

Практичне заняття 2

Тема: Розроблення функціональної та структурної моделі об'єкту дисертаційного дослідження.

Мета: набуття навичок в моделюванні складних систем.

Час виконання завдань: 2 години.

Навчальні питання:

1. Об'єкт та предмет наукового дослідження.
2. Функціональна модель системи.
3. Структурна модель системи.

Теоретичний матеріал

СТРУКТУРНІ МОДЕЛІ

Моделі структури (структурні моделі) дуже поширені в практиці проектування та дослідження систем контролю і управління.

У моделюванні систем структурні моделі традиційно займають провідне місце. Це зумовлено перевагами, які надає дослідження структури системи. У першу чергу це суттєве спрощення моделювання, оскільки дозволяє відокремити моделювання процесів всередині елементів системи і моделювання їх взаємодії. Окреме моделювання кожного елемента звичайно простіше за моделювання системи в цілому.

Поняття та способи структурування об'єктів моделювання

Поняття структури відносять до фундаментальних понять теорії систем. Про структуру кажуть завжди, коли у певному середовищі з'являються частини з відмінними від суміжних елементів властивостями або виявленими межами.

Сукупність елементів системи та зв'язків між ними утворюють структуру системи.

Узагальнена модель (1.1) з метою відображення структурних характеристик об'єкта може бути подана у вигляді

$$\Theta_Y = F(S, Z)[\Theta_X] \quad (2.1)$$

де S – структурні характеристики об'єкта; Z – параметри об'єкта.

До структурних характеристик об'єкта відносять опис кількості, складу та зв'язків елементів (блоків, підсистем, вузлів) об'єкта; порядок та вид диференціального рівняння, що описує динаміку об'єкта; характер нелінійності функції (ступінь полінома), що описує статику та інше.

Найбільшого поширення структурні моделі набули в електроніці в період переходу від дискретних елементів до інтегральної схемотехніки. Наразі з поступовим переходом до реалізації більшості функцій системи у цифровому вигляді за допомогою програмованого процесора роль структурних моделей дещо знизилася, поступаючись алгоритмічним моделям.

Останнім часом багато уваги приділяють структурам, які самостійно виникають у неперервному нелінійному середовищі. Ці явища вивчає наука синергетика. Вважають, що такі процеси відповідають за утворення кристалічних структур і космічних систем, функціонування серця і мозку тощо.

В інженерній практиці структурні моделі мають вигляд різноманітних схем, які є головними документами проектів систем управління є схеми. Схеми залежно від основного призначення розділяють на такі типи:

- структурні;
- функціональні;
- принципові (повні);
- з'єднань (монтажні);
- під'єднання;
- загальні;
- розташування.

Схеми залежно від фізичної природи та видів елементів і зв'язків між ними розділяють на такі види:

- електричні;
- гідравлічні;
- пневматичні;
- кінематичні;
- оптичні;
- комбіновані.

Найчастіше у теорії управління використовують схеми електричні структурні та схеми комбіновані структурні.

Різноманітні функціональні, структурні і принципові схеми (деякі приклади яких наведені на рис. 2.1) подаються графічними зображеннями, які показують склад та взаємозв'язки блоків системи.

Поява великої кількості стандартів зображення схем підкреслює їх велику роль у практиці дослідження, проектування та експлуатації систем. Така стандартизація забезпечила появу спільної міжнародної мови інженерів, яка характеризується наочністю і однозначністю.

Разом з тим розмаїття схем приховує їх спільні риси, які дозволяють стверджувати, що більшість схем є гомеоморфними моделями. Як вже відзначалося, гомеоморфізм дозволяє скоротити роботу дослідника і розповсюджувати результати, отримані на одних моделях, на моделі іншої природи з обов'язковим аналізом відмінностей між ними. Відповідно постає задача такої формалізації подання схем, яка була б достатньо інформативною та продуктивною і разом з тим універсальною.

Головними операціями у процесі формалізації структури системи є композиція і декомпозиція. Ці операції є окремими випадками більш загальних процесів аналізу і синтезу у застосуванні їх до структурних моделей.

Декомпозиція структури системи (*system decomposition*) – це подання цілісного складного об'єкта (системи в цілому або окремих її частин) у вигляді окремих елементів з певними зв'язками.

Композиція (*system composition*) – обернена операція, яка полягає у заміні певної сукупності елементів системи одним цілісним об'єктом, в якому не розглядається внутрішня структура.

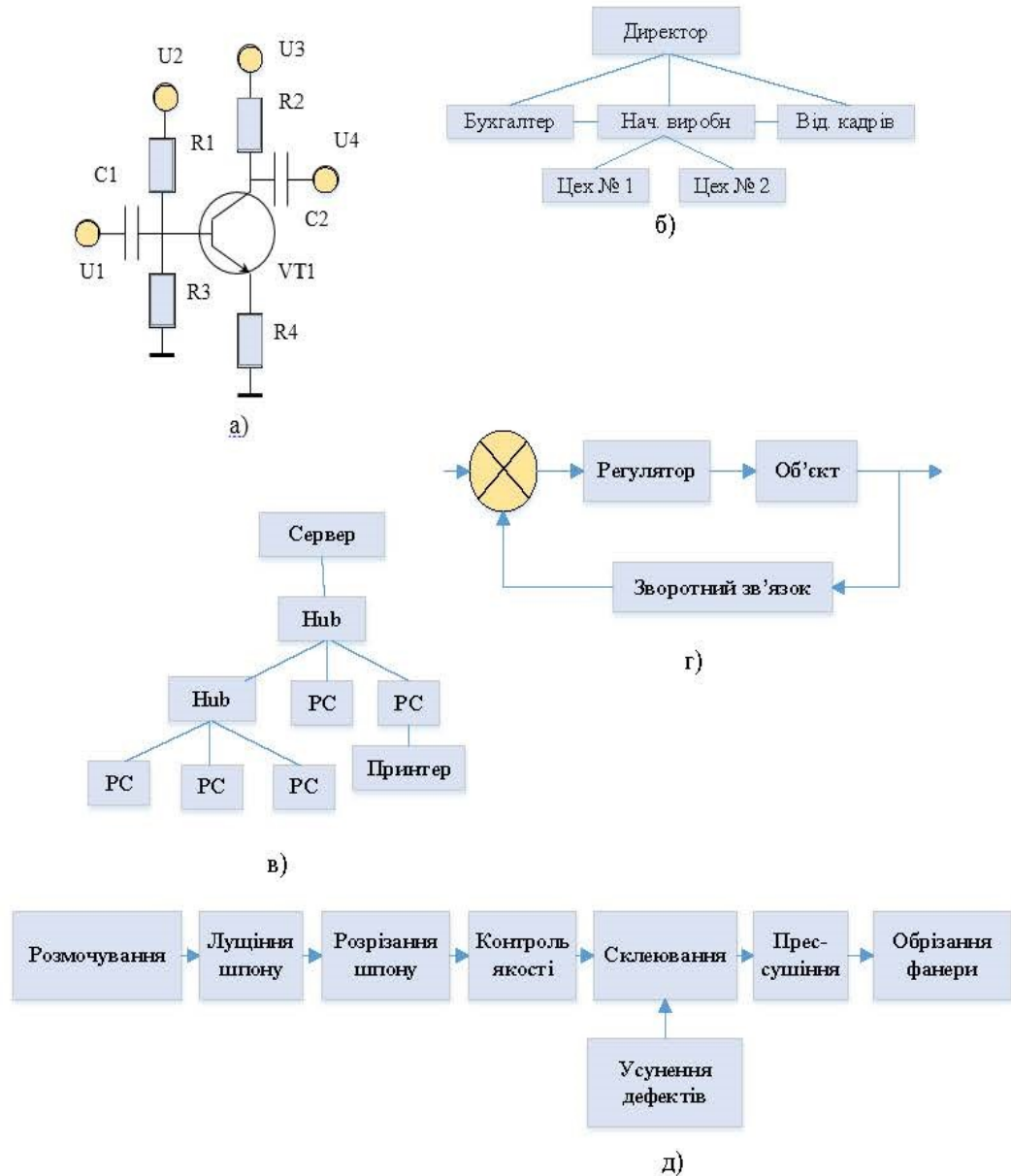


Рисунок 2.1 – Приклади схем: а) схема електрична принципова, б) структура підприємства, в) схема комп'ютерної мережі, г) структурна схема системи управління, д) схема технологічного процесу виготовлення фанери

Побудова моделі складної системи як цілісного об'єкта найчастіше є надто громіздкою задачею. Тому звичайно моделі будують у декілька етапів, показаних на рис. 2.2. Перший етап – етап *аналізу* системи, останній – етап *синтезу* моделі.

Незважаючи на зовнішню складність, такий багатоетапний процес вимагає значно менших зусиль, ніж дослідження системи як цілісного об'єкта. Якщо система має n входів і кожен вхідний сигнал може приймати m значень, то кіль-

кiсть експериментiв для повного дослiдження системи в процесi моделювання складає m^n . Якщо ж здiйснити декомпозицiю системи на n одновходових підсистем, то необхідно буде здiйснити $m \cdot n$ експериментiв i додатково дослiдити $n \cdot (n - 1)$ зв'язкiв. Так, наприклад, для системи з 10 входами i кiлькiстю можливих значень кожного вхiдного сигналу 10 вiдповiднi кiлькостi експериментiв складатимуть $10 \cdot 000 \cdot 000 \cdot 000$ (або 10^{10}) для цiлiсної системи i $(m \cdot n + n \cdot (n - 1)) = 190$ для системи пiсля її декомпозицiї.



Рисунок 2.2 – Етапи структурного моделювання системи

Разом з тим не слід забувати, що самi процеси аналізу (декомпозицiї) i синтезу (композицiї) часто є досить складними, вимагають творчого пiдходу i розумiння природи i принципiв функцiонування системи, що не враховано у формальному пiдрахунку кiлькостi операцiї.

ФУНКЦІОНАЛЬНІ МОДЕЛІ

Функціональні моделі описують процеси, які відбуваються в об'єкті моделювання. Якщо об'єктом моделювання є система керування, то функціональна модель відображає залежність стану системи і її вихідних сигналів від зовнішніх впливів.

У загальному випадку модель системи можна розглядати як *операторне перетворення*

$$\Theta_Y = F(S, Z, f, t)[\Theta_X] \quad (3.1)$$

де Θ_X – множина характеристик вхідних впливів, Θ_Y – множина характеристик вихідних величини і параметрів стану, F – оператор перетворення, Z – параметри системи, S – структура системи, f – вектор зовнішніх збурень, t – час.

Таким чином, функціональна модель системи складається з моделей вхідних та вихідних величин і оператора перетворення.

Якщо набір характеристик Θ містить значення вхідних та вихідних величин та їх похідних, то операторне перетворення може бути подане *диференціальним рівнянням*. Для прикладу розглянемо систему, зображену на рис. 3.1, яку можна описати диференціальним рівнянням другого порядку

$$F[y, \dot{y}, \ddot{y}, x, \dot{x}] + f = 0, \quad (3.2)$$

де y – вихідна величина, x і f – вхідні впливи, \dot{y} і \dot{x} – перші похідні у часі, \ddot{y} – друга похідна у часі.

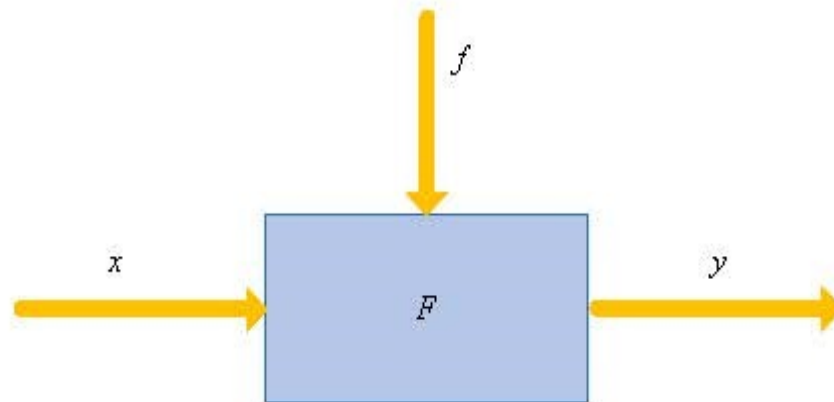


Рисунок 3.1 – Узагальнене зображення об'єкта моделювання

Рівняння (3.2), яке описує процеси в часі при довільних вхідних впливах, називається *рівнянням динаміки*. Нехай при постійних вхідних величинах ($x=x_0$ і $f=f_0$) процес протягом часу встановиться – вихідна величина прийме постійне значення $y = y_0$. Тоді (3.2) матиме вигляд:

$$F[y_0, 0, 0, x_0, 0] + f_0 = 0. \quad (3.3)$$

Це рівняння описує встановлений чи *статичний режим*, його називають *рівнянням статички*.

Моделі статички

Модель статички системи – це залежність між вхідною і вихідною величинами у встановленому стані. Графік, який виражає цю залежність, називається *статичною характеристикою*.

3.1.1 Модель статички як окремий випадок загальної операторної функціональної моделі

Рівняння статички можна отримати з диференціального рівняння динаміки системи шляхом прирівнювання до нуля похідних в цьому рівнянні, в результаті чого рівняння перетворюється в алгебраїчне.

Модель статички може подаватися одним рівнянням, або системою рівнянь

$$\begin{cases} N_1(\bar{x}, \bar{y}, \bar{f}) = 0 \\ \dots \\ N_n(\bar{x}, \bar{y}, \bar{f}) = 0 \end{cases} \quad (3.4)$$

де риска над змінною означає вектор.

У певних досить простих випадках система рівнянь може бути зведена до одного рівняння (*композиція моделі*) і навпаки (*декомпозиція моделі*).

Якщо система має декілька входів, то описується за допомогою *сімейства* чи сімейств статичних характеристик. Наприклад, систему, яка характеризується в статичному режимі рівнянням (3.3), можна описати графічно за допомогою сімейства статичних характеристик, які являють собою криві залежності вихідної величини $y(x)$ при різних фіксованих значеннях збурення \bar{f} .

Лінійні та нелінійні моделі. Типові нелінійності

Більшість систем керування є лінійними. В лінійних системах виконується принцип суперпозиції, тобто стан (вихідний сигнал y) є лінійною комбінацією вхідних впливів x_i

$$y = \sum_i a_i x_i + b, \quad (3.5)$$

де a_i і b – коефіцієнти.

При агрегатному підході модель статички подається системою лінійних алгебраїчних рівнянь. Це є спрощенням, яке дозволяє використати зручний математичний апарат лінійної алгебри та лінійного програмування для моделювання і оптимального проектування систем.

Реальні системи найчастіше мають у своєму складі нелінійні елементи, отже вони є в цілому нелінійними. Способи моделювання нелінійних систем суттєво залежать від типу нелінійності. Типові нелінійності зображено на рис. 3.2. Зустрічаються також різноманітні комбінації цих характеристик, наприклад гладка характеристика з зоною нечутливості або екстремальна з двома екстремумами і асимптотичним наближенням до певного значення тощо.

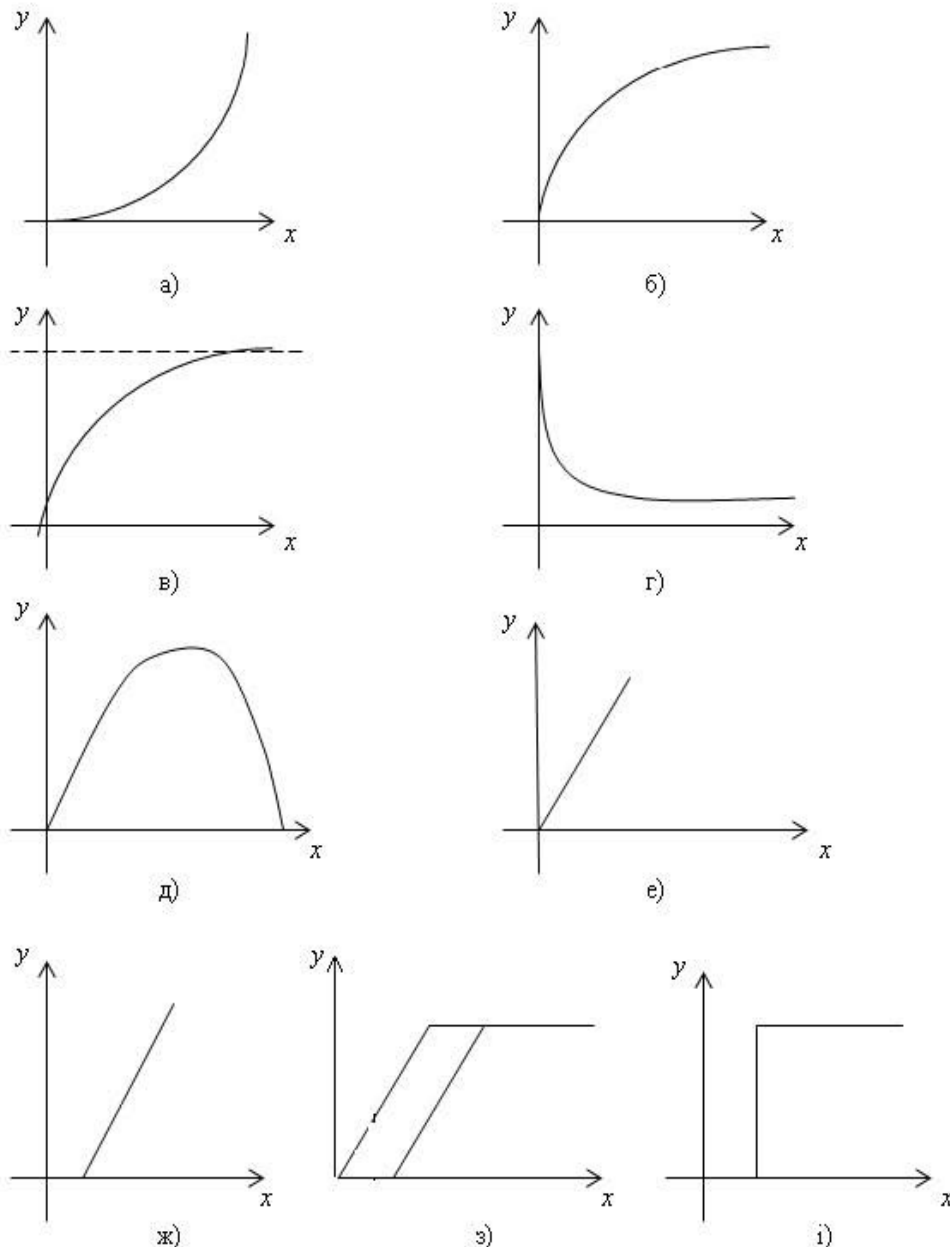


Рисунок 3.2 – Типові нелінійності: гладка опукла донизу (а), гладка опукла догори (б), асимптотично зростаюча (в), асимптотично спадна (г), екстремальна (д), кусково-лінійна з обмеженням (е), кусково-лінійна із зоною нечутливості (ж), характеристика з люфтом (з), релейна або розривна характеристика (і)

Завдання 1.

Розробити функціональну модель відповідно до об'єкту дисертаційних досліджень.

Завдання 2.

Розробити структурну модель відповідно до об'єкту дисертаційних досліджень.