

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. Бекетова**

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до організації практичних занять та самостійної роботи
на основі вільного програмного забезпечення пакету SCILAB/XCOS
із навчальної дисципліни:

«Теорія автоматичного управління»

Частина 2

*(для студентів усіх форм навчання спеціальностей
141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка,
151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології)*

Scilab



**Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2019**

Методичні рекомендації до організації практичних занять та самостійної роботи на основі вільного програмного забезпечення пакету SCILAB/XCOS з навчальної дисципліни «Теорія автоматичного управління» (для студентів усіх форм навчання спеціальностей 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології). Частина 2. / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. К. О. Сорока. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 56 с.

Укладач канд. техн. наук, доц., ст. наук. співробіт. К. О. Сорока

Рецензент

О. Б. Костенко, кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри прикладної математики і інформаційних технологій Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

Рекомендовано кафедрою електричного транспорту, протокол № 21 від 25.06.2019.

Рекомендовано випусковою кафедрою прикладної математики і інформаційних технологій, протокол № 24 від 26.06.2019.

Зміст

Практичне заняття № 1 Ознайомлення з математичною системою Scilab. Виконання найпростіших математичних обчислень.....	4
Практична робота № 2 Вивчення методів побудови моделі САУ за допомогою програмного пакету SCILAB.....	14
Практичне заняття № 3 Дослідження часових характеристики динамічних ланок першого порядку.....	20
Практичне заняття № 4 Дослідження часових характеристики динамічних ланок другого порядку.....	26
Практичне заняття № 5 Перетворення структурних схем.....	31
Практична робота № 6 Дослідження стійкості замкненої системи автоматичного керування за допомогою критерію Гурвіца.....	34
Практична робота № 7 Дослідження стійкості САУ за допомогою частотних критеріїв Михайлова та Найквіста.....	37
Практична робота № 8 Вивчення точності САУ в статичних режимах роботи.....	43
Список рекомендованої літератури.....	50
Додаток А Титульний аркуш.....	51
Додаток Б Таблиці варіантів завдань з практичних робіт.....	52

Практичне заняття № 1 Ознайомлення з математичною системою Scilab. Виконання найпростіших математичних обчислень

Мета роботи:

Набуття початкових навичок роботи з системою Scilab та виконання найпростіших обчислень із дійсними числами, матрицями та комплексними числами, розв'язання алгебраїчних рівнянь.

Завдання до практичної роботи

Виконати обчислення з дійсними числами, матрицями та комплексними числами за допомогою системи інженерних та наукових розрахунків Scilab. Побудувати графік. Здобути початкові навички користування системою Scilab.

Підготовка до виконання роботи

Під час підготовки до виконання практичної роботи в позалекційний час студент повинен повторити теоретичний матеріал і вивчити порядок виконання роботи відповідно до даних методичних вказівок. Особливу увагу потрібно звернути на визначення систем автоматичного управління, принципи управління, структурну схему, передавальні функції та перехідні характеристики САУ.

За результатами підготовки оформити звіт у текстовому файлі й показати викладачу перед початком заняття. У звіт включити заповнений титульний аркуш (дод. А), тему та завдання роботи, перелік основних розділів роботи.

Обладнання

Цю та всі наступні практичні роботи виконують на такому обладнанні:

- персональний комп'ютер або локальна мережа персональних комп'ютерів типу IBM PC;
- система інженерних та наукових розрахунків Scilab, з пакетом імітаційного моделювання XCOS;
- текстовий редактор Microsoft Word.

Хід виконання роботи

1 Початок роботи

Перед початком роботи, відповідно до вказівок викладача, ознайомитись з робочим місцем, пройти інструктаж з техніки безпеки та правил користування персональним комп'ютером у класах обчислювального центру ХНАМГ.

1.1 Увімкнути комп'ютер, зайти в папку своєї академічної групи, створити папку із власним прізвищем.

1.2 Скопіювати в папку файл заготовки звіту (підготовлений до практичного заняття).

1.3 Увійти в дистанційний курс

- 1.4 На першому занятті зареєструватись і заповнити анкету.
- 1.5 Перейти до завдання № 1.
- 1.6 Одержати варіант завдання та записати його у файл звіту.

2 Відкриття пакету Scilab та виконання найпростіших обчислень



- 2.1 Відкрити пакет Scilab за допомогою значка на робочому столі.
- 2.2 Познайомитись із системою вікон пакету: командним вікном (консоль). Бажане розміщення вікон зображено на рисунку 1.1.

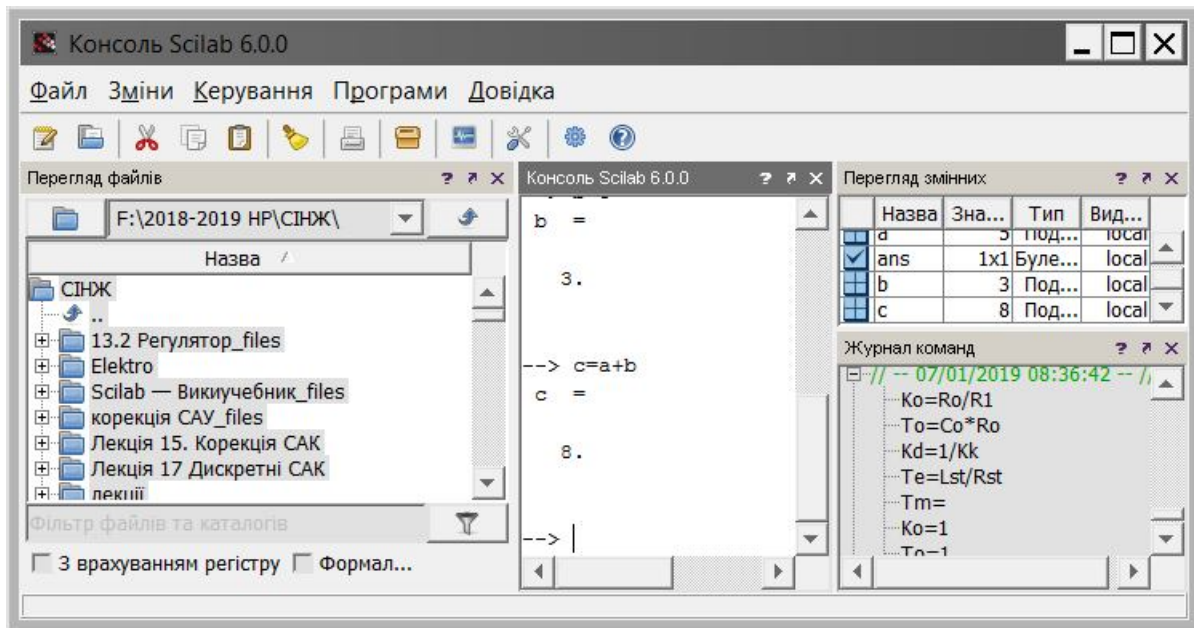



Рисунок 1.1 – Вигляд робочого вікна пакету Scilab

Якщо робоче вікно не відповідає рисунку, то відреагуйте його вигляд. Бажано, щоб у робочому вікні одночасно знаходились вікна: консолі (командне), перегляду файлів, перегляду змінних і журнал команд. Для цього:

- 2.3 Курсор встановіть у вікні консолі. Виберіть меню «Програми».
- 2.4 Виберіть пункт «Перегляд файлів».
- 2.5 Перемістіть вікно «Перегляд файлів» в область консолі. Для переміщення розмістіть курсор у затіненій області з написом: перегляд файлів. Не відпускаючи кнопку миші, перемістіть вікно в бажане місце консолі.
- 2.6 Аналогічним чином розмістіть вікно «Перегляду змінних» та «Журнал команд».
- 2.7 Для видалення вікна з консолі натисніть значок стрілка в правому куті .

3 Вивчення роботи зі змінними

- 3.1 У командному вікні запишіть число, наприклад $2 + 3$,

проаналізувати відповідь:

```
ans =5,
```

тут *ans* має сенс результату, якщо не вказано ім'я змінної.

Змінні в пакеті задаються літерою в першій позиції. Scilab розрізняє заголовні та звичайні літери.

3.2 Виконайте та проаналізуйте результати дій:

```
-->a = 3 + 4 / 2 + sqrt(4)
```

```
a = 7
```

```
-->A = 2
```

```
A = 2
```

```
-->A + a
```

```
ans = 9
```

```
-->c = ans + A
```

```
c = 11
```

3.3 Виконайте такі дії та прослідкувати за результатом, який виводиться в командному вікні:

```
-->b = a + ans;
```

```
-->c = a*3 / (B + 4);
```

```
-->d = sin(c)
```

Зауважте, що знак «;» у кінці команди означає, що введення результату на екран не потрібен.

3.4 Уведіть команду перегляду значень змінних.

```
-->A
```

```
-->d
```

Самостійно виконайте ряд дій з використанням знаків різних математичних операцій: `cos()`, `tan()`, `log()`, `exp()`, `sqrt()` та інші.

4 Запис результатів розрахунків у вигляді текстового файлу

4.1 Виділіть і скопіюйте результати розрахунків.

4.2 Виведіть файл звіту та вставте скопійовані дані.

4.3 Відредагуйте, видаливши зайві пропуски, помилково введені дані, переноси рядків.

4.4 Вставте текст пояснення, наприклад: Робота зі змінними в Scilab.

5 Виконання математичних дій над матрицями

Система Scilab є аналогом системи MatLab, яка має назву «матрична лабораторія», тобто працює з матрицями. Окремим випадком матриці є число (це одновимірна матриця одиничного розміру). Матриця задається у вигляді переліку значень у квадратних дужках. Розділовими знаками між елементами матриці є знак пропуску (чи кома), а між рядками матриці крапка з комою. Перевага такого представлення є те, що це найбільш універсальний метод представлення змінних, можна виконувати дії з матрицям за допомогою тих самих команд, що й з іншими змінними.

Для ознайомлення з діями над матрицями виконайте такі вправи.

5.1 Уведіть квадратну матрицю розміром 3 x 3:

-->a=[2 3 4; 5 6 7; 8 9 10]

5.2 Уведіть ще одну матрицю розміром 3 x 3, наприклад:

d = [1 0 1; 0 2 0; 1 2 1]

5.3 Перемножте матриці a та d:

-->a*b

5.4 Уведіть вертикальну матрицю b розміром 1x3:

-->b=[3;2;1]

5.5 Виконайте множення матриць:

-->c = a*b

5.6 Виконайте операцію транспонування матриці «'»:

-->e = b'

5.7 Самостійно уведіть інші матриці та виконайте математичні операції.

У системі Scilab, крім звичайного множення матриць, можна виконувати почленне множення однакових масивів, для цього використовується команда .* (крапка та знак множення).

5.8 Помножте матриці та поясніть результати:

-->d = b*b'

-->f = b*b

-->g = b.*b

5.9 Згадайте правила виконання дій над матрицями з курсу математики та поясніть результати.

5.10 Скопіюйте результати у звіт, відредагуйте та уведіть текст пояснення

6 Виконання дій над комплексними числами

Комплексні числа з'являються під час виконання математичної операції добування кореня з числа, або під час відшукування кореня алгебраїчного рівняння. Ми живемо у світі чисел і цей світ і є світом комплексних чисел. Дійсні числа це певна, обмежена підмножина у масиві комплексних чисел. Якщо в побуті та при вивченні гуманітарних дисциплін можна обійтися без, то електротехніці, електроніці, механіці при вивченні коливань маємо справу з комплексними числами. Комплексне число – це число, яке складається з дійсної та уявної частин. Уявне число – це будь-яке дійсне число помножене на уявну одиницю. Уявна одиниця – це корінь квадратний із -1 ($\sqrt{-1}$). Прийнято це число позначати літерою *i* (в електротехніці часто використовують позначення *j*, оскільки літерою *i* позначають величину струму)

$$i = \sqrt{-1}.$$

Комплексне число, це, наприклад, таке число:

$$z = 2 + 3\sqrt{-1},$$

або для спрощення запису

$$z = 2 + 3i$$

Така форма запису комплексного числа називається алгебраїчною. Її загальний вигляд:

$$z = a + bi.$$

Над комплексними числами виконують усі арифметичні дії, які можна виконувати над дійсними числами. В системі Scilab для уявної одиниці використовується позначення $\%i$. Щоб записати уявне число потрібно задати дійсну частину та уявну частину. Уявна частина – це дійсне число помножене на уявну одиницю, а саме:

$$z = a + b*\%i$$

6.1 Запишіть у звіт чотири комплексних числа, згідно з варіантом завдання, (дод. В, табл. В.1), присвоївши їм імена: z_1, z_2, z_3, z_4 , наприклад:

$$\text{-->}z_1 = 2+3*\%i$$

$$\text{-->}z_2 = \dots$$

$$\text{-->}z_3 = \dots$$

$$\text{-->}z_4 = \dots$$

6.2 Виконайте дії та знайдіть суму комплексних чисел, добуток, відношення:

$$z_{11} = z_1 + z_2$$

$$z_{12} = z_3 \cdot z_4$$

$$z_{13} = z_3 / z_4$$

$$z_{14} = 4 \cdot z_{13} / (z_3 + z_4)$$

$$z_{15} = (2 \cdot z_3 - z_4)^2$$

$$z_{16} = (z_1 + z_2)(z_1 - z_2)$$

6.3 Виконайте вказані дії за допомогою системи Scilab. Запишіть результати виконаних обчислень у звіт або скопіюйте їх та вставте в текстовий файл.

Комплексні числа зображають у комплексній площині, осями якої є дійсна вісь (горизонтальна). позначається літерою Re (реальна) та уявна вісь (вертикальна) позначається Im (image - уявна). Команди **real(z)** та **imag(z)** дозволяють знайти дійсну та комплексну частини комплексного числа z .

6.4 Знайдіть дійсну та уявну частини чисел z_1, z_2, z_3, z_4 .

Крім алгебраїчної форми, використовується степенева форма запису комплексного числа, а саме

$$z = r \cdot \exp(i\varphi)$$

Тут r – модуль комплексного числа, $r = \sqrt{a^2 + b^2}$:

φ – аргумент комплексного числа, $\varphi = \arctg \frac{b}{a}$.

Довжина вектора комплексного числа називається модулем комплексного числа. Модуль комплексного числа, не рівного нулю, є додатне число. Для знаходження модуля використовується команда $abs(z)$.

Кут φ між віссю абсцис і вектором комплексного числа $a + b \cdot i$, називається аргументом комплексного числа $a + b \cdot i$. Не рівне нулю комплексне число має нескінчену множину аргументів, які відрізняються на ціле число повних обертів (тобто на $360^\circ \cdot k$, де k – будь яке число). Аргумент комплексного числа пов'язаний з його координатами формулою:

$$tg(\varphi) = \frac{a}{b}$$

У пакеті Scilab аргумент комплексного числа можна знайти за допомогою команди $imag(log(z))$.

6.5 Знайдіть модуль і аргумент чотирьох заданих чисел.

```
-->z1a = abs(z1)
```

```
-->z1a = imag(log(z1))
```

Модуль комплексного числа виражається в радіанах. Щоб знайти модуль числа в градусах потрібно помножити його на 360 та поділити на 2π . Постійна π в системі Scilab позначається як $\%pi$. Приклад:

```
-->z1g=z1a*360/(2*%pi)
```

```
z1g =
```

```
56.309932
```

6.6 Знайдіть аргумент чотирьох заданих чисел у радіанах.

Якщо число знаходиться в третьому чи четвертому квадрантах, то модуль подається від'ємною величиною. Для визначення кута в градусах, у додатному напрямку потрібно скласти кут 360 градусів зі знайденим.

Зауваження. У системі Scilab існує зручний спосіб подачі команд. Можна вернутись до попередньо введених команд та відреагувати їх для подальшого виконання. Для цього достатньо скористуватись клавішами переходу на клавіатурі: $\uparrow \rightarrow \downarrow \leftarrow$.

Система Scilab має також окрему команду, яка дає змогу знайти число комплексно спряжене до даного числа, а саме: $conj(z)$, (або за допомогою команди – знак апострофа z').

6.7 Знайдіть комплексно спряжені числа $z1'$ – $z4'$.

6.8 У звіті з практичної роботи зобразіть числа $z1$ – $z4$ на комплексній площині, їх суму та їх різницю.

7 Розв'язання алгебраїчних рівнянь

Система Scilab дає змогу вирішувати алгебраїчні рівняння та системи рівнянь і знаходити дійсні та комплексні корені. Оператор знаходження коренів алгебраїчного рівняння має вигляд:

$$y = \text{roots}(h)$$

Тут h – поліном, який відповідає лівій частині рівняння.

Поліном у системі Scilab задають значеннями його коефіцієнтів чи коренів за допомогою команди:

$$h = \text{poly}(a, "x", ["flag"]);$$

Тут x – змінна в поліномі;

["flag"] – не обов'язковий параметр, який приймає значення 'c' ('coeff') чи 'r';

a – вектор значень, який, залежно від параметра **["flag"]**, сприймається як список коефіцієнтів полінома 'c', ('coeff'), або як значення коренів 'r'.

Якщо **["flag"]** не вказаний, то за замовчанням параметр сприймається рівним 'r'. У цьому разі коефіцієнти вектора a вважаються коренями полінома, а значення коефіцієнтів полінома обраховуються за формулою:

$$h = (x - a_1)(x - a_2)(x - \dots) \dots$$

Вектор a може бути заданий окремо

$$a = [1 \ 2 \ 3],$$

або його можна вказати безпосередньо у визначенні поліному:

$$h = \text{poly}([1 \ 2 \ 3], "x", "c");$$

Поліном можна також задати в такому порядку

$$\text{-->} x = \text{poly}(0, 'x')$$

$$x =$$

$$x$$

$$\text{-->} a = 2 + 3 * x + 4 * x^2$$

$$a =$$

$$2 + 3x + 4x^2$$

Перша команда описує, що x є символна змінна полінома, а наступний задає вигляд полінома a .

Приклад вирішення квадратного рівняння:

```
// Створення вектора коефіцієнтів
```

```
-->a=[2 3 4]
```

```
a = 2. 3. 4.
```

```
// Визначення полінома
```

```
-->a=poly([2 3 4], 'x', 'c')
```

```
a = 2 + 3x + 4x^2
```

```
// Обрахунок коренів поліному (рівняння)
```

```
-->xa=roots(a)
```

```
xa =
```

```
- 0.375 + 0.5994789i
```

```
- 0.375 - 0.5994789i
```

7.1 Запишіть варіанти завдання до практичної роботи (дод. В, табл., В.2).

7.2 Розв'яжіть усі п'ять завдань відповідно до варіанта.

7.3 Для п'ятого рівняння записати корні рівняння в алгебраїчній формі та побудувати на аркуші паперу розташування усіх корнів. З'єднати їх лініями.

Після розв'язання рівнянь потрібно обрахувати модуль та аргумент корнів і зобразити результати у звіті на комплексній площині. Згадати основну теорему алгебри стосовно кількості корнів рівняння.

8 Побудова графіків

Графіки в системі SCILAB будуються в графічному вікні. Може бути декілька графічних вікон від (0) і далі. Для побудови різних типів графіків існує низка команд. Простий графік функції $y=f(x)$, будується командою **plot()** або **plot2d()**. Формат команди **plot2d(x,y[*xcap,ycap,caption*])**. x – аргумент, заданий у вигляді вектора чи матриці: (початкове значення:крок:кінцеве значення). y -вектор того самого розміру що x , чи функція від x ; *xcap,ycap* – назви осей графіка, *caption* – заголовок графіка.

8.1 Побудуйте графік у такому порядку:

```
--> x=[0:0.1:2*%pi()] //Вектор значень від 0 до двох пі з інтервалом 0,1.
```

```
--> y=sin(x); //Функція синуса побудована для заданих значень x.
```

```
--> plot2d(x,y) //Графік, який виводиться у вікні з номером (0).
```

Зауваження. У команді крапка з комою «;» після команди означає, що результати розрахунків не потрібно виводити на екран. Знак «//» означає коментар до формули, який виводиться на екран для тих, хто буде потім читати протокол роботи програми.

8.2 Побудуйте графік функції $y=0,1*x^2$, команда:

```
--> plot2d(x,0.1*x^2)
```

8.3 Побудуйте графік степеневої функції e^{ix} . Експонента задається командою **exp()**.

8.4 Задайте команду виводу сітки в графічному вікні

```
--> xgrid
```

8.5 Скопіюйте у звіт протокол роботи та одержані графіки.

8.6 Закрийте графічне вікно номер (0), та виведіть графічне вікно під іншим номером, наприклад (2), командою **scf(2)**.

Для побудови графіка корнів рівняння можна скористатись засобом визначення полюсів і нулів динамічних систем у пакеті SCILAB.

```
s=poly(0, 's') //Призначення змінної s
```

```
s = s
```

```
n = [1] //Визначення поліному чисельника  
передавальної функції
```

```
--> d=[2+3*s+4*s^2] //Поліном знаменника (ваше  
рівняння)
```

```
--> h=syslin('c',n./d) //Команда запису передавальної  
функції лінійної системи.
```

$$h = \frac{1}{2 + 3s + 4s^2 + s^3}$$

--> plzr(h) //Команда побудови полюсів і нулів передавальної функції.

Приклад на рисунку 1.2.

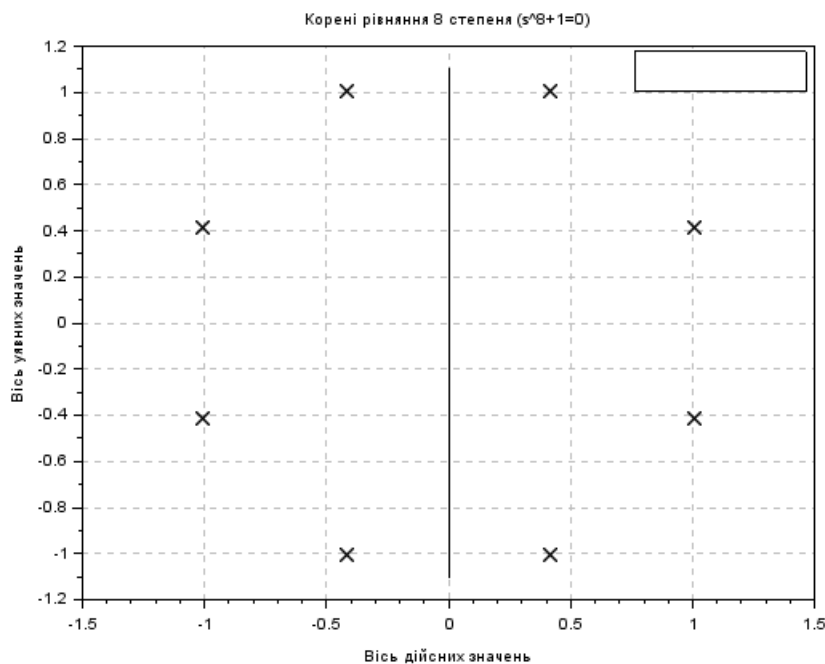


Рисунок 1.2 – Корені рівняння 8 степеня

8.7 Вихід з пакету Scilab здійснюється за командою:

-->quit

8.8 Перед виходом з пакету збережіть результати роботи в текстовому файлі.

9 Звіт з практичної роботи

Звіт з практичної роботи повинен включати:

9.1 Титульну сторінку оформлену за правилами оформлення документації ЄСКД.

9.2 Назву практичної роботи її мету та завдання.

9.3 Вихідні дані до варіанту роботи.

9.4 Опис порядку виконання практичної роботи.

9.5 Результати роботи. відправити в дистанційний курс.

9.6 Звіт із практичної роботи відредагувати й оформити у належний спосіб. У ньому відкинувши помилкові операції, непотрібні пропуски й додати пояснення до виконаних дій.

9.7 Звіт доповнити аркушем із зображення комплексних чисел на комплексній площині. Графіки з результатами роботи. Графіки можна виконати на аркушах паперу в клітинку. Допускається виконання графіків у режимі електронної таблиці та їх вставленням у звіт.

9.8 Висновки що до завдання практичної роботи.

9.9 Звіт із практичної роботи захищається в індивідуальному порядку.

Контрольні запитання

1. Як відкрити систему Scilab?
2. Розшифруйте назву системи Scilab?
3. Як видалити та вставити вікно «Журнал команд» в робоче вікно Scilab.
4. Які вікна можна вставити в робоче вікно?
5. Які переваги надає використання матриць, як основних типів даних у системі Scilab?
6. Як задати просту змінну в системі Scilab?
7. У якій змінній записуються результати обчислень, якщо її назва явно не вказана?
8. Для чого слугує змінна ans?
9. Як задати квадратну матрицю?
10. Що означає крапка з комою в кінці рядка команди?
11. Яке число називають комплексним?
12. Як записати комплексне число у системі Scilab?
13. Що таке модуль та аргумент комплексного числа?
14. Як обчислити модуль та аргумент комплексного числа?
15. Зобразіть на площині комплексне число.
16. Запишіть формули переходу від алгебраїчної до степеневій форми комплексного числа?
17. Які дії можна виконувати над комплексними числами?
18. Яке число називають комплексно спряженим?
19. Якою командою описується символічна змінна?

Практична робота № 2. Вивчення методів побудови моделі САУ за допомогою програмного пакету SCILAB

Мета роботи

Здобуття навичок і засвоєння методів побудови моделей динамічних систем управління засобами комп'ютерного моделювання в пакеті Scilab.

Завдання до практичної роботи

Під час заняття потрібно побудувати: першу модель у системі Scilab та модель САУ двигуна, та змоделювати їхню роботу і одержати графіки зміни швидкості.

Теоретичні відомості

Пакет SCILAB – це математичний пакет, який дозволяє виконувати складні математичні обчислення, полегшує обчислення та дає змогу наочно подати результати. Використання його для вивчення теорії управління, інших наукових дисциплін, зумовлене тим, що він дозволяє на моделі складних систем та досліджувати їхню роботу. До складу SCILAB входить пакет візуального проектування Xcos. Засоби пакету дозволяють моделювати та відтворити роботу систем на моделі і досліджувати їх роботу в самих різноманітних умовах. Ці особливості значно полегшують вивчення теорії автоматичного управління, розширяють можливості дослідження та проектування систем. Використання у навчальному процесі пакету полегшує засвоєння навчального матеріалу, роблячи його наочним та цікавим, оскільки усуває громіздкі математичні обчислення та демонструє кінцевий результат у вигляді діаграм та графіків.

Хід виконання роботи

1 Початок роботи


1.1 Увімкнути комп'ютер. У персональну папку записати файл підготовки до практичного заняття.

1.2 Увійти в дистанційний курс і одержати варіант завдання, записати числові дані у файл звіту.

2 Відкриття пакету Scilab та виконання найпростіших обчислень

2.1 Відкрити пакет Scilab за допомогою значка  на робочому столі.

2.2 У командному вікні Scilab ввести команду \rightarrow Xcos, чи вибрати

значок:  Відкриється два вікна: «Перегляд палітри – Xcos» та побудови моделі «Без назви – Xcos» (рис. 2.1)

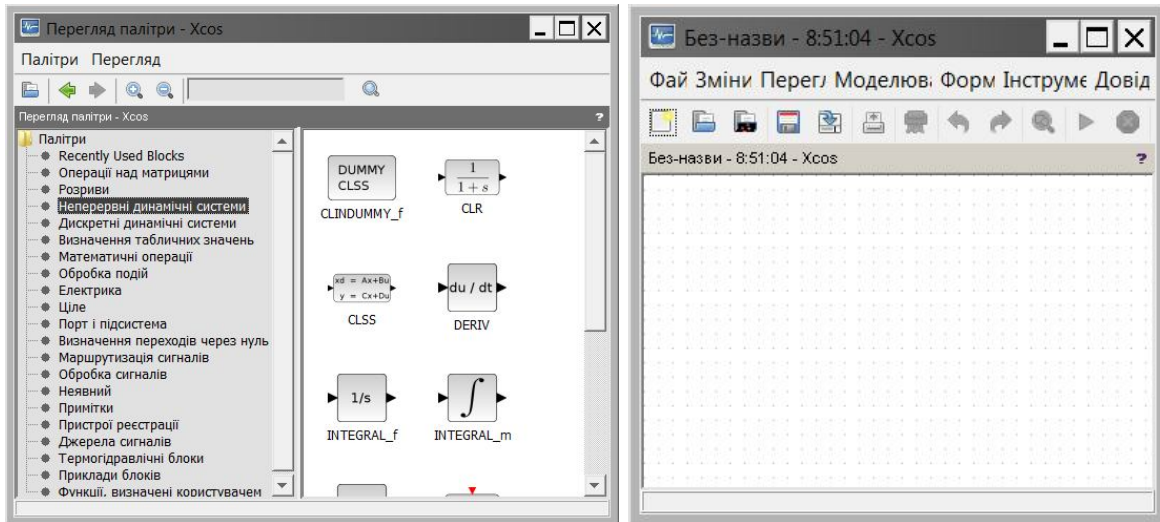


Рисунок 2.1 – Палітра інструментів та вікно побудови моделі Xcos

2.3 У вікні палітри в розділі «Джерела сигналів» вибрати ступінчатий сигнал (STEP_FUNCTION) перемістити лівою клавішею мишки у вікно моделі. У цьому самому розділі – годинник активації (CLOCK_C), у розділі «Неперервні динамічні системи» передавальну функцію (CLR), у розділі «Пристрої реєстрації» – осцилограф (CSCOPE) (рис. 2.2).

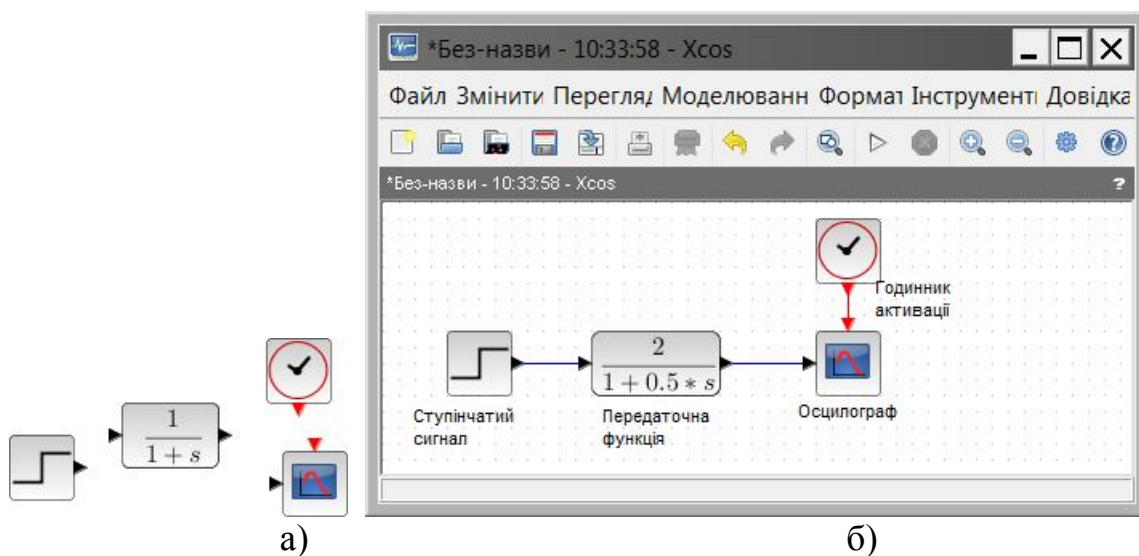


Рисунок 2.2 – Побудова першої моделі:
а) – початковий етап, б) – завершення побудови

2.4 З'єднати блоки між собою.

2.5 Встановити параметри моделювання: час моделювання 10 с: увійти в меню «Моделювання», пункт «Налаштування» вибрати значення часу моделювання (використовується науковий формат чисел – $3.0E-05$, що означає $3 \cdot 10^{-5}$, можна ввести у звичайному форматі).

2.6 Встановити в осцилографі відповідний час і діапазон значень, у вікні після подвійного натискання мишею.

2.7 Вивести вікно параметрів годинника CLOK_C. Встановити параметри: Період – 0.1, Час ініціалізації 0.0.

2.8 Виконати моделювання, натиснувши знак > у верхньому меню вікна.

2.9 Ввести в командному вікні команду xgrid для побудови сітки.

2.10 Проаналізувати результат моделювання. Skorистуватись кнопками графічного вікна, щоб графік повністю відображався в розмірах вікна (рисунок 2.3).

2.11 Скопіювати графік у звіт: Файл > Копіювати до буфера.

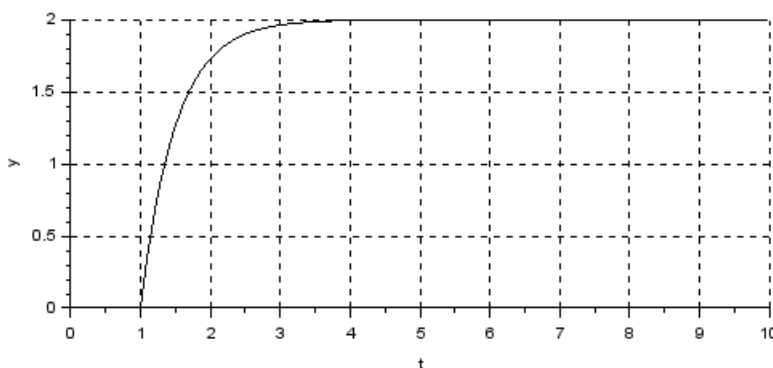


Рисунок 2.3 – Графік перехідного процесу

2.12 Скопіювати в буфер модель: Змінити > Позначити все > Змінити > Копіювати. Вставити у звіт.

3 Розрахунки числових значень моделі САУ

3.1 Одержати варіант завдання та записати числові дані у файл звіту.

3.2 У командному вікні ввести числові дані, згідно з варіантом завдання.

3.3 Розрахувати значення параметрів двигуна за формулами:

$K_g = B/R_z$ – коефіцієнт передачі генератора,

$T_g = L_z/R_z$ – постійна часу генератора,

$K_d = 1/C$ – коефіцієнт передачі двигуна,

$T_e = L_j/R_j$ - постійна часу двигуна (електрична),

$T_m = R_j \cdot J/C^2$ – постійна часу двигуна (механічна),

$T_f = L_j/C^2$ – постійна часу блоку збурення,

$b = R_j/C^2$ – коефіцієнт блоку збурення.

4 Побудова математичної моделі САУ двигуна за структурною схемою

На основі здобутих навичок побудувати модель автоматичного управління швидкістю двигуна постійного струму з незалежним збудженням. Виконати моделювання роботи двигуна та зробити висновки щодо режиму роботи системи управління: стійкість роботи двигуна, характер перехідного процесу та його параметри.

4.1 Перемістити у вікно моделі всі потрібні блоки відповідно до структурної схеми, поданої на рисунку 2.4.

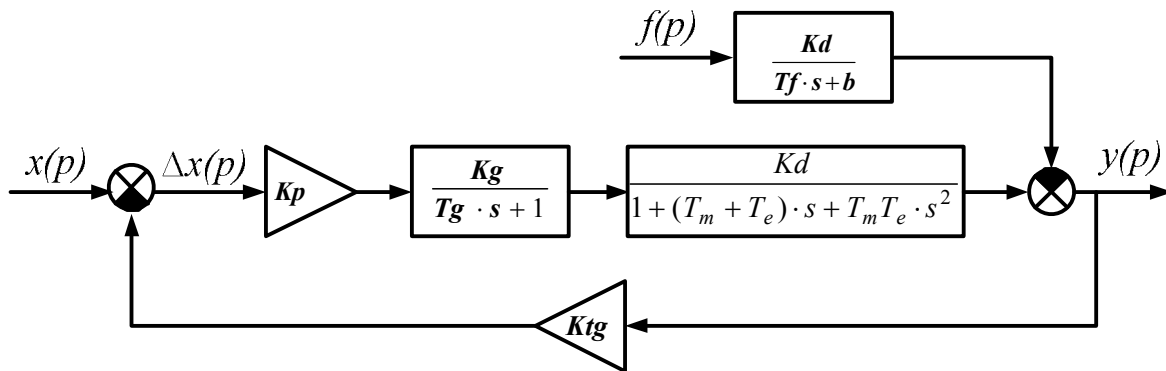


Рисунок 2.4 – Структурна схема САУ

4.2 З'єднати блоки між собою.

4.3 Вивести шляхом подвійного натискання лівої клавіші вікно параметрів блоку та ввести розраховані числові значення

4.4 Відредагувати зображення моделі: розширити вікна блоків, вирівняти лінії з'єднань, розвернути блоки відповідно до їхнього положення, вирівняти їх розміщення (див. далі).

4.5 Виділити, удержуючи клавішу Ctrl усі блоки середнього ряду моделі, вибрати пункт верхнього меню «Формат > Вирівняти блоки > По центру».

4.6 Виділити лінію, яка розміщується не рівно, та правою клавішею меню вибрати «Стиль з'єднання > Горизонтально чи Оптимально».

4.7 Зберегти модель присвоївши їй ім'я.

4.8 Встановити параметри часу моделювання і відображення його в осцилографі (залежно від тривалості перехідного процесу). Початкове значення орієнтовно 60 с.

4.9 Встановити параметри вхідного сигналу та сигналу збурення. Вхідний сигнал – початковий момент включення – 0 с, початкове значення 0 В. Кінцеве значення 220 В. Сигнал збурення відповідно 30 с; 0 с Н*м; на 10 Н*м.

4.10 Виконати моделювання роботи САУ (рис. 2.4).

4.11 Відредагувати графік. Вставити сітку. Підібрати за вмістом розмір вікна. Використати для цього органи управління графічним вікном.

4.12 Розглянути графік перехідної характеристики (режиму роботи після включення).

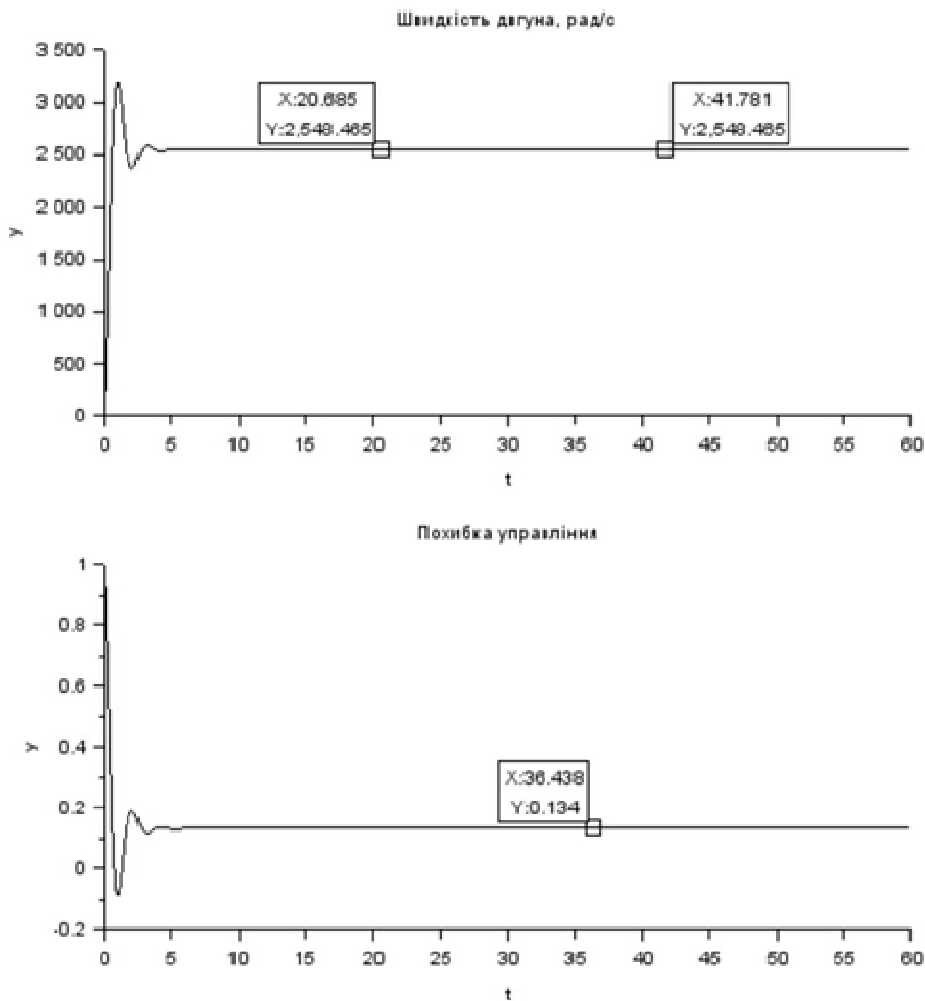


Рисунок 2.5 – Графіки одержані за результатами моделювання

4.13 Зробіть у звіті копії створеної схеми, графіків, робочих вікон і розмістіть їх у звіт роботи.

4.14 Збережіть модель у форматі *.zcos.

4.15 Врахуйте, що після закриття результати розрахунків у командному вікні не зберігаються.

5 Звіт з практичної роботи

Звіт із практичної роботи повинен включати:

1 Титульну сторінку оформлену згідно за правилами оформлення документації ЄСКД.

2 Назву практичної роботи її мету та завдання.

3 Вихідні дані до варіанта роботи.

4 Опис порядку виконання практичної роботи. Привести всі результати роботи.

5 Звіт із практичної роботи відредагувати й оформити у належний спосіб чином. З нього відкинувши помилкові операції, непотрібні пропуски та додати пояснення до виконаних дій.

6 Зробити висновки щодо виконаних завдань.

7 Відправити звіт в дистанційний курс.

Звіт з практичної роботи захищається в індивідуальному порядку.

6 Контрольні запитання

1. Як вибрати блоки, потрібні для побудови моделі?
2. Як ввести потрібні параметри в блок моделі?
3. Запишіть ряд чисел у звичайному та науковому форматі.
4. Які параметри встановлюються у блоці осцилографа?
5. Якою командою можна вирівняти розміщення блоків на екрані?
6. Що становить ступінчатий сигнал? Які параметри боку сигналу?
7. Як перенести зображення моделі в текстовий файл?
8. Як відредагувати команду подану раніше?
9. Як користуватись вікном історії команд? Як повторити записані в ньому команди?
10. Якими командами можна змінити вигляд графіка в графічному вікні?
11. Як розгледіти деталі графіка графічному вікні?
12. Як задати мітки значень на графіку?

Практичне заняття № 3 Дослідження часових характеристики динамічних ланок першого порядку

Мета роботи

Засвоєння методів дослідження САУ в системі Scilab. Вивчення перехідних характеристик динамічних ланок першого порядку.

Завдання до практичного заняття

Дослідити перехідні та імпульсні перехідні характеристики підсилювальної, аперіодичної, реальної диференційної та інтегрувальної ланок.

Опис змісту практичного заняття

Основним методом аналізу САУ є вивчення реакції на випробувальний сигнал. Залежно від типу сигналу розрізняють часові та частотні характеристики. Часові характеристики визначають поведінку системи на протязі часу, частотні – реакцію на сигнали різних частот. Ці характеристики доповнюють одна іншу, а використання їх зумовлене характером завдань, які потрібно вирішити. Практичне завдання включає експериментальне дослідження. Студенту потрібно вивчати як веде себе ланка при зміні кожного з її параметрів. Для цього треба декілька разів змінити параметр ланки (K, T, чи D), при постійних значеннях інших параметрів і побудувати сімейств характеристик. За результатами досліджень робити висновок: як виглядає перехідна характеристика ланки, як кожен параметру впливає на поведінку ланки.

Теоретичні відомості

Підсилювальна (без інерційна) ланка

Перетворює сигнал згідно рівняння:

$$y(t) = Kx(t), \quad (3.1)$$

передавальна функція ланки :

$$W(p) = K \quad (3.2)$$

K – коефіцієнт підсилення, p – оператор, комплексна величина (в Scilab – замість p вживається літера s).

Аперіодична (інерційна) ланка.

Ланка, у якій вихідна величина змінюється з певним запізненням відносно вхідної величини. Рівняння аперіодичної ланки таке:

$$T \frac{dY(t)}{dt} + Y(t) = KX(t) \quad (3.3)$$

передавальна функція:

$$W(p) = \frac{K}{Tp+1} \quad (3.4)$$

Ланка має два параметри: K – коефіцієнт підсилення та T – постійна часу.

Перехідна функція цієї ланки, це розв'язок рівняння (3.3), коли $X(t)$ постійна величина (тета – функція $\square(t-t_0)$).

Диференційна ланка

Диференційне рівняння, яке відповідає перетворення сигналів ланкою:

$$Y(t) = K \frac{dX(t)}{dt}, \quad (3.5)$$

передавальна функція:

$$W(p) = Kp. \quad (3.6)$$

Параметрами ланки є величини K – коефіцієнта підсилення.

Вихідний сигнал такої ланки дорівнює похідній від вхідного сигналу, підсиленій у K разів.

Реальна диференційна ланка.

Диференційне рівняння, яке описує перетворення сигналів ланкою, таке:

$$T \frac{dY(t)}{dt} + Y(t) = K \frac{dX(t)}{dt}, \quad (3.6)$$

передавальна функція:

$$W(p) = \frac{Kp}{Tp + 1}. \quad (3.7)$$

Параметрами ланки є величини K – яка має назву коефіцієнта підсилення, та T – постійна часу.

Вихідний сигнал такої ланки дорівнює, з певним наближенням, похідній від вхідного сигналу підсиленого у K разів. Ця ланка використовується тому, що на практиці реалізувати ідеальну диференційну ланку може бути важко.

Інтегрувальна ланка.

Рівняння, яке описує ланку:

$$Y(t) = k \int X(t) dt \quad (3.8)$$

Вихідний сигнал такої ланки дорівнює інтегралу від вхідного сигналу, підсиленому в K разів.

Передавальна функція інтегрувальної ланки:

$$W(p) = \frac{K}{p}. \quad (3.9)$$

Підготовка до виконання роботи

Під час підготовки до практичного заняття студенти повинні повторити відповідний лекційний матеріал за підручником [1] ст. 69 – 77, [2] ст.60 – 69 і вивчити порядок виконання роботи відповідно до цих методичних рекомендацій. Написати заготовку звіту з практичного заняття. Особливу увагу

варто звернути на визначення передавальних функцій та перехідних характеристик типових динамічних ланок САК.

Результати підготовки до практичного заняття оформити у вигляді заготовки до звіту з описом теоретичного матеріалу та порядку виконання практичного заняття.

1 Порядок виконання роботи

Для прискорення досліджень використати блок мультиплектора, який дає змогу одночасно передати сигнали від декількох ланок.

1.1 Після дозволу викладача щодо завантаження комп'ютера. Скопіюйте у власну папку текстовий файл підготовки до практичного завдання у вигляді заготовки звіту

1.2 Одержіть варіант завдання відповідно до таблиці В.3 і запишіть його у файл звіту.

1.3 Ввійдіть у систему Scilab та пакет імітаційного моделювання Xcos.

2 Дослідження перехідної характеристики підсилювальної ланки

Потрібні блоки: ступінчатий сигнал, блок підсилення осцилограф та годинника ініціалізації, мультиплектора MUX.

2.1 Побудуйте модель відповідно до рисунка 3.1.

2.2 Уведіть коефіцієнт підсилення ланки згідно варіанту в одну з трьох моделей, а в інші дві ті, які вважаєте потрібними.

2.3 Встановіть потрібний час моделювання (п. меню «Моделювання») (10 с); в блоці годинника період 0,001 с; у блоці осцилографа відповідний час відображення сигналу та масштаб за осями.

2.4 Виконайте моделювання, внесіть графіки у звіт, проаналізуйте, як перетворює ланка вхідний сигнал та опишіть реакцію ланки при різних значеннях коефіцієнта підсилення K .

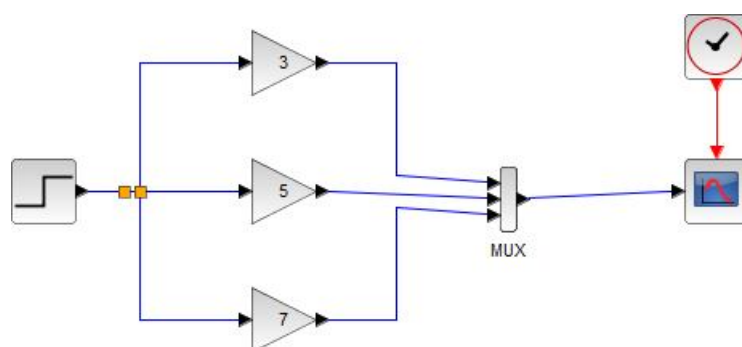


Рисунок 3.1 – Модель дослідження перехідних характеристик підсилювальної ланки

3 Дослідження перехідної та імпульсної характеристик аперіодичної ланки

Аперіодична ланки має два параметри: коефіцієнт підсилення – K та постійну часу – T , тому потрібно побудувати два сімейства перехідних характеристик.

3.1 Побудуйте модель (див рис. 3.1) відповідно до рисунку 3.2. Уведіть

відповідні значення в блоки моделі.

3.2 Встановіть час зміни вхідного ступінчатого сигналу рівним – 0, величину сигналу – 1.

3.3 Збережіть модель, наприклад під назвою Mod3_2.

3.4 Змодельуйте роботу Підберіть тривалість процесу та масштаб, щоб перехідний процес повністю завершився та сімейство чітко відображало залежність характеристик від коефіцієнта підсилення.

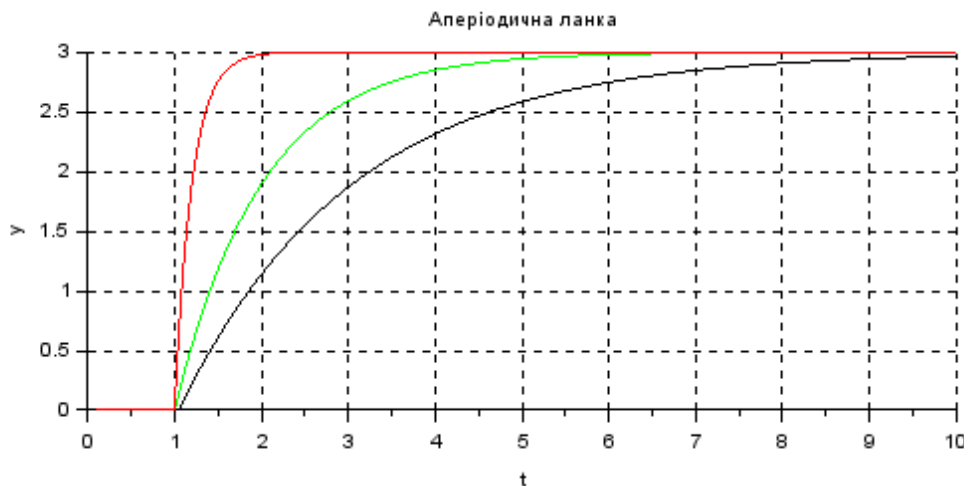


Рисунок 3.2 – Приклад сімейства перехідних характеристик аперіодичної ланки при зміні постійної часу T (момент подачі вхідного сигналу 1 с)

3.5 Скопіюйте графік у звітний документ. Не забудьте вказати значення коефіцієнтів для кожного графіка сімейства.

3.6 Аналогічним чином побудуйте сімейство перехідних характеристик при різних постійної часу T .

3.7 Виконайте аналіз поведінки ланки при зміні її параметрів та опишіть у звіті.

4 Дослідження імпульсної характеристики

Оскільки в панелі блоків Scilab відсутній блок одиничного імпульсу, то використаємо блок періодичних імпульсів, встановивши період повторення імпульсів більшим від часу інтегрування. Інші три параметри рекомендується встановити, як зображено на рисунку 3.3.

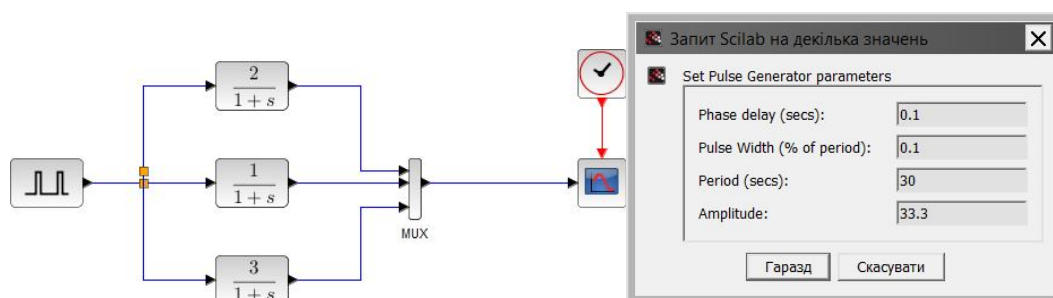


Рисунок 3.3 – Модель дослідження імпульсних характеристик аперіодичної ланки

4.1 Змодельуйте роботу та дослідіть імпульсні характеристики При різних значеннях коефіцієнта підсилення K та постійної часу T .

4.2 Занесіть у звіт одержані два сімейства характеристик та опишіть поведінку ланки про імпульсному сигналі. Порівняйте ваш отис з даними підручника [1].

5 Дослідження перехідної та імпульсної характеристик реальної диференційної ланки

5.1 Уведіть у ланки попередньої моделі (див рис 3.2) коефіцієнти, що відповідають реальній диференційній ланці, відповідно до варіанта завдання.

5.2 Побудуйте два сімейства характеристик відповідно до параметра коефіцієнт підсилення K та постійна часу T .

5.3 Зарисуйте одержані сімейства у звіт із практичного заняття.

5.4 опишіть одержані залежності. Дайте відповідь, як змінюються характеристики ланки при зміні кожного з коефіцієнтів.

6 Дослідження імпульсної характеристики

6.1 Замініть вхідний ступінчатий сигнал імпульсним сигналом.

6.2 Побудуйте сімейства характеристик аналогічні побудованим раніше.

6.3 Вставте результати дослідження у звіт на зробіть пояснення одержаних залежностей.

7 Дослідження перехідної та імпульсної характеристик інтегрувальної ланки

У пакеті Scilab є два окремі типи інтегрувальної ланки, проте, в цьому завданні потрібно скористатись загальним блоком передавальної функції і ввести параметри так, щоб блок відповідав інтегрувальній ланці.

7.1 Побудуйте модель, у яку входять інтегрувальні ланки, за рисунком 3.2,.

7.2 Задайте початковий момент зміни ступінчатого сигналу рівним нулю.

7.3 Виконайте моделювання та одержіть перехідні характеристики ланки.

7.4 Копію характеристики вставте у звіт і опишіть їх вигляд. Дайте відповідь: як визначити коефіцієнт підсилення ланки за його перехідною характеристикою.

7.5 Для побудови імпульсної характеристики замініть ступінчатий вхідний сигнал імпульсним з параметрами відповідно до рисунка 3.4.

7.6 Побудуйте імпульсні характеристики, занесіть їх у звіт та внесіть відповідні пояснення.

8 Завершення роботи

8.1 Збережіть створені моделі.

8.2 Покажіть результати роботи викладачеві, щоб він відмітив виконання. Внесіть потрібні доповнення відповідно до зауважень викладача.

- 8.3 Відправте звіт у дистанційний курс
- 8.4 Завершіть роботу, закривши усі вікна та вимкнувши комп'ютер.
- 8.5 Наведіть порядок на робочому місці.

Звіт з практичного заняття

Звіт результатами практичного заняття повинен мати титульний аркуш, оформлений за вимогами ЄСКД. У ньому вказують номери й назву практичного заняття, прізвище виконавця та номер групи (для студентів заочного навчання – номер залікової книжки).

Подальші сторінки звіту повинні містити:

- 1 Назву й мету практичного заняття.
- 2 Опис теоретичного матеріалу по темі практичного заняття.

Передавальні функції вивчених динамічних ланок.

- 3 Опис ходу виконання роботи.
- 4 Графіки сімейств перехідних характеристик та їх опис.
- 5 Схеми моделей використаних для дослідження.
- 6 Висновки щодо впливу параметрів динамічних ланок на їх перехідні характеристики.

характеристики.

Звіт з практичного заняття захищається індивідуально.

Контрольні запитання

1. За якими ознаками класифікують системи автоматичного управління? Назвіть головні класи САК.

2. Які типові динамічні ланки САК Ви знаєте?

Що таке передавальна функція та перехідна характеристика?

1. Що таке імпульсна перехідна характеристика ланки?

3. Які випробувальні сигнали дослідження часових характеристик ви знаєте?

4. Запишіть передавальні функції типових динамічних ланок.

5. Який вигляд мають перехідні характеристики вивчених динамічних ланок?

6. Як змінюється перехідна характеристика аперіодичної ланки при зміні коефіцієнта підсилення, постійної часу?

7. Як пов'язані між собою перехідна та імпульсна перехідна характеристики.

8. Яку функцію називають ваговою? Який зв'язок між ваговою та перехідною функціями?

9. Які перетворення сигналу здійснюють підсилювальна, інтегрувальна та реальна диференційна ланки?

10. Як за графіком перехідної характеристики реальної диференційної (аперіодичної тощо) ланки записати передавальну функцію.

Практичне заняття № 4 Дослідження часових характеристики динамічних ланок другого порядку

Мета роботи

Вивчення часових характеристик динамічних ланок другого порядку. Закріплення методів моделювання та дослідження САК в системі Scilab.

Завдання до практичного заняття

Побудуйте моделі в які входять динамічна ланка другого порядку. Дослідіть перехідні та імпульсні перехідні характеристики коливальної ланки та аперіодичної ланки другого порядку. Зробіть висновки.

Підготовка до завдання практичної роботи

Під час підготовки до лабораторної роботи студенти повинні повторити відповідний лекційний матеріал згідно з підручником [1] Ст. 69-77, [2] Ст. 60-69 і вивчити порядок виконання роботи відповідно до цих методичних рекомендацій. Особливу увагу варто звернути на визначення передавальних функцій та перехідних характеристик типових динамічних ланок САК. Результати підготовки до лабораторної роботи оформити у вигляді заготовки до звіту з описом теоретичного матеріалу та порядку виконання лабораторної роботи.

Опис змісту практичного заняття

Коливальна ланка – це ланка другого порядку, яка описується рівнянням другого порядку, у якій коефіцієнт затухання більше одиниці.

$$T^2 \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + 2TD \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = Kx(t) . \quad (4.1)$$

Передавальна функція ланки:

$$W(p) = \frac{K}{T^2 s^2 + 2TDs + 1} . \quad (4.2)$$

де K – коефіцієнт підсилення;

T – постійна часу;

D – коефіцієнт затухання (демпфірування).

Тут залежність вихідного сигналу $y(t)$ від вхідного $x(t)$ набагато складніша, ніж для розглянутих раніше ланок. Вихідний сигнал ланки може мати коливальний характер чи монотонно змінюватись залежно від значення коефіцієнта демпфірування D . Коливання можуть бути стійкими та затухати протягом певного періоду часу, а можуть постійно наростати. Завдання студента дослідити, при яких значеннях параметрів ця ланка поводить ся у такий чи іншим спосіб і зробити відповідні висновки.

Запис передавальної функції коливальної ланки у системі Scilab такий:

$$W(s) = \frac{K}{1 + bp + as^2} \quad (4.3)$$

Це загальний вигляд, але у наведеному вище записі коефіцієнти T , D мають фізичний сенс, а саме постійної часу та коефіцієнта затухання. Під час виконання практичної роботи, потрібно розрахувати коефіцієнти передавальної функції a та b .

$$\begin{aligned} a &= T^2; \\ b &= 2TD. \end{aligned} \quad (4.5)$$

Аперіодичною ланкою другого порядку називається коливальна ланка, у якої корені знаменника є дійсними числами, у наслідок чого ланку можна подати як добуток двох аперіодичних ланок першого порядку:

$$W(s) = \frac{K}{T^2s^2 + 2DTs + 1} = \frac{K/T^2}{(s - S_1)(s - S_2)} = \frac{K/T^2}{s - S_1} \frac{1}{s - S_2} \quad (4.6)$$

Тут S_1 та S_2 корені поліному знаменника передавальної функції. У цьому разі передавальна функція є добутком двох передавальних функцій аперіодичних ланок.

У разі, коли постійна затухання D менше від 1, корені знаменника S_1 та S_2 мають уявні значення.

У багатьох випадках, говорячи, що ланка є коливальною, не звертають уваги на значення параметрів ланки та вживають термін як загальний.

Крім форми запису передавальної функції у вигляді полінома чисельника, діленому на поліном знаменника вживається форма запису «нулі – полюси». Передавальну функцію коливальної ланки можна записати так:

$$W(s) = \frac{K}{(s - S_1)(s - S_2)} \quad (4.7)$$

Порядок виконання роботи

1 Дослідження перехідної характеристики коливальної ланки

1.1 Задайте у командному вікні параметри ланки K , T і D згідно до варіанту роботи. (додаток В, табл. В.3).

1.2 Розрахуйте коефіцієнти ланки, а саме:

$$\begin{aligned} a &= T^2; \\ b &= 2TD. \end{aligned}$$

1.3 Побудуйте модель показану на рис 4.1.

1.4 Уведіть значення: в чисельник коефіцієнт підсилення, а в знаменник вираз $1 + b*s + a*s^2$.

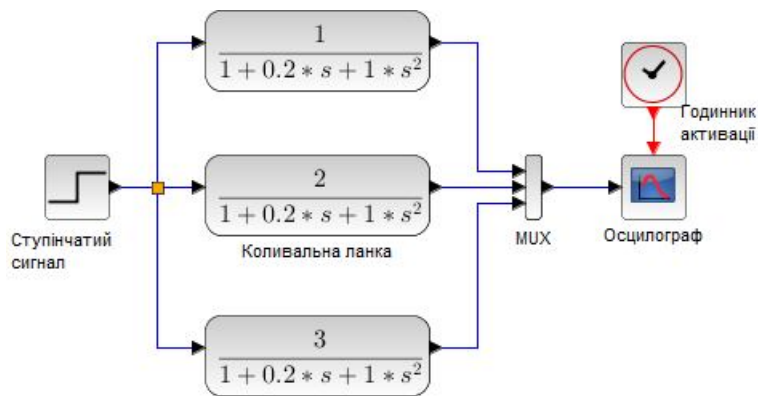


Рисунок 4.1 – Модель дослідження ланки другого порядку

1.5 Встановіть тривалість часу моделювання, налаштування годинника та осцилографа.

1.6 Змодельуйте роботу. Підберіть масштаб зображення команда в графічному вікні «Підібрати за вмістом».

1.7 Відповідно до зображення скоригуйте час моделювання, щоб перехідний процес завершувався повністю, та налаштування осцилографа.

1.8 Вставте сітку, позначення осей та назву графіка (рис. 4.2). Для виклику вікна редагування (рис. 4.3) скористуйтеся верхнім рядком меню графічного вікна. Інший варіант: клацніть правою клавiшею мишки на тлі діаграми й виберіть позицію «Мітка X».

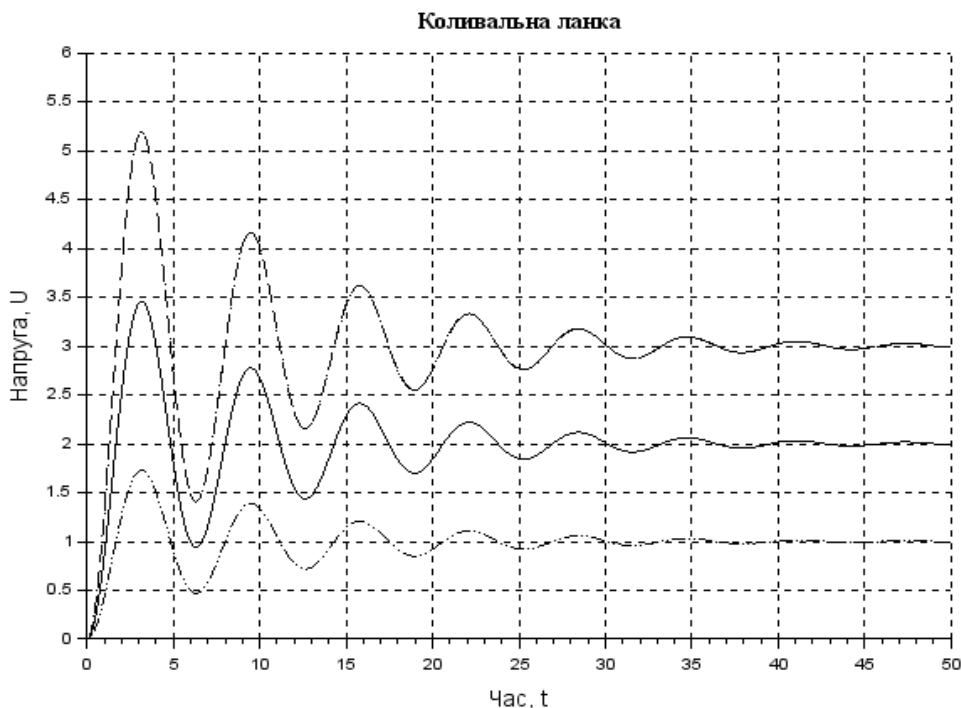


Рисунок 4.2 – Приклад сімейства графіків перехідної характеристики коливальної ланки ($K_1 = 1$, $K_2 = 2$, $K_3 = 3$)

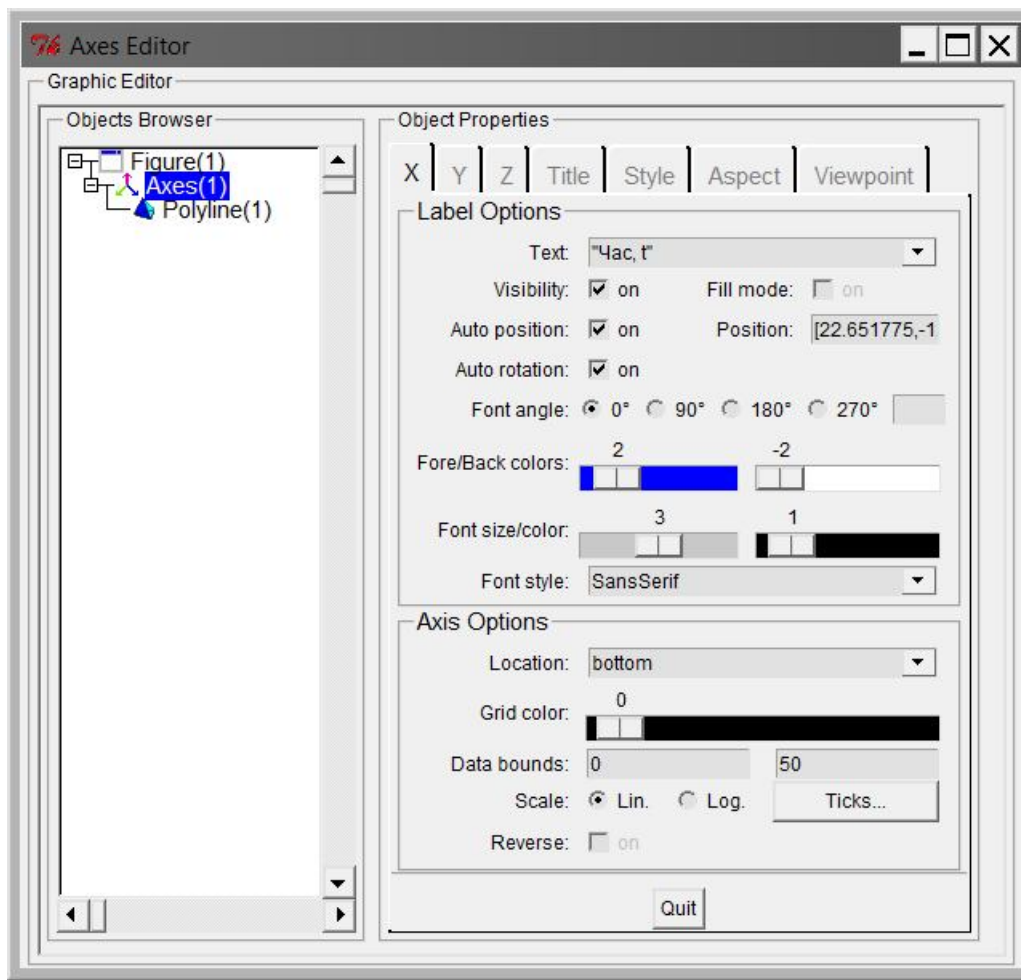


Рисунок 4.3 – Редактор графічного вікна

1.9 Дослідіть, як змінюється перехідна характеристика коливальної ланки при зміні коефіцієнта підсилення K .

1.10 Опишіть вигляд графіків і як впливає зміна коефіцієнта підсилення.

1.11 Виконайте такі самі дослідження для величини постійної часу T .

1.12 Аналогічні дослідження зробіть для коефіцієнта демпфірування D .

Потрібно побудувати два сімейства: перше при значеннях $(0,1 \leq D \leq 0,5)$, друге $(D = 0; 0,5; 1)$. У разі зміни коефіцієнта D необхідно виконати розрахунки за формулою (4.5).

1.13 Після кожного сімейства поясніть, як змінюються характеристик ланки при зміні параметрів T і D . Для пояснення використайте відомостями підручника [1].

2 Дослідження аперіодичної ланки другого порядку

2.1 Перетворіть ланку в аперіодичну другого порядку, задавши значення коефіцієнта демпфірування в трьох ланках межах $(1 \leq D \leq 20)$.

2.2 Дослідіть характеристики ланки при різних значеннях K і T .

2.3 Зарисуйте сімейства графіків і уведіть текст пояснення поведінки ланки.

3 Дослідження послідовного з'єднання двох аперіодичних ланок

3.1 Розрахуйте параметри аперіодичних ланок відповідно до формули (6)

3.2 Побудуйте модель, у якій розміщені послідовно дві ланки, які є множниками у формулі (6).

3.3 Змоделюйте роботу цієї системи. Одержіть перехідні характеристики.

3.4 Перенесіть їх у звіт із практичної роботи. Порівняйте їх з раніше отриманими характеристиками.

3.5 Зробіть висновки.

3.6 Оформіть звіт із практичної роботи.

Контрольні запитання

1 Як визначається порядок ланки?

2 Чим відрізняється коливальна ланка від аперіодичної ланки другого порядку?

3 Як одержати імпульсний сигнал засобами пакету SIMULINK?

4 Чим відрізняється вигляд перехідної характеристики аперіодичних ланок першого та другого порядку.

5 Запишіть математичний вираз ступінчатого (імпульсного) сигналу.

6 Як розрахувати корені знаменника передавальної функції?

7 Що називають коренями та полюсами передавальної функції?

8 Який вигляд має імпульсна характеристика коливальної ланки.

9 Як за перехідною характеристикою визначити параметри коливальної ланки?

Практичне заняття № 5 Перетворення структурних схем

Мета роботи

Здобуття навичок аналізу складних систем управління у середовищі Scilab. Засвоєння методів розрахунку передавальних функцій складних САУ за структурною схемою.

Опис змісту практичної роботи

Завдання теорії керування – аналіз систем керування та проектування систем із заданими характеристиками. Для цього достатньо знати передавальну функцію. Передавальна функція повністю математично описує систему, згідно неї можна розраховувати усі її параметри САУ, роботу у будь-яких умовах експлуатації. Передавальна функція однозначно описується структурною схемою системи.

Структурна схема САУ – умовне графічне зображення, яке містить, з'єднані між собою динамічні ланки. Типи з'єднання ланок структурної схеми такі: послідовне, паралельне та зустрічно паралельне (з'єднання зі зворотнім зв'язком). Передавальна функція послідовно з'єднаних ланок дорівнює добутку передавальних функцій, паралельно з'єднаних: сумі передавальних функцій, а зустрічно-паралельно з'єднаних: передавальній й функції, яка обрховується згідно формули:

$$W(s) = \frac{W_{np}(s)}{1 \mp W_{pc}(s)}, \quad (5.1)$$

де $W_{np}(s)$ – передавальна функція ланок прямого зв'язку входу з виходом,

$W_{pc}(s)$ – передавальна функція розімкненої системи, (послідовно з'єднаних ланок, які входять у кільце зворотного зв'язку).

Знак « \mp » стосується до додатного зворотного зв'язку, а « $+$ » для від'ємного.

Шляхом послідовної заміни з'єднаних ланок їхньою передавальною функцією можна отримати передавальну функцію всієї системи. Труднощі виникають тоді, коли у структурній схемі САУ є перехресні з'єднання, у наслідок чого не можна відокремити будь-який із наведених типів з'єднань. У такому разі здійснюють структуру системи, переносючи деякі з'єднання та додаючи фіктивні ланки прямої чи зворотної дії. Робота системи за такою структурою тотожна роботі за схемою до перетворення. Одержану в наслідок зазначених перетворень структурну схему називають еквівалентною. Використовуючи еквівалентну схему просто одержати передавальну функцію, оскільки у ній вже відсутні перехресні зв'язки. Правила перетворення структурних схем детально розглянуто в [1] (ст. 77–89).

Завдання до практичної роботи

Відповідно до варіанта структурної схеми САУ побудувати модель, внести числові значення та отримавши перехідну характеристику.

Виконати перетворення, привівши структурну схему до еквівалентною без перехресних зв'язків та розрахувати передавальну функцію.

Змоделювати роботу системи згідно з одержаною передавальною функцією. Порівняти перехідну характеристику з попередньою. У разі наявності відмінностей виправити допущені помилки перетворення.

Підготовка до практичної роботи

Під час підготовки до заняття одержить варіант структурної схеми та передавальні функції її блоків. З табл. В.5; В.6 випишіть передавальні функції ланок, а з табл. А.5 структурну схему ТАУ з табл. В.6.

Виконайте перетворення структурної схеми відповідно до варіанту. Детально опишіть порядок перетворення і одержану передавальну функцію в загальному вигляді. На початку заняття проконсультуйтеся із викладачем стосовно вірності виконаних перетворень і врахуйте його зауваження.

Хід виконання практичної роботи

1 Побудова структурної схеми САУ

1.1 Завантажити операційну систему та систему Scilab.

1.2 Перейти до системи візуального моделювання Xcos та побудувати систему відповідно до варіанту завдання.

1.3 Ввести числові значення передавальних функцій у кожен блок. Приклад моделі зображено на рисунку 5.1.

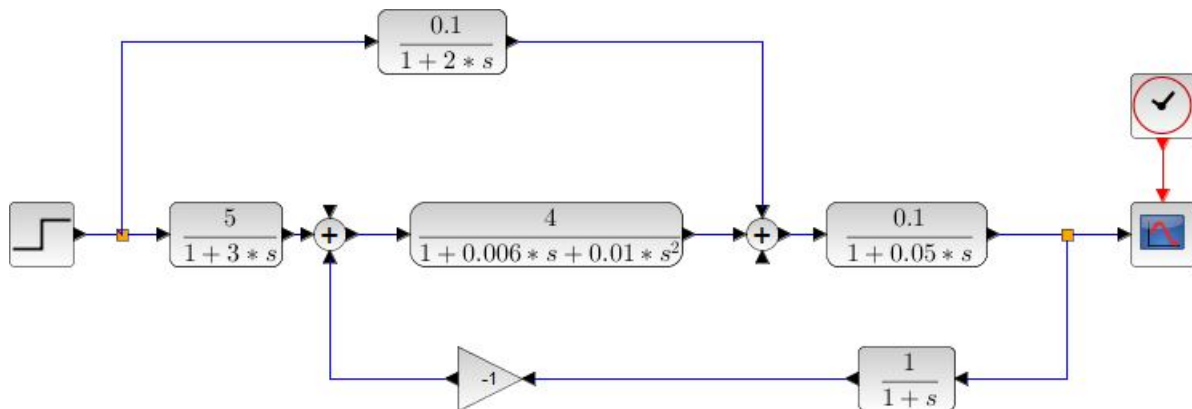


Рисунок 5.1 – Приклад моделі схеми САУ

1.4 Змоделювати роботу й одержати перехідну характеристику. Вибрати масштаб так, щоб на екрані повністю відображався перехідний процес.

1.5 Скопіювати перехідну характеристику у звіт.

2 Виконання перетворення структурної схеми.

2.1 У командному вікні задати передавальні функції w1 – w5 відповідно до варіанта завдання, використовуючи команди:

```
S = poly(0, 's')
Nm1 = [1+...3*s2]
DNm1 = [???]
w1=syslin('c',Nm1/DNm1)
```


$$Nm2=[1+\dots3*s2]$$

.....

2.2 Розрахувати передавальну функцію зворотної дії командою:

$$w6=1./w1$$

2.3 Виконати розрахунок передавальної функції системи командами математичних дій, відповідно до виконаного під час підготовки до заняття перетворення структурної схеми, присвоюючи результатам кожного наступного розрахунку значення змінних $w7, w8, \dots$, а кінцевому результату W .

2.4 Повернутись у вікно моделювання Xcos.

2.5 Створити нову модель, у яку входить одержана передавальна функція САК свого варіанта завдання. Порядок побудови: насамперед ввести поліном знаменника, а потім чисельника.

2.6 Змоделювати роботу системи й одержати перехідну характеристику системи згідно з виконаними розрахунками.

3 Порівняння одержаних перехідних характеристик

3.1 Порівняти одержану характеристику з перехідною характеристикою одержаною раніше (див. п. 1).

3.2 У разі, якщо характеристики відрізняються одна від одної, перевірити етапи перетворення моделі та виконані розрахунки й виправити помилки.

3.3 Занести результати роботи у звіт.

4 Звіт з практичної роботи

4.1 У звіті до практичної роботи повинні міститись матеріали зазначені у п. 3 та наступних пунктах опису практичної роботи.

4.2 Звіт із практичної роботи захищається в індивідуальному порядку.

Контрольні запитання

1. Які типи з'єднань динамічних ланок Ви знаєте?
2. Які ланки називають ланками прямої та зворотної дії?
3. Дайте визначення структурної схеми.
4. Яким оператором можна задати поліном у системі Scilab?
5. Які оператори дають змогу одержати передавальну функцію послідовно з'єднаних ланок?
6. Оператори одержання передавальної функції паралельно з'єднаних, ланок, ланок з'єднаних зі зворотнім зв'язком.
7. Що називають полюсами та нулями передавальної функції?
8. Як на комплексній площині розміщені полюси передавальної функції стійкої та нестійкої системи?
9. Як одержати передавальну функцію ланки зворотного зв'язку?
10. Скільки полюсів має передавальна функція, у знаменник якої входить оператор s у степені k ?
11. У чому полягає вимога парності комплексних полюсів передавальної функції?

Практична робота №6 Дослідження стійкості замкненої системи автоматичного керування за допомогою критерію Гурвіца

Мета роботи

Здобуття навичок дослідження стійкості САК за допомогою алгебраїчного критерію Гурвіца.

Опис змісту практичної роботи

Умовою стійкості САК є розміщення коренів характеристичного рівняння у лівій частині комплексної площини. Якщо відома передавальна функція системи, то умова стійкості перевіряється шляхом розрахунку коренів характеристичного рівняння. Характеристичне рівняння системи – це поліном знаменника передавальної функції прирівняний до нуля. Корені знаменника визначають полюси передавальної функції. Оскільки більшість САК описуються диференційними рівняннями високого порядку, і степінь характеристичного рівняння висока, то відшукати корені досить складно. Тому для визначення стійкості САК розроблено ряд критеріїв, які без розв'язання характеристичного рівняння дозволяють визначити стійкість системи. До таких критеріїв відносяться алгебраїчний критерій Гурвіца. Аналіз стійкості дозволяє більш чітко зрозуміти поведінку системи, намітити шляхи її корекції, розробити рекомендації щодо покращенню якості систем керування (див. [1], ст. 136 – 138).

Алгебраїчний критерій Гурвіца (Рауса – Гурвіца) полягає у тому, що стійкість системи визначається за значеннями визначників, які одержують із квадратної матриці Гурвіца. Матриця Гурвіца n -го порядку будується з коефіцієнтів диференційного рівняння в порядку описаному в посібнику.

Завдання до практичного заняття

Згідно до варіанта в робочому вікні розрахувати передавальну функцію САУ. Записати характеристичний поліном. Побудувати матрицю Гурвіца, побудувати визначники та розрахувати їх значення. Визначити чи система є стійкою відповідно критерію Гурвіца.

Підготовка до практичної роботи

Повторити лекційний матеріал [1]. Одержати варіант завдання і внести завдання у звіт (див. таблицю В.4).

Оформити заготовку звіту.

Хід виконання практичної роботи

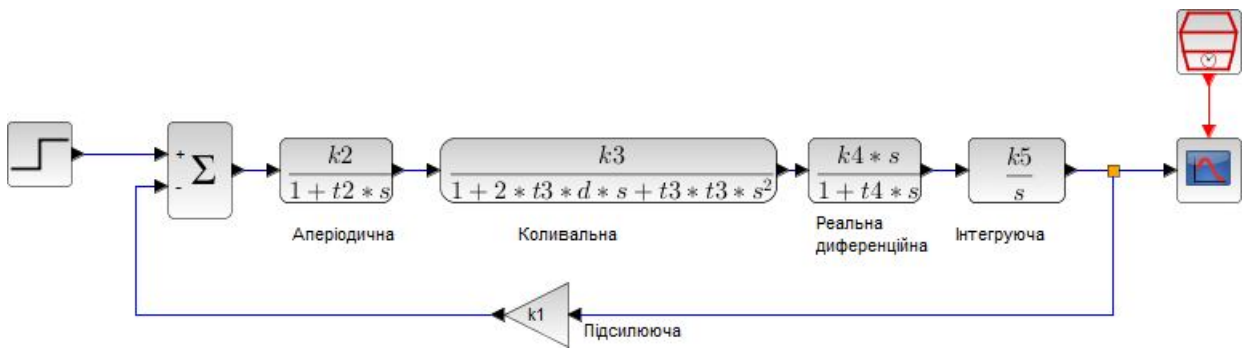


Рисунок 6.1 – Структурна схема САУ

1.1. Розрахувати параметри САУ, структурна схема якої представлена на рисунку 6.1, в описаному порядку.

1.1. Задати коефіцієнти чисельника починаючи з найнижчого степеня до старшого $n_0, n_1, n_2, \dots, n_n$ командами:

$$n_0 = 2;$$

$$n_1 = 0.25;$$

...

1.2. задати чисельника:

$$n = \text{poly}([n_0 \ n_1 \ n_2 \ \dots \ n_n], 's', 'coeff')$$

1.3. Задати коефіцієнти знаменника d_0, d_1, d_2, \dots (крім останнього $d_n=1$)

1.4. Задати поліном знаменника:

$$d = \text{poly}([d_0 \ d_1 \ d_2 \ \dots \ 1], 's', 'coeff')$$

1.5. Задати ПФ командою.

$$f1 = \text{syslin}('c', n, d)$$

1.6. Аналогічним чином визначити ПФ інших ланок

2. Розрахувати передавальну функцію замкненої системи

2.1. За структурною схемою, (див рис. 6.1) розрахувати ПФ замкненої системи. Формула розрахунку ПФ замкненої системи така:

$$W(s) = \frac{W_n(s)}{1 + W_n(s) * W_{zz}(s)}$$

де $W_n(s)$ – Передавальна функція прямого зв'язку (добуток передавальних функцій $f1 * f2 * f3 * f4$).

$W_{zz}(s)$ – Передавальна функція ланки зворотного зв'язку = 1.

2.2. Послідовність команд: спочатку розрахувати ПФ чисельника, пізніше знаменника і розділивши їх одержати ПФ системи

3. Побудова матриці Гурвіца

3.1. Визначаємо розмір матриці Гурвіца: $n * n$, де n – степінь характеристичного поліному.

3.2. Коефіцієнти знаменника нумеруються: $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5$ в порядку зменшення ступеня оператора s .

3.3. Коефіцієнтам знаменника присвоїти значення в порядку: a_0, a_1, a_2, \dots

починаючи з коефіцієнта при найвищій стені змінної s .

- 3.4. Записати в діагоналі матриці коефіцієнти від a_1 до a_5 .
- 3.5. Кожен стовпчик матриці доповнити вниз коефіцієнтами зі спадаючим номером індексу, вверху – з наростаючим.
- 3.6. Незаповнені клітинки матриці доповнити нулями.
- 3.7. Ввести матрицю в робочому вікні Scilab.

4. Створення матриць нижчих порядків і розрахунок їх визначників

- 4.1. Створити матриці нижчих порядків m_4 , m_3 , m_2 , m_1 з матриці розміром $n \times n$ шляхом послідовного викреслювання останнього рядка і колонки у матриці більш високого порядку. Оператор побудови матриці нижчого порядку має вигляд: $m(1:n-1, 1:n-1)$. Приклад створення матриці четвертого порядку:
--> $m_4 = m_5(1:4, 1:4)$
- 4.2. Розрахувати визначники матриць. Для цього використати команду $\det()$.

5. Аналіз стійкості САУ

- 5.1. Виписати значення визначників.
- 5.2. Виконати знаки визначників.
- 5.3. Виконати аналіз відповідно до правила і зробити висновок про стійкість системи.

6. Звіт з практичної роботи

- 6.1. Звіт повинен містити опис теоретичного матеріалу, результати розрахунків виконаних за час роботи і пояснення виконаних дій.
- 6.2. Звіт з практичної роботи захищається в індивідуальному порядку.

Контрольні запитання

1. Сформулюйте умову стійкості САУ.
2. Які ви знаєте критерії стійкості?
3. Сформулюйте критерій стійкості Гурвіца.
4. Що таке характеристичне рівняння?
5. Що називається характеристичним поліномом?
6. Який порядок побудови матриці Гурвіца?
7. Як ввести матрицю у системі Scilab?
8. Як записати характеристичне рівняння при відомій передавальній функції системи?
9. Якою командою задається поліном?
10. Якою командою будується Передавальна функція?
11. Запишіть формулу розрахунку передавальної функції ланок зі зворотним зв'язком.
12. Вкажіть правило розрахунку величини визначника 3 порядку.
13. Якою командою вилучити з матриці окремо колонку, або стовбець?
14. Як обчислювати визначник матриці у системі Scilab?

Практична робота № 7. Дослідження стійкості САУ за допомогою частотних критеріїв Михайлова та Найквіста

Мета роботи

Здобуття навичок дослідження стійкості САУ

Опис змісту практичної роботи

Критерій стійкості Гурвіца незручний для систем високого порядку тому, що доводиться розраховувати визначники високих розмірностей. Виконати це вручну досить важке завдання. Тому використовують інші критерії, такі як критерій Михайлова чи частотний критерій Найквіста. Критерій Михайлова зручний для аналізу лінійних систем порядку ($n > 5$). Стійкість системи визначається за годографом характеристичного комплексу Михайлова. Характеристичний комплекс Михайлова одержують шляхом заміни оператора p на уявну величину $j\omega$ в характеристичному поліномі замкненої системи. Якщо годограф проходить послідовно n квадрантів комплексної площини, то система стійка.

Критерій Найквіста є частотним критерієм. Стійкість системи визначається за амплітудно-частотною характеристикою розімкненої системи або за логарифмічними амплітудно й фазово-частотними характеристиками. Ці характеристики можна розрахувати теоретично, або одержати експериментальним шляхом. Умова стійкості за критерієм Найквіста наведена в підручнику ([1], ст. 136–146). У цій роботі стійкість САУ визначається шляхом розрахунків виконаних у вікні консолі Scilab, та перевіряється на моделі, побудованій у програмному пакеті Xcos.

Завдання до практичної роботи

Розрахувати передавальну функцію замкненої САУ. Створити характеристичний комплекс Михайлова, побудувати годограф та визначити стійкість системи.

Розрахувати передавальну функцію розімкненої системи, побудувати годограф Найквіста та визначити стійкість та запас стійкості САУ. Виконати корекцію САУ і такий спосіб, щоб забезпечити запас стійкості за коефіцієнтом підсилення не менше 6 дБ.

Побудувати модель САУ в пакеті Xcos та перевірити відповідність результатів моделювання висновками, одержаним під час дослідження стійкості. Повторити дослідження запасу стійкості з використанням ЛАЧХ та ЛФЧХ (характеристиками Бодо).

Підготовка до практичної роботи

Повторити теоретичний матеріал, а саме умови стійкості САУ порядок використання критеріїв Михайлова і Найквіста [1]. Оформити матеріали підготовки у вигляді заготовку до звіту.

Хід виконання практичної роботи

1 Розрахунок передавальної функції

1.1 Згідно до варіанту роботи розрахувати передавальну функцію ланок, які входять до структурної схеми САУ відповідно з варіантом завдання, а саме:

1.2 Задати коефіцієнти чисельника n_0, n_1, n_2, \dots , та коефіцієнти знаменника d_0, d_1, d_2, \dots першої ланки;

1.3 Побудувати поліноми чисельника n та знаменника d :

$$n = \text{poly}([n_0 \ n_1 \ n_2 \ \dots \ n_n], 's', 'coeff')$$

1.4 Побудувати ПФ:

$$f1 = \text{syslin}('c', n, d)$$

1.5 Аналогічно побудувати ПФ інших ланок.

Скориставшись Help-ом вивести значення параметрів команд: $\text{poly}()$ та $\text{syslin}()$.

2 Дослідження стійкості системи за допомогою критерію Найквіста

2.1 За структурною схемою, відповідно до правил перетворення структурних схем, розрахувати передавальну функцію F замкненої системи.

2.2 Одержати характеристичний комплекс Михайлова шляхом заміни оператора s у характеристичному поліномі (поліномі знаменника ПФ F) на величину $j\omega$ ($s \rightarrow j\omega$) в такому порядку.

2.3 Використати команду $\text{poly}()$, де замість змінної 's' вказати частоту 'w', а кожен член полінома помножити на уявну одиницю %i у відповідній степені:

$$Mf = \text{poly}([500 \ 1287.5 * \%i \ 650.625 * (\%i)^2 \ 62.5 * (\%i)^3 \ (\%i)^4], 'w', 'c')$$

2.4 Виділити дійсну та $A(\omega)$ та уявну $B(\omega)$ частини характеристичного комплексу

2.5 Після вводу поліному Mf будуть роздруковані дійсна та уявна частини, наприклад:

$$\begin{aligned} Mf = \\ \text{Real part} \\ 500 - 650.625x^2 + x^4 \\ \text{Imaginary part} \\ 1287.5x - 62.5x^3 \end{aligned}$$

2.6 Задати значення функцій $A(w)$ та $B(w)$ командою $\text{deff}()$:

$$\begin{aligned} \text{deff}('u=A(w)', 'u=500-650.625*w^2 +w^4') \\ \text{deff}('u=B(w)', 'u=1287.5*w -62.5*w^3') \\ A=(500-650.625*w^2+w^4); \\ B=(1287.5*w-62.5*w^3); \end{aligned}$$

3 Побудова годографу Михайлова командою $\text{plot}(x,y)$.

3.1 задати значення змінної w у межах від 0 до 1 з інтервалом 0,01

командою:

```
w=(0:0.01:1);  
plot(A(w), B(w))  
xgrid
```

3.2 Скопіювати графік у звіт та проаналізувати його зміну в початковій ділянці w (0, 1).

3.3 Збільшити ділянку w на таку величину, щоб кінцеве значення графіка знаходилось у 4 квадранті комплексної площини та скопіювати у звіт.

3.4 Проаналізувати одержаний графік і зробити висновок щодо стійкості системи.

4 Дослідження стійкості системи за допомогою критерію Найквіста

Дослідження стійкості замкненої системи по поведінці розімкненої системи (відповідно до критерія Найквіста).

4.1 Побудувати передавальну функцію розімкненої системи W_{roz} (дорівнює добутку всіх передавальних функцій, що входять в кільце зворотного зв'язку).

4.2 Задати команду *nyquist(Wroz)* та одержати діаграму Найквіста, АФЧХ розімкненої системи.

4.3 Проаналізувати діаграму, визначити чи охоплює вона точку з координатою $(-1, 0i)$ і зробити висновок щодо стійкості замкненої системи. (На рисунку 7.1 наведено дві частини діаграми для додатних – нижня частина та від'ємних – верхня частина частот).

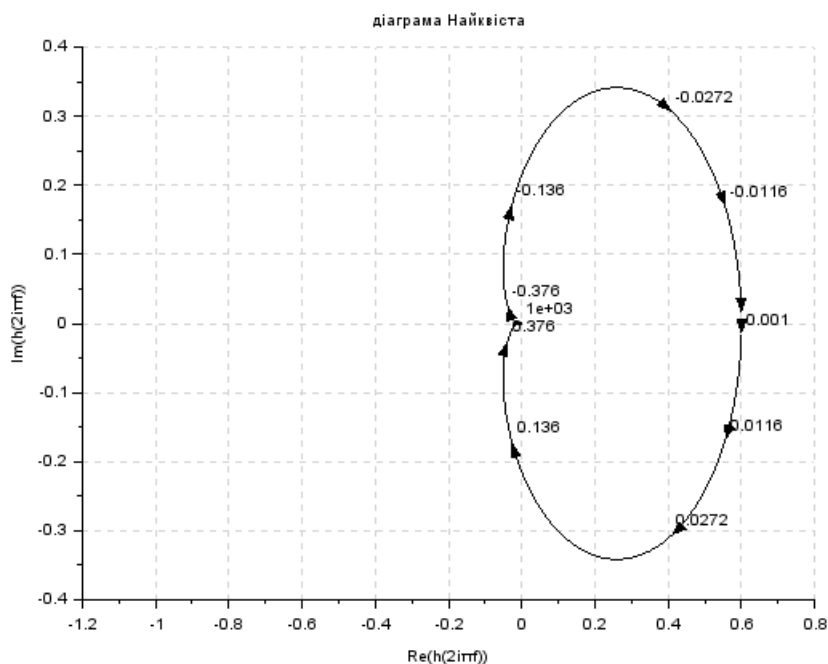


Рисунок 7.1 – Діаграма Найквіста

4.4 Виміряти віддаль від точки перетину з віссю ординат до точки $(-1,$

0i) та розрахувати запас стійкості в відсотках (для цього скористуватись інструментом виділення панелі інструментів графічного вікна (рис. 7.2 і 7.3 і виділити область в околі (0, 1))

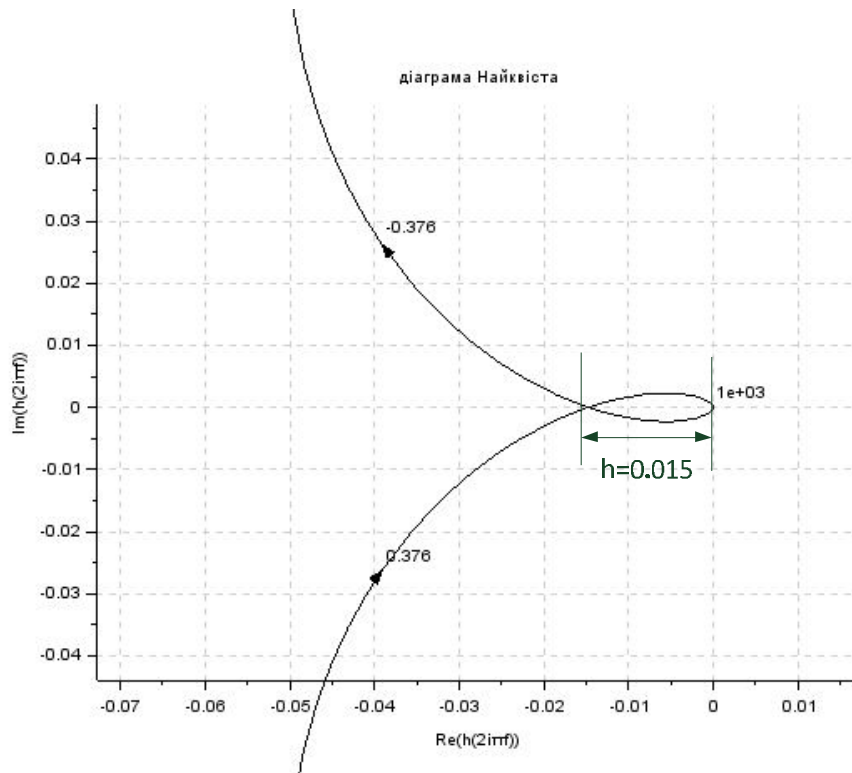


Рисунок 7.2 – Визначення точки перетину діаграми Найквіста з віссю одинат

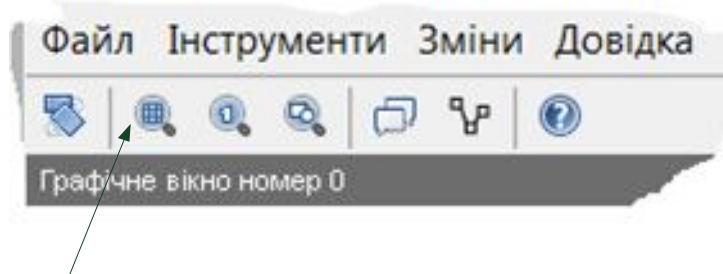


Рисунок 7.3 – Інструмент виділення потрібної області діаграми

4.5 Розрахувати запас стійкості за модулем у відсотках:

5 Визначення стійкості системи за критерієм Найквіста за логарифмічними частотними характеристиками Бодо

5.1 Побудувати логарифмічні частотні характеристики розімкненої системи командою **bode(Wroz)**.

5.2 Визначити зсув фаз на частоті зрізу (рис. 7.4).

5.3 Зробити висновок щодо стійкості системи.

5.4 Розрахувати запас стійкості за фазою.

5.5 Розрахувати запас стійкості за коефіцієнтом підсилення, для цього потрібно знайти критичне значення коефіцієнта підсилення $K_{гр}$

експериментальним шляхом зміни коефіцієнта підсилення в передавальній функції до того моменту, коли зсув фаз на частоті зрізу дорівнюватиме 180° .
 Формула розрахунку запасу стійкості

$$h = 20 \lg \frac{K_{\text{зр}}}{K}$$

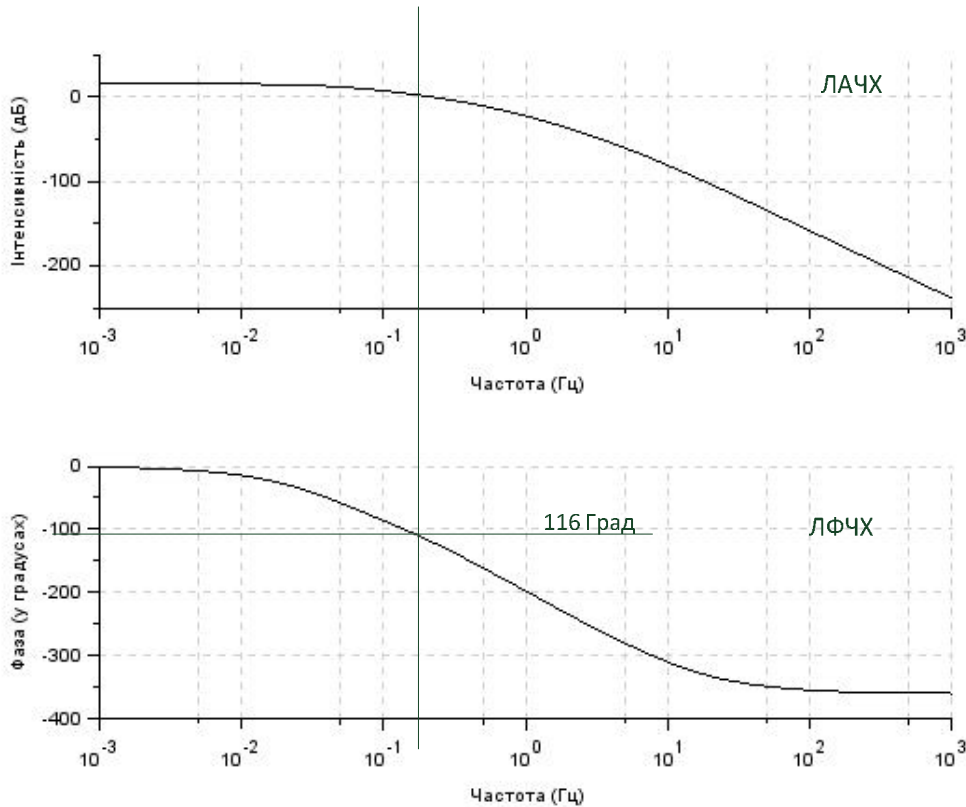


Рисунок 7.4 – Характеристики Бодо розімкненої системи

6 Корекція САУ

- 6.1 Скоригуйте САУ у такий спосіб, щоб запас стійкості був не менше 6 дБ.
- 6.2 Замніть в ланці зворотного зв'язку коефіцієнт підсилення.
- 6.3 Побудуйте характеристики Бодо.
- 6.4 Розрахуйте запас стійкості за коефіцієнтом підсилення;
- 6.5 Переконайтесь, що запас стійкості не менше 6 дБ.
- 6.6 У разі необхідності коефіцієнт підсилення ланки зворотного зв'язку поміняйте ще раз.

7 Побудова моделі системи в пакеті Xcos

7.1 Побудуйте модель системи в пакеті Xcos, одержіть перехідну характеристику та дайте відповідь: чи відповідають характеристики результатам виконаних досліджень під час практичної роботи?

7.2 Розроблену модель та звіт із практичної роботи відправте для перевірки викладачу в системі дистанційної освіти.

8 Звіт із практичної роботи

8.1 Звіт повинен містити опис теоретичного матеріалу, результати розрахунків виконаних за час роботи і пояснення виконаних дій.

8.2 Звіт з практичної роботи захищається в індивідуальному порядку.

Контрольні запитання

1. Дайте визначення критерію стійкості Гурвіца.
2. Дайте визначення критерію стійкості Михайлова.
3. Дайте визначення критерію стійкості Найквіста.
4. За яким критерієм можна визначити стійкість САУ експериментальним шляхом?
5. Яку частоту називають частотою зрізу?
6. Яку систему називають розімкнутою?
7. Якими характеристиками визначається запас стійкості?
8. Які вимоги до запасу стійкості систем, що експлуатуються?
9. Якою командою можна одержати ЛАЧХ і ЛФЧХ САУ?
10. Який формат команди *poly()*?
11. Як задати передавальну функцію в консолі Scilab?
12. Як задати функцію за допомогою команди *deff()*?

Практична робота № 8 Вивчення точності САУ в статичних режимах роботи

Мета роботи

Дослідження точності роботи системи автоматичного керування обертами двигуна електроприводу постійного струму засобами комп'ютерного моделювання в пакеті Scilab.

Теоретичні відомості

Точність регулювання – один із головних показників, який визначає функціональну придатність САУ. Точність САУ характеризується величиною похибки управління, тобто різницею між заданим і фактичним значенням керованої величини. Розрізняють похибки в статичному та динамічних режимах роботи. Статичні – в усталених режимах роботи, динамічні – в динамічних. Для теоретичного аналізу точності структурну схему САУ приводять до вигляду, зображеного на рисунку 8.1, до якого можна привести будь-яку одну контурну САУ.

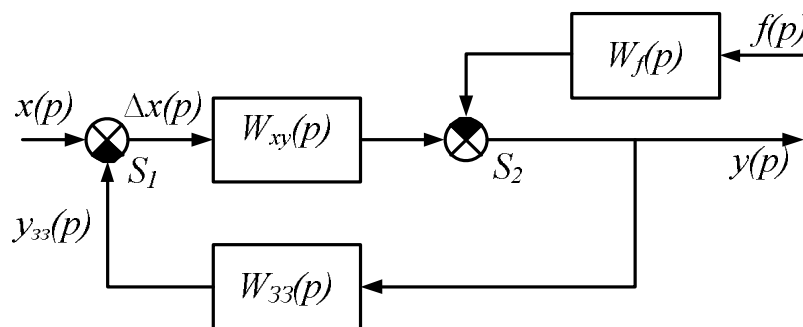


Рисунок 8.1 – Узагальнена схема САУ

Тут $x(p)$ – сигнал керування; $y(p)$ – вихідний сигнал; $f(p)$ – сигнал збурення; $y_{33}(p)$ – сигнал зворотного зв'язку; $W_{33}(p)$ ПФ зворотного зв'язку; $W_{xy}(p)$ – ПФ прямого зв'язку; $W_f(p)$ – ПФ ланки збурення; S_1 – суматор зворотного зв'язку; S_2 – суматор сигналу збурення.

На рисунку 8.2 наведена структурна схема САУ в разі приведення до одиничного зворотного зв'язку. Тут $\Delta x(p)$ – сигнал похибки, який дорівнює різниці вхідного (задавального) та вихідного сигналів.

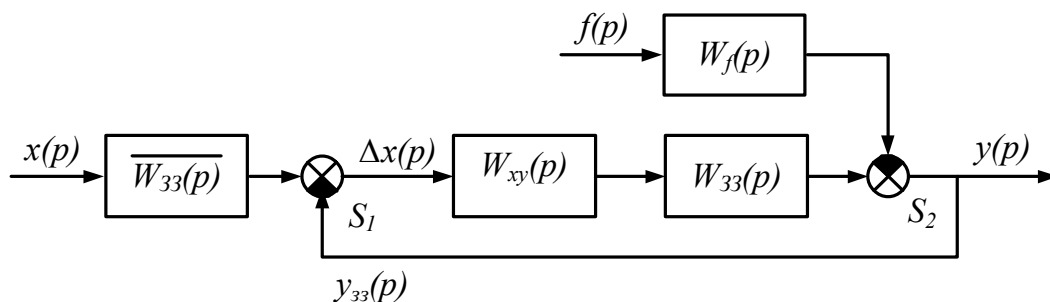


Рисунок 8.2 – Приведення системи до одиничного зворотного зв'язку

Працює приведена на схемі САУ у такий спосіб. На вхід САУ подається сигнал керування $x(p)$. На суматорі S_1 виробляється сигнал похибки керування $\Delta x(p)$, рівний різниці сигналу керування $x(p)$ та сигналу зворотного зв'язку $y_{зз}(p)$. Сигнал збурення подається через ланку збурення $W_f(p)$ на суматор S_2 і через ланку зворотного зв'язку на суматор S_1 .

Як видно з рисунка 8.2, сигнал зворотного зв'язку має два складники (є а вихідним сигналом суматора S_2). Відповідно, і похибка регулювання також має два складники: за керуючою дією та за збуренням. Визначити ці похибки можна за відповідними передавальними функціями між точками входу сигналів $x(p)$ та $f(p)$ і відповідною точкою похибки $\Delta x(p)$.

Передавальна функція для похибки за керуючим сигналом:

$$\Delta x_x(p) = \frac{1}{1 + W_{зз}(p)W_{xy}(p)} x(p)$$

За збурювальним сигналом:

$$\Delta x_f(p) = \frac{W_f(p)}{1 + W_{зз}(p)W_{xy}(p)} f(p)$$

Залежно від режиму роботи САУ розрізняють статичну й динамічну похибки. Статична похибка – це похибка в усталеному статичному режимі роботи. Статичний режим настає, коли всі параметри системи та вхідні величини є незмінними в часі, похідні від них дорівнюють нулю. Відносна похибка за керуючою дією в статичному режимі дорівнює статизму S системи:

$$\delta_x = \frac{1}{1 + K} = S$$

За збурюючою дією вона дорівнює:

$$\delta_f = \frac{K_f}{1 + K}$$

де K , K_f — відповідно коефіцієнти підсилення системи та коефіцієнт підсилення ланки збурення.

Вставка

Динамічний усталений режим роботи – це такий усталений режим роботи, при якому вхідні величини змінюються за певним усталеним законом, наприклад, із постійною швидкістю, з постійним прискоренням, по синусоїдальному законі тощо, але похибка керування залишається незмінною. Залежно від типу динамічного режиму з'являються похибки, а саме: похибка за швидкістю, похибка за прискоренням.

Завдання до практичної роботи

Побудувати САУ відповідно до завдання. Привести її до вигляду наведеному на рисунку 8.2. Виконати моделювання роботи. Визначити й записати у звіт величини похибок за сигналом керування та за збурюючою

дією. Поміняти коефіцієнт підсилення та дослідити залежність величини похибок керування від статизму.

Порядок виконання роботи

1 Побудова математичної моделі дослідження точності керування САУ.

1.1 Уважно вивчити принципову схему САУ, наведену на рисунку 8.3.

1.2 Завантажити пакет Scilab.

1.3 Завантажити збережену копію САУ виконаної відповідно до варіанта практичного завдання № 2. Відповідно до варіанту завдання, занести в таблицю 8.1 параметри системи керування.

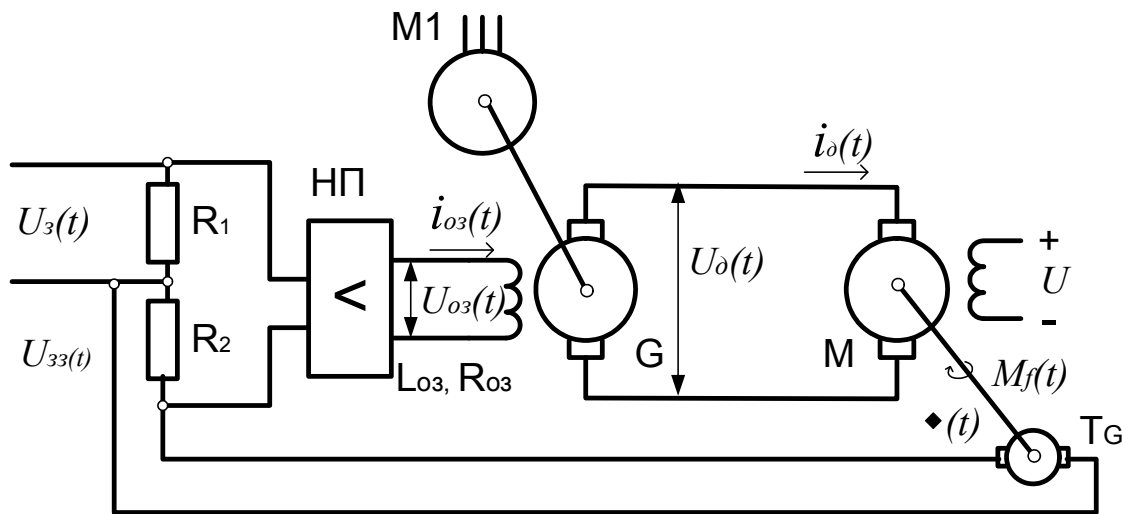


Рисунок 8.3 – Принципова схема системи автоматичного керування швидкістю двигуна постійного струму з незалежним збудженням

Таблиця 8.1 – Параметри САУ згідно з принциповою схемою

Індуктивність обмотки збудження	Опір обмотки збудження	Коефіцієнт нахилу характеристики	Індуктивність обмотки якоря	Опір обмотки якоря	Момент інерції якоря	Постійна двигуна	Коефіцієнт передачі тахогенератора	Коефіцієнт підсилення НПП
$L_z,$ Гн	$R_z,$ Ом	B	$L_j,$ Гн	$R_j,$ Ом	$J,$ Кгм ²	C	K_{tg}^*	K_p
25	46	129	0,018	0,27	3,6	0,22	0,000 34	1 500

1.4 Розрахувати параметри САУ керування швидкістю двигуна постійного струму та статизм системи.

1.5 Ввести в робоче вікно Scilab параметри системи згідно з варіантом завдання, притримуючись прийнятих позначень наведених у таблиці 8.1.

1.6 Розрахувати параметри ланок за формулами:

$$\begin{aligned}
 K_g &= B/R_z \\
 T_g &= L_z/R_z \\
 K_d &= 1/C \\
 T_e &= L_j/R_j \\
 T_m &= R_j \cdot J/C^2 \\
 T_f &= L_j/C^2 \\
 b &= R_j/C^2
 \end{aligned}$$

1.7 Побудувати модель САУ. Структурна схема зображена на рисунку 8.4.

1.8 Зберегти модель.

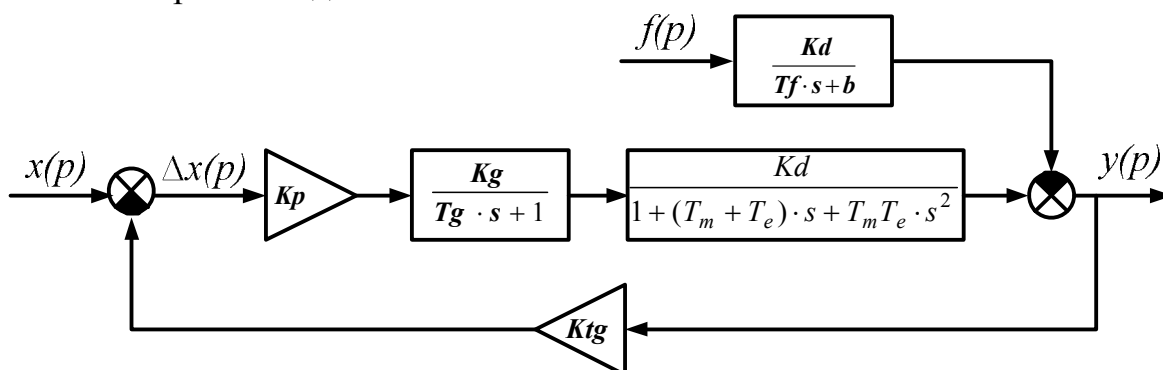


Рисунок 8.4 – Структурна схем САУ

1.9 Привести модель до одиничного зворотного зв'язку й побудувати її в системі Scilab (рис. 8.5).

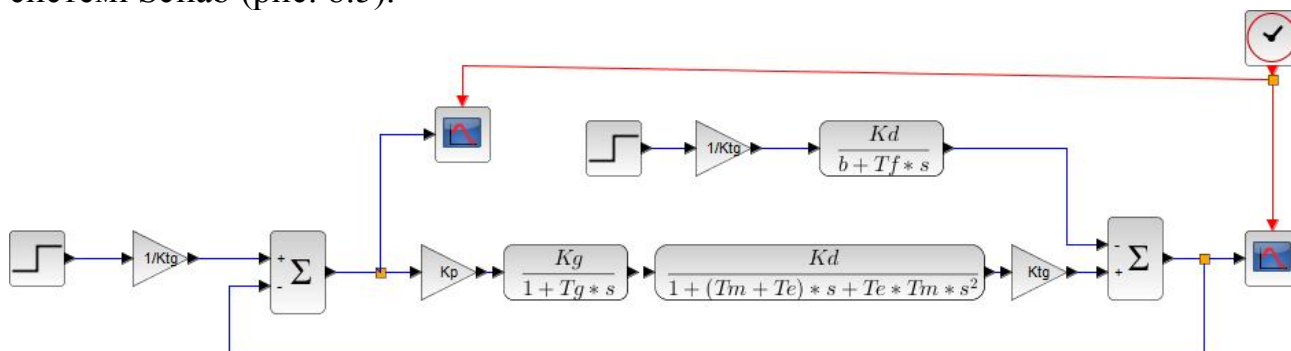


Рисунок 8.5 – Приклад моделі двигуна, приведеній до одиничного зворотного зв'язку, в пакеті Scilab Xcos

2 Вибір параметрів моделювання

2.1 Під час побудови моделі у вікнах осцилографів ввести (латинськими літерами!) їхнє призначення, наприклад: Rapid, Oscівка.

2.2 Змоделювати роботу моделі. У вікнах осцилографів вказати одиниці вимірювання: (швидкість, 1/с (радіан/секунда), час, t, c). Вивести сітку.

2.3 Розрахувати коефіцієнт передачі K та статизм S системи:

$$\begin{aligned}
 K &= K_g \cdot K_p \cdot K_{tg} \cdot K_d; \\
 S &= 1/(1+K).
 \end{aligned}$$

2.4 Встановити потрібні параметри: час моделювання, та час відображення в осцилографах (орієнтир 50 – 100 c).

2.5 Встановити величину вхідного сигналу порядку 10 В, сигналу збурення 5 Н·м.

2.6 Встановити кінцевий час моделювання – досягнення статичного режиму роботи при навантаженні; та момент зміни збурення – після установаження статичного режиму роботи за вхідним сигналом.

2.7 Відповідно скоригувати час моделювання в рядковому меню.

2.8 Зберегти модель у вигляді файлу та відправити файл моделі в дистанційний курс та зображення вставити у звіт з практичної роботи.

2.9 У звіті створити таблицю результатів роботи на зразок таблиці 8.2.

Таблиця 8.2 – Результати практичної роботи

К	S	M _f Н	Без збурення			Після збурення		
			V, рад/с	Dv, рад/с	δV	V _f , рад/с	Dv _f , рад/с	δ _f
6,500	0,1333	5	25 485	3 921	0,1333	23 893	5 518	0,1876
17,33	0,0545	5	27 807	1 604	0,0545	27 154	2 257	0,0767
86,68	0,0114	5	29 076	3 35	0,0114	28 939	4 72	0,0160

Відповідно у колонках таблиці вказано: К – коефіцієнт підсилення САУ; S – статизм системи, V – швидкість двигуна, 1/с, Dv – абсолютна похибка керування, 1/с, δV – відносна похибка керування.

3 Дослідження точності роботи САУ

3.1 Підібрати величину коефіцієнта підсилення напівпровідникового підсилювача таким, при якому перехідний процес монотонний (рис. 8.6).

3.2 Виміряти усталені значення швидкості та похибки керування. Скористуватись засобом міток у верхньому рядку графічного вікна. Відмітити потрібно точку на графіку лівою клавішею миші. (Вилучити мітки можна за допомогою меню правої клавіші).

3.3 Перенести дані в таблицю 8.2. Графіки перехідних процесів за швидкістю двигуна та похибкою керування скопіювати у звіт.

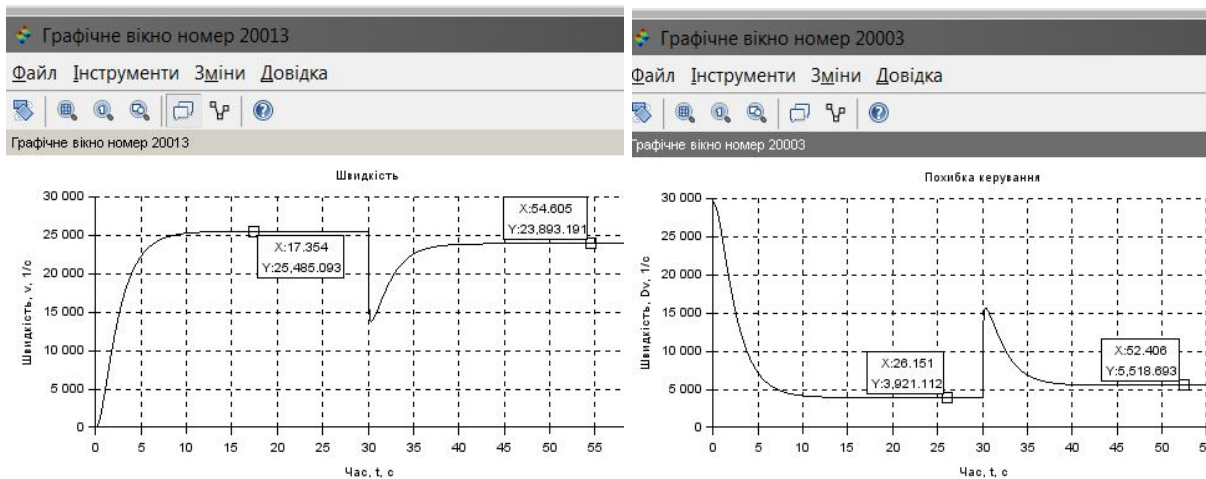


Рисунок 8.6 – Робота САУ при монотонному перехідному процесі

3.4 Розрахувати коефіцієнт підсилення системи, відносні похибки за вхідним сигналом та відносну похибку за наявності сигналу збурення.

3.5 Порівняти величини відносної похибки зі статизмом системи.

3.6 Поміняти значення коефіцієнта підсилення K_p у такий спосіб, щоб перехідні процеси регулювання були аперіодичними і виконати аналогічні дослідження.

3.7 Ще раз поміняти коефіцієнт підсилення K_p , забезпечивши коливальний перехідний процес із двома, або трьома мінімумами, і виконати відповідні дослідження (рис. 8.7).

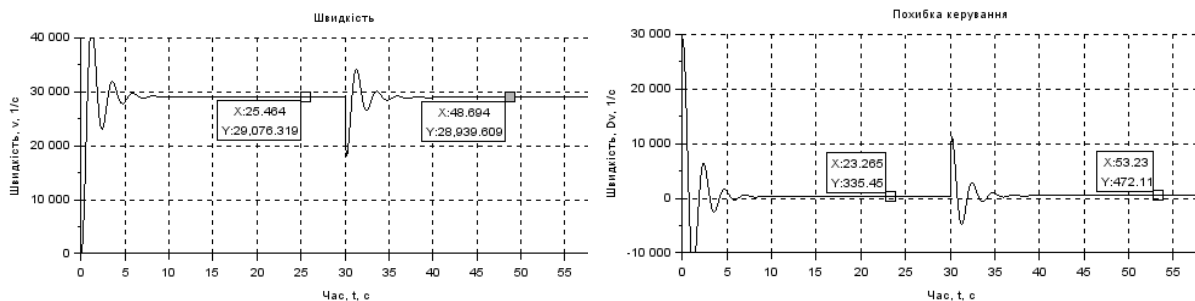


Рисунок 8.7 – Робота САУ при коливальному перехідному процесі

3.8 Занести результати досліджень і розрахунків у звіт із практичного завдання.

3.9 Порівняти точність керування при різних значеннях статизму системи. Зробити висновок, як зміна статизму системи впливає на її роботу.

3.10 Порівняти перехідні характеристики при різних значеннях статизму. Зробити висновок, як зміна статизму впливає на якість перехідного процесу.

3.11 Зберегти створені моделі з розширенням *.zcos і відправити їх у дистанційний курс.

4 Звіт з практичної роботи

4.1 Звіт повинен містити опис теоретичного матеріалу, результати

розрахунків виконаних під час виконання роботи та пояснення побудови моделі.

4.2 Опис порядку виконання роботи.

4.3 Схеми побудованих моделей.

4.4 Осцилограми моделювання процесів.

4.5 Результати розрахунків.

4.6 Висновки про точність систем керування. Відповідність результатів досліджень теоретичним формулам.

4.7 Висновки щодо зміни характеру процесів регулювання при зміні статизму (коефіцієнта підсилення) системи.

4.8 Звіт з практичної роботи захищається в індивідуальному порядку.

Контрольні запитання

1 Якою величиною визначається точність керування?

2 Що розуміють під абсолютною і відносно похибками керування?

3 Яку величину називають статизмом системи?

4 Як залежить точність керування від величини статизму?

5 Як впливає величина коефіцієнта підсилення на протікання перехідних процесів?

6 В чому недолік методу збільшення точності керування за рахунок зміни коефіцієнта підсилення?

7 Який режим роботи називається статичним?

8 Як розрахувати передавальні функції САУ за вхідним (керуючим) сигналом і за збурення/

Список рекомендованої літератури

1. Сорока К. О. Теорія автоматичного керування і комп'ютерне моделювання. (Неперервні лінійні системи): Основи теорії систем автоматичного керування, навчальний посібник: у кількох частинах / К. О. Сорока. – Харків, ФОП Тимченко, 2010, ч.1 – 218 с.
2. Сорока К. О. Теорія автоматичного керування і комп'ютерне моделювання. (Неперервні лінійні системи): Аналіз систем автоматичного керування засобами комп'ютерного моделювання, навчальний посібник: у кількох частинах / К. О. Сорока. – Харків : ФОП, Тимченко, 2010, ч. 2 – 156 с.
3. Сорока К. О. Теорія автоматичного керування: Навчальний посібник / К. О. Сорока. – Харків, ХНАМГ, 2006. –187 с.
4. Попович М. Г. Теорія автоматичного керування: підручник / М. Г. Попович, О. Г Ковальчук. – Київ : Либідь, 2007. – 656 с.
5. Власов К. П. Теория автоматического управления: учебное пособие / К. П. Власов. – Харьков: Изд-во Гуманитарный центр, 2007. – 526 с.

ДОДАТОК А
Титульний аркуш

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

ЗВІТ
з практичної роботи № 1 з дисципліни:

«Теорія автоматичного управління»

Тема роботи: Ознайомлення з математичною системою Scilab. Виконання найпростіших математичних обчислень

Варіант № 9

Виконав:

Студент групи Сінж2018-1
_____ Федорова Т. Ф.

Перевірив:

Доц. _____ Сорока К.О

ХАРКІВ – 2019

ДОДАТОК Б

Таблиці варіантів завдань з практичних робіт

Таблиця Б.1 – Варіанти завдань до практичного заняття № 1

Варіант	Номери за таблицею Б.2
1	1,5,10,15,25
2	2,6,11,16,25
3	3,7,12,17,20
4	4,8,9,21,24
5	5,7,10,16,22
6	6,8,9,17,24
7	7,9,12,23,25
8	8,11,14,20,25
9	9,12,14,16,22
10	10,14,16,19,21
11	1,4,7,15,18
12	2,5,8,19,20
13	14,17,18,21,24
14	1,2,3,14,15
15	6,7,8,19,20
16	1,11,12,17,18
17	6,7,8,19,20
18	2, 3,11, 24,25
19	1,3,5,17,19
20	2,4,6,18,20
21	1, 3, 5,17,19
22	2, 4, 6,18,20
23	3,4,7, 16,22
24	15,17,21,23,25

Таблиця Б.2 – Значення чисел рівнянь та функцій

№	Число	Рівняння	Функція
1	2+3i	$2x^2 + 3x + 4 = 0$	$f(x) = x^2 e^{3x}$
2	1-3i	$2x^2 + x + 4 = 0$	$f(x) = x^2 \sin 2x$
3	4+i	$2x^2 - x + 4 = 0$	$f(x) = e^{2x} / x$
4	3-2i	$2x^2 + x + 7 = 0$	$f(x) = x^2 \cos 3x$
5	3-3i	$2x^2 - 2x + 4 = 0$	$f(x) = e^{3x} \operatorname{tg} x$
6	2+i	$2x^2 - x + 7 = 0$	$f(x) = x e^{3x} \sin x$
7	5-2i	$4x^2 + 3x + 4 = 0$	$f(x) = e^{3x} / (x - 1)$
8	2+5i	$x^2 + 6x + 1 = 0$	$f(x) = x \sin 3x$
9	1-5i	$2x^2 - 2x + 3 = 0$	$f(x) = x e^x$
0	2-4i	$2x^2 + 2x + 7 = 0$	$f(x) = 3x \cos 3x$
1	3+i	$2x^2 - 2x + 5 = 0$	$f(x) = e^{2x} \sin 2x$
12	2+4i	$2x^2 - 2x + 7 = 0$	$f(x) = x e^x \sin x$
14	5-i	$x^7 + 4 = 0$	$f(x) = 5x^2 \sin 3x$
15	4-3i	$x^5 + 4 = 0$	$f(x) = 2x e^{2x}$
16	2+4i	$x^8 + 7 = 0$	$f(x) = 3x^2 \cos 3x$
17	4+2i	$2x^6 + 5 = 0$	$f(x) = 5e^x \sin 2x$
18	3+5i	$x^6 - 5 = 0$	$f(x) = 3x e^x \sin x$
19	4-i	$x^7 - 4 = 0$	$f(x) = 2x e^{2x}$
20	1-4i	$x^6 - 4 = 0$	$f(x) = \operatorname{tg} x * \cos 3x$
21	4+2i	$x^5 - 7 = 0$	$f(x) = x^2 \cos 4x$
22	3+i	$x^7 - 8 = 0$	$f(x) = e^x \sin x \cos x$
23	3+3i	$x^5 + 5 = 0$	$f(x) = x^3 e^x \sin x$
24	3+2i	$x^6 + 6 = 0$	$f(x) = e^{2x} \operatorname{tg} x$
25	4+4i	$x^7 + 9 = 0$	$f(x) = 2x^2 \cos 2x$

Таблиця Б.3 – Варіанти завдання до практичних занять № 2, 3, 4, 6

Номер варар.	Параметри динамічних ланок								
	Підсилувальна	Аперіодична		Коливальна			Реальна диференційна		Інтегровальна
	K_1	K_2	T_2	K_3	T_3	D	K_4	T_4	K_5
0	1	1	0,2	0,1	0,2	0,2	5	0,2	5
1	1	1	0,1	1	0,05	0,05	1	0,1	0,5
2	2	2	0,2	0,8	0,1	0,1	2	0,1	0,1
3	3	0,3	0,3	0,1	0,2	0,1	3	0,05	0,8
4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,25	0,1	0,4	0,05	1
5	0,5	0,5	0,2	0,4	0,15	0,2	5	0,05	0,1
6	6	6	0,3	0,3	0,4	0,2	6	0,04	2
7	0,8	0,8	0,4	0,2	0,2	0,3	0,8	0,02	0,3
8	10	1	0,15	6	0,15	0,5	2	0,02	4
9	0,1	0,1	0,1	1	0,3	0,1	0,1	0,03	0,5
10	0,2	0,2	0,2	2	0,4	0,2	0,2	0,03	0,6
11	3	3	0,3	3	0,05	0,3	3	0,04	10
12	0,4	0,4	0,4	4	0,06	0,4	0,4	0,04	1
13	0,5	0,5	0,5	5	0,08	0,5	0,5	0,1	0,5
14	0,6	0,6	0,3	6	0,04	0,6	0,6	0,1	0,6
15	0,8	0,8	0,4	8	0,05	0,8	0,8	0,08	0,8
16	0,1	1	0,4	10	0,06	0,4	1	0,08	1
17	2	0,2	0,5	0,1	0,2	0,5	2	0,1	2
18	0,4	0,4	0,3	0,2	0,3	0,6	4	0,1	4
19	5	5	0,2	0,3	0,15	0,8	5	0,05	0,5
20	0,6	6	0,4	0,4	0,5	0,3	0,6	0,05	6
21	8	0,08	0,3	0,5	0,6	0,4	8	0,05	8
22	1,2	0,2	0,5	0,6	0,3	0,5	1,2	0,04	1,2
23	1,5	0,1	0,4	0,8	0,25	0,6	0,15	0,02	10
24	1,6	6	0,3	0,5	0,25	0,8	1,6	0,02	0,1
25	20	2	0,2	0,6	0,16	0,4	0,2	0,03	0,2

Таблиця Б.4– Варіанти завдання до практичних робіт № 2, 8

№	Lz Гн	Rz Ом	B	Lj Гн	Rj Ом	J Кгм ²	C	Ktg * 10 ⁴ с/В	Kp
0	25	46	129	0,018	0,27	3,6	0,22	3,4	1 500
1	25	20	100	0,02	0,2	2,5	0,2	2,0	4 000
2	27	27	106	0,019	0,16	2,5	0,08	1,9	4 700
3	35	35	125	0,028	0,25	3,0	0,1	3,4	2 000
4	22	26	149	0,026	0,27	2,7	0,2	2,0	2 200
5	24	35	75	0,022	0,12	1,0	0,1	2,6	4 100
6	56	36	54	0,029	0,10	2,2	0,08	5,0	2 200
7	35	46	141	0,030	0,17	2,4	0,1	4,0	4 300
8	49	20	57	0,017	0,10	3,8	0,07	2,9	4 500
9	51	38	51	0,022	0,22	1,4	0,15	4,2	900
10	56	49	79	0,033	0,28	2,6	0,13	1,9	3 400
11	57	24	147	0,024	0,11	2,1	0,12	4,9	3 600
12	22	46	61	0,030	0,16	2,7	0,2	2,7	5 800
13	53	31	56	0,017	0,09	2,2	0,08	3,5	4 300
14	49	35	128	0,017	0,22	2,7	0,1	3,5	2 800
15	53	38	68	0,026	0,12	2,1	0,09	2,1	3 900
16	57	20	98	0,034	0,23	1,6	0,2	2,4	900
17	44	25	78	0,018	0,24	3,5	0,08	2,3	1 400
18	64	45	124	0,022	0,19	3,1	0,15	2,4	2 600
19	39	41	63	0,030	0,10	1,7	0,08	2,1	3 400
20	45	23	76	0,033	0,13	2,3	0,22	4,1	1 000
21	43	20	62	0,024	0,21	3,0	0,06	4,5	5 500
22	30	24	82	0,020	0,14	2,2	0,09	1,7	4 300
23	46	47	140	0,034	0,22	3,4	0,3	4,9	3 400
24	31	46	135	0,019	0,10	2,9	0,2	1,6	3 900
25	32	28	68	0,026	0,20	3,0	0,16	2,8	9 00

Таблиця Б.5 – Варіанти завдання до практичного заняття № 5
Передавальні функції ланок

ПФ	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3
w1	$0,1/(1 + 0,05s)$	$2/(1 + 0,06s + 0.1s^2)$	$2/(1 + 0,5s)$
W2	$0,1/(1 + 2s)$	$5/(1 + 0,05s)$	$0,01/(1 + 5s)$
W3	0,5	$0,01/(1 + 5s)$	$2/(1 + 0,06s + 0.1s^2)$
W4	$0,1/(1 + 2s)$	0,5	3
W5	0,5	$21 + 0,5s)$	$5/(1 + 0,4s)$
ПФ	Варіант 4	Варіант 5	Варіант 6
w1	$2/(1 + 0,05s)$	$5/(1 + 0,06s + 0.1s^2)$	$2/(1 + 0,5s)$
W2	$0,1/(1 + 2s)$	$5/(1 + 0,5s)$	$0,01/(1 + 7s)$
W3	0,5	$0,01/(1 + 8s)$	$2/(1 + 0,36s + 0,09s^2)$
W4	$0,8/(1 + 0,3s)$	0,5	3
W5	5	$2/(1 + 0,1s)$	$0,5/(1 + 0,8s)$

Таблиця Б.6 – Варіанти структурних схем до практичного заняття № 5

№	Структурна схема
1	2
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	

Продовження таблиці Б.6

1	2
8	
9	
10	
11	
12	
13	

Виробничо-практичне видання

Методичні рекомендації до організації практичних занять
та самостійної роботи на основі вільного програмного забезпечення
пакету SCILAB/XCOS з навчальної дисципліни:
«ТЕОРІЯ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ»
Частина 2

*(для студентів денної та заочної всіх форм навчання спеціальностей
141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка,
151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології)*

Укладач **СОРОКА** Костянтин Олексійович

Відповідальний за випуск *Ю. П. Бархаєв*
Редактор *В. І. Шалда*
Комп'ютерне верстання *К. О. Сорока*

План 2019, поз. 160М

Підп. до друку 04.06.2019. Формат 60×84/16.
Друк на ризографі. Ум. друк. арк. 1
Тираж 50 пр. Зам. №

Видавець і виготовлювач:
Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.
Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 5328 від 11.04.2017.