

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ МИХАЙЛА ОСТРОГРАДСЬКОГО
ІНСТИТУТ ЕЛЕКТРОМЕХАНІКИ, ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ
І СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ



МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ЩОДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ
З НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
ТЕОРІЯ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ
ДЛЯ СТУДЕНТІВ УСІХ ФОРМ НАВЧАННЯ
ЗІ СПЕЦІАЛЬНОСТІ 141 –
ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА
ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ 1–8

КРЕМЕНЧУК 2016

Методичні вказівки щодо виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни "Теорія автоматичного управління" для студентів усіх форм навчання зі спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Лабораторні роботи 1-8.

Укладачі: старш. викл. Г. Г. Юдіна,
старш. викл. А. В. Нікітіна

Рецензент д.т.н., проф. О. П. Чорний

Кафедра систем автоматичного управління та електропривода

Затверджено методичною радою Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського

Протокол № _____ від “ _____ ” _____ 2016 р.

Голова методичної ради _____ проф. В. В. Костін

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 ПЕРЕЛІК ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ.....	6
Лабораторна робота №1. Ознайомлення з пакетом програм MATLAB. Дослідження характеристик типових динамічних ланок.....	6
Лабораторна робота №2. Дослідження систем автоматичного регулювання із запізнюванням.....	20
Лабораторна робота № 3. Вивчення впливу від'ємних зворотних зв'язків на характеристики типових динамічних ланок.....	24
Лабораторна робота № 4. Вивчення методів підвищення точності регулювання в сталих режимах	30
Лабораторна робота №5. Дослідження стійкості та якості лінійної безперервної САУ	34
Лабораторна робота № 6. Моделювання типових нелінійних елементів.....	39
Лабораторна робота № 7. Вивчення фазових портретів систем.....	45
Лабораторна робота № 8. Дослідження режиму автоколивань.....	51
2 КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ РІВНЯ ПІДГОТОВКИ СТУДЕНТІВ	56
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	58

ВСТУП

Навчальна дисципліна «Теорія автоматичного управління» відіграє важливу роль у підготовці спеціалістів за напрямом 6.050702 – «Електромеханіка», який визначає як мету навчання підготовку спеціалістів-електромеханіків широкого профілю, здатних самостійно і творчо вирішувати задачі проектування, дослідження та експлуатації систем автоматичного управління.

Виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни «Теорія автоматичного управління» є важливою частиною вивчення курсу, яка сприяє закріпленню та поглибленню знань, отриманих на лекціях і практичних заняттях шляхом експериментального дослідження властивостей і характеристик систем управління, розвиває навички практичної роботи у студента.

Моделювання на ПЕОМ зараз є однією з методологічних основ дослідження систем управління. Тому проведення математичного моделювання елементів та, в цілому, електромеханічних систем є важливою частиною при підготовці спеціалістів-електромеханіків.

Унаслідок виконання лабораторних робіт студенти повинні засвоїти принципи побудови моделей електромеханічних систем за диференціальними рівняннями і передаточними функціями, знати методи дослідження властивостей і характеристик САУ, виконувати аналіз результатів моделювання та дослідження САУ на ПЕОМ і робити висновки.

Методичні вказівки щодо виконання лабораторних робіт містять назву роботи, мету роботи, зміст роботи, теоретичні відомості, необхідні при виконанні лабораторної роботи, порядок виконання роботи у середовищі MATLAB з робочими завданнями, порядок обробки результатів та оформлення звіту, контрольні запитання.

Варіанти завдань для виконання лабораторної роботи призначає викладач.

Основні матеріали до лабораторних робіт було зроблено спільно з доцентом В. О. Євстіфєєвим. У період його роботи на кафедрі у 2008-2009 навчальному році.

Лабораторні роботи проводяться на ПЕОМ у комп'ютерних класах кафедри САУЕ.

Перед початком виконання лабораторних робіт кожен студент зобов'язаний ознайомитися з правилами техніки безпеки і правилами пожежної безпеки у комп'ютерному класі, про що робиться запис у відповідному журналі з підписом студента та викладача, і дотримуватися цих правил.

Звіт з виконаної лабораторної роботи кожний студент складає окремо та захищає попередню роботу до виконання наступної роботи за часом, який визначає викладач. Звіт може бути виконаний за допомогою ПЕОМ.

На час виконання лабораторної роботи студенту забороняється працювати з будь-якими програмами, що не відносяться до теми лабораторної роботи.

1 ПЕРЕЛІК ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Лабораторна робота № 1

Ознайомлення з пакетом програм MATLAB.

Дослідження характеристик типових динамічних ланок

1.1 Мета роботи

Придбання навичок роботи з пакетом програм MATLAB. Дослідження характеристик типових динамічних ланок у пакеті програм MATLAB, Simulink.

1.2 Зміст роботи

1.2.1 Вивчення загальних відомостей про пакет програм MATLAB.

1.2.2 Вивчення теоретичних відомостей про типові динамічні ланки.

1.2.3 Моделювання типових динамічних ланок, дослідження їх часових і частотних характеристик.

1.3 Загальні відомості про пакет програм MATLAB

MATLAB – це одна з старанно пророблених і перевічених часом систем автоматизації математичних розрахунків, побудована на розширеному поданні і застосуванні матричних операцій. Це знайшло відображення у назві системи – **MATrix LABoratory** – матрична лабораторія.

Матриці широко застосовуються у складних математичних розрахунках, наприклад, при рішенні завдань математичного моделювання статичних та динамічних систем. Вони виявляються основою автоматичного складання та рішення рівнянь становища динамічних об'єктів і систем. Прикладом програми, виконуючої це, може служити основне розширення MATLAB – **Simulink**. Simulink працює з лінійними, нелінійними, безперервними, дискретними, багатомірними системами.

Для розробки моделей у Simulink основними є бібліотеки блоків, з яких складаються структурні схеми систем. У середовищі пакета MATLAB можна не

тільки моделювати систему за її структурною схемою, але й отримати математичний опис моделі у різних формах, виконати аналіз її властивостей у часовій та частотній областях, синтезувати елементи системи керування, виконати оптимізацію.

Пакет блочного моделювання Simulink автоматично інтегрується з базовою системою MATLAB. Для перегляду того чи іншого розділу бібліотеки достатньо виділити його мишею – у правій частині вікна з'явиться набір піктограм компонентів активного розділу бібліотеки.

Simulink містить такі **основні бібліотеки блоків**:

- **Sources** – джерела вхідних сигналів і впливів;
- **Sinks** – вихідні блоки (запам'ятовування та реєстрація вихідних сигналів);
- **Continuous** – лінійні безперервні блоки;
- **Discrete** – дискретні блоки;
- **Math** або **Math Operations** в Simulink 5/6 – математичні блоки та функції;
- **Functions & Tables** в Simulink 4 або **Look-Up Tables** в Simulink 5/6 – містить компоненти таблиць та **User Defined Functions** в Simulink 5/6 – розділ за функціями користувача;
- **Nonlinear** – нелінійні блоки;
- **Signals & Systems** в Simulink 4 або **Signal Routing** в Simulink 5 – блоки маршрутизації сигналів, наприклад, **Mux** – мультиплексування ряду входів.

Simulink містить і інші бібліотеки блоків

Розглянемо деякі бібліотеки Simulink, блоки яких будуть необхідні для моделювання динамічних систем.

Бібліотека Sources містить джерела вхідних сигналів і впливів, тобто блоки, які не мають входів, а мають тільки виходи:

- у блоці **Constant** можна задавати значення фіксованого сигналу, що діє протягом часу розрахунку;
- у блоці **Step** можна задавати вплив у вигляді окремого перепаду;
- блок **Ramp** – джерело наростаючого впливу;

- у блоці **Sine Wave** можна задавати синусоїдальний вплив;
- блок **Repeating Sequence** – джерело послідовності, яка повторюється;
- джерела часу моделювання – **Clock** та **Digital Clock**;
- джерело впливів **Signal Generator** використовується для створення одного з чотирьох найбільш розповсюджених типів сигналів:
 - sine – синусоїдальний сигнал;
 - square – прямокутний періодичний сигнал;
 - sawtooth – пилообразний періодичний сигнал;
 - random – випадковий сигнал.

Бібліотека Sinks включає блоки приймання даних, які не мають виходів, а мають тільки входи:

- **Scope** – осцилограф;
- **XY Graph** – графозбудувач у системі полярних координат;
- **Display** – вивод на екран дисплея;
- **To File** – запис даних у файл;
- **To Workspace** – запис у змінну робочого простору;
- **Stop Simulation** – блок перерви моделювання і його зупинки, якщо на його вході діє сигнал, не рівний нулю.

Бібліотека Continuous містить лінійні безперервні блоки, такі як:

- інтегруючий – **Integrator**;
- диференціюючий – **Derivative**;
- блок передавальної характеристики – **Transfer Fcn**, за допомогою якого, наприклад, задається передавальна функція аперіодичної та коливальної ланок;
- блок завдання лінеаризованої моделі – **State-Space**;
- блок фіксованої затримки – **Transport Delay**;
- блок керуємої затримки – **Variable Transport Delay**.

Математична **бібліотека Math** містить блоки арифметичних операцій:

- обчислення абсолютного значення числа **Abs**;
- знака числа **Sign**;

- округлення **Rounding Function**;
- скалярного добутку **Dot Product**;
- звичайного добутку **Product**, який використовують і для ділення;
- суми **Sum**,
- блоки масштабування **Gain** и **Slider Gain**;
- блок пошуку мінімуму та максимуму **MinMax**;
- блок тригонометричних функцій **Trigonometric Function**

та багато інших математичних блоків.

З кожним блоком поєднано вікно налаштувань, яке відкривається при активізації піктограми блока. Параметри блоків можуть бути константами, змінними, функціями та виразами. Будь-які змінні, від яких залежить параметр, повинні бути визначені в робочій зоні до початку процесу моделювання, інакше Simulink сигналізує про помилку в цьому блоці.

Спочатку необхідно відкрити вікно для нової моделі (кнопка **Create a new model** в панелі інструментів браузера бібліотек Simulink або команда **File → New → Model** в меню). Вікно відкривається із заголовком **Untitled**. Введемо заголовок майбутньої моделі. Для цього встановимо курсор миші в потрібне місце і двічі клацнемо лівою кнопкою миші, і можна вводити надпис.

З розділів бібліотек перетягуємо необхідні блоки при натиснутій лівій клавіші миші. Тільки що введений блок виділяється маленькими чорними прямокутниками по кутам блоку. Можна збільшувати/зменшувати блок в діагональних напрямках, якщо захопити курсором миші куток виділеного блоку.

Блоки моделей звичайно мають входи і виходи. Як правило, вихід якого-небудь блоку підключається до входу слідуючого блоку і т.д. Для цього курсор миші встановлюється до виходу блоку, від якого повинно виходити з'єднання. Держачи натиснутою лівою кнопкою миші, потрібно плавно перемістити курсор до входу наступного блоку. Побачив лінію зв'язку, потрібно відпустити ліву кнопку миші. Наприкінці з'єднання з'явиться жирна стрілка.

Перед запуском моделі треба ознайомитися з установкою загальних параметрів моделювання. Для цього виконаємо команду **Simulation Parameters...** в меню Simulation вікна Simulink. З'явиться вікно встановлення параметрів моделювання.

До числа найважливіших параметрів відноситься час моделювання – **Simulation time**. Він задається початковим часом **Start time** (звичайно 0) та кінцевим часом **Stop time**.

Першорядне значення мають дві опції: тип рішення і метод рішення. Можливо два типа рішення:

- **Variable-step solvers** – рішення зі змінним кроком;
- **Fixed-step solvers** – рішення з фіксованим кроком.

Як правило, кращі результати дає рішення зі змінним кроком: крок автоматично зменшується, якщо швидкість зміни результатів у процесі рішення зростає. І, навпаки, якщо результати змінюються слабо, крок рішення автоматично збільшується.

Методом з фіксованим кроком необхідно користуватись тільки тоді, коли фіксований крок обумовлен специфікою рішення задачі, наприклад, якщо її мета міститься в одержанні таблиці результатів з фіксованим кроком. Цей метод дає непогані результати, якщо поведінка системи описується майже монотонними функціями.

Друга з вказаних опцій – вибір метода моделювання. Для рішення диференційних рівнянь можливо обрати наступні методи: discrete (дискретний), ode45, ode23 (три варіанти, включаючи метод Розенброка), rk45 (метод Дорманда-Принса), ode113 (метод Адамса) ode15s.

Важливим є і такий параметр моделювання, як точність інтегрування:

- **Relative tolerance** – відносна похибка інтегрування;
- **Absolute tolerance** – абсолютна похибка інтегрування.

За замовченням вони дорівнюють 10^{-3} і 10^{-6} .

На панелі інструментів Simulink знаходяться дві важливі кнопки управління моделюванням. Одна з них, у вигляді чорного трикутника

(**Start/Pause Simulation**), запускає або припиняє процес моделювання, інша, у вигляді чорного квадратика (**Stop**), зупиняє його.

Після запису в файл (File → Save/Save As) як заголовок вікна буде фігурувати ім'я файлу, що за замовчуванням одержить розширення **m**.

Вже існуючу модель можна завантажити із меню Simulink (File → Open).

Розглянемо основні команди меню редагування **Edit**:

- **Undo** – відміна останньої операції;
- **Redo** – відновлювання останньої відміненої операції.
- **Clear** – знищення виділених об'єктів;
- **Copy** – копіювання виділених об'єктів у буфер;
- **Paste** – вставка об'єктів з буфера;
- **Select All** – виділення всіх об'єктів моделі;
- **Copy model to clipboard** – копіювання всієї моделі в буфер.

1.4 Теоретичні відомості про типові динамічні ланки

Поведінка систем автоматичного управління (САУ) багато в чому залежить від величини та характеру впливу на систему. Таких впливів (сигналів) існує дуже багато. Це можуть бути аналогові, дискретні сигнали. Причому закон їх зміни може бути відомим раніше (детерміновані сигнали) або вони можуть розглядатися як випадкові функції часу (випадкові сигнали).

Однак, розглядаючи конкретні умови роботи САУ, можна вибрати такий вплив, який для даної системи є найбільш типовим. Обравши такий вплив і вивчивши викликаний ним перехідний процес, можна зробити висновок про динамічні властивості системи.

При аналізі та синтезі САУ використовують кілька типових (тестових) сигналів: одиничний ступінчатий вплив, одиничний імпульс, гармонічний вплив.

Одиничний ступінчатий вплив. Цей вплив має вигляд одиничного стрибка. Його називають також одиничною функцією $1(t)$, яка набуває таких значень:

$$\begin{cases} 1(t) = 0, & \text{при } t < 0, \\ 1(t) = 1, & \text{при } t \geq 0. \end{cases} \quad (1.1)$$

Реакція системи на одиничний ступінчатий вплив при нульових початкових умовах називається **перехідною функцією $h(t)$** системи; графік цієї функції називається **перехідною характеристикою**. За допомогою цієї характеристики можна судити про стійкість системи, її швидкодію, точність.

Якщо відоме рівняння, що описує САУ, перехідну функцію $h(t)$ можна отримати, розв'язавши це рівняння при нульових початкових умовах і прийнявши за вхідний вплив $x(t)=1(t)$.

Одиничний імпульс (δ -функція). Цей вплив являє собою дуже вузький імпульс, що обмежує одиничну площу. Тобто δ -функція задовольняє умовам:

$$\begin{cases} \delta(t) = \infty, & \text{при } t = 0, \\ \delta(t) = 0, & \text{при } t \neq 0, \end{cases} \quad (1.2)$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \delta(t) dt = 1. \quad (1.3)$$

За вплив одиничного імпульсу може бути прийнято вплив імпульсу будь-якої форми і малої довжини порівняно з очікуваним часом перехідного процесу.

Реакція системи на одиничний імпульсний вплив при нульових початкових умовах називається **імпульсною перехідною функцією $w(t)$** системи. Її називають також **ваговою функцією**. Графік цієї функції називається **імпульсною перехідною характеристикою**.

Перехідна та імпульсна перехідна характеристики називаються **часовими характеристиками**. Між ними існує зв'язок:

$$\frac{dh(t)}{dt} = w(t). \quad (1.4)$$

Аналогічно пов'язані між собою одинична функція та одиничний імпульс:

$$\frac{d1(t)}{dt} = \delta(t). \quad (1.5)$$

Гармонічний вплив. Частотні характеристики динамічних ланок визначаються при типовому впливі у вигляді гармонічної функції:

$$X(t) = A_1 \sin(\omega t + \varphi_1), \quad (1.6)$$

де A_1 – амплітуда коливань; ω – кругова частота.

Якщо до входу ланки чи системи докласти вплив типу (1.6), то на виході виникає реакція на цей вплив, що в усталеному режимі представляє собою також гармонічне коливання:

$$Y(t) = A_2 \sin(\omega t + \varphi_2). \quad (1.7)$$

Періодичний вхідний вплив за перетворенням Фур'є може бути записаний в показовій формі:

$$X(j\omega) = A_1(\omega) e^{j\varphi_1(\omega)}. \quad (1.8)$$

Аналогічно для вихідної функції:

$$Y(j\omega) = A_2(\omega) e^{j\varphi_2(\omega)}. \quad (1.9)$$

Відношення цих величин є частотною або комплексною передаточною функцією (КПФ) ланки чи системи від змінної ω :

$$W(j\omega) = \frac{Y(j\omega)}{X(j\omega)}. \quad (1.10)$$

Її, як і будь-яке комплексне число, можна записати в алгебраїчній та показовій формах:

$$W(j\omega) = U(\omega) + jV(\omega) = A(\omega) e^{j\varphi(\omega)}, \quad (1.11)$$

де $U(\omega) = \operatorname{Re}\{W(j\omega)\}$ – дійсна частина КПФ, її графік – ДЧХ (дійсна частотна характеристика;

$V(\omega) = \operatorname{Im}\{W(j\omega)\}$ – уявна частина КПФ, її графік – УЧХ (уявна частотна характеристика;

$A(\omega) = |W(j\omega)|$ – модуль КПФ – **амплітудно-частотна функція**,

$$A(\omega) = \sqrt{U^2(\omega) + V^2(\omega)}. \quad (1.12)$$

Графік цієї функції називають **амплітудно-частотною характеристикою** – АЧХ.

$\varphi(\omega) = \text{Arg}\{W(j\omega)\}$ – аргумент КПФ – *фазо-частотна функція*,

$$\varphi(\omega) = \text{arctg} \frac{V(\omega)}{U(\omega)}. \quad (1.13)$$

Графік цієї функції називається *фазо-частотною характеристикою* – **ФЧХ**.

Саму комплексну передаточну функцію $W(j\omega)$ називають також *амплітудно-фазовою частотною функцією*, а її графік на комплексній площині – *амплітудно-фазовою частотною характеристикою* – **АФЧХ**: це крива, яку описує кінець вектора на комплексній площині при зміні частоти ω від 0 до ∞ , причому довжина вектора дорівнює $A(\omega)$, а аргумент (кут між вектором та дійсною додатною напіввіссю) дорівнює $\varphi(\omega)$.

Окрім перелічених частотних характеристик (ДЧХ, УЧХ, АЧХ, ФЧХ, АФЧХ) при аналізі та синтезі САУ широко застосовуються також логарифмічні частотні характеристики – ЛЧХ:

ЛАЧХ – *логарифмічна амплітудно-частотна характеристика*,

ЛФЧХ – *логарифмічна фазо-частотна характеристика*.

ЛЧХ – це частотні характеристики системи, побудовані в іншій системі координат:

– по вісі абсцис відкладають частоту в логарифмічному масштабі: на поділці, що відповідає значенню $\lg(\omega)$, пишуть значення ω ; масштабною одиницею служить *декада* – інтервал, на якому частота змінюється в десять раз;

– по вісі ординат значення $A(\omega)$ відкладають в децибелах (дБ) – ЛАЧХ, а значення $\varphi(\omega)$ – в градусах чи радіанах – ЛФЧХ.

Логарифмічною амплітудно-частотною характеристикою САУ називають АЧХ цієї системи, що виражена в децибелах та побудована в логарифмічному масштабі частот.

ЛАЧХ та АЧХ зв'язані співвідношенням:

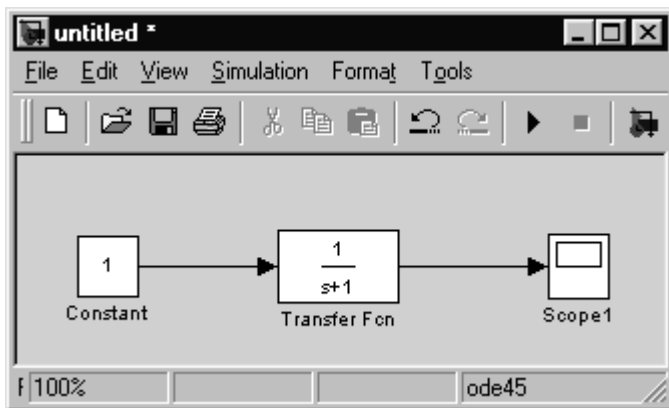
$$L(\omega) = 20 \lg A(\omega) = 20 \lg |W(j\omega)|. \quad (1.14)$$

Логарифмічною фазовою частотною характеристикою САУ називають залежність фази Φ , вираженої в градусах чи радіанах, від частоти в логарифмічному масштабі.

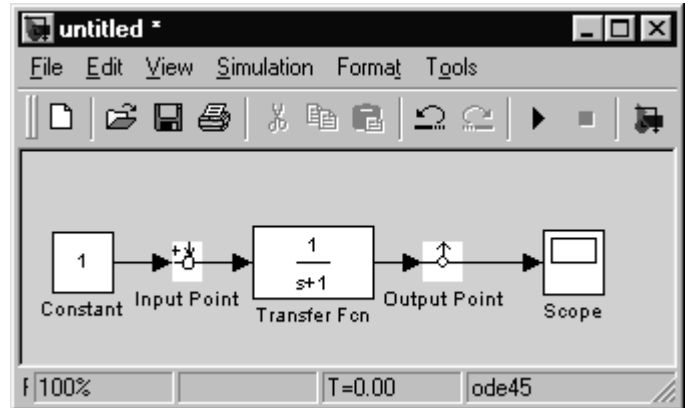
ЛЧХ мають переваги перед АЧХ та ФЧХ – вони більш наочні та прості в побудові.

Перехідна характеристика САУ може бути побудована за допомогою Simulink. Для цього необхідно побудувати модель системи, до входу підключити блок Constant, значення параметру дорівняти 1, а до виходу – блок осцилографа Scope.

Побудова частотних характеристик у пакеті програм MATLAB здійснюється з використанням функцій тулбоксу **Control System**. Розглянемо алгоритм перетворення структурної схеми в Simulink (рис. 1.1, а) у модель **Control System** (рис. 1.1, б). В меню **Tools** пакета **Simulink** вибрати команду **Linear Analysis**. У результаті з'являється вікно утиліти **LTIVIEW** та бібліотека блоків **Control System**. До входу системи необхідно підключити вхідний порт (блок **in**), а до виходу – вихідний порт (блок **out**).



а)



б)

Рис. 1.1 – Вікна моделей: а) схема в **Simulink**, б) модель в **Control System**

У вікні утиліти **LTIVIEW** в меню Simulink вибрати команду **Get Linearized Model**. У результаті в верхній частині вікна виводяться графіки характеристик системи.

Вибір конфігурації утиліти здійснюється через меню в заголовку вікна і меню, що виводиться на екран при натисканні правої кнопки миші.

Меню **File** містить команди роботи з моделями:

– **New Viewer...** – відкрити нове вікно LTIView;

– **Import...** – завантаження нової моделі в LTIView. На екран виводиться список моделей, доступних для завантаження. Модель, що завантажується, необхідно виділити і натиснути кнопку Apply, потім ОК;

– **Export...** – запис завантаженої моделі на диск чи експорт у робочий простір MATLAB (Workspace);

– **Delete Systems...** – видалення моделі з LTIView. На екран виводиться список моделей, доступних для видалення. Модель, що видаляється, необхідно виділити і натиснути кнопку Apply, потім ОК;

– **Refresh Systems** – оновити параметри моделей. Цей пункт меню необхідно виконувати кожного разу після зміни параметрів моделі для активізації змін у LTIView;

– **Print...** – друк графіків;

– **Print to figure...** – друк в інше вікно. Після виконання цього пункту відкривається нове вікно, у яке передається графік;

– **Close Viewer** – закрити вікно утиліти LTIView.

Меню **Tools** містить команди настроювання утиліти LTIView:

– **Viewer configuration** – настроювання вікна перегляду графіків. При виконанні даної команди на екран виводиться вікно, в якому можна задати розбивку вікна перегляду **LTIView** на частини і задати характеристики, що виводяться в кожній частині вікна.

– **Response References** – параметри графіків.

Побудова необхідної характеристики й аналіз параметрів графіка здійснюється в такому порядку. Для вибору характеристики необхідно установити курсор у вікно **LTIView**, натиснути праву кнопку миші. На екран виводиться меню, що містить команди:

– **Plot type** – виведена характеристика;

– **Systems** – системи, для яких будуються характеристики;

– **Characteristics** – відображення параметрів графіка;

– **Zoom** – масштабування;

– **Grid** – вивід сітки на графік.

Розглянемо характеристики, які можна побудувати за допомогою утиліти LTIView.

1. Step – перехідна характеристика $h(t)$.

Параметри графіка (задаються в меню Characteristics):

– *Peak Response* – максимальне значення перехідного процесу;

– *Setting Time* – час регулювання – інтервал часу, по закінченні якого відхилення вихідної координати не перевищує $\pm\Delta\%$ від усталеного значення. Значення Δ задається в меню Tools-Response Preferences-Calculate setting time for i за замовчуванням дорівнює **2%**;

– *Rise Time* – час наростання – інтервал часу, протягом якого перехідний процес від значення $p\%$ перший раз досягає значення $y\%$ від усталеного значення. Значення p и y задаються в меню Tools-Response Preferences-Calculate rise time from _ to _ і за замовчуванням рівні 10% і 90% відповідно;

– *Steady State* – усталене значення перехідного процесу.

Числові значення параметрів графіка можна отримати, вказавши курсором відповідну точку на графіку і натиснувши ліву кнопку миші.

2. Impulse – імпульсна перехідна характеристика $w(t)$:

– *Peak Response* – максимальне значення імпульсної характеристики;

– *Setting Time* – час установлення – інтервал часу, протягом якого закінчується перехідної процес.

3. Bode – логарифмічні амплітудна і фазова частотні характеристики:

– *Gain/Phase Margin* – запаси стійкості по амплітуді й фазі.

Відображаються точки, в яких логарифмічна частотна характеристика дорівнює «0» дБ і фазова характеристика дорівнює « -180° »;

– *Peak Response* – максимальне значення логарифмічної частотної характеристики.

4. Nyquist – амплітудно-фазова частотна характеристика (крива Найквіста).

– *Gain/Phase Margin* – запаси стійкості.

1.5 Порядок виконання роботи

1.5.1 Ознайомитися з інструкцією роботи з пакетом MATLAB та теоретичними відомостями про типові динамічні ланки.

1.5.2 Запустити пакет MATLAB.

1.5.3 Створити робоче вікно моделювання **Simulink**.

1.5.4.1 Створити структурну схему для моделювання характеристик інтегруючої ланки. Перетворити схему в **Simulink** у модель **Control System**. Побудувати характеристики ланки: $h(t)$ – Step, $w(t)$ – Impulse, ЛАЧХ, ЛФЧХ – Bode, АФЧХ – Nyquist, змінюючи коефіцієнт передачі для інтегруючої ланки ($K_1 = 1, K_2 = 5$). Проаналізувати, як змінюються характеристики ланки. Зберегти характеристики інтегруючої ланки для звіту. Зробити висновки.

1.5.4.2 Створити структурну схему для моделювання характеристик аперіодичної ланки першого порядку. Перетворити схему в **Simulink** у модель **Control System**. Побудувати характеристики ланки: Step, Impulse, Bode, Nyquist, змінюючи коефіцієнт передачі ($K_1 = 1, K_2 = 5$), потім змінюючи постійну часу ($T_1 = 0,1, T_2 = 1$ при $K_1 = 1$). Проаналізувати, як змінюються характеристики аперіодичної ланки. Зберегти характеристики аперіодичної ланки першого порядку для звіту. Зробити висновки.

1.5.4.3 Створити структурну схему для моделювання характеристик коливальної ланки. Перетворити схему в **Simulink** у модель **Control System**. Побудувати характеристики ланки: Step, Impulse, Bode, Nyquist, змінюючи коефіцієнт передачі ($K_1 = 1, K_2 = 5$), потім змінюючи постійну часу ($T_1 = 0,1, T_2 = 1$ при $K_1 = 1$), потім змінюючи коефіцієнт демпфірування ($\xi_1 = 0,5, \xi_2 = 0,9$ при $K_1 = 1, T_1 = 0,1$). Проаналізувати, як змінюються характеристики ланки. Зберегти характеристики коливальної ланки для звіту. Зробити висновки.

1.5.4.4 Вийти з пакету MATLAB.

1.6 Обробка результатів. Оформлення звіту

1.6.1 Назва і мета роботи.

1.6.2 Навести структурні схеми і характеристики інтегруючої, аперіодичної першого порядку, коливальної ланок: $h(t)$, $w(t)$, ЛАЧХ, ЛФЧХ, АФЧХ.

1.6.3 Висновки.

1.7 Контрольні питання

1. Що таке типова динамічна ланка?
2. Які типові динамічні ланки виділяють у курсі ТАУ?
3. Запишіть рівняння динамічних ланок.
4. Що таке перехідна функція, перехідна характеристика?
5. У рівняннях яких ланок присутній коефіцієнт демпфірування?
6. Як впливає на характеристики аперіодичної ланки першого порядку зміна постійної часу T ?
7. Як впливає на характеристики коливальної ланки зміна постійної часу T ?
8. Як впливає на характеристики коливальної ланки зміна коефіцієнту демпфірування ξ ?
9. У яких межах може змінюватися коефіцієнт демпфірування ξ для коливальної, аперіодичної другого порядку, консервативної ланок?
10. Що таке передаточна функція за Лапласом?
11. Запишіть передаточні функції типових динамічних ланок.
12. Що таке комплексна передаточна функція?
13. Які існують частотні характеристики ланок?
14. Що таке АФЧХ і як вона будується?

1.8 Література: [1-5].

Лабораторна робота № 2

Дослідження систем автоматичного регулювання із запізнюванням

2.1 Мета роботи

Дослідження впливу ланки запізнювання на стійкість та якість системи автоматичного управління.

2.2 Зміст роботи

2.2.1 Вивчення впливу ланки запізнювання на характеристики системи автоматичного управління.

2.2.2 Експериментальне одержання перехідних та частотних характеристик системи із запізнюванням.

2.3 Теоретичні відомості

До складу систем автоматичного управління можуть входити ланки запізнювання, рівняння яких мають вигляд:

$$y(t) = x(t - \tau), \quad (2.1)$$

де τ – час запізнювання.

Передаточна функція такої ланки відповідно до теореми запізнювання (властивості перетворення за Лапласом):

$$W_{\text{зап}}(S) = e^{-s\tau} \quad (2.2)$$

Системи автоматичного управління, до складу яких входить ланка запізнювання, називаються системами із запізнюванням.

Ланка запізнювання може включатися до прямого ланцюга системи або до ланцюга зворотного зв'язку. Причому, незалежно від місця включення ланки запізнювання, характеристичне рівняння замкненої системи із запізнюванням має вид:

$$D_{\tau}(S) = Q(S) + R(S) e^{-s\tau} = 0, \quad (2.3)$$

де $Q(S)$ і $R(S)$ – відповідно поліноми знаменника і чисельника передаточної функції розімкнутої системи без запізнювання.

Це характеристичне рівняння не є поліномом і має безкрайню множину коренів. Тому для дослідження стійкості систем із запізнюванням необхідно використовувати частотні критерії стійкості, зручно використовувати критерій стійкості Найквіста. Висновок про стійкість системи можна зробити на підставі аналізу АФЧХ розімкнутої системи із запізнюванням.

Можна показати, що наявність ланки запізнювання не змінює модуля $A(\omega)$ АФЧХ розімкнутої САУ, а вносить лише додатковий від'ємний фазовий зсув $-\omega\tau$. Змінюючи час запізнення τ в широких межах, можна знайти таке його значення, при якому замкнута система буде знаходитися на межі стійкості. В цьому випадку АФЧХ розімкнутої системи із запізнюванням буде проходити через точку $(-1; j0)$.

Час запізнення $\tau_{кр}$ і відповідне йому значення частоти $\omega_{кр}$, при яких АФЧХ проходить через точку $(-1; j0)$, називають критичними. Для критичного випадку справедливі умови:

$$A(\omega_{кр}) = 1; \quad \varphi_{\tau}(\omega_{кр}) = -\pi. \quad (2.4)$$

Система автоматичного управління буде стійкою, якщо час запізнення τ менший за критичний: $\tau < \tau_{кр}$.

2.4 Порядок виконання роботи

Дослідженню підлягає система автоматичного управління до складу якої входить ланка запізнювання.

2.4.1 Передаточна функція розімкнутої системи автоматичного управління без запізнювання має вигляд:

$$W(S) = \frac{K}{S(T_1S + 1)(T_2S + 1)}. \quad (2.5)$$

Значення коефіцієнта передачі K та постійних часу T_1 і T_2 наведені в таблиці 2.1.

За допомогою пакета MATLAB побудувати перехідну характеристику $h(t)$ замкненої системи з одиничним від'ємним зворотним зв'язком. Зробити

висновок про стійкість системи.

2.4.2 Ввести до прямого ланцюга системи ланку запізнення з часом запізнення $\tau = 0,01\text{с}$, побудувати перехідну характеристику системи із запізненням і зробити висновок, як ланка запізнення впливає на якість перехідного процесу.

2.4.3 Збільшуючи час запізнення, простежити як змінюється перехідна характеристика системи; добитися втрати стійкості системи (перехідний процес розбігається).

2.4.4 Визначити експериментально значення критичного часу запізнення $\tau_{кр}$, при якому система буде знаходитись на межі стійкості (перехідний процес буде незатухаючим).

2.4.5 Повторити пункти 2.4.2 – 2.4.4 для випадку, коли ланку запізнення включено до ланцюга зворотного зв'язку. Зробити висновки.

2.4.6 Вийти з програми.

Таблиця 2.1 – Завдання до лабораторної роботи

№ варіанта	1	2	3	4	5
$K, \text{с}^{-1}$	5	3	1	10	8
$T_1, \text{с}$	0,5	0,1	0,05	0,05	0,04
$T_2, \text{с}$	0,01	0,05	0,01	0,2	0,1

2.5 Обробка результатів. Оформлення звіту

2.5.1 Назва і мета роботи.

2.5.2 Структурна схема системи без запізнювання, її перехідна характеристика; висновок про стійкість системи.

2.5.3 Структурна схема системи з ланкою запізнювання в прямому ланцюзі; перехідна характеристика для одного значення часу запізнення $\tau < \tau_{кр}$; визначене експериментально значення критичного часу запізнення $\tau_{кр}$.

2.5.4 Структурна схема системи з ланкою запізнювання в ланцюзі зворотного зв'язку; перехідна характеристика для одного значення часу

запізнення $\tau < \tau_{кр}$; визначене експериментально значення критичного часу запізнення $\tau_{кр}$.

2.5.5 Висновки.

2.6 Контрольні питання

1. Наведіть рівняння та передаточну функцію ланки запізнювання.
2. За якими критеріями і як можна перевірити стійкість системи, яка містить ланку запізнювання?
3. Що таке критичний час запізнювання?
4. Як впливає на стійкість системи ланка запізнювання у прямому ланцюзі системи?
5. Як впливає на стійкість системи ланка запізнювання, включена до ланцюга зворотного зв'язку?
6. Як впливає ланка запізнювання на частотні характеристики системи?
7. Як визначається критичний час запізнювання за АФЧХ розімкнутої системи?

2.7 Література: [1-5].

Лабораторна робота № 3
Вивчення впливу зворотних зв'язків
на характеристики типових динамічних ланок

3.1 Мета роботи

Дослідження на ПЕОМ впливу від'ємних зворотних зв'язків на перехідні характеристики типових динамічних ланок.

3.2 Зміст роботи

3.2.1 Ознайомлення з поняттями "зворотний зв'язок", "гнучкий зворотний зв'язок", "жорсткий зворотний зв'язок".

3.2.2 Підготовка структурних схем типових динамічних ланок, охоплених від'ємними зворотними зв'язками.

3.2.3 Експериментальне одержання перехідних характеристик динамічних ланок, охоплених зворотними зв'язками.

3.3 Теоретичні відомості

Однією з проблем, розв'язуваних теорією автоматичного управління, є проблема забезпечення необхідних властивостей САУ. У тому випадку, коли стійкість системи і необхідна якість не можуть бути досягнуті простою зміною параметрів самої САУ, до неї включають коригуючий пристрій. Задачею цього пристрою є перетворення керуючого сигналу так, щоб забезпечити необхідний закон зміни керованої координати.

Коригуючий пристрій включають у САУ по різному:

- у прямий ланцюг системи (послідовний коригуючий пристрій);
- паралельно одному з елементів прямого ланцюга САУ (паралельний коригуючий пристрій);
- у ланцюг зворотного зв'язку, що охоплює один з елементів прямого ланцюга САУ (паралельно-зустрічний коригуючий пристрій).

В останньому випадку варто помітити, що вплив зворотних зв'язків дуже різноманітний. Зворотні зв'язки поділяються на жорсткі та гнучкі. Жорсткий

зворотний зв'язок діє на систему як у перехідному, так і в сталому режимах, реалізується він пропорційною ланкою, тобто передавальна функція ланки зворотного зв'язку: $W_o(S) = K_o$.

Гнучкий зворотний зв'язок діє лише в перехідних режимах; він реалізується диференціальною ланкою з передавальною функцією $W_o(S) = K_o S$ чи інерційною диференціальною ланкою: $W_o(S) = K_o S / (T_o S + 1)$.

Припустимо, що ланка з передаточною функцією $W(S)$ охоплена від'ємним зворотним зв'язком з передаточною функцією $W_o(S)$. Тоді еквівалентна передаточна функція цієї ділянки ланцюга має вигляд:

$$W_E(S) = \frac{W(S)}{1 + W(S) W_o(S)}. \quad (3.1)$$

Розглянемо найбільш характерні випадки.

а) Аперіодична ланка, охоплена жорстким зворотним зв'язком, тобто

$$W(S) = \frac{K}{(TS + 1)}; W_o(S) = K_o. \quad (3.2)$$

У цьому випадку еквівалентна передаточна функція має вигляд:

$$W_E(S) = \frac{K_E}{T_E S + 1}; \text{ де } K_E = \frac{K}{1 + K K_o}; T_E = \frac{T}{1 + K K_o}. \quad (3.3)$$

Таким чином, жорсткий зворотний зв'язок не змінює структуру аперіодичної ланки, але зменшує її інерційність, тобто зменшує постійну часу. Одночасно зменшується коефіцієнт передачі ланки.

б) Аперіодична ланка, охоплена гнучким зворотним зв'язком, тобто

$$W(S) = \frac{K}{(TS + 1)}; W_o(S) = K_o S. \quad (3.4)$$

Тоді:

$$W_E(S) = \frac{K}{T_E S + 1}; \text{ де } T_E = T + K K_o. \quad (3.5)$$

Отже, гнучкий від'ємний зворотний зв'язок не змінює структуру ланки і не впливає на коефіцієнт передачі, але збільшує її інерційність, тобто її постійну часу.

в) Інтегруюча ланка, охоплена жорстким зворотним зв'язком, тобто

$$W(S) = \frac{K}{S}; W_o(S) = K_o. \quad (3.6)$$

Тоді:

$$W_E(S) = \frac{K_E}{T_E S + 1}; \text{ де } K_E = \frac{1}{K_o}; T_E = \frac{1}{K K_o}. \quad (3.7)$$

Жорсткий зворотний зв'язок перетворює інтегруючу ланку в аперіодичну.

г) Інтегруюча ланка, охоплена гнучким зворотним зв'язком, тобто

$$W(S) = \frac{K}{S}; W_o(S) = K_o S. \quad (3.8)$$

Тоді

$$W_E(S) = \frac{K_E}{S}; \text{ де } K_E = \frac{K}{1 + K K_o}. \quad (3.9)$$

Гнучкий зворотний зв'язок не змінює структуру інтегруючої ланки, але зменшує її коефіцієнт передачі.

д) Коливальна ланка, охоплена жорстким зворотним зв'язком, тобто

$$W(S) = \frac{K}{T^2 S^2 + 2\xi TS + 1}; W_o(S) = K_o. \quad (3.10)$$

Тоді

$$W_E(S) = \frac{K_E}{T_E^2 S^2 + 2\xi_E T_E S + 1}; \text{ де } K_E = \frac{K}{1 + K K_o};$$
$$T_E = \frac{T}{\sqrt{1 + K K_o}}; \xi_E = \frac{\xi}{\sqrt{1 + K K_o}}. \quad (3.11)$$

Жорсткий зворотний зв'язок не змінює структуру коливальної ланки, але зменшує постійну часу, коефіцієнт передачі ланки і коефіцієнт демпфірування.

е) Коливальна ланка, охоплена гнучким зворотним зв'язком, тобто

$$W(S) = \frac{K}{T^2 S^2 + 2\xi TS + 1}; W_o(S) = K_o S. \quad (3.12)$$

Можливі два варіанти:

– зворотний зв'язок слабкий, тобто $K_o < 2T(1 - \xi)/K$, тоді

$$W_E(S) = \frac{K}{T^2 S^2 + 2\xi_E T S + 1}; \quad \xi_E = \xi + \frac{K K_o}{2T}, \quad (3.13)$$

тобто структура ланки не змінюється, тільки збільшується її коефіцієнт демпфірування;

– зворотний зв'язок сильний, тобто $K_o > 2T(1 - \xi)/K$, тоді

$$W_E = \frac{K}{(T_1 S + 1)(T_2 S + 1)}; \quad T_{1,2} = 0,5(r \pm \sqrt{r^2 - 4T^2}); \quad r = 2\xi T + K K_o. \quad (3.14)$$

Сильний зворотний зв'язок перетворює коливальну ланку в аперіодичну ланку другого порядку.

З розглянутих прикладів можна зробити висновок про те, що навіть найпростіші від'ємні зворотні зв'язки можуть істотно змінити властивості типових динамічних ланок.

3.4 Порядок виконання роботи

3.4.1 Запустити програму MATLAB.

3.4.2 Набрати структурну схему інтегруючої ланки, задавши числове значення коефіцієнта передачі відповідно до варіанта (таблиця 3.1). Зняти перехідну характеристику ланки.

3.4.3 Набрати структурну схему інтегруючої ланки, охопленої жорстким зворотним зв'язком. Зняти перехідну характеристику.

3.4.4 Набрати структурну схему інтегруючої ланки, охопленої гнучким зворотним зв'язком. Зняти перехідну характеристику.

3.4.5 Виконати аналогічні дослідження для аперіодичної і коливальної ланок, причому при дослідженні впливу гнучкого зворотного зв'язку на властивості коливальної ланки зняти дві перехідні характеристики для двох значень коефіцієнта K_o : K_{o1} і K_{o2} , що відповідають слабкому і сильному гнучкому від'ємному зворотному зв'язку.

3.4.6 Вийти з програми MATLAB.

3.5 Завдання до лабораторної роботи

Досліджувані у лабораторній роботі типові динамічні ланки і ланки зворотного зв'язку мають передаточні функції (3.2), (3.4), (3.6), (3.8), (3.10), (3.12). У таблиці 3.1 надані коефіцієнти і постійні часу зазначених передаточних функцій.

Таблиця 3.1 – Вхідні дані для дослідження

Тип ланки	Параметр	Варіант					
		1	2	3	4	5	6
Інтегруюча	K	2	4	5	1	3	1
	K_o	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
Аперіодична	K	3	5	6	3	12	10
	T	2	1	1,5	0,5	0,3	0,75
	K_o	0,1	0,3	0,5	0,2	0,3	0,6
Коливальна	K	2	4	5	1	3	1
	T	2	1	1,5	0,5	0,3	0,75
	ξ	0,8	0,2	0,3	0,6	0,4	0,7
	K_{o1}	0,1	0,3	0,3	0,3	0,1	0,1
	K_{o2}	0,7	0,7	0,8	0,8	0,5	0,6

3.6 Обробка результатів. Оформлення звіту

3.6.1 Назва роботи.

3.6.2 Структурні схеми, вхідні дані, перехідні характеристики для кожного досліджуваного випадку (всього десять випадків). Побудову всіх перехідних характеристик для кожної з трьох типових ланок можна виконати в одній системі координат.

3.6.3 Висновки.

3.7 Контрольні питання

1. Що таке типова динамічна ланка?
2. Що таке передаточна функція ланки?
3. Що таке коригуючий пристрій?
4. Які існують способи включення коригуючих пристроїв?
5. Що таке жорсткий зворотний зв'язок? Якими ланками він реалізується?
6. Що таке гнучкий зворотний зв'язок? Якими ланками він реалізується?
7. Як впливає на властивості інтегруючої ланки жорсткий від'ємний зворотний зв'язок? Гнучкий від'ємний зворотний зв'язок?
8. Як впливає на властивості аперіодичної ланки жорсткий від'ємний зворотний зв'язок? Гнучкий від'ємний зворотний зв'язок?
9. Як впливає на властивості коливальної ланки жорсткий від'ємний зворотний зв'язок? Гнучкий слабкий від'ємний зворотний зв'язок, гнучкий сильний від'ємний зворотний зв'язок?
10. Виведіть еквівалентні передаточні функції типових динамічних ланок (інтегруючої, аперіодичної, коливальної), охоплених: жорстким від'ємним зворотним зв'язком; гнучким від'ємним зворотним зв'язком.

3.8 Література: [1-5].

Лабораторна робота № 4

Вивчення методів підвищення точності регулювання в сталих режимах

4.1 Мета роботи

Дослідження на ПЕОМ способів підвищення точності регулювання в сталих режимах, переваги та недоліки способів.

4.2 Зміст роботи

4.2.1 Ознайомлення з методами підвищення точності регулювання в сталих режимах.

4.2.2 Підготовка структурних схем САУ, що підлягають дослідженню.

4.2.3 Експериментальне одержання та аналіз перехідних характеристик САУ.

4.3 Теоретичні відомості

При дослідженні систем автоматичного управління доводиться вирішувати задачу забезпечення необхідних показників якості перехідного процесу: швидкодії, коливальності, перерегулювання, що характеризують точність і плавність протікання процесу. Якість регулювання в сталому режимі характеризується точністю системи, тобто величиною сталої помилки регулювання $\varepsilon(t)$.

Ця помилка може бути зображена у вигляді ряду:

$$\varepsilon(t) = C_0 x(t) + C_1 \frac{dx(t)}{dt} + \frac{C_2}{2!} \cdot \frac{d^2 x(t)}{dt^2} + \dots + \frac{C_m}{m!} \cdot \frac{d^m x(t)}{dt^m} + \dots, \quad (4.1)$$

де $x(t)$ – сигнал, що діє на вході системи. Коефіцієнти C_0, C_1, C_2, \dots прийнято називати коефіцієнтами помилок: C_0 – коефіцієнт статичної чи позиційної помилки; C_1 – коефіцієнт швидкісної помилки; C_2 – коефіцієнт помилки від прискорення.

У статичній системі всі коефіцієнти помилок C_i відмінні від нуля, причому,

$$C_o = \frac{1}{1+K}, \quad (4.2)$$

де K – коефіцієнт передачі розімкнутої системи.

У системі з астатизмом першого порядку $C_o = 0$, інші коефіцієнти C_i відмінні від нуля, причому,

$$C_1 = \frac{1}{K}. \quad (4.3)$$

У системах з астатизмом другого порядку $C_o = C_1 = 0$, $C_2 \neq 0$, $C_3 \neq 0$, ... Таким чином, одним зі способів підвищення точності регулювання є підвищення порядку астатизму системи, тобто збільшення числа коефіцієнтів C_i , рівних нулю.

Підвищення порядку астатизму може бути досягнуто збільшенням числа інтегруючих ланок у САУ, але при цьому ускладнюється задача забезпечення стійкості системи. Варто пам'ятати, що система з астатизмом другого порядку, до складу якої входять тільки пропорційні, інтегруючі, аперіодичні й коливальні ланки, і не входять ланки форсуєчі, є структурно нестійкою.

Значно кращі результати одержують при підвищенні порядку астатизму САУ за допомогою ізодромної ланки, що має передаточну функцію:

$$W_u(S) = \frac{K_u(T_u S + 1)}{S} = 1 + \frac{K_u}{S}, \quad (4.4)$$

де $T_u = \frac{1}{K_u}$ – постійна часу ізодрому.

Якщо постійна часу T_u досить велика, то запас стійкості при введенні такої ланки може бути збережений незмінним. Однак, при великому значенні T_u можуть збільшитися старші коефіцієнти помилок.

Як видно з виразів (4.2), (4.3), зменшення сталої помилки $\varepsilon(t)$ може бути досягнуте також збільшенням коефіцієнта передачі розімкнутої системи.

Однак зі збільшенням статичної точності в більшості випадків зменшуються запаси стійкості, й при значному збільшенні коефіцієнта K система стає нестійкою.

Тому, при підвищенні точності регулювання шляхом збільшення коефіцієнта передачі K розімкнутої системи, необхідні заходи для забезпечення достатнього запасу стійкості.

4.4 Порядок виконання роботи

4.4.1 Запустити програму MATLAB.

4.4.2 Набрати структурну схему замкнутої САУ (зворотний зв'язок – від'ємний, одиничний), передаточна функція розімкнутої САУ має вид:

$$W(S) = \frac{K}{(T_1S + 1)(T_2S + 1)(T_3S + 1)}, \quad (4.5)$$

де $K = 10 \text{ с}^{-1}$, $T_1 = 0,5 \text{ с}$; $T_2 = 0,025 \text{ с}$; $T_3 = 0,01 \text{ с}$.

Зняти перехідну характеристику САУ $h(t)$.

4.4.3 Зняти перехідні характеристики САУ, задаючи значення коефіцієнта передачі K рівним 20, 30, 40 с^{-1} .

4.4.4 Збільшуючи значення K , визначити величину граничного коефіцієнта підсилення (перехідний процес для цього випадку має вид незатухаючих коливань). Також визначити граничний коефіцієнт підсилення за критерієм Гурвіца, порівняти отримані результати.

4.4.5 Ввести в структурну схему початкове значення параметра $K = 10 \text{ с}^{-1}$. Включити в прямий ланцюг САУ інтегруючу ланку з передаточною функцією $W_1(S) = 1/S$. Зняти перехідну характеристику $h(t)$. Зробити висновки.

4.4.6 Включити в прямий ланцюг САУ ще одну інтегруючу ланку. Зняти перехідну характеристику $h(t)$. Зробити висновки.

4.4.7 Вилучити інтегруючі ланки, у прямий ланцюг САУ включити ізодромну ланку з передаточною функцією (4.4), прийнявши $K_u = 1$. Зняти перехідну характеристику. Зробити висновки.

4.5 Обробка результатів. Оформлення звіту

4.5.1 Назва і мета роботи.

4.5.2 Навести структурні схеми та перехідні характеристики для кожного виконаного етапу роботи. За перехідними характеристиками визначити: час регулювання t_p , с; перерегулювання σ , %; число коливань N ; усталену помилку $\varepsilon_{ст}$.

4.5.3 Зробити висновки.

4.6 Контрольні питання

1. Якими показниками характеризується якість САУ?
2. Запишіть ряд, в який розкладається помилка регулювання.
3. Як визначаються молодші коефіцієнти помилок у статичних і астатичних САУ?
4. Які існують способи підвищення точності регулювання?
5. Якими методами досягається підвищення порядку астатизму системи?
6. Як впливає на стійкість САУ введення однієї інтегруючої ланки? Двох інтегруючих ланок?
7. Як впливає на стійкість САУ збільшення коефіцієнта передачі розімкненої системи?
8. Що таке астатична САУ?
9. Що таке статична САУ?
10. Що таке сталий режим? Статичний режим? Сталий динамічний режим?
11. Що таке перехідний режим?

4.7 Література: [1-5].

Лабораторна робота № 5

Дослідження стійкості та якості лінійної безперервної САУ

5.1 Мета роботи

Дослідження методів забезпечення стійкості, підвищення запасів стійкості лінійної безперервної системи.

5.2 Зміст роботи

5.2.1 Ознайомлення з основними методами забезпечення стійкості та підвищення запасів стійкості лінійних безперервних систем.

5.2.2 Експериментальне одержання перехідних та частотних характеристик лінійної системи для різних значень постійних часу однієї з ланок системи, а також для різних додаткових ланок у прямому ланцюзі системи.

5.3 Теоретичні відомості

Способи надання системам автоматичного управління стійкості й достатніх запасів стійкості різноманітні. Основними з них є зміна постійної часу T однієї з ланок системи, а також введення в прямий ланцюг системи додаткових ланок.

Для першого способу діє таке правило: якщо частота спряження аперіодичної або коливальної ланок розташована ліворуч частоти зрізу ЛАЧХ розімкнутої САУ, а частота спряження форсуючої ланки розташована праворуч частоти зрізу, то збільшення постійної часу T кожної з цих ланок веде до збільшення запасів стійкості.

Якщо частота спряження аперіодичної або коливальної ланок розташована праворуч частоти зрізу ЛАЧХ розімкнутої САУ, а частота спряження форсуючої ланки розташована ліворуч від частоти зрізу, то збільшення постійної часу T кожної з цих ланок веде до зменшення запасів стійкості.

Наведене правило діє тільки за умови, якщо частота спряження

розташована на відстані близько однієї декади від частоти зрізу. Крім того, існують деякі структури, для яких це правило не виконується.

Другий спосіб забезпечення стійкості – введення додаткових ланок в прямий ланцюг системи. Розглянемо основні випадки.

а) Введення в прямий ланцюг системи додаткової аперіодичної ланки з передаточною функцією

$$W_d(S) = \frac{1}{(T_d S + 1)}, \quad (5.1)$$

де T_d – постійна часу додаткової ланки, яка значно більше постійних часу аперіодичних ланок, що входять у систему.

В такий спосіб можна підвищити запаси стійкості, при цьому високочастотні частини ЛАЧХ та ЛФЧХ розімкнутої системи зміщуються вниз. Тому такий спосіб називають стабілізацією системи з подавленням високих частот або стабілізацією з внесенням від'ємних фазових зсувів.

Аперіодична ланка з великою постійною часу являє собою фільтр низьких частот й подавляє високочастотні завади. В цьому полягають переваги даного способу; однак така ланка також значно зменшує частоту зрізу, а отже, й швидкодію системи. Це основний недолік такого методу стабілізації системи.

б) Введення в прямий ланцюг додаткової форсуючої ланки з передаточною функцією

$$W_d(S) = T_d S + 1, \quad (5.2)$$

де T_d – постійна часу додаткової ланки, яку бажано прийняти рівною постійній часу однієї з аперіодичних ланок системи, частота спряження якої розташована ліворуч частоти зрізу.

Введення такої ланки приводить до підняття високочастотних частин ЛАЧХ та ЛФЧХ розімкнутої системи, тому цей спосіб називають стабілізацією з підняттям високих частот або стабілізацією з введенням додатних фазових зсувів.

При цьому підвищується швидкодія системи, але значно підвищується й вплив високочастотних завад. Останнє суттєво обмежує використання такого

способу стабілізації систем.

в) Введення в прямий ланцюг додаткової ланки із складною передаточною функцією

$$W_d(S) = \frac{(T_{d2}S + 1)(T_{d3}S + 1)}{(T_{d1}S + 1)(T_{d4}S + 1)} \quad (5.3)$$

Стійкість системи та необхідні запаси стійкості досягаються переміщенням вниз середньочастотної частини ЛАЧХ, тому такий спосіб називають стабілізацією з подавленням середніх частот. Він є проміжним між першими двома й об'єднує їх переваги, тому застосовується найчастіше для стабілізації лінійних безперервних САУ.

Перелічені способи забезпечення стійкості є основними, але не вичерпують усіх можливостей.

5.4 Порядок виконання роботи

Дослідженню підлягає замкнена лінійна безперервна система автоматичного управління з одиничним від'ємним зв'язком, передаточна функція якої в розімкнутому стані має вигляд:

$$W(S) = \frac{K}{(T_1S + 1)(T_2S + 1)(T_3S + 1)}, \quad (5.4)$$

де K – коефіцієнт передачі розімкнутої системи, $K = 20 \text{ с}^{-1}$; $T_1 = 0,5 \text{ с}$; $T_2 = 0,025 \text{ с}$; $T_3 = 0,01 \text{ с}$.

5.4.1 Запустити програму MATLAB.

5.4.2 Виконати за допомогою пакета MATLAB моделювання замкнутої системи, що підлягає дослідженню. Визначити час регулювання, запаси стійкості за фазою і амплітудою. Слід пом'ятати, що час регулювання визначається за перехідною характеристикою $h(t)$ замкнутої системи, а запаси стійкості – за ЛАЧХ і ЛФЧХ розімкнутої системи.

5.4.3 Підвищити значення постійної часу T_1 з $0,5 \text{ с}$ до 1 с . Повторити пункт 5.4.2. Зробити висновки.

5.4.4 Підвищити значення постійної часу T_3 з $0,01 \text{ с}$ до $0,02 \text{ с}$, при

постійній часу $T_1 = 0,5$ с. Повторити пункт 5.4.2. Зробити висновки.

5.4.5 Прийняти для початкової системи: $K = 100 \text{ с}^{-1}$; $T_1 = 0,05$ с; $T_2 = 0,01$ с; $T_3 = 0,001$ с. Виконати для таких умов пункт 5.4.2. Зробити висновки.

5.4.6 Ввести в прямий ланцюг додаткову аперіодичну ланку з передаточною функцією (5.1), прийнявши $T_d = 3$ с. Повторити пункт 5.4.2. Зробити висновки.

5.4.7 Вилучити додаткову аперіодичну ланку з передаточною функцією (5.1) з $T_d = 3$ с. Ввести в прямий ланцюг додаткову форсуючу ланку з передаточною функцією (5.2), прийнявши $T_d = 0,01$ с. Повторити пункт 5.4.2. Зробити висновки.

5.4.8 Вилучити додаткову форсуючу ланку з передаточною функцією (5.2) з $T_d = 0,01$ с. Ввести в прямий ланцюг додаткову ланку з передаточною функцією (5.3), прийнявши $T_{d1} = 0,1$ с; $T_{d2} = T_{d3} = 0,01$ с; $T_{d4} = 0,001$ с. Повторити пункт 5.4.2. Зробити висновки.

5.4.9 Вийти з програми.

5.5 Обробка результатів. Оформлення звіту

5.5.1 Назва і мета роботи.

5.5.2 Структурна схема системи, яка підлягає дослідженню.

5.5.3 Передаточні функції $W(S)$, перехідні $h(t)$ та частотні (ЛАЧХ і ЛФЧХ) характеристики для кожного пункту дослідження (для кожного пункту повинні бути визначені: час регулювання, запаси стійкості за фазою і амплітудою).

5.5.4 Висновки.

5.6 Контрольні питання

1. Як визначаються запаси стійкості за фазою і амплітудою за ЛАЧХ і ЛФЧХ розімкненої САУ? Якими вони повинні бути в добре спроектованій системі?
2. Як характеризується якість процесу управління САУ? На які групи діляться показники якості?
3. Якими показниками характеризується якість перехідного процесу в САУ (прямі оцінки якості)?
4. Як пов'язані частота зрізу і час регулювання?
5. Які існують способи забезпечення стійкості й підвищення запасів стійкості?
6. Як впливає зміна постійної часу аперіодичної ланки на запаси стійкості системи?
7. Як впливає на стійкість системи введення додаткової аперіодичної ланки?
8. Як впливає на стійкість системи введення додаткової форсуючої ланки?
9. Як впливає на стійкість системи введення додаткової ланки із складною передавальною функцією?

5.7 Література: [1-5].

Лабораторна робота № 6

Моделювання типових нелінійних елементів

6.1 Мета роботи

Придбання навичок моделювання типових нелінійних елементів за допомогою пакета програм MATLAB.

6.2 Зміст роботи

6.2.1 Вивчення теоретичних відомостей з теми лабораторної роботи.

6.2.2 Моделювання типових нелінійних елементів засобами пакета MATLAB.

6.3 Теоретичні відомості

Лінійні системи автоматичного управління описують лінійними диференціальними рівняннями. У цих рівняннях змінні та їх похідні зустрічаються лише у першому ступені й відсутні взаємні добутки змінних та їх добутки з похідними.

На практиці лінійних САУ не існує, бо характеристики більшості елементів, що утворюють системи, нелінійні, й точні диференціальні рівняння систем є нелійними. До нелінійних САУ належать системи, до яких входить один або декілька нелінійних елементів. Нелінійність систем обумовлена нелінійністю статичної характеристики одного з її елементів.

Найпростішими нелінійними елементами є *статичні нелінійності*. У них вихідна величина y залежить тільки від вхідної величини x , причому ця залежність є однозначною (рис. 6.1, а, в; рис. 6.2, а, б, г).

У *динамічних нелінійностей* вихідна величина y залежить як від вхідної величини x , так і від її похідної x' . Характеристика динамічної нелінійності завжди неоднозначна. Це петльові характеристики (рис. 6.1, б; рис. 6.2, д, е). Більш складною динамічною нелінійністю є елемент із сухим тертям або ідеальне реле, що часто зустрічається в технічних пристроях (рис. 6.2, в).

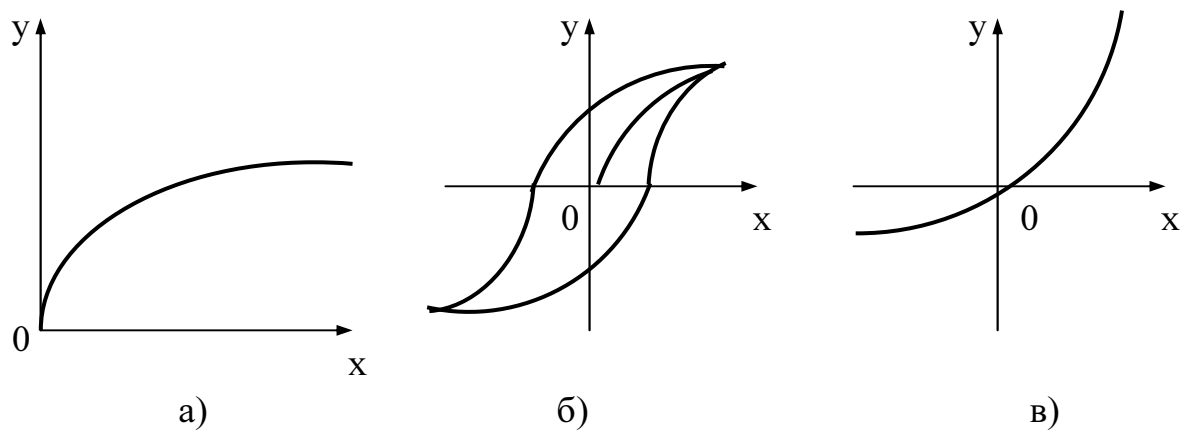


Рис. 6.1 – Типові нелінійні характеристики: а) елемент з насиченням, б) гістерезис, в) випрямляч

Досить часто зустрічаються елементи, характеристики яких є частково-лінійними або апроксимуються частково-лінійними графіками (рис. 6.2).

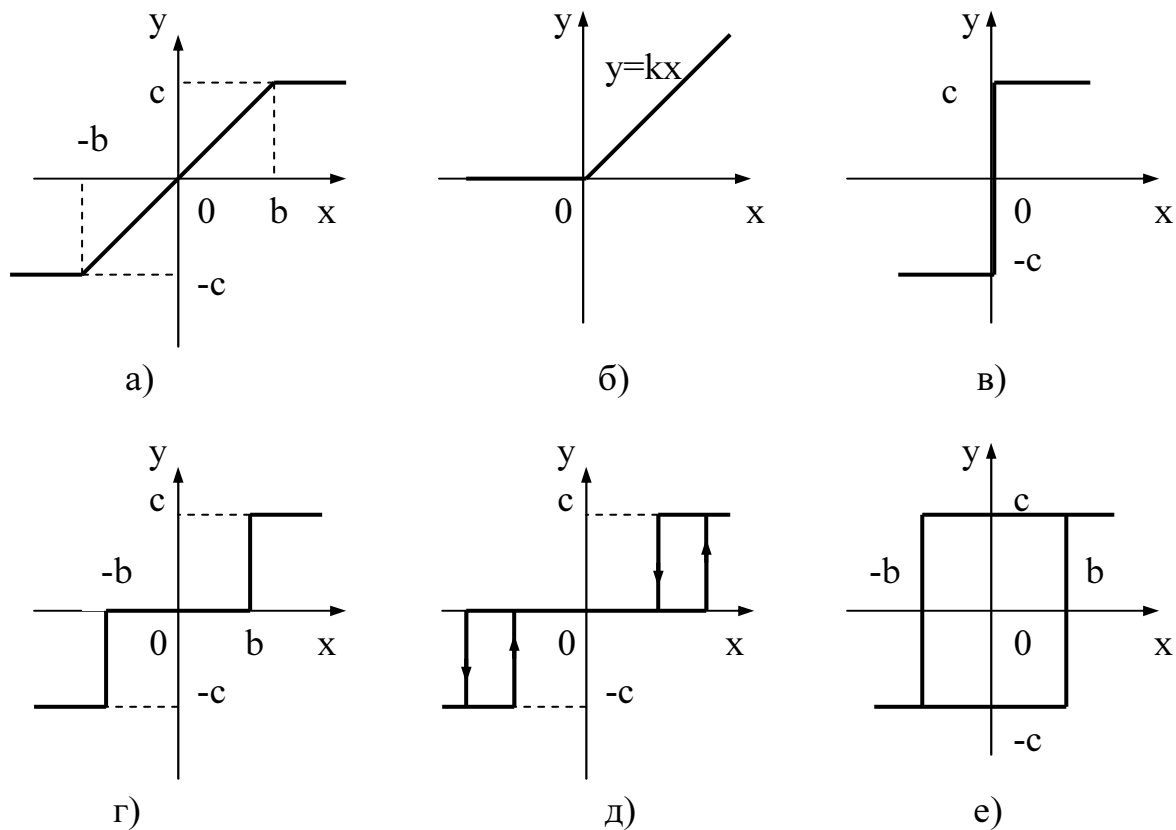


Рис. 6.2 – Типові частково-лінійні характеристики:

- а) характеристика з насиченням, б) ідеальний випрямляч, в) ідеальне реле,
- г) трипозиційне реле із зоною нечутливості, д) трипозиційне реле із зоною нечутливості і гістерезисом, е) двопозиційне реле з гістерезисом

Деякі типові нелінійні блоки надані у розділі **Nonlinear** бібліотеки Simulink.

Rate Limiter – обмеження швидкості; у блоці параметрів задається гранична швидкість зростання (rising slew rate) і гранична швидкість убутання (falling slew rate) вхідного сигналу.

Saturation (рис. 6.2, а) – ідеальний обмежувач, сигнал на виході якого дорівнює вхідному сигналу до тих пір, доки не досягне порогів обмеження: верхнього upper limit і нижнього lower limit. Після цього сигнал перестає змінюватися. Найбільш характерне застосування обмежувача для обмеження синусоїдальних сигналів.

Dead Zone – зона нечутливості (мертва зона); у блоці параметрів можна задавати ширину зони нечутливості, start of dead zone, end of dead zone, за замовченням це «- 0,5» і «+0,5».

Relay– релейний блок має розривну передаточну функцію з гістерезисом (рис. 6.2, е) або без нього (рис. 6.2, в); у блоці параметрів задають ширину петлі, вказуючи моменти вмикання (switch on point) і вимикання (switch off point) реле, а також величину сигналу при увімкненому (output when on) і вимкненому (output when off) реле; за допомогою цієї нелінійності можна змодельовати ідеальну релейну характеристику (рис. 6.2, в), якщо задати моменти вмикання і вимикання нульовими.

Backlash – люфт, або мертвий хід, імітує ефект виникнення люфта. Якщо різниця між вхідною й вихідною величиною менша за величину мертвого ходу, зміна вхідної величини не впливає на вихідну величину. У протилежному випадку вихідна величина повторює змінювання вхідної величини з різницею, що дорівнює величині мертвого ходу. У блоці параметрів можна задавати ширину люфту (deadband width, за замовченням 1), а також початковий рівень сигналу на виході (initial output, за замовченням 0). Рівень initial output є також середнім значенням вхідного сигналу, а deadband width визначає ширину петлі гістерезиса передавальної характеристики блока.

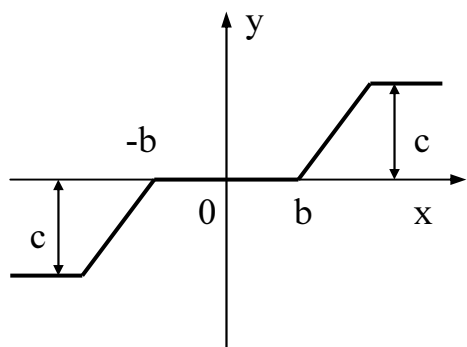


Рис. 6.3 – Статична характеристика “Обмеження лінійності за виходом із зоною нечутливості”

За допомогою комбінацій цих нелінійностей можна отримати інші нелінійні елементи. Наприклад, послідовним з’єднанням елементів Dead zone і Saturation можна отримати статичну характеристику “Обмеження лінійності за виходом із зоною нечутливості” (рис. 6.3).

6.4 Порядок виконання роботи

6.4.1 За допомогою блока Nonlinear бібліотеки Simulink пакета MATLAB виконати моделювання типових нелінійностей з параметрами, що задані в таблиці 6.1.

6.4.2 Для кожного випадку на вхід нелінійного елемента подати синусоїдальний сигнал заданої амплітуди (таблиця 6.1).

Таблиця 6.1 – Завдання до лабораторної роботи №6

Тип нелінійності	Параметри	Варіант				
		1	2	3	4	5
рис. 6.2, а	b	2	1	0,5	3	2
	c	3	2	1	3	1
рис. 6.2, б	k	2	1	3	2	4
рис. 6.2, в	c	1	1,5	2	1	3
рис. 6.2, г	b	1	0,5	1,5	2	1
	c	2	1	3	2	1
рис. 6.2, е	b	0,5	1	1,5	2	2,5
	c	1	2	3	2	1
рис. 6.3	b	1	2	2,5	1	2
	c	0,5	1	1,5	2	1
Амплітуда вхідного сигналу		3	2,5	4	5	3

6.4.3 Отримати періодичний сигнал на виході заданої нелінійності, побудувавши його в одній системі координат із вхідним синусоїдальним сигналом (рис. 6.4).

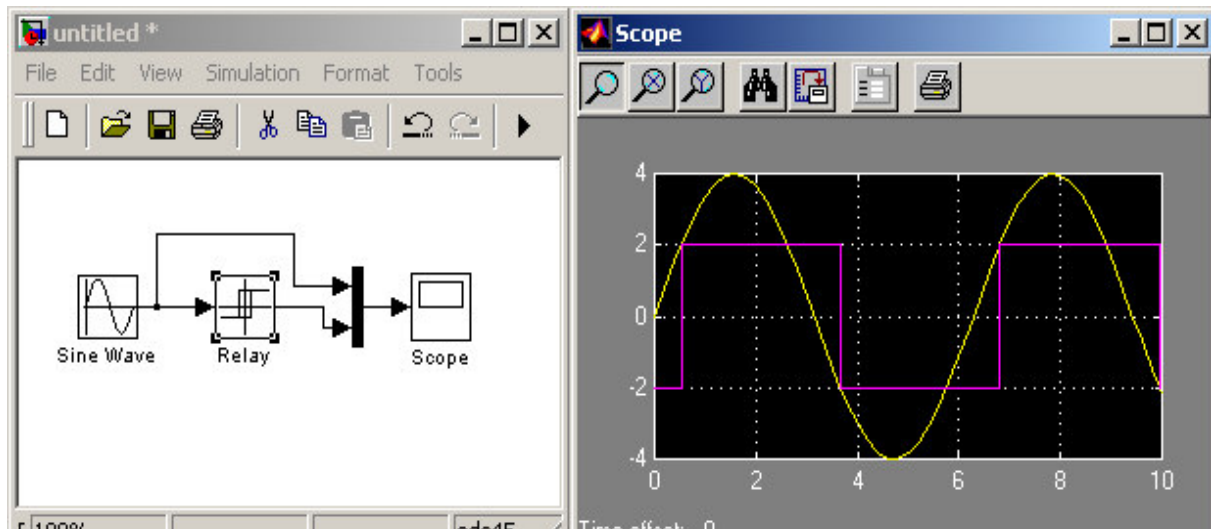


Рис. 6.4 – Схема і результати моделювання нелінійності
“двопозиційне реле з гістерезісом”

6.4.4 Проаналізувати отримані результати, зробити висновки.

6.4.5 Вийти з програми.

6.5 Обробка результатів. Оформлення звіту

6.5.1 Назва і мета роботи.

6.5.2 Для кожного нелінійного елемента, що моделюється: статична характеристики та її параметри; схема моделі у середовищі пакета MATLAB; графіки вхідного синусоїдального сигналу й вихідного періодичного сигналу після нелінійного елемента, побудовані в одній системі координат.

6.5.3 Висновки.

6.6 Контрольні питання

1. У чому полягає принципова різниця між лінійними і нелінійними системами?
2. Перелічить основні типові нелінійні характеристики і дайте їх статичні характеристики.
3. Що таке статична нелінійність?
4. Що таке динамічна нелінійність?
5. Що таке частково-лінійна статична характеристика?
6. Які основні нелінійні блоки містить розділ Nonlinear бібліотеки Simulink пакета MATLAB?
7. Як задають параметри основних нелінійних блоків розділу Nonlinear бібліотеки Simulink пакета MATLAB?

6.7 Література: [1-5].

Лабораторна робота № 7

Вивчення фазових портретів систем

7.1 Мета роботи

Придбання навичок побудови і дослідження фазових портретів лінійних і нелінійних систем за допомогою пакета MATLAB.

7.2 Зміст роботи

7.2.1 Вивчення теоретичних відомостей з теми лабораторної роботи.

7.2.2 Побудова й дослідження фазових портретів лінійних і нелінійних систем засобами пакета MATLAB.

7.3 Теоретичні відомості

З математичної точки зору найбільш суттєвою відмінністю лінійних систем від нелінійних є те, що до **нелінійних систем не застосовується принцип суперпозиції**: реакція нелінійної системи на декілька впливів не дорівнює сумі реакцій на окремі впливи.

До нелінійних систем не застосовується принцип комутативності, тобто у системі не можна міняти місцями між собою нелінійні елементи, а також нелінійні та лінійні елементи.

Для дослідження нелінійних систем **не можна застосовувати перетворення Лапласа і Фур'є** й отримані на їх основі передаточні функції, бо ці перетворення є лінійними.

Стійкість нелінійних систем визначається не тільки структурою і параметрами САУ (як у лінійних системах), але залежить і від початкових відхилень відносно стану рівноваги.

Усі ці особливості нелінійних САУ обумовили необхідність розробки ряду методів для їх дослідження. Одним із цих методів є *метод фазової площини*, який ґрунтується на зображенні руху системи на фазовій площині за допомогою фазових траєкторій. Він дозволяє порівняно просто досліджувати динаміку нелінійних систем *другого порядку*.

Існують деякі типи рівнянь другого порядку, які можна тими чи іншими методами привести до системи рівнянь першого порядку. До них належать рівняння, які не містять незалежної змінної в явній формі $f(\ddot{y}, \dot{y}, y) = 0$, і рівняння, які не містять функції y : $f(\ddot{y}, \dot{y}, t) = 0$. Ці рівняння зводяться до системи рівнянь:

$$\frac{dx}{dt} = f_1(x; y) \quad \text{і} \quad \frac{dy}{dt} = f_2(x; y). \quad (7.1)$$

У цьому випадку рух можна зобразити на площині у системі координат (x, y) , які називаються *фазовими координатами*. Величини x і y показують фази руху при зміні часу t . Тому площина (x, y) називається *фазовою площиною*, а лінія, яку прокреслює на ній точка при зміні t , називається *фазовою траєкторією*.

Сукупність фазових траєкторій, яка дає загальне уявлення про характер руху, називається *фазовим портретом системи*.

Найбільш розповсюдженим є спосіб зображення руху, при якому використовуються дві фазові змінні: основна координата x і швидкість її зміни $y = dx/dt$.

Тоді рівняння (7.1) матимуть вигляд:

$$\frac{dx}{dt} = y; \quad \frac{dy}{dt} = f(x; y). \quad (7.2)$$

Поділивши друге рівняння на перше, отримаємо диференціальне рівняння інтегральної кривої на фазовій площині:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{f(x; y)}{y}. \quad (7.3)$$

Його розв'язок дає рівняння інтегральної кривої у кінцевій формі.

Із рівнянь (7.2) і (7.3) можна встановити такі важливі *особливості фазового портрету*:

– точка фазової площини, в якій одночасно $y = 0$ і $f(x; y) = 0$, відповідає стану рівноваги системи (зупинці руху) і називається *особливою точкою*;

– якщо $f(x; y)$ і y визначені у деякій області, безперервні у ній та мають безперервні частинні похідні за своїми аргументами, то через будь-яку точку фазової площини, крім особливих, проходить єдина інтегральна крива, тобто *фазові траєкторії не перетинаються у неособливих точках*;

– оскільки при $y = dx/dt > 0$ значення x тільки збільшується, а при $y < 0$ – тільки зменшується, то у верхній частині фазової площини при збільшенні t точка рухається за фазовою траєкторією зліва направо, а в нижній частині – справа наліво. Напрямок руху на траєкторіях відмічають стрілками;

– у точках, де $y = 0$ і $f(x; y) \neq 0$, фазові траєкторії перетинають вісь абсцис під прямим кутом.

Ці особливості слід враховувати при побудові фазових траєкторій.

Між фазовими портретами й перехідними процесами існують такі закономірності:

– стійкому перехідному процесу відповідає фазова траєкторія, що сходиться до початку координат; нестійкому процесу відповідає фазова траєкторія, що віддаляється від початку координат;

– періодичному процесу відповідає замкнута фазова траєкторія; фазова траєкторія у вигляді еліпса відповідає синусоїдальним коливанням; якщо коливання несинусоїдальні, замкнутий контур буде відрізнятися від еліпса.

– особливі точки можуть бути відокремлені або утворювати цілі особливі відрізки, які називаються *відрізками спокою*;

– фазовий портрет нелінійної системи, що має частково-лінійну або розривну характеристику, складається з декількох зон з різними фазовими траєкторіями. Лінії, що відділяють на площині одну зону від іншої, називають *лініями перемикання*.

Отже, за заданим рівнянням динаміки САУ можна побудувати її фазовий портрет, за яким легко винести судження про те, які перехідні процеси можливі у даній системі. Даний метод аналізу нелінійних САУ дуже зручний і наочний для систем другого порядку.

7.4 Порядок виконання роботи

7.4.1 Дослідженню підлягає система другого порядку, лінійна частина якої має передаточну функцію:

$$W(S) = \frac{K}{T^2 S^2 + 2\xi TS + 1}. \quad (7.4)$$

Значення коефіцієнта підсилення K , сталої часу T і коефіцієнта демпфірування ξ наведено в таблиці 7.1.

Таблиця 7.1 – Завдання до лабораторної роботи №7

Параметр	Варіант				
	1	2	3	4	5
K	2	3	5	4	1
T	0,5	1	2	0,8	1,5
ξ_1	0	0	0	0	0
ξ_2	0,1	0,3	0,5	0,2	0,6
ξ_3	-0,5	-0,3	-0,4	-0,6	-0,4
ξ_4	1,5	2	2,5	3	4

7.4.2 Відповідно до свого варіанту виконати моделювання лінійної розімкнутої системи, на вхід подати одиничний ступінчастий сигнал $1(t)$.

Для кожного з чотирьох заданих значень коефіцієнта ξ побудувати перехідну характеристику і фазовий портрет системи, використовуючи XY Graph (рис. 7.1). Зробити висновки.

7.4.3 Замкнути систему. До зворотного зв'язку ввести нелінійний елемент (рис. 6.2, в) з параметрами статичної характеристики, що задані в таблиці 6.1 (відповідно до свого варіанту). Побудувати фазовий портрет нелінійної системи і відповідну перехідну характеристику. Зробити висновки.

7.4.4 Повторити пункт 7.4.3 для нелінійних елементів (рис. 6.2, г, е).

7.4.5 Вийти з програми.

7.5 Обробка результатів. Оформлення звіту

7.5.1 Назва і мета роботи.

7.5.2 Структурна схема моделі, фазовий портрет і перехідна характеристика для кожного досліджуваного випадку.

7.5.3 Висновки.

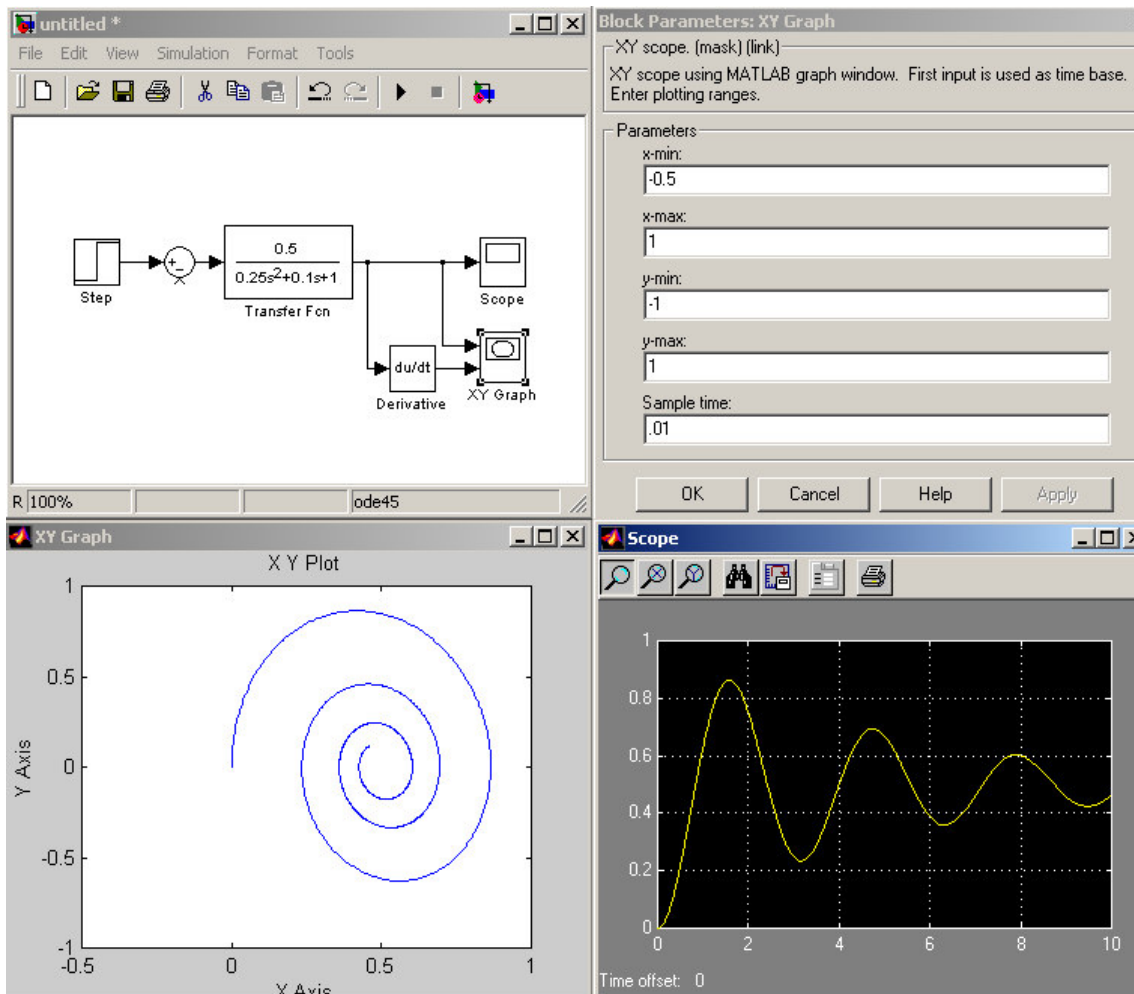


Рис. 7.1 – Приклад схеми моделі лінійної системи другого порядку для побудови фазового портрету й перехідної характеристики

Блок XY Graph здійснює вивід двокоординатного графіка. У блоці параметрів можна задавати:

– x-min, x-max, y-min, y-max – мінімальні й максимальні значення за координатами x і y ;

– Sample Time – період дискретизації (для отримання гладких кривих необхідно ввести значення 0,1 або 0,01).

Слід пам'ятати, що координата u є похідною від координати x . Тому на вхід U подається вихідний сигнал системи через блок диференціювання du/dt .

7.6 Контрольні питання

1. У чому полягає сутність дослідження нелінійних систем методом фазової площини?
2. Що таке фазова траєкторія? Фазовий портрет?
3. Назвіть основні особливості фазового портрету.
4. Що таке особлива точка?
5. Який вигляд має фазовий портрет системи з незатухаючими коливаннями? Із затухаючими коливаннями? Із коливаннями, що розходяться?
6. Чим обмежується застосування методу фазової площини?

7.7 Література: [1-5].

Лабораторна робота № 8

Дослідження режиму автоколивань

8.1 Мета роботи

Дослідження режиму автоколивань нелінійних систем засобами пакета MATLAB.

8.2 Зміст роботи

8.2.1 Вивчення теоретичних відомостей з теми лабораторної роботи.

8.2.2 Дослідження режиму автоколивань у MATLAB, Simulink.

8.3 Теоретичні відомості

Автоколивання – специфічний режим роботи нелінійних систем, що відповідає стійким незатухаючим коливанням з певною амплітудою й частотою.

Автоколивання можуть виникати *тільки у нелінійних системах*. Принципова різниця цих коливань від незатухаючих коливань у лінійних системах полягає в тому, що відхилення параметрів автоколивань (амплітуди, частоти) малим зміщенням у процесі подальшого руху зменшується.

Незатухаючим коливанням відповідає замкнута фазова траєкторія (замкнутий цикл). Цей цикл, який називають *граничним*, є ізольованим: він обмежений траєкторіями, що навиваються на нього (рис. 8.1, а) або скручуються з нього (рис. 8.1, б).

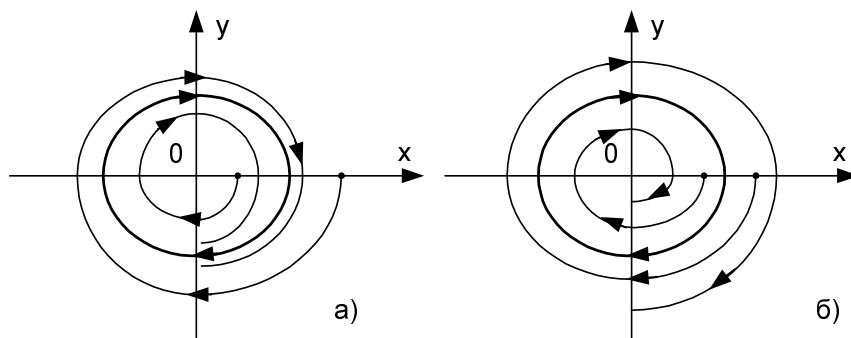


Рис. 8.1 – Граничний цикл з траєкторіями, що навиваються на нього (а)
і скручуються з нього (б)

Якщо у результаті малого зміщення з граничного циклу в будь-якому напрямку ми попадаємо на траєкторію, що необмежено наближається до циклу, то *цикл стійкий* (рис. 8.1, а).

У системі, фазовий портрет якої наведено на рис. 8.1, а, автоколивання виникають ніби “самі по собі” від як завгодно малого збурення. Збудження коливань такого роду називають *м'яким*.

Уявимо фазовий портрет із двома циклами: внутрішнім нестійким граничним циклом і зовнішнім стійким (рис. 8.2).

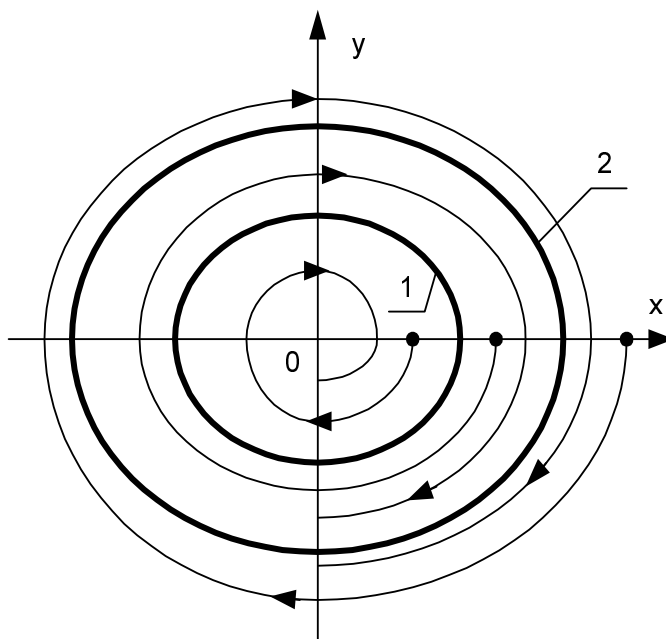


Рис. 8.2 – Фазовий портрет системи з жорстким збудженням автоколивань:

- 1 – внутрішній нестійкий граничний цикл;
- 2 – зовнішній стійкий граничний цикл

Початок координат – *стійкий фокус*. У середині внутрішнього циклу рух з часом зупиняється, автоколивання не виникають. Щоб їх збудити, необхідний досить сильний поштовх, який виведе початкову точку за граничний нестійкий цикл. Це система із *жорстким* збудженням автоколивань.

Нестійкий граничний цикл обмежує у фазовій площині зону допустимих початкових збуджень, за яких стан рівноваги ще залишається стійким.

Слід зазначити, що автоколивання не є змушеними коливаннями. Вони є *власними вільними коливаннями системи і мають цілком визначену амплітуду і*

частоту, які не залежать від початкових умов процесу, а залежать тільки від параметрів самої системи, тобто об'єкта і регулятора.

Система, в якій виникають автоколивання, може вважатись *практично стійкою* і придатною для потреб регулювання, якщо амплітуда коливань незначна і частота їх безпечна, тобто накладення цих коливань на постійне значення вихідної величини практично допустиме за технічними вимогами.

Отже, можна дати таке визначення автоколивальної системі: *система здатна створювати незатухаючі коливання, якщо вона характеризується наявністю: джерела живлення; клапана, що регулює надходження енергії у коливальну систему; зворотного зв'язку з коливальної системи на клапан.*

8.4 Порядок виконання роботи

Дослідженню підлягає нелінійна система автоматичного керування, до складу якої входить лінійна частина (ЛЧ) і нелінійний елемент (НЕ) (рис. 8.3).

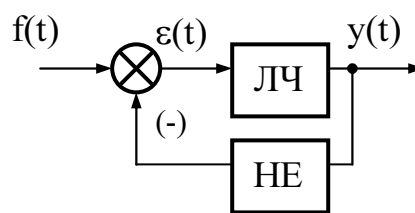


Рис. 8.3 – Структурна схема нелінійної САУ

Передаточна функція ЛЧ має вигляд:

$$W(s) = \frac{K}{S(T_1S + 1)(T_2S + 1)}. \quad (8.1)$$

Значення коефіцієнта підсилення K та сталих часу T_1 і T_2 наведені у таблиці 8.1. У таблиці 8.2. задано вид і параметри статичної характеристики нелінійного елемента.

Таблиця 8.1 – Завдання до лабораторної роботи №8

№ варіанта	1	2	3	4	5
K, c^{-1}	5	10	15	10	15
T_1, c	0,5	0,1	0,05	0,05	0,04
T_2, c	0,01	0,05	0,01	0,2	0,1

Таблиця 8.2 – Тип і параметри статичної характеристики нелінійного елемента

Тип нелінійності	Параметри	№ варіанта				
		1	2	3	4	5
рис. 6.2, а	b	2	1	0,5	3	2
	c	3	2	1	3	1
рис. 6.2, г	b	1	0,5	1,5	2	1
	c	2	1	3	2	1
рис. 6.2, е	b	0,5	1	1,5	2	2,5
	c	1	2	3	2	1

8.4.1 Відповідно до свого варіанту за допомогою пакета MATLAB, Simulink виконати моделювання нелінійної системи (рис. 8.3) за умови $f = 0$, та типом нелінійності спочатку за рис. 6.2, а; потім за рис. 6.2, г; потім за рис. 6.2, е.

8.4.2 У разі виникнення автоколивань визначити їх амплітуду й частоту, побудувавши для цього перехідний процес і фазовий портрет системи. Зробити висновки.

8.4.3 Якщо автоколивання не виникають без зовнішньої дії, подати на вхід системи короткий імпульс певної амплітуди. Змінюючи цю амплітуду, зафіксувати, за якої величини імпульсу автоколивання виникають. Виконати пункт 8.4.2.

8.4.4 Вийти з програми.

8.5 Обробка результатів. Оформлення звіту

8.5.1 Назва роботи, мета роботи.

8.5.2 Структурна схема системи, параметри лінійної частини та нелінійних елементів.

8.5.3 Перехідні процеси і фазові портрети системи для різних типів нелінійностей, висновки щодо умов виникнення автоколивань; параметри автоколивань; величина зовнішньої дії, за якої автоколивання виникають у разі жорсткого збудження.

8.5.4 Висновки.

8.6 Контрольні питання

1. Що таке автоколивання?
2. В яких системах можливе виникнення автоколивань?
3. Що таке граничний цикл?
4. Що таке стійкий граничний цикл, нестійкий граничний цикл?
5. У чому полягає принципова різниця між автоколиваннями і незатухаючими коливаннями у лінійних системах?
6. Дайте визначення автоколивальній системі.

8.7 Література: [1-5].

2 КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ РІВНЯ ПІДГОТОВКИ СТУДЕНТІВ

зі спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Вид контролю	Максимальний бал
Лекції, всього балів:	10
відвідування	0,5 за 1 лекцію
конспект лекцій	2,5
робота на лекціях	1
Поточний та підсумковий контроль, всього балів:	42
опитування	20
розрахункові роботи	8
графічні роботи	8
самостійна робота	6
Робота студентів на практичних заняттях, всього балів:	14
відвідування	0,5 за 1 заняття
підготовка до занять	2
активність студента на практичних заняттях	5
Робота студентів на лабораторних роботах, всього балів:	14
відвідування та виконання роботи	1,0 за 1 заняття
підготовка до лабораторної роботи	0,2 за 1 заняття
звіт	0,2 за 1 лаб. роб.
захист лабораторної роботи	0,6 за 1 лаб. роб.
Екзамен, всього балів:	20
відповідь на питання	5 за 1 питання
глибина пояснень, чіткість відповідей	5
Всього балів	100

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Воронов А. А. Теория автоматического управления. Часть первая, М.: Высшая школа, 1976.
2. Иващенко Н. Н. Автоматическое регулирование, М.: Машиностроение, 1973.
3. Зайцев Г. Ф. Теория автоматического управления. Киев: Высшая школа, 1975.
4. Дьяконов В. П. MATLAB 6.5 SP1/7.0 + Simulink 5/6. Основы применения, М.: СОЛОН-Пресс, 2005.
5. Євстіфєєв В. О. Теорія автоматичного керування. Частина перша. Безперервні лінійні та нелінійні системи. Навчальний посібник. Кременчук: ПП Щербатих О.В., 2006.

Методичні вказівки щодо виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни "Теорія автоматичного управління" для студентів усіх форм навчання зі спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Лабораторні роботи 1-8.

Укладачі: старш. викл. Г. Г. Юдіна,
старш. викл. А. В. Нікітіна

Відповідальний за випуск, зав. кафедри САУЕ Д. Й. Родькін

Підп. до др. _____ . Формат 60x84 1/16. Папір тип. Друк ризографія.

Ум. друк. арк. _____ . Наклад 10 прим. Зам. № _____ . Безкоштовно.

Видавничий відділ Кременчуцького національного університету

імені Михайла Остроградського

39600, м. Кременчук, вул. Першотравнева, 20