int_0^{\infty} x(t) e^{-pt} dt$$

Цю залежність називають *перетворенням Лапласа*. Перехід від зображення до оригіналу називають *зворотнім перетворенням Лапласа*. На практиці символ d/dt замінюють оператором p , а операцію інтегрування – $1/p$. Для спеціальних функцій перехід від $x(t) \rightarrow x(p)$ і навпаки здійснюється за допомогою таблиць. Тоді диференціальне рівняння прийме алгебраїчний вигляд:

$$y(t)(1 + a_1 p + \dots + a_n p^n) = x(t)(1 + b_1 p + \dots + b_n p^n).$$

Математична модель (рівняння) функціонального елемента називається *ланкою АСК*, тобто це така фізична або не фізична система $\varphi(x)$, яка перетворює вхідну величину $x(t)$, що змінюється в часі, в вихідну величину $y(t)$, що також змінюється в часі.

Передаточна функція. *Передаточною функцією називається відношення лапласового зображення вихідної величини до лапласового зображення вхідної величини при нульових початкових умовах:*

$$W(p) = \frac{Y(p)}{X(p)} = \frac{P(p)}{Q(p)},$$

де $Q(p)$ – характеристичний многочлен ланки, а рівняння $Q(p)=0$ – називається характеристичним рівнянням.

Корені рівняння $Q(p)=0$ називаються полюсами передаточної функції.

Корені рівняння $P(p)=0$ називаються нулями передаточної функції.

Лекція 4. Частотні характеристики. Типові структурні ланки. Типові вхідні впливи. Прямі показники якості САК.

План лекції:

1. Частотні характеристики САК

2. Типові структурні ланки та їх характеристики

3. Прямі показники якості

1. Частотні характеристики САК. Засадами для частотного методу є два твердження:

- будь-яка система автоматичного керування є фільтром.
- будь-який сигнал у лінійних системах можна розкласти у гармонійний ряд Фур'є.

Проходження гармонійного сигналу через лінійну неперервну систему – змушені коливання у САК.

Загальне диференціальне рівняння n -го порядку:

$$a_0 * \frac{d^n X_{\text{вих}}}{dt^n} + a_1 * \frac{d^{n-1} X_{\text{вих}}}{dt^{n-1}} + a_2 * \frac{d^{n-2} X_{\text{вих}}}{dt^{n-2}} + \dots + a_n * X_{\text{вих}} = \\ = b_0 * \frac{d^m f}{dt^m} + b_1 * \frac{d^{m-1} f}{dt^{m-1}} + b_2 * \frac{d^{m-2} f}{dt^{m-2}} + \dots + b_m * f$$

гармонійний сигнал, що впливає на систему.

$$f = f_0 \cos(\omega t)$$

При проході через лінійну неперервну систему гармонійного сигналу, ця система не змінює його гармонічну форму, а лише змінює амплітуду та фазу в залежності від частоти вхідного сигналу

$$X_{\text{вих}} = A(\omega) \cos(\omega t + \varphi)$$

Тоді передавальна функція перетворюється на вираз:

$$W(j\omega) = \frac{(b_0 * (j\omega)^m + b_1 * (j\omega)^{m-1} + b_2 * (j\omega)^{m-2} + \dots + b_m)}{(a_0 * (j\omega)^n + a_1 * (j\omega)^{n-1} + a_2 * (j\omega)^{n-2} + \dots + a_n)}$$

це рівняння має назву комплексної передаточної функції системи. Її можна отримати з диференційного рівняння системи при перетворенні його за Фур'є при нульових початкових умовах, а можна завдяки формальній заміні комплексного оператора « p » у передаточній функції на $(j\omega)$.

Комплексна передаточна функція у загальному виді може бути записана наступним чином:

$$W(j\omega) = \frac{e(\omega) + ja(\omega)}{e(\omega) + jq(\omega)},$$

або

$$W(j\omega) = P(\omega) + jQ(\omega) - \text{алгебраїчна форма представлення,}$$

$W(j\omega) = A(\omega) * e^{j*\varphi(\omega)}$ – показова форма представлення,

що може бути проілюстровано рис. 4.1 зображенням вектора комплексного коефіцієнта передачі та його проєкцій на вісі координат.

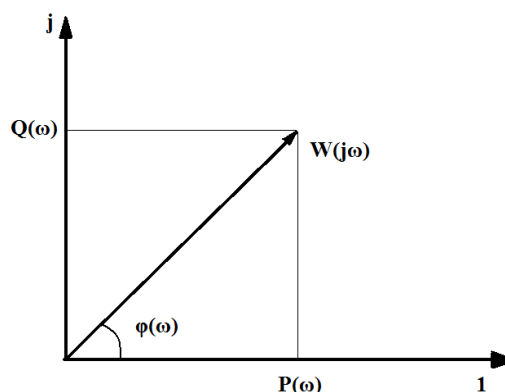


Рис.4.1

Відповідно отримуємо наступні вирази для залежностей параметрів від частоти:

1. Амплітудно частотна характеристика (АЧХ)

$$A(\omega) = \sqrt{P^2(\omega) + Q^2(\omega)}$$

2. Фазо частотна характеристика (ФЧХ)

$$\varphi(\omega) = \arctg \frac{Q(\omega)}{P(\omega)}$$

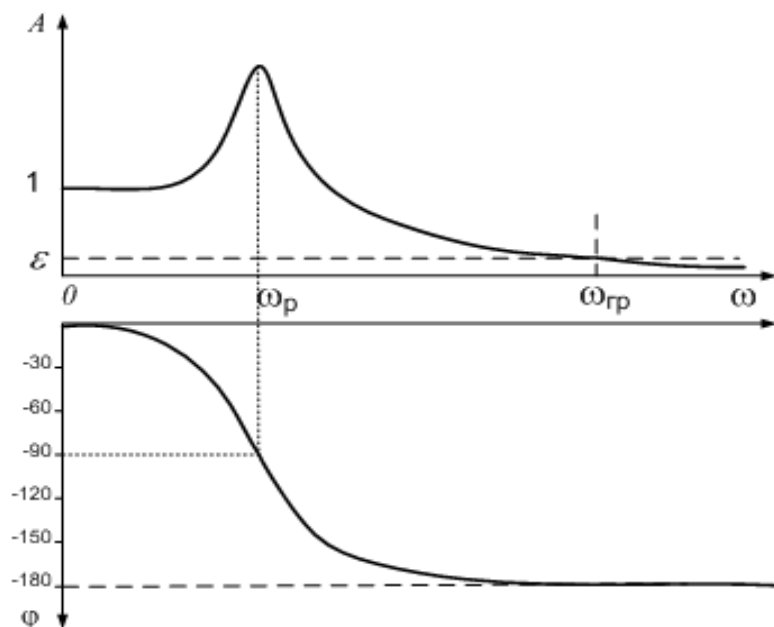


Рис 4.2. АЧХ та ФЧХ

3. Амплітудно фазова частотна характеристика (АФЧХ) – неявна функція частоти, яка зображується годографом комплексної передаточної функції, на комплексній площині, при зміні частоти від «0» до « ∞ » (рис. 4.3) .

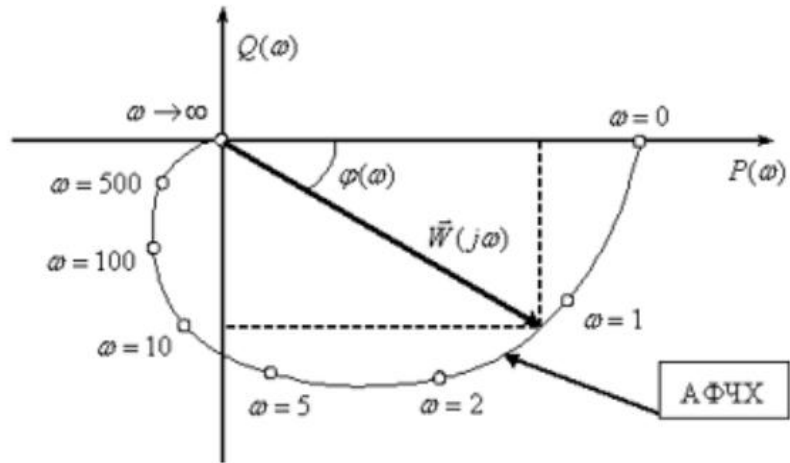


Рис 4.3. АФЧХ

4. ЛАЧХ – логарифмічна амплітудно частотна характеристика:

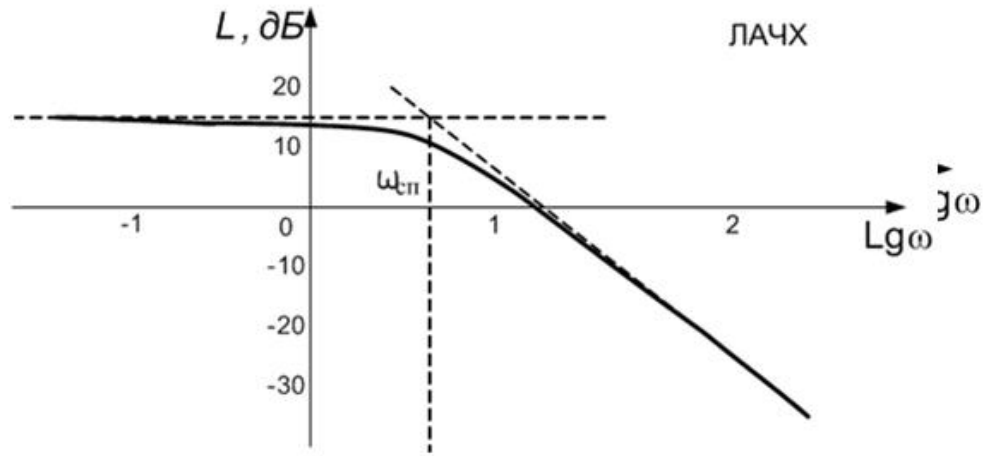


Рис 4.4. ЛАЧХ

5. ЛФЧХ – логарифмічна фазо частотна характеристика:

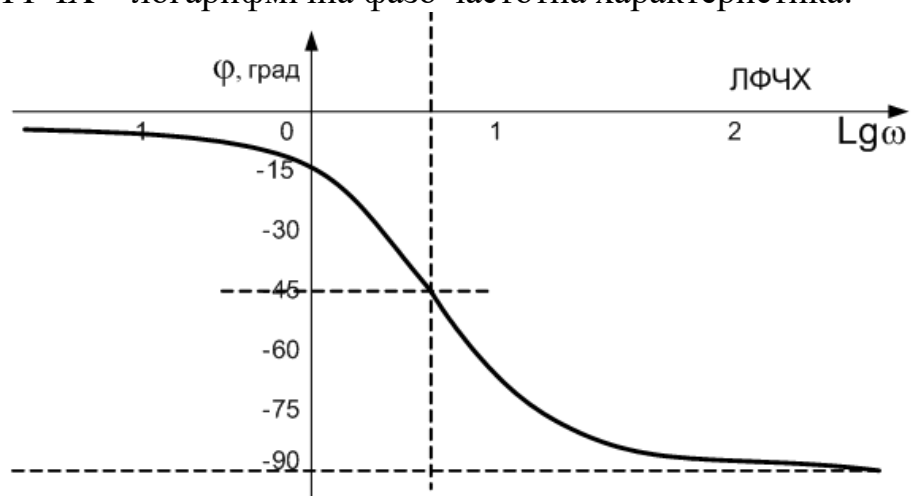


Рис 4.5 ЛФЧХ

Перехід до логарифмічного нерівномірного масштабу дозволяє розглядати частотні характеристики у широкому діапазоні частот. Якщо перехід на нерівномірний масштаб здійснювався на основі десятичного логарифму, то дві сусідні точки цього масштабу мають назву – *декада*. Якщо на основі двоїчного логарифму – *октава*.

Частотні характеристики при переході до логарифмічного масштабу перетворюються з криволінійних графіків до ділянок, які створюються прямими лініями (асимптотами) з фіксованими нахилами. У випадку переходу до масштабу десятичного логарифму одиницею нахилу вважається - 20 дБ/дек. Нахил позначається арабською цифрою в дужках і може бути також негативним:

(1) $\rightarrow + 20$ дБ/дек;

(-2) $\rightarrow - 40$ дБ/дек;

(3) $\rightarrow + 60$ дБ/дек.

За допомогою логарифмічно частотних характеристик можна чітко бачити чи дознаватись про фільтруючі здібності системи.

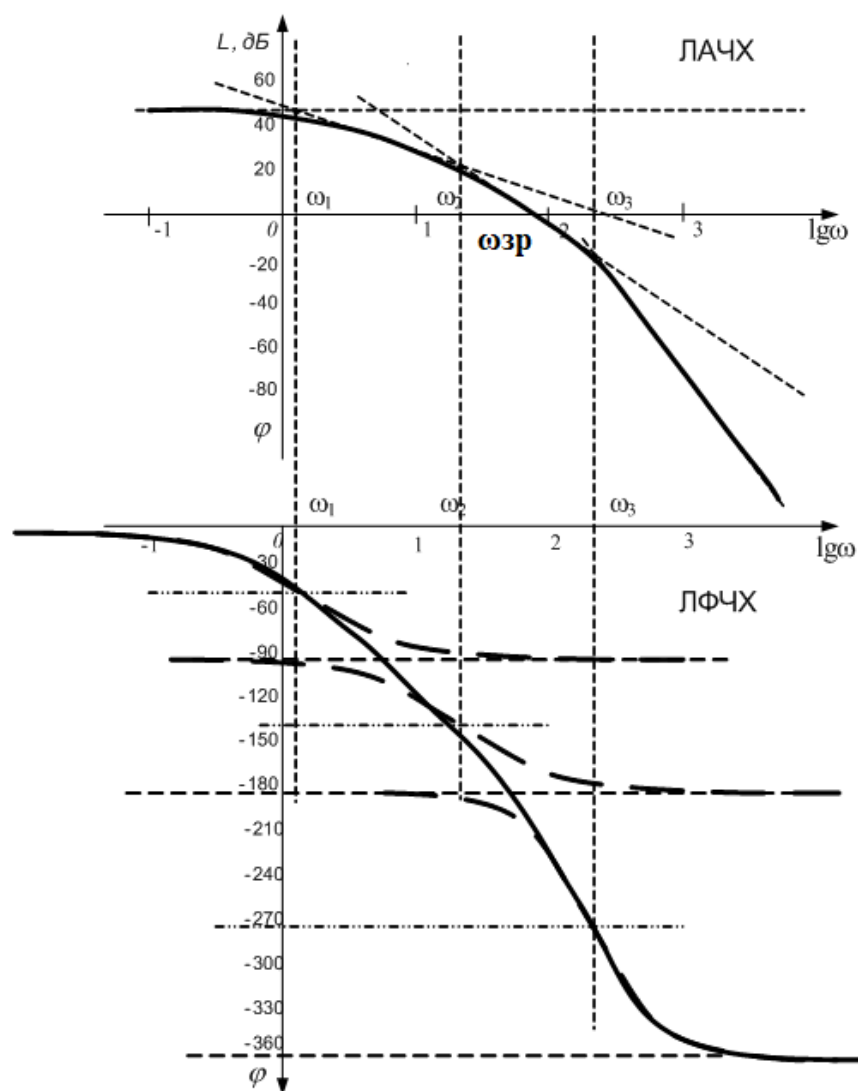


Рис 4.6.

Частоти ($\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_{зр}$ – спряжуючі частоти) – величини, обернені до сталих часу.

2. Типові структурні ланки та їх характеристики. Типові структурні ланки це елементарні динамічні структури, комбінацією яких можна створити яку завгодно складну динамічну структуру лінійної неперервної системи.

Часто буває так, що різні за своєю фізичною природою процеси описуються диференціальними рівняннями одного і того самого виду (під видом розуміється структура рівняння, тобто зовнішня форма запису рівнянь, а не величини коефіцієнтів). З цієї причини їх можна вважати однаковими динамічними (але не фізичними) елементами (блоками). Наприклад, предтавлені на рис. 4.7 об'єкти можуть мати однакові по формі диференціальні рівняння в їх математичній моделі.

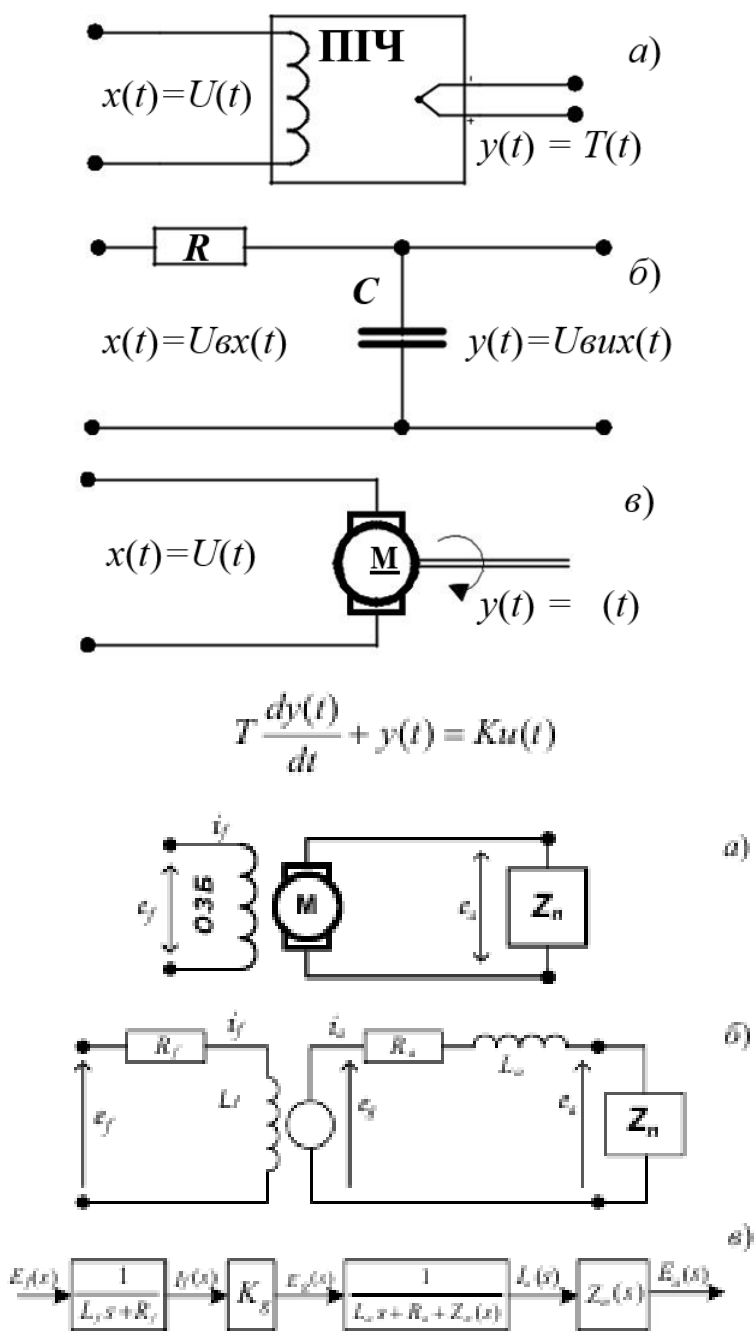


Рис. 4.7.

Відомо, що будь-який правильний дріб можна подати у вигляді добутку простих співмножників (дробів) із поліномами чисельнику та знаменнику не вище другого порядку. У такому разі для подання будь-якої передаточної функції можна використовувати обмежений набір елементів із математичним описом у вигляді виразів

$$k, s^{\nu}, \frac{1}{Ts+1}, \frac{1}{T^2s^2+2T\xi s+1}, \tau s+1, \tau^2 s^2+2\tau\xi s+1,$$

Таким чином, ми приходимо до розуміння можливості подання будь-якої складної динамічної системи у вигляді сукупності більш простих (елементарних) підсистем (ланок) із обмеженого набору, які певним чином можуть бути пов'язані між собою. *Такі найбільш прості підсистеми у складі будь-якої складної динамічної системи, передаточні функції яких мають вигляд простих дробів, називаються типовими (або елементарними) динамічними ланками.*

Необхідно звернути увагу на те, що у випадку, продемонстрованому в прикладі на рис. 4.7, кожній типовій ланці відповідає реальний фізичний елемент або процес. У загальному випадку це не є обов'язковою умовою, тобто розділ (або, кажуть, декомпозиція) складної динамічної системи на сукупність типових (елементарних) ланок може носити чисто умовний характер.

У зв'язку з цим, необхідно відзначити, що *при аналізі систем управління можуть виникати задачі двох видів:*

- *задача структурного аналізу*, тобто отримання передаточної функції системи з типових ланок, певним чином пов'язаних між собою;
- *задача декомпозиції*, тобто подання складної системи на підставі її передаточної функції у вигляді сукупності більш простих підсистем (елементів, ланок).

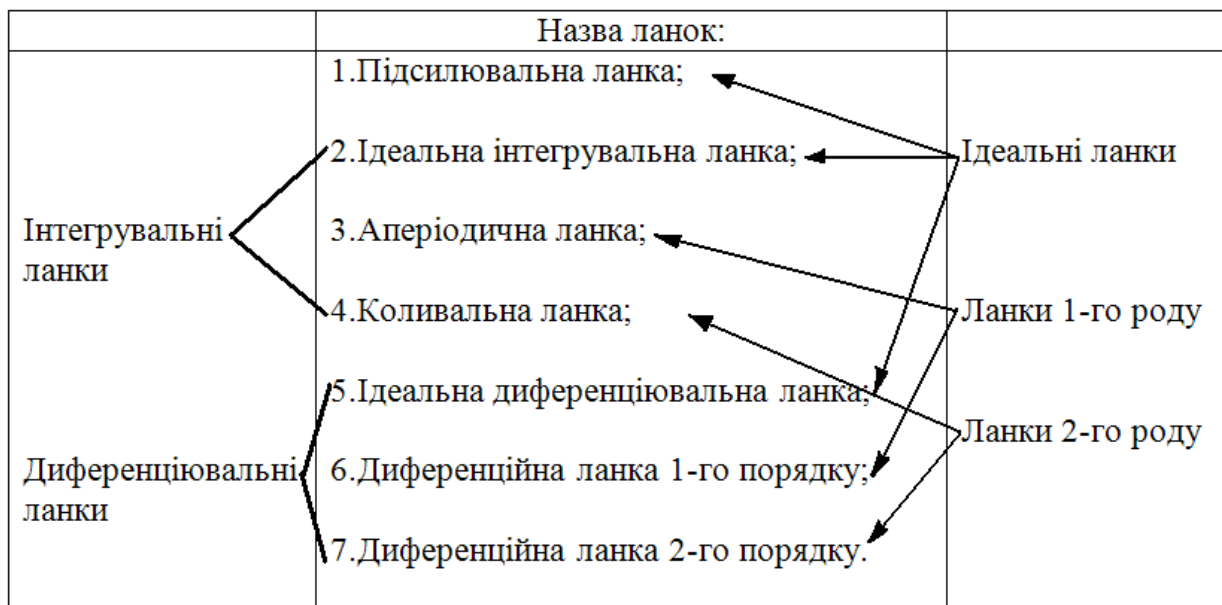


Рис. 4.8.

Відповідно до переліку (рис. 4.8) розрізняють такі типові ланки: підсилювальну, інтегруючу, реальну й ідеальну, таку, що диференціює, таку, що лише форсує та з інерційними властивостями, чистого запізнювання, аперіодичну першого і другого порядку, коливальну, які з урахуванням деяких загальних властивостей можна поділити на такі групи:

1. *Статичні ланки*, у яких статична характеристика відмінна від нуля. До них відносяться підсилювальні, аперіодичні, коливальні ланки, які (окрім підсилювальної ланки) є фільтрами низької частоти і вносять від'ємний фазовий зсув.

2. *Ланки, що диференціюють*, у яких статична характеристика дорівнює нулю. До них відносяться ідеальні і реальні ланки, що диференціюють. В їх передаточну функцію завжди входить співмножник s (у чисельнику), вони є фільтрами високої частоти і вносять додатний фазовий зсув.

3. *Астатичні ланки*, які не мають статичної характеристики. До них відносяться ланки з інтегруючими властивостями. В їх передаточну функцію завжди входить хоча б один співмножник виду $1/s$, вони є фільтрами низької частоти і вносять від'ємний фазовий зсув.

Крім вищеназваних, при побудові структурних схем складних систем управління використовуються також:

– *арифметичні ланки*, що здійснюють одну з арифметичних операцій: додавання, віднімання, множення або ділення та інше;

– *логічні ланки*, що здійснюють операції логічного додавання або множення та інше.

3. Прямі показники якості. Для оцінки ефективності функціонування САУ використовують показники якості систем керування. У теорії керування термін «якість системи», «якість управління» використовують у більше вузькому змісті: розглядають тільки статистичні й динамічні властивості системи. Ці властивості визначають точність підтримки керованої величини на заданому рівні в сталих і перехідних режимах. Кількісне вираження цих властивостей утворюють **показники якості управління**.

Точність системи в перехідних режимах оцінюють за допомогою прямих і непрямих показників якості.

Прямі показники якості визначають за графіком перехідного процесу, що виникає в системі при східчастому зовнішньому впливі. Непрямі показники якості визначають по частотних характеристиках системи або по розподілу коренів характеристичного рівняння. До особливої категорії показників якості відносять інтегральні оцінки, які обчислюють або безпосередньо по перехідній функції системи, або за коефіцієнтами передатної функції системи.

При самій загальній оцінці якості, насамперед, звертають увагу на форму перехідного процесу. Розрізняють наступні типові перехідні процеси: коливальний (1), аперіодичний з перерегулюванням (2), монотонний аперіодичний, (3).

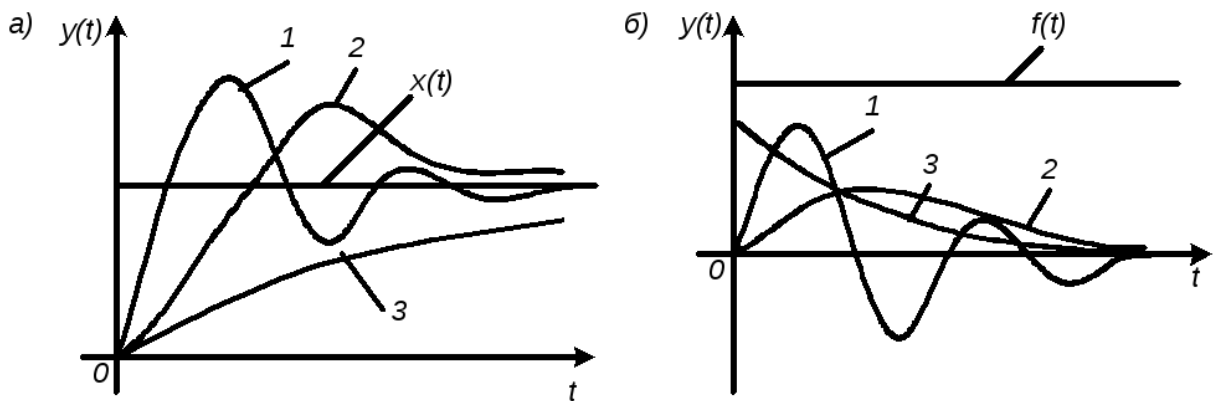


Рис. 4.9. Типові перехідні процеси (а – за завданням; б – за збурюванням)

Кожний з типових перехідних процесів має свої переваги й недоліки, і переваги тій або іншій формі процесу роблять із урахуванням особливостей керованого об'єкта.

На графіку перехідних процесів, викликаних східчастою зміною впливів, що задає $x(t)$ і що обурює $f(t)$, за початок відліку для вихідної величини $y(t)$ прийняте значення $y(0)$, що було до подачі східчастого впливу.

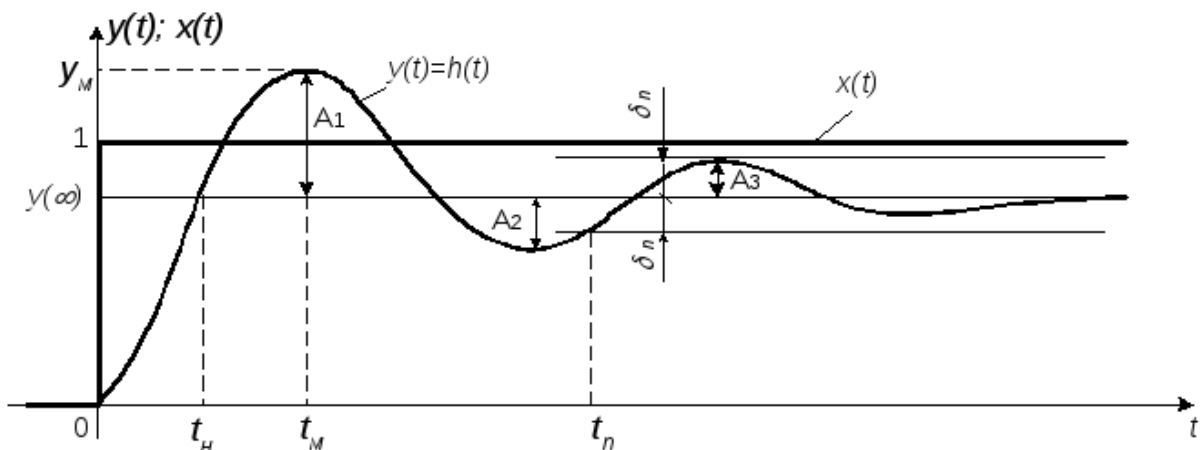


Рис. 4.10. Прямі показники якості

Перерегулювання σ - величина, рівна відношенню першого максимального відхилення y_M керованої величини $y(t)$ від її сталого значення $y(\infty)$ до цього сталого значення $y(\infty)$:

$$\sigma = \frac{y_M - y(\infty)}{y(\infty)} \cdot 100 = \frac{A_1}{y(\infty)} \cdot 100, \%$$

Якість управління вважається задовільною, якщо перерегулювання не перевищує 30...40%.

Для перехідних процесів, викликаних впливом, що обурює, $f(t)$ на вході ОУ, перерегулювання можна визначити як відношення першого негативного максимального відхилення A_2 до першого позитивного максимального відхилення A_1 :

$$\sigma = \frac{A_2}{A_1} \cdot 100 = \frac{A_2}{y_m - y(\infty)} \cdot 100, \%$$

Показник перерегулювання, що обчислюється по даній формулі для перехідних процесів по каналі збурювання, називають також **коливальністю**.

Необхідно відзначити, що й саме перше максимальне відхилення y_m , що виникає від збурювання на вході об'єкта, є показником якості. При формуванні вимог до системи вказують припустиме значення максимального відхилення (безпосередньо в одиницях виміру керованої величини).

Тривалість перехідного процесу (час регулювання) t_{π} – інтервал часу від моменту додатка східчастого впливу до моменту, після якого відхилення керованої величини $y(t)$ від її нового сталого значення $y(\infty)$ стають менше деякого заданого числа δ_p , тобто до моменту, після якого виконується умова $|y(t) - y(\infty)| \leq \delta_p$.

У промисловій автоматичній системі величину δ_p звичайно приймають рівною 5% від сталого значення $y(\infty)$: $\delta_p = 0,05y(\infty)$.

При оцінці тривалості перехідних процесів, викликаних одиничним впливом, $f(t)$ на вході об'єкта величину δ_p приймають 5% від значення передатного коефіцієнта об'єкта k_0 : $\delta_p = 0,05k_0$.

Коливальність N – число переходів керованої величини $y(t)$ через її сталі значення $y(\infty)$ за час перехідного процесу t_{π} .

При проектуванні систем найчастіше допускають $N = 1 \dots 2 \dots 2$, а іноді й до $3 \dots 4$, але в деяких випадках коливання в системі не припустимі.

Додаткові часові показники якості:

- Час наростання t_n ;
- Час досягнення першого максимуму t_m ;
- Період загасаючих коливань T_z .

Ці показники разом з t_{π} характеризують швидкодію системи регулювання.

Три головних показники якості – перерегулювання σ , перше максимальне відхилення y_m і тривалість перехідного процесу t_{π} – тісно зв'язані між собою.

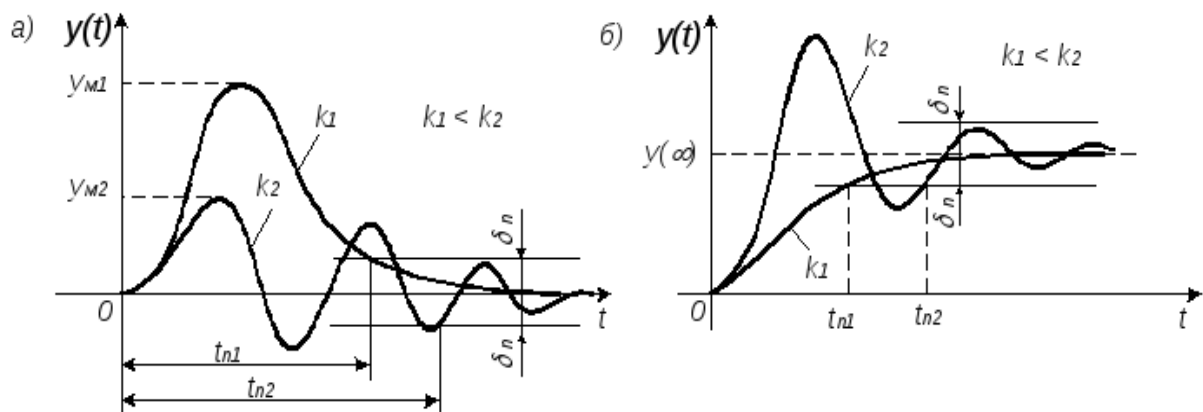


Рис 4.10.

Вони залежать від всіх параметрів системи, але найбільше сильно – від передатного коефіцієнта k розімкнутої системи. Причому, зі збільшенням цього коефіцієнта максимальне відхилення по каналі збурювання завжди зменшується, максимальне відхилення за каналом впливу, що задає, завжди збільшується а перерегулювання й тривалість перехідного процесу, як правило, збільшуються (див. рис. 4.10).

Відшукання оптимального компромісу між цими двома суперечливими тенденціями є одним з основних завдань синтезу САУ.

Лекція 5. Елементи структурних схем. З'єднання ланок. Перетворення структурних схем

План лекції:

1. З'єднання лінійних ланок
2. Структурні схеми та їх перетворення

1. З'єднання лінійних ланок. Реальні системи автоматичного регулювання є сукупністю з'єднаних елементарних ланок. Існує три типи з'єднань: *послідовне, паралельне та зустрічно-паралельно* (або *з'єднання з зворотним зв'язком*).

а) послідовне з'єднання ланок.

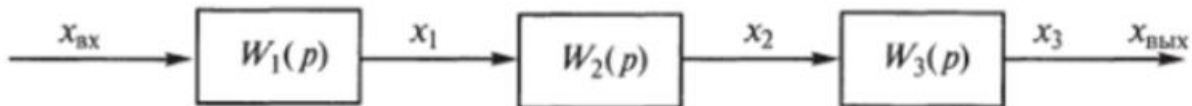


Рис. 5.1.

При такому з'єднанні вихідна величина попередньої ланки є вхідною величиною наступної:

$$y_n = \prod_{i=1}^n k_i x_i$$

де k_i – коефіцієнт передачі з'єднання ланок, тобто статична характеристика є лінія з кутом нахилу $\alpha = \arctg k$.

Передаточна функція при послідовному з'єднанні:

$$W(p)_n = \prod_{i=1}^n W_i(p)$$

Частотна передаточна функція:

$$W(j\omega)_n = e^{j \sum_{i=1}^n \varphi_i(\omega)} \prod_{i=1}^n A_i(\omega)$$

Звідси витікає, що загальна АЧХ знаходиться в результаті множення ($A(\omega) = \prod_{i=1}^n A_i(\omega)$), а ФЧХ – додавання $\varphi(\omega) = \sum_{i=1}^n \varphi_i(\omega)$.

б) *паралельне з'єднання ланок.*

При такому з'єднанні вхідна величина для всіх ланок одна, а їх вихідні величини додаються.

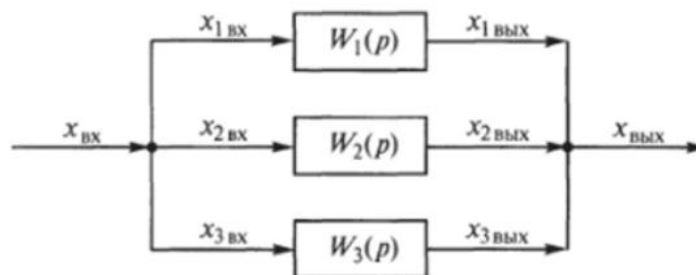


Рис. 5.2

Передаточна функція з'єднання:

$$W(p) = \sum_{i=1}^n W_i(p)$$

в) зустрічно-паралельне з'єднання ланок (зворотний зв'язок).

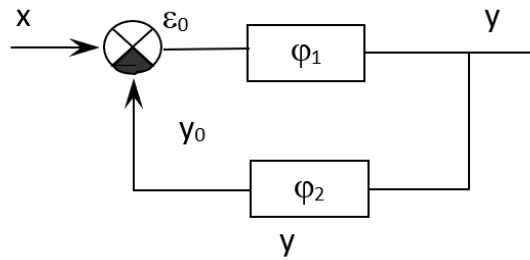


Рис. 5.3.

При такому з'єднанні вихідна величина одної ланки подається зворотно на його вхід через іншу ланку. В автоматичних пристроях застосовують, в основному, від'ємний зворотний зв'язок, при якому на вхід в прямому ланцюгу подається різниця від вхідної величини x та вихідної величини y_0 ланки зворотного зв'язку φ_2 .

В статичному режимі таке з'єднання описується рівняннями:

$$\begin{cases} y = \varphi_1 \varepsilon = \varphi_1 (x - y_0) \\ y = \varphi_2 y_0 \end{cases}$$

Звідки

$$y = \frac{\varphi_1}{1 \pm \varphi_1 \varphi_2} x$$

Передаточна функція ланки має вигляд:

$$W(p) = \frac{W_1(p)}{1 \pm W_1(p)W_2(p)}$$

(де знак „+” відноситься до від'ємного зворотного зв'язку).

Частотна передаточна функція:

$$W(j\omega) = \frac{W_1(j\omega)}{1 \pm W_1(j\omega)W_2(j\omega)}$$

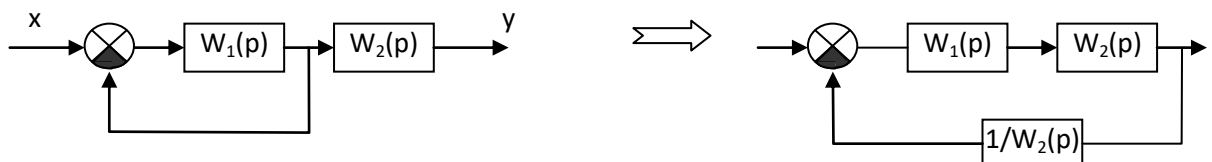
Для побудови АФЧХ таких ланок простих аналітичних виразів немає. Їх будують за спеціальними номограмами.

2. Структурні схеми та їх перетворення. Структурні схеми автоматичних систем регулювання або керування називаються такі схеми, в яких функціональні елементи подані типовими динамічними ланками. Вони використовуються для теоретичного дослідження автоматичних систем керування. Динамічні ланки подаються своїми передаточними функціями.

Найчастіше зустрічаються наступні перетворення схем:

1. Перенос вузла зла через ланку.

а) в напрямку розповсюдження дії:



$$W(p) = \frac{W_1(p)}{1 + W_1(p)} W_2(p)$$

Рис. 5.4.

б) проти напрямку розповсюдження дії:

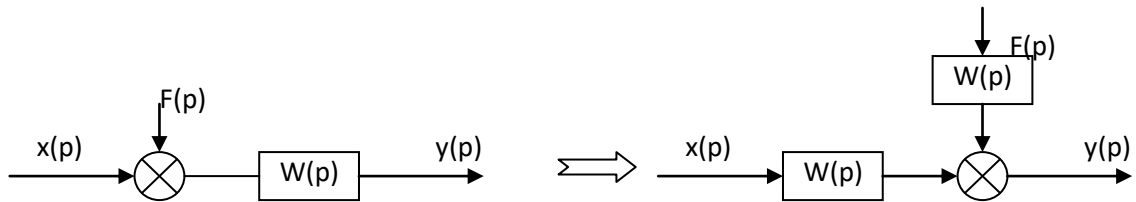


$$W(p) = \frac{W_1(p)W_2(p)}{1 + W_1(p)W_2(p)}$$

Рис.5.4

2. Перенос суматора через ланку:

а) в напрямку розповсюдження дії:

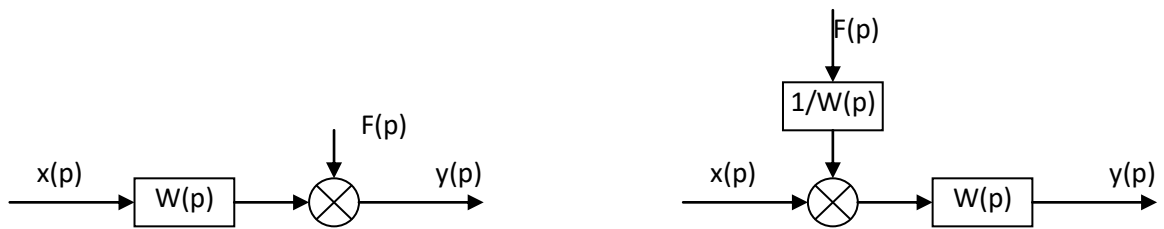


$$y(p) = [x(p) + F(p)]W(p)$$

$$\rightarrow y(p) = x(p)W(p) + F(p)W(p)$$

Рис. 5.5

б) проти напрямку розповсюдження дії:

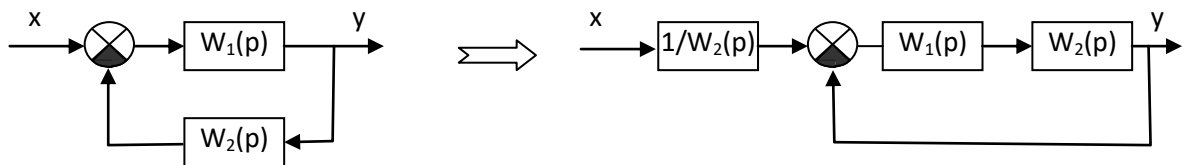


$$y(p) = x(p)W(p) + F(p)$$

$$\rightarrow y(p) = [x(p) + F(p)/W(p)]W(p)$$

Рис. 5.6

3. Заміна з'єднання з неодиначним зворотним зв'язком еквівалентним з'єднанням з одиничним зворотним зв'язком



$$W(p) = \frac{W_1(p)}{1 + W_1(p)W_2(p)}$$

$$\rightarrow W(p) = \frac{1}{W_2(p)} \cdot \frac{W_1(p)W_2(p)}{1 + W_1(p)W_2(p)}$$

Рис. 5.7

Лекція 6. Замкнені САК. Поняття про стійкість САК. Критерії стійкості.

План лекції:

1. Передаточні функції замкненої системи автоматичного керування
2. Стійкість систем автоматичного керування
3. Критерії стійкості лінійних систем

1. Передаточні функції замкненої системи автоматичного керування. Для інженерних розрахунків використовують передаточні функції розімкнутої системи та передаточні функції замкнутої системи відносно дії, що задає та збурює.

а) передаточна функція розімкнутої системи.

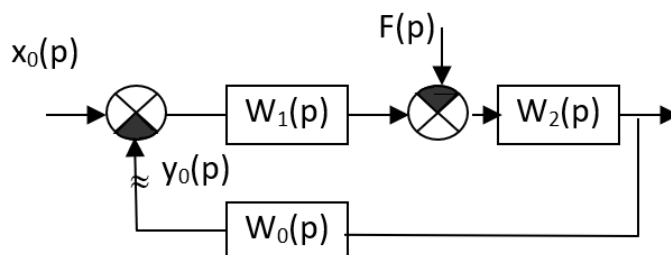


Рис.6.1

При розрахунках контур регулювання вважається розімкнутим до елемента порівняння (хвиляста лінія).

Передаточна функція в даному випадку:

$$W(p) = W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot W_0(p)$$

б) передаточна функція замкнутої системи відносно дії, що задає сигнал.

В цьому випадку зовнішні дії відсутні ($f(t)=0$). Тоді передаточна функція:

$$W_x(p) = \frac{W_1(p)W_2(p)}{1 + W_1(p)W_2(p)W_0(p)} = \frac{W_1(p)W_2(p)}{1 + W(p)}$$

в) передаточна функція замкнутої системи відносно дії, що збурює (тобто $x_0(t)=0$).

Тоді передаточна функція:

$$W_f(p) = \frac{W_1(p)}{1 + W_1(p)W_2(p)W_0(p)} = \frac{W_1(p)}{1 + W(p)}$$

показує вплив $f(t)$ на вихідну величину, що керується $y(t)$. За даним виразом можлива оцінка зниження точності регулювання: чим $W_f(p)$ наближається до нуля, тим менше вплив збурюючої дії.

2. Стійкість систем автоматичного керування. Практична придатність систем автоматичного управління визначається стійкістю і прийнятною якістю управління в умовах різних зовнішніх збурень, що можуть порушувати хід її нормальної роботи.

Правильно спроектована система повинна стійко працювати при всіх або, принаймні, досить великих зовнішніх збуреннях, тому при дослідженні системи

управління, насамперед, з'ясовують її стійкість, як мінімум «так чи ні», а в кращому випадку визначають запас стійкості. При цьому часто виникає окрема задача визначення областей стійкості, тобто тих значень параметрів системи (найчастіше параметрів регулятора), при яких вона буде безумовно стійкою.

У найпростішому випадку поняття **стійкості системи** пов'язане з її здатністю з певною точністю повертатися у початковий стан після припинення зовнішнього впливу.

Як правило при цьому мають на увазі, що система піддається управлінню (керована), тобто вона буде завжди передбачуваним чином реагувати на вхідний вплив. Якщо **система нестійка**, вона ніколи не повертається до стану рівноваги, з якої з якихось причин вийшла. Прикладом нестійкої фізичної системи може бути автомобіль, що рухається по слизькій дорозі.

Щодо стійкості розрізняють три типи систем:

- *стійкі* – це системи, які завжди після зняття збурення повертаються в початковий стан рівноваги;
- *нейтральні* – це системи, які після зняття збурення повертаються в стан рівноваги, який відрізняється від початкового стану рівноваги;
- *нестійкі* – це системи, у яких після зняття збурення не встановлюється новий стан рівноваги.

Подібна класифікація систем добре ілюструється прикладом механічної системи «куля – поверхня» (рис. 6.2).

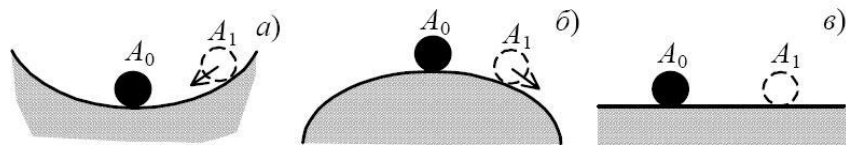


Рис. 6.2 Ілюстрація поняття стійкості системи:

а) стійка ; б) нестійка; в) нейтральна

Тут положення рівноваги кулі характеризується точкою **A0**. При відхиленні в положення **A1** у випадку *а*) куля безумовно намагається повернутися в початковий стан; у випадку *б*) не повертається в початковий стан ніколи і у випадку *в*) стан кулі байдужий.

Більш складний випадок стану рівноваги ілюструє рис. 6.3, на якому у випадку *а*) тип системи визначається величиною початкового відхилення, а у випадку *б*) – напрямом відхилення.

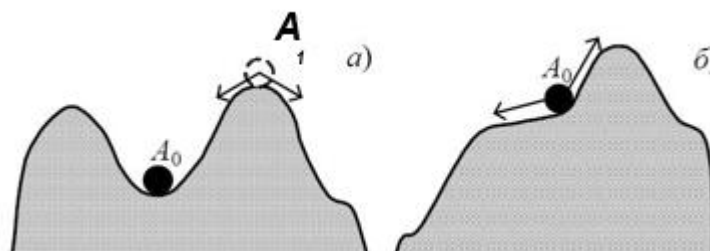


Рис 6.3. Напівстійкий стан рівноваги

Подібні стани рівноваги носять назву напівстійких і характерні для нелінійних систем. У зв'язку з цим для нелінійних систем *вводяться такі поняття*, пов'язані зі стійкістю:

- система стійка «в малому», коли лише констатується факт наявності стійкості (рис. 6.2 а), але межі області стійкості не визначені;
- система стійка «в великому», коли межі стійкості визначені (рис. 6.2 а), тобто відомі величини початкових відхилень, за яких система повертається в початковий стан;
- система стійка «в цілому», коли вона повертається у вихідний стан при будь-яких початкових відхиленнях (рис. 6.1 а). Для деяких класів систем стійкість «у цілому» називається *абсолютною стійкістю*.

3. Критерії стійкості лінійних систем. Основним недоліком використання загальної математичної умови стійкості (за Ляпуновим) є необхідність визначення всіх коренів (точніше сказати, їх знаків) характеристичного рівняння досліджуваної системи.

У разі нескладного виразу або при наявності сучасних засобів обчислювальної техніки це, в цілому, нескладне завдання. Разом із тим на практиці можуть виникати випадки (до деяких часів це було основною причиною), коли можливість використання ЕОМ відсутня чи немає математичного опису системи, а є лише результати експериментальних досліджень.

Для таких випадків були розроблені численні методи, які дозволяють відносно простими способами із мінімальною кількістю і складністю розрахунків, встановлювати факт стійкості системи, а в деяких випадках навіть з'ясувати, як впливають на стійкість ті чи інші параметри системи, не вдаючись до обчислення коренів. Такі методи одержали назву *критеріїв стійкості*.

Необхідно відзначити, що історія становлення критеріїв стійкості бере свій початок ще в 18 столітті і пов'язана не з теорією автоматичного управління, а з математикою, а точніше з питаннями дослідження стійкості розв'язків лінійних диференціальних рівнянь.

Залежно від того, за якими характеристиками здійснюється оцінка стійкості, всі критерії стійкості поділяються на дві групи:

- *алгебраїчні*, базовані на аналізі характеристичного рівняння досліджуваної системи;
- *частотні*, які дозволяють дати оцінку стійкості системи за виглядом частотних характеристик.

З математичної точки зору всі критерії є еквівалентними. Вибір і використання якогось з них – це питання доцільності в конкретних умовах.

Критерій стійкості Гурвіца (швейц. математик, 1895 р.).

Критерій базований на аналізі визначників, складених певним чином із коефіцієнтів характеристичного рівняння системи.

Спочатку будується головний визначник Гурвіца за таким правилом (рис. 6.4):

1) по головній діагоналі зліва направо виставляються всі коефіцієнти характеристичного рівняння, починаючи з a_1 по a_n (важливо: не з a_0 , а з a_1 !);

$$\Delta_n = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 & - & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 & - & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 & - & 0 \\ - & - & - & - & - \\ 0 & 0 & 0 & - & a_n \end{vmatrix}$$

Рис. 6.4. Матриця Гурвіца

2) від кожного елемента діагоналі вгору і вниз добудовуються стовпці визначника так, щоб індекси зменшувалися зверху вниз;

3) на місце коефіцієнтів з індексами менше нуля або більше n ставляться нулі.

Виділяючи в головному визначнику діагональні мінори, одержуємо визначники Гурвіца нижчих порядків (рис. 6.5):

$$\Delta_1 = a_1; \quad \Delta_2 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ a_0 & a_2 \end{vmatrix}; \quad \Delta_3 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 \\ a_0 & a_2 & a_4 \\ 0 & a_1 & a_3 \end{vmatrix}.$$

Рис. 6.5.

Число визначників Гурвіца дорівнює порядку характеристичного рівняння n , а номер визначається старшим коефіцієнтом на діагоналі.

Критерій формулюється так: щоб система була стійкою, необхідно і достатньо, щоб всі визначники Гурвіца мали знак, що збігається зі знаком першого коефіцієнта характеристичного рівняння, тобто щоб при $a_0 > 0$ вони всі були додатні

$$\Delta_1 > 0; \Delta_2 > 0; \Delta_3 > 0; \dots, \Delta_n > 0.$$

Якщо всі визначники більше нуля, а $a_n \neq 0$, то система знаходиться на межі стійкості (якщо $a_n = 0$ – аперіодична межа стійкості; $a_{n-1} = 0$ – коливальна межа стійкості).

Критерій Гурвіца застосовують при порядку $n < 5$. При великих порядках зростає число визначників, і процес розрахунків стає трудомістким. *Недолік критерію Гурвіца* – мала наочність; *перевага* – зручність для реалізації на ЕОМ і можливість одержання аналітичних виразів для визначників, що дозволяє використовувати критерій для дослідження впливу параметрів системи на стійкість.

Лекція 7. Коректуючі пристрої. Поняття про ПІД регулятори

План лекції:

1. Аналіз і синтез САР

2. Коректуючі пристрої.

3. ПІД-регулятор – принцип роботи

1. Аналіз і синтез САР. Якщо при аналізі системи автоматичного регулювання (САР) виявилось, що вона не задовольняє умови заданої якості процесу регулювання, тоді потрібно провести її синтез, який передбачає введення додаткових коректуючих пристроїв.

Для синтезу лінійної системи характерні два варіанти постановки задачі, оскільки її структура вже задана:

- перший варіант передбачає лише вибір деяких параметрів (передаточного коефіцієнта розімкнутої системи і постійних часу коректуючих пристроїв);

- другий варіант, крім вибору частини параметрів, передбачає уточнення структури: вибір місцевих зворотних зв'язків, а також елементів, що забезпечують астатизм, і коректуючих пристроїв.

Найчастіше задача зводиться до вибору структури і параметрів коректуючого пристрою, тобто до синтезу коректуючого пристрою. Для того, щоб отримати високі показники якості процесу регулювання, потрібно раціонально вибрати схему і параметри коректуючих пристроїв.

Дотепер розроблено ряд методів вибору і розрахунку коректуючих пристроїв: частотний метод, методи кореневого годографа, стандартних передаточних функцій і нормованих перехідних характеристик та ін. Подальше вдосконалення методів синтезу САР у значній мірі пов'язано з використанням сучасної обчислювальної техніки – персональних комп'ютерів (ПК).

При використанні ПК основні елементи (об'єкт регулювання і регулятор) можна розглядати без спрощення рівнянь, які їх описують, аналізувати дію великої кількості параметрів системи на її властивості, відшукувати і оцінювати багато варіантів рішень.

Вимоги, що ставляться до поведінки САР, поділяють на такі категорії: вимоги до точності регулювання в ustalених режимах при різних зовнішніх діях (постійні – змінюються з постійною швидкістю і прискоренням), вимоги до запасу стійкості і поведінки системи в перехідних режимах (при одиничному ступінчатому сигналі).

2. Корегуючі пристрої (КП) – це пристрої, які вводять в САР для поліпшення якості управління, для зміни (корекції) її характеристик. До корегуючих пристроїв, призначених для поліпшення динамічних властивостей САР, відносяться елементи, що характеризуються передаточними функціями диференціюючих ланок.

Вибір і розрахунок систем корекції складає головний зміст *динамічного розрахунку САР*. Він здійснюється методом аналізу або синтезу. Вибір КП методом аналізу зводиться до послідовного поліпшення динамічних властивостей системи. Вибір КП методом синтезу здійснюється безпосередньо

з умов отримання необхідного перехідного процесу. На практиці методи аналізу і синтезу органічно доповнюють один одного.

Введення в закон управління сигналів, пропорційних похідним, дозволяє забезпечити необхідні якості САР (потрібні швидкодія і запаси стійкості) як в перехідному (динамічному), так і в сталому режимі, а також додати системі стабілізуючі властивості.

Корегуючі пристрої в колі одноконтурної САР можуть бути включені *послідовно* або *паралельно*.

При введенні *послідовних корегуючих* кіл в САР необхідно оцінювати їх позитивні і негативні сторони. Введення таких кіл є зручним, зважаючи на простоту і наочність формування управляючих дій, а, отже, порівняльної простоти їх вибору і розрахунку. Це пояснюється тим, що послідовні корегуючі кола вводяться в прямий тракт підсилення і перетворення управляючого сигналу і там, де це виявляється можливим за умовами фільтрації сигналу від перешкод, вони з успіхом виконують своє завдання.

Паралельні корегуючі кола застосовують тоді, коли потрібно здійснити складний закон управління з введенням похідних і інтегралів від сигналу помилки. Паралельне включення інтегруючих і диференціюючих корегуючих кіл дозволяє підвищити точність роботи каналу управління без значного зниження його запасу стійкості.

Для введення в закон управління сигналів, пропорційних похідним та інтегралам, застосовують різні за конструктивним виконанням і фізичними основами пристрої. Корегуючі пристрої, діляться на *активні* і *пасивні*. До активних відносяться диференціюючі та інтегруючі гіроскопи, гіротахоакселерометри, операційні підсилювачі, тахогенератори, сервомотори, до пасивних – різного роду пасивні чотириполюсники, звані в теорії керування корегуючими колами.

Пристрої пасивного типу не містять джерел енергії, потужність вихідного сигналу у них менша, ніж потужність вхідного. У САР найбільш широке застосування отримали корегуючі пристрої у вигляді пасивних кіл, що складаються з різних з'єднань активних опорів R , ємностей C , індуктивностей L (кіл RC або RL).

Пасивними корегуючими колами є чотириполюсники, вихідна напруга яких з певною точністю пропорційна похідній (похідним) або інтегралу від вхідної напруги. Пасивні корегуючі кола можуть працювати на постійному і змінному струмі. Це важливо, оскільки рід струму істотним чином впливає на точність роботи, технічну реалізацію пристроїв, на вигляд характеристик.

2. ПД регулятор - принцип роботи. Робота ПД-регулятора полягає в подачі вихідного сигналу про силу потужності, необхідної для підтримки регульованого параметра на заданому рівні. Для обчислення показника використовують складну математичну формулу, в складі якої є 3 коефіцієнта - пропорційний, інтегральний, диференціальний.

Візьмемо в якості об'єкта регулювання ємність з водою, в якій необхідно підтримувати температуру на заданому рівні за допомогою регулювання ступеня відкриття клапана з парою.

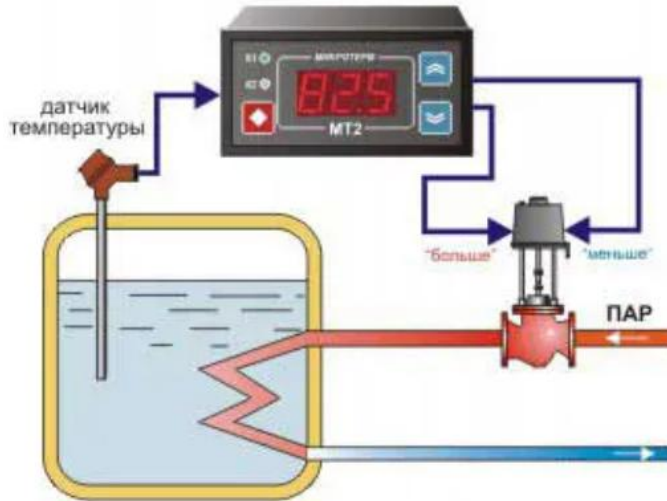


Рис. 7.1.

Пропорційна складова з'являється в момент неузгодженості з вступними даними. Простими словами це звучить так - береться різниця між фактичною температурою і бажаної, множиться на настроюється коефіцієнт і виходить вихідний сигнал, який повинен подаватися на клапан. Тобто як тільки градуси впали, запускається процес нагріву, піднялися вище бажаної позначки - відбувається вимикання або навіть охолодження.

Далі вступає інтегральна складова, яка призначена для того, щоб компенсувати вплив навколишнього середовища або інших впливів, що обурюють на підтримку нашої температури на заданому рівні. Оскільки завжди присутні додаткові чинники, що впливають на керовані прилади, в момент надходження даних для обчислення пропорційною складовою, цифра вже змінюється. І чим більше зовнішній вплив, тим сильніше відбуваються коливання показника. Відбуваються скачки подається потужності.

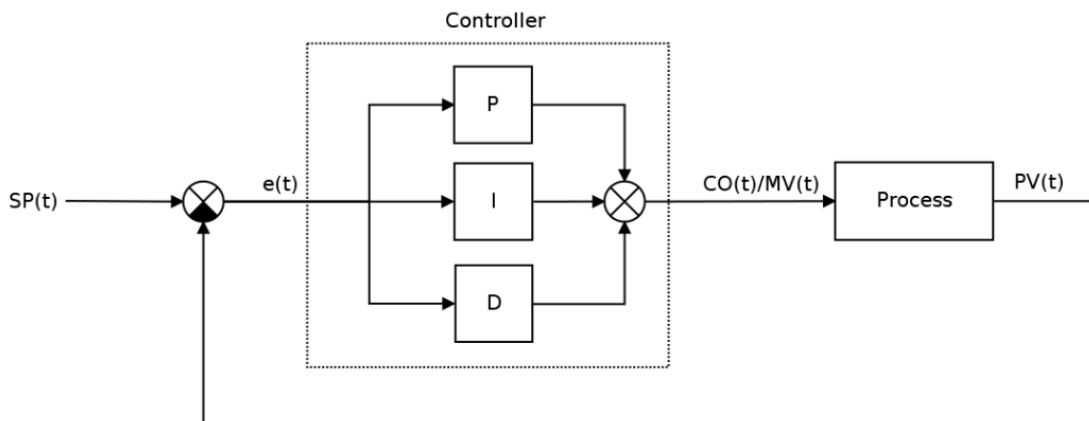


Рис. 7.2

Інтегральна складова намагається на основі минулих значень температури, повернути її значення, якщо воно змінилося. Інтеграл використовується для виключення помилок шляхом розрахунку статичної

похибки. Головне в цьому процесі - підібрати правильний коефіцієнт, інакше помилка (неузгодженість) буде впливати і на інтегральну складову.

Третій компонент ПД - диференціює. Він призначений для компенсації впливу затримок, що виникають між впливом на систему і зворотною реакцією. Пропорційний регулятор подає потужність до тих пір, поки температура не досягне потрібної позначки, але при проходженні інформації до приладу, особливо при великих значеннях, помилки завжди виникають. Це може привести до перегріву. Диференціал прогнозує відхилення, викликані затримками або впливом зовнішнього середовища, і знижує подається потужність заздалегідь.

Лекція 8. Основи синтезу коректуючих пристроїв. Метод кореневого годографу Метод бажаної ЛАЧХ.

План лекції:

- 1. Синтез систем автоматичного керування**
- 2. Метод кореневого годографу**
- 3. Синтез систем методом прямих логарифмічних характеристик**

1. Синтез систем автоматичного керування. Синтез САК – визначення і реалізація бажаних динамічних характеристик систем автоматичного керування згідно з вибраним критерієм оптимальності.

При визначенні бажаних характеристик САК (передавальною і імпульсною перехідною функцій або частотних характеристик) разом з урахуванням критерію оптимізації (швидкодія, інтегральний квадратичний критерій, тощо) або заданих показників якості (стала помилка, перерегулювання, час перехідного процесу) і апріорних відомостей про завдавальну і збурювальну дії, повинні братися до уваги обмеження, що накладаються властивостями об'єкта або незмінної частини системи (обмежена потужність, допустимі перевантаження тощо), умовами фізичної здійсненності й грубості.

Етапи синтезу:

На першому етапі синтезу систем автоматичного керування визначаються оптимальні характеристики системи з урахуванням обмежень. Ці характеристики зазвичай не можуть бути точно реалізовані, тому їх слід розглядати як ту межу, до якої слід прагнути.

Другий етап синтезу полягає в раціональній апроксимації оптимальних характеристик бажаними, такими, що забезпечують простоту і надійність реалізації і в той же час достатню близькість до умов оптимальності. Іноді завдання синтезу звужується і при заданій системі, що складається з функціонально необхідних елементів, що реалізують той або інший спосіб управління, зводиться до визначення корегувальних пристроїв. Приватним завданням синтезу є визначення параметрів системи при заданій її структурній схемі.

Завершальним етапом синтезу є аналіз отриманої САК для перевірки розрахунковим або експериментальним шляхом (наприклад, за допомогою електронної моделі), чи задовольняє система пред'явленим вимогам.

Методи синтезу регуляторів:

1. Класична схема;
2. ПД – регулятори;
3. Метод розміщення полюсів;
4. Метод ЛЧХ;
5. Комбіноване керування;
6. Безліч стабілізуючих регуляторів.
7. Метод кореневого годографа

Під час проектування систем керування необхідно враховувати як неідеальність характеристик об'єкта керування, наприклад, нелінійність кривої намагнічування, насичення магнітних матеріалів, втрат на поверхневий ефект, перемагнічування магнітопроводів і комутацію обмоток двигуна, так і потребу забезпечення стійкості системи до дії різноманітних неінформативних збурень. Інерційність, з одного боку, покращує динамічні властивості об'єкта, підвищуючи стійкість до збурень, а з іншого боку, зменшує швидкодію системи через запізнену реакцію на вхідні інформативні сигнали. Контролери покликані відкоригувати реальну динамічну характеристику об'єкта до бажаної. Під час синтезування контролерів з використанням лінійної теорії автоматичного керування застосовують методи кореневого годографа та частотних характеристик.

2. Метод кореневого годографу проілюструємо на прикладі використання програмного пакету Matlab для синтезу САК.

Нехай необхідно досліджувати САУ з передатної функція розімкнутої системи

$$W(s) = \frac{(0.2s + 1)}{s(0.1s + 1)(0.04s^2 + 2 \cdot 0.2 \cdot 0.3s + 1)}$$

Наступні команди створюють ZPK-об'єкт, знаходять полюси і нулі розімкнутої системи:

```
>> s = zpk('s'); W = (0.2*s+1)/(s*(0.1*s+1)*(0.2^2*s^2+2*0.2*0.3*s+1))

Zero/pole/gain:
      50 (s+5)
-----
s (s+10) (s^2 + 3s + 25)

>> pole(W)

ans =

      0
 -10.0000
 -1.5000 + 4.7697i
 -1.5000 - 4.7697i
```

Рис. 8.1.

Запустимо SISO-Design Tool, настроїмо параметри й імпортуємо ZPK-об'єкт із робочого простору MATLAB (рис. 8.1) для проведення подальшого синтезу.

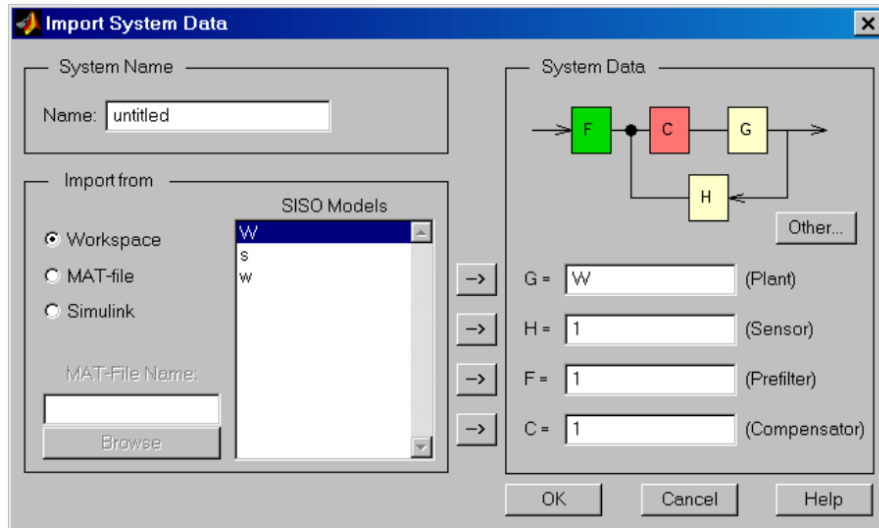


Рис 8.2

У вікні Root Locus Editor інтерфейсу SISO-Design Tool будеться кореневий годограф

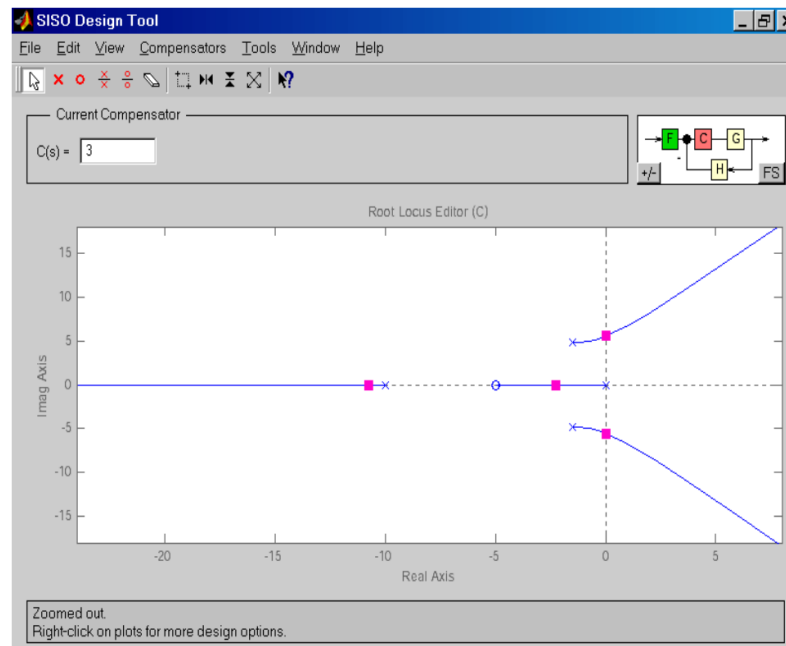


Рис 8.3

Зручність використання Matlab полягає в інтерактивності процесу синтезу. Захопивши “мишею”, пересувати червоним курсором по кореневому годографі до перетинання віток із мнімою віссю, визначаємо значення $K_{кр}$ (рис. 8.3). Пересування курсору відбувається також при введенні значення коефіцієнта підсилення C у відповідне поле введення у верхній частині GUI інтерфейсу.

Для розглянутого випадку $K_{кр} \approx 3$. Значення $\omega_{кр}$ відповідає мнимій координаті перетинання КГ мнімої осі. Переглянути це значення можна в нижній частині інтерфейсу або вибравши меню пункт “View/Closed-Loop Poles”

Задаємо значення $0.5K_{кр}$ і $0.25K_{кр}$ і визначимо значення полюсів. Наприклад, для значення $0.5K_{кр}$ побудуємо вид перехідної функції замкнутої

системи. Для цього необхідно вибрати в меню пункт “Tools/Loop Responses/Closed-Loop Step”. Результат побудови перехідної функції представлений на рис. 8.4.

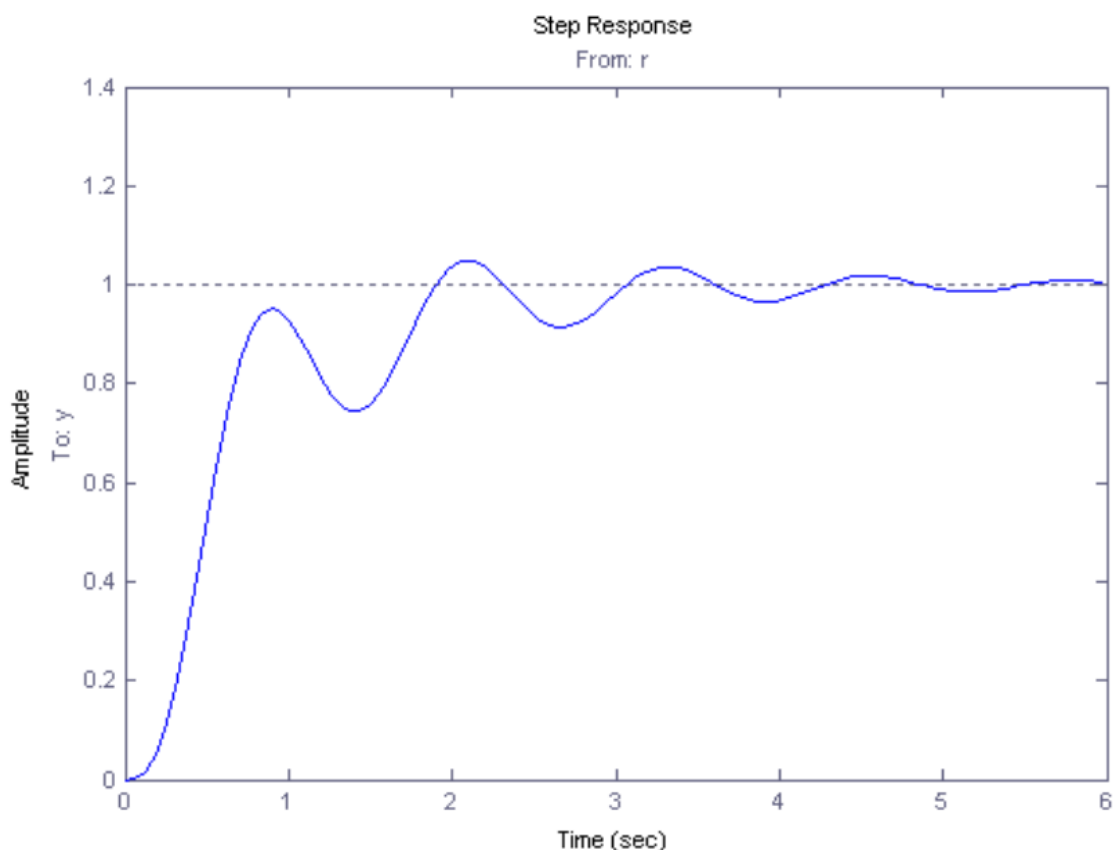


Рис 8.4.

Видно, що система стійка. Змінюючи значення C можна побачити відповідну зміну перехідної функції або інших характеристик системи у динаміці. При зміні C відбувається автоматичне відновлення обраних характеристик замкнутої системи.

3. Синтез систем методом прямих логарифмічних характеристик. Відповідно до класифікації САР можна підрозділити на три типи систем: стабілізуючі, програмні й слідкуючі. З них у цей час в різних галузях транспорту й виробництва все більше застосування знаходять різноманітні як по призначенню, так і по устрою *слідкуючі* системи.

Незважаючи на те, що ці системи перебувають у різних експлуатаційних умовах і до них пред'являються різні тактико-технічні вимоги, які повинні певним чином ураховуватися при проектуванні кожної з них, методи їхнього синтезу залишаються в основному загальними.

Спільність методів синтезу пояснюється спільністю структури й принципів побудови. Характерна риса структурних схем слідкуючих систем, полягає в тому, що вони містять ряд паралельних ланцюгів зворотних зв'язків, що охоплюють ту саму послідовність ланок.

Тому для синтезу таких систем часто використовують метод зворотних логарифмічних частотних характеристик (ЗЛЧХ).

Поряд з методом реалізації зворотної бажаної ЛАЧХ, одним з найпоширеніших частотних методів синтезу коригувальних пристроїв є метод прямих логарифмічних частотних характеристик.

Він проводиться в такий спосіб. Будується бажана логарифмічна амплітудна частотна характеристика, виходячи з необхідної точності системи й необхідної якості перехідного процесу. Ця бажана характеристика зрівнюється з тією, що дана система має без корекції. Визначається передавальна функція коригувального пристрою так, щоб при його включенні в систему, в ній вийшла б бажана форма логарифмічної амплітудної характеристики. Потім будується фазова частотна характеристика й оцінюється величина отриманого при цьому запасу стійкості системи й інших якісних показників.

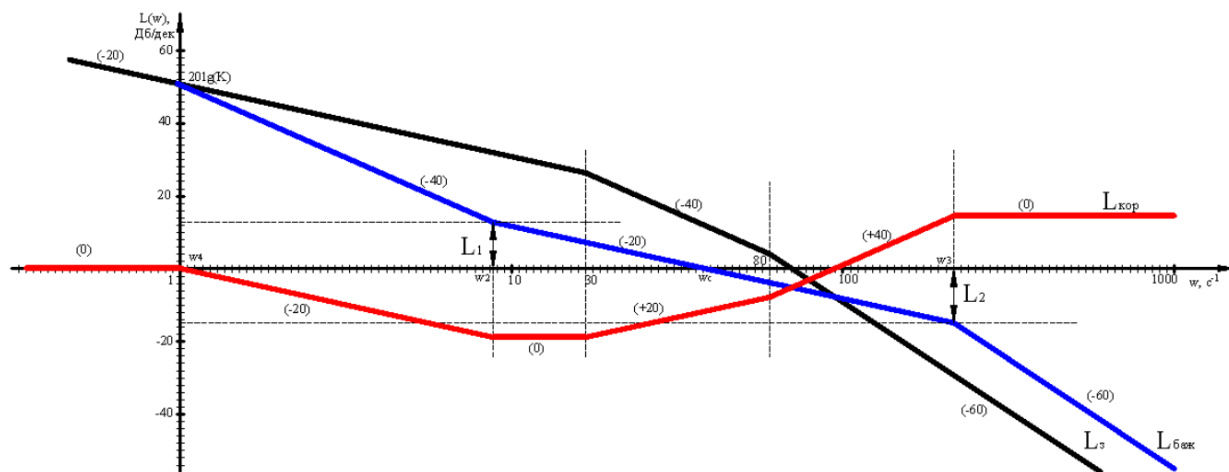


Рис 8.5

Побудова логарифмічної амплітудно-частотної характеристики (ЛАЧХ) послідовної коригуючої ланки проводять в такій послідовності:

- 1) будується ЛАЧХ заданої (нескоректованої) системи;
- 2) будується бажана ЛАЧХ за заданими показниками якості перехідного процесу;
- 3) будується ЛАЧХ послідовної коригуючої ланки шляхом графічного віднімання ЛАЧХ заданої системи із бажаної ЛАЧХ;
- 4) за видом ЛАЧХ коригуючої ланки визначається її передавальна функція.

Побудова бажаної ЛАЧХ. При побудові бажаної ЛАЧХ виділяють три області: низькочастотну область, середньочастотну та високочастотну.

Низькочастотна асимптота бажаної ЛАЧХ співпадає з першою асимптотою заданої ЛАЧХ. Це пояснюється тим, що низькочастотна асимптота характеризує точність роботи системи в сталих режимах.

Область середніх частот визначає динамічні властивості системи (швидкодію, коливальність).

Високочастотна асимптота на якість системи не впливає, тому для простоти коригуючої ланки її обирають співпадаючою, або паралельною високочастотній складовій заданої ЛАЧХ.

Лекція 9 Цифрові та дискретні системи

План лекції

1. Дискретні системи.
2. Загальна характеристика імпульсних систем (ІС).
3. Математичний опис цифрових та імпульсних систем з АІМ.
4. Стійкість та якість цифрових та імпульсних систем.
5. Цифрові системи.
6. Методи переходу від безперервної системи до цифрової системи.

1. Дискретні системи. Головним напрямком розвитку систем автоматизації в останні десятиріччя є широке використання засобів обчислювальної техніки та мікропроцесорних пристроїв, об'єднаних в мережі різного рівня і призначення. За характером сигналів такі системи є дискретними, тобто ці сигнали є послідовністю імпульсів, які несуть в собі всю необхідну інформацію. Дискретні системи мають ряд переваг перед неперервними (аналоговими):

- можливість багатоточкового керування з багатократним використанням ліній зв'язку, по яких одночасно передається множина сигналів за рахунок їх особливостей: імпульс – пауза тощо;
- підвищена завадостійкість за рахунок того, що завада діє лише на протязі імпульсу, який може бути як завгодно коротким. В паузах між імпульсами система розімкнена і перешкода на неї не діє.

Дискретні системи - це системи, що містять елементи, які перетворюють безперервний сигнал в дискретний. У дискретних системах сигнали описуються дискретними функціями часу.

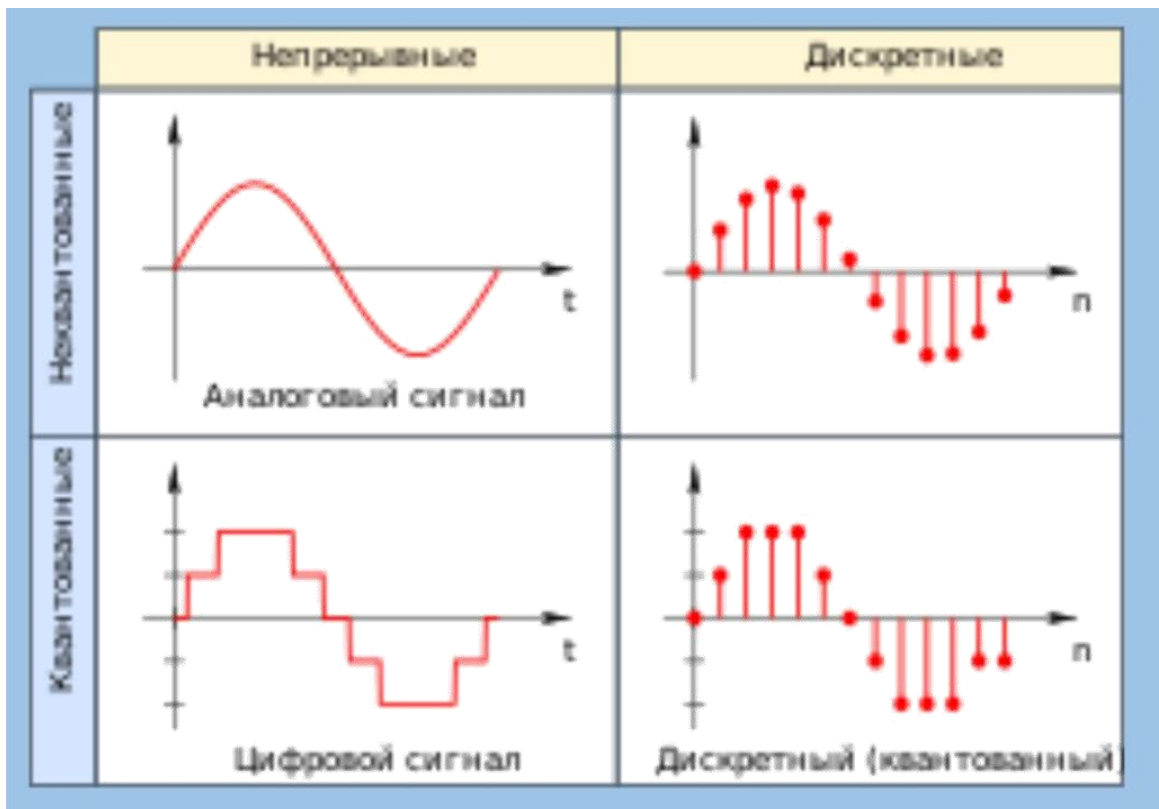


Рис. 9.1.

В дискретних системах об'єкт керування, як правило, неперервний за своєю природою, тому відбувається перетворення неперервного сигналу в дискретний, тобто його квантування за рівнем та за часом.

Квантування - процес перетворення безперервного сигналу в дискретний.

Класифікація дискретних систем

Види квантування сигналів, що застосовуються, лежать в основі класифікації дискретних систем.

В релейних (позиційних) системах відбувається квантування за рівнем (рис. 9.2,а), коли виділяється значення $X = \text{const}$, і для цих значень визначається рівень неперервного сигналу.

В імпульсних системах здійснюється квантування за часом при $t = \text{const}$, (рис. 9.2, б). Для збереження певного рівня сигналу між сусідніми точками використовуються екстраполятори: нульового порядку (зберігають сигнал постійним); першого та другого порядків (змінюють сигнал за лінійним чи нелінійним законами).

В цифрових системах здійснюється змішане квантування (рис. 9.2, в) – за часом та за рівнем t, X . Значення квантового сигналу береться перетині відповідних ліній.

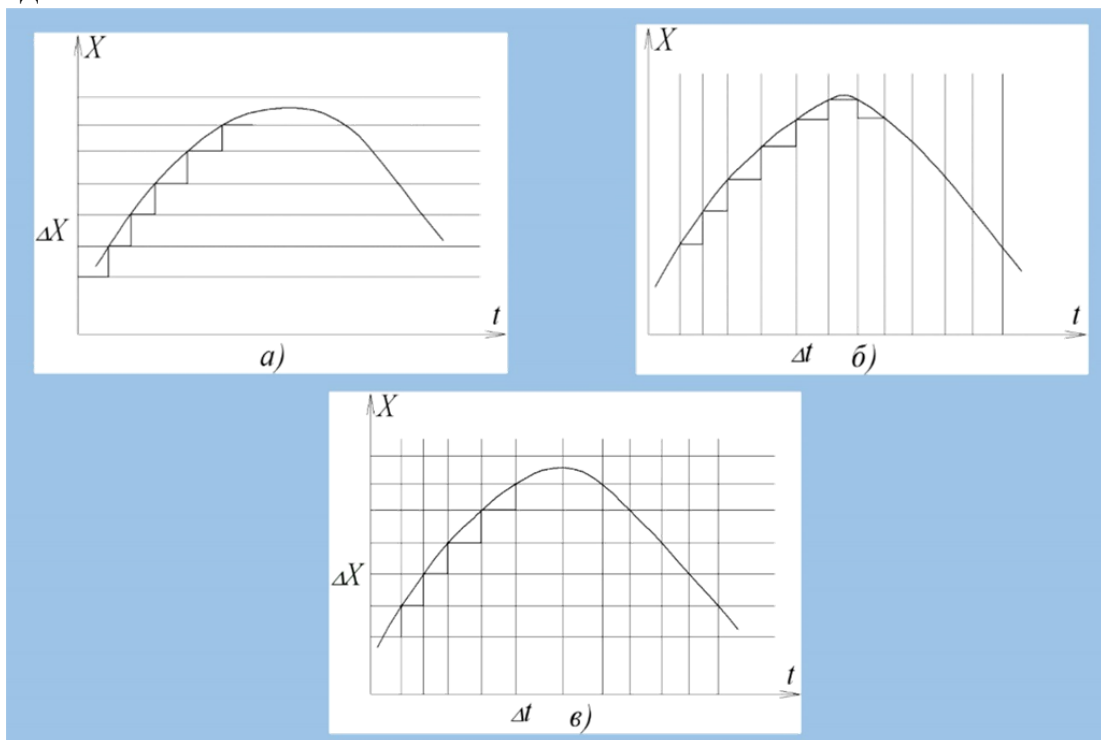


Рис.9.2. Види квантування сигналу:
а – за рівнем, б – за часом, в – за часом та рівнем.

2. Загальна характеристика імпульсних систем (ІС). Процес квантування неперервного сигналу за часом – це імпульсна модуляція, тобто перетворення неперервного вхідного сигналу в послідовність, наприклад, амплітудно – модульованих імпульсів з обвідною, яка співпадає з вхідним сигналом.

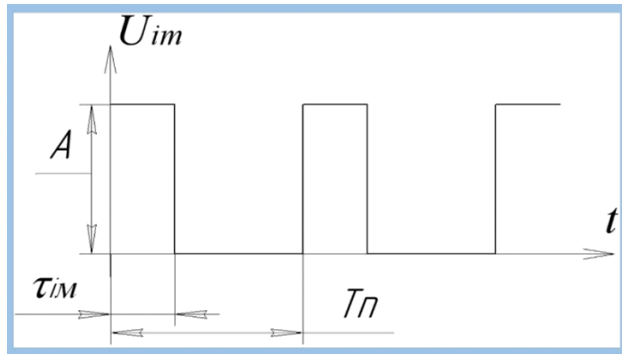


Рис.9.3 Вихідний сигнал імпульсного елемента

Вихідний сигнал імпульсного елемента (рис.2) характеризується кількома основними параметрами:

A – амплітуда;

τ_{im} – тривалість (ширина) імпульсу;

T_n – період повторення імпульсів; $T_n - \tau_{im}$ – пауза;

$\gamma = \frac{\tau_{im}}{T_n}$ – шпарність імпульсу.

Рис. 9.4.

Імпульсна модуляція – змінювання одного з параметрів вихідних імпульсів (модулюємого) у функції величини вхідного сигналу (модельючого). Може змінюватись (модулюватись) амплітуда, ширина імпульсу, пауза. Відповідно виділяють види імпульсної модуляції:

- амплітудно-імпульсна (АІМ) – рис. 9.5, а;
- широтно-імпульсна (ШІМ) – рис. 9.5, б;
- часо-імпульсна (ЧІМ) – рис. 9.5, в.

На рис. 9.5 через x позначено вхідний сигнал імпульсного елемента (ІЕ).

При АІМ змінюється амплітуда $A=f(x)$,

При ШІМ: $im=f(x)$, $A, T_n \text{ const}$

При ЧІМ (різновид – фазоімпульсна модуляція):

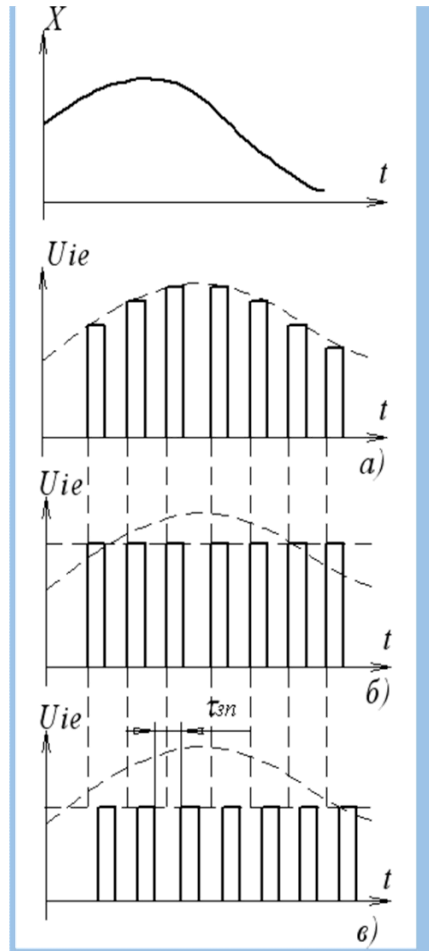


Рис.9.5 Види імпульсної модуляції:

а - амплітудно-імпульсна, б - широтно-імпульсна, в - часо-імпульсна

3. Математичний опис цифрових та імпульсних систем з АІМ. Для математичного опису цифрових та ІС, всі сигнали, в тому числі в *неперервній частині, розглядаються в дискретні моменти часу*

$$t = 0T_n; 1T_n; 2T_n; \dots i T_n .$$

Неперервні сигнали подаються у вигляді решітчастих функцій (рис. 9.6):

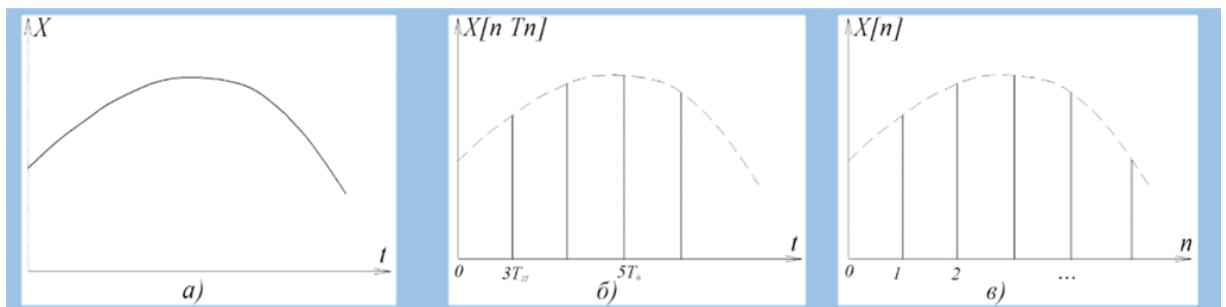


Рис.9.6 Решітчасті функції: *а – неперервний сигнал; б, в – форми представлення решітчастих функцій*

Для математичного опису таких систем використовують z – перетворення, яке полягає в тому, що сама форма запису дає простий спосіб прямого та зворотного перетворення:

- для знаходження z – перетворення за відомою функцією часу необхідно кожне дискретне значення $X(iT_n)$ помножити на z^{-i} , а потім згорнути отриманий степеневий ряд в кінцеву суму;
- для знаходження оригіналу за відомим зображенням $X(z)$ необхідно зображення подати у вигляді степеневого ряду за спадаючими степенями z^{-i} , а отримані при цьому числові коефіцієнти ряду i є дискретними значеннями $X(iT_n)$ сигналу $X(t)$.

z – перетворення має властивості, аналогічні властивостям звичайного перетворення Лапласа:

4. Стійкість та якість цифрових та імпульсних систем

За динамічними властивостями цифрові та імпульсні системи з АІМ багато в чому аналогічні неперервним системам, що дає можливість застосовувати аналоги методів дослідження неперервних систем. Імпульсна або цифрова система буде стійкою, коли вільна складова перехідного процесу $X_B(iT_n)$ з часом затухає, тобто:

$$\lim_{i \rightarrow \infty} X_B(iT_n) = 0$$

Для дослідження стійкості імпульсних та цифрових систем можна використовувати алгебраїчні та частотні критерії стійкості, застосувавши відповідні z -перетворення.

Імпульсний елемент не впливає на стійкість розімкненого контуру, але для замкненої системи необхідно врахувати:

- при малих періодах повторення T_n частотна характеристика розімкненого контура співпадає з частотною характеристикою неперервної частини, яка визначає стійкість імпульсної системи;
- при збільшенні періоду повторення в більшості систем зменшується граничний передаточний коефіцієнт, погіршуються динамічні властивості;
- в окремих випадках (структурно-нестійкі неперервні системи, системи із запізнюванням) імпульсний елемент справляє стабілізуючу дію.

Для оцінки **якості** імпульсних та цифрових систем використовуються такі ж показники, як і для неперервних: точність в ustalених режимах, тривалість перехідного процесу та інше.

5. Цифрові системи

- В цифрових системах відбувається квантування сигналів за часом і рівнем. Квантування за часом робить *цифрову* систему *дискретною*, а квантування за рівнем – *нелінійною*.

- В цифрових системах є пристрої, які перетворюють неперервні сигнали в цифрові коди і виконують математичні операції над цими кодами. Цифровий регулятор виконує властиві йому операції і видає результати у дискретні моменти часу $t = T_n, 2T_n, 3T_n \dots$

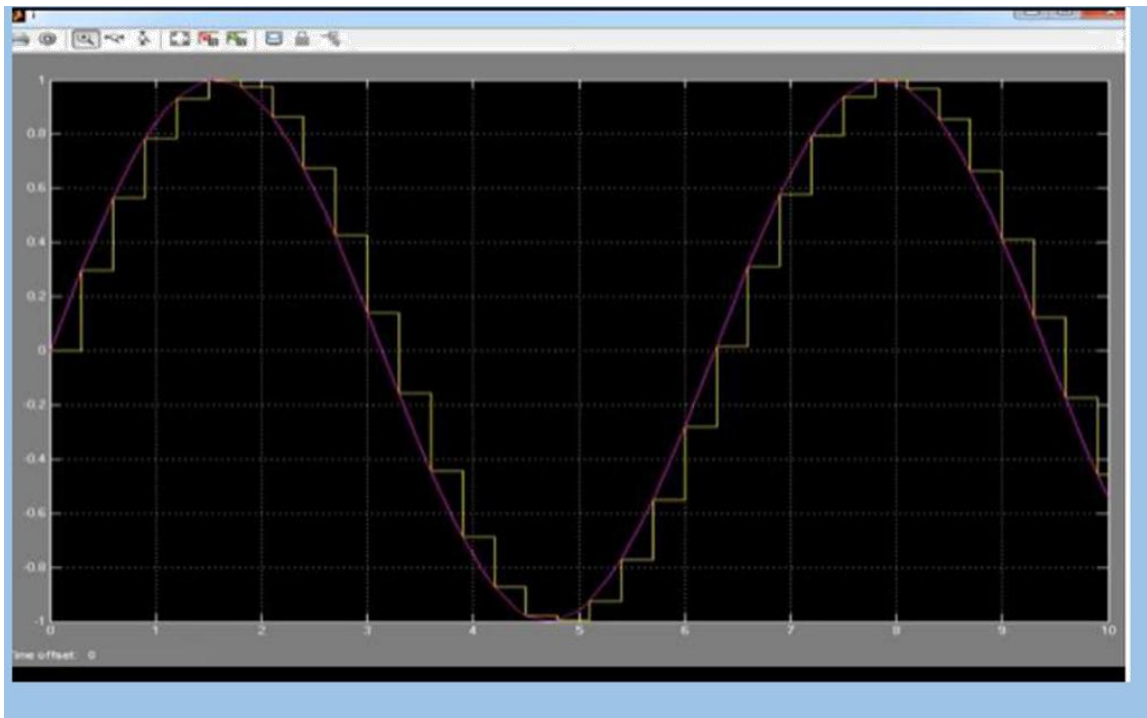


Рис 9.7.

В інтервалах між цими моментами на виході регулятора зберігається певний сигнал, тобто вихідний сигнал – ступінчаста функція $x(iT_n)$, яка відповідає квантуванню за часом.

Квантування за рівнем обумовлюється тим, що внаслідок цифрової подачі інформації вихідний сигнал може набувати лише певних фіксованих рівнів, які відрізняються один від одного на величину q . Ця величина відповідає одиниці молодшого розряду цифрового регулятора, тобто неперервний сигнал подається у вигляді:

У загальному випадку для дослідження цифрових систем можна застосувати математичний апарат, який використовується для лінійних імпульсних систем з амплітудно - імпульсною модуляцією: z – перетворення і різницеві рівняння.

В системах автоматичного керування технологічними об'єктами функції регулятора виконує мікропроцесорний контролер. Така система відноситься до неперервно-дискретних і описується диференційними і різницеvими рівняннями, а також включає функціональні залежності, які відображають перетворення сигналів з неперервної форми в дискретну і навпаки. Така структура математичного опису громіздка і незручна.

Більш зручним методом є заміна диференційних рівнянь різницеvими, тоді в цілому аналіз і синтез систем виконується методами теорії неперервних систем, а синтезований регулятор реалізується в цифровому виді. При цьому необхідно врахувати, що при вказаних замінах виникають похибки, які можуть привести до різних оцінок, наприклад, щодо стійкості.

Узагальнена функціональна структура цифрової системи показана на рис. 9.8.

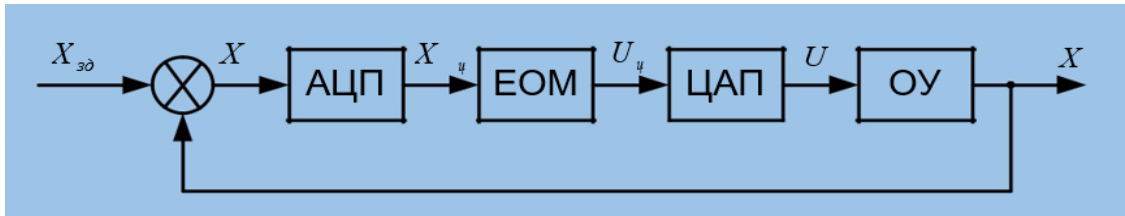


Рис.9.8 Функціональна структура цифрової системи управління

Об'єкт управління ОУ – неперервна частина системи (НЧ). Аналогово – цифровий перетворювач АЦП призначений для отримання з неперервного сигналу цифрового коду, який обробляється в ЕОМ або мікропроцесорному контролері (МПК).

Для формування сигналу керування U , який поступає на об'єкт, необхідно забезпечити зворотнє перетворення, для чого призначений цифро – аналоговий перетворювач ЦАП. Перетворювач АЦП включає імпульсний елемент для квантування за часом і отримують число u у вигляді коду, як правило, двійкового, яке подається в ЕОМ (МПК). Після перетворення за певними алгоритмами результат видається u у вигляді чисел $U_{ц}(iTп)$. Перетворювач ЦАП складається з квантувача за рівнем, ідеального-імпульсного елемента і формуючого елемента (екстраполятора). Крім екстраполятор і квантувач за рівнем.

В сучасних системах можна забезпечити необхідну точність АЦП-ЦАП перетворень, але необхідно врахувати, що в алгоритмах керування використовуються прирости вхідних та вихідних сигналів. Це потребує узгодження розрядності технічних засобів, швидкодії, періоду опитування датчиків тощо;

Література

1. Автоматизація виробничих процесів: підручник / О. І. Черевко та ін. Харків : ХДУХТ, 2014. 186 с.
2. Автоматизація виробничих процесів / О. І. Черевко та ін. Харків : Харк. держ. ун-т харчування та торгівлі, 2018. 286 с.
3. Гончаренко Б., Ладанюк А. Автоматизація виробничих процесів харчових технологій. Харків : НУХТ, 2020. 530 с.
4. Ельперін І., Киричук С., Архангельська К. Автоматизація виробничих процесів : конспект лекції. Київ : НУХТ, 2019. 129 с.
5. Єсаулов С., Бабічева О. Автоматизація технологічних процесів та установок : методичні вказівки до виконання лабораторних робіт. Харків : ХНУМГ, 2016. 102 с.
6. Кіптела Л. В., Загорулько О. Є., Загорулько А. М. Автоматизація харчових виробництв малого та середнього бізнесу : навч. посіб. Харків : ХДУХТ, 2017. 118 с.
7. Клепач М., Кутя М. Автоматизація технологічних процесів і виробництва : методичні рекомендації з лабораторних робіт. Рівне : НУГВП, 2014. 50 с.
8. Осадчий С., Волков І. Автоматизація технологічних процесів : методичні вказівки до виконання лабораторних робіт. Кропивницький : ЦНТУ, 2020. 65 с.
9. Пісьціо В., Рогатинська О. Методичні вказівки для розрахункової роботи №1. "Теорія автоматичного управління". Тернопіль : ТНТУ, 2015. 44 с.
10. Теоретичні основи автоматики : конспект лекцій / уклад. Д. Л. Кошкін. Миколаїв : МНАУ, 2014. 104 с. URL: <https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/3173>
11. Федік Л. Ю, Редько Р. Г. Автоматизація і оптимізація харчових і переробних технологічних процесів. Луцьк : ЛНТУ, 2017. 42 с.

Навчальне видання

**АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСІВ ТА СИСТЕМ
АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ**

конспект лекцій

Укладач: **Кошкін** Дмитро Леонідович

Формат 60x84 1/16. Ум. друк. арк. 3,3.

Тираж 20 прим. Зам. № _____

Надруковано у видавничому відділі
Миколаївського національного університету
54020, м. Миколаїв, вул. Георгія Гонгадзе, 9

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4490 від 20.02.2013 р.