



Національний університет

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України

Національний університет водного господарства та природокористування

Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

043-58

Методичні вказівки

та завдання до виконання контрольної роботи з дисципліни „Теорія автоматичного управління лінійними системами” для студентів заочної форми навчання, які навчаються за напрямом 6.050202 „Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології”

Рекомендовано до друку методичною комісією за напрямом „Автоматизація комп'ютерно-інтегровані технології”
Протокол № 4 від 29.12.2012 р.

Рівне 2012

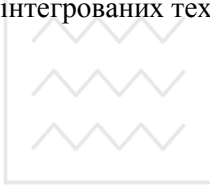


Національний університет

Завдання та методичні вказівки та завдання до виконання контрольної роботи з дисципліни „Теорія автоматичного управління лінійними системами” для студентів заочної форми навчання, які навчаються за напрямом 6.050202 „Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології” /О.Ф.Кінчур, - Рівне: НУВГП, 2012. – 18 с.

Упорядник: О.Ф.Кінчур, старший викладач кафедри автоматизації та комп’ютерно-інтегрованих технологій

Відповідальний за випуск – Б.О.Баховець, професор, академік МАКНС, завідувач кафедри автоматизації та комп’ютерно-інтегрованих технологій.



Національний університет
водного господарства
та природокористування

© О.Ф. Кінчур, 2012
© НУВГП, 2012



Контрольна робота **з дисципліни «Теорія автоматичного управління лінійними** **системами»**

Загальні рекомендації

Метою вивчення дисципліни «Теорія автоматичного управління лінійними системами» є:

- освоєння принципів побудови різних типів систем автоматичного управління лінійними системами (САУ ЛС);
- вивчення властивостей і особливостей лінійних САУ;
- вивчення методів аналізу стійкості та якості перехідних процесів;
- вивчення методів синтезу коректувальних пристроїв з метою отримання заданих властивостей САУ.

ТАУ дає методи вирішення задач двох типів:

- задач аналізу роботи САУ, коли за відомими характеристиками окремих елементів визначаються загальні характеристики системи і проводиться аналіз її робочого процесу;
- задач синтезу, коли за вимогами, які пред'являються до системи, визначається структура САК і її окремі елементи.

Самостійне виконання контрольної роботи є ефективним методом закріплення знань теоретичного курсу і сприяє набуттю навичок використання цих знань у професійній діяльності майбутнього інженера. Для виконання контрольної роботи необхідно уважно вивчити конспект лекцій на тему контрольної роботи, прочитати рекомендовану літературу. Це гарантує успішне виконання контрольної роботи і, як наслідок, складання заліку.

Вимоги до оформлення контрольної роботи

Контрольну роботу виконують в окремому зошиті, на обкладинці якого вказують назву навчального предмету, своє прізвище і шифр – номер залікової книжки.

На кожній сторінці залишають поля шириною 2,5-3 см для заміток викладача.



Текст, формули пишуть чітко і розбірливо. Схеми виконують креслярським інструментом і за діючим стандартом.

В кінці контрольної роботи студент ставить свій підпис і дату виконання.

Якщо контрольна робота не зарахована, то всі виправлення виконати в кінці роботи, попередньо вказавши «Виправлення до завдання...»

Студент повинен виконати контрольну роботу, що складається з теоретичної і практичної частин.

Теоретична частина містить два завдання описового характеру, які охоплюють теоретичний матеріал з теорії управління лінійними системами. Студент повинен якомога повніше описати поставлені питання.

Практична частина містить 2 завдання спеціального характеру.

Варіанти завдань студент визначає за двома останніми цифрами номера (шифру) залікової книжки.

Номери двох запитань (теоретичне завдання) вибирають за двома останніми цифрами шифру з табл.1.

Таблиця 1.

Остання цифра шифру \ Передостання цифра шифру	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1, 2	3, 2	5, 8	11, 10	31, 20	1, 22	39, 42	41, 40	11, 40	49, 20
1	3, 4	5, 6	7, 6	13, 12	33, 18	3, 24	37, 44	43, 44	13, 38	47, 18
2	7, 8	9, 10	9, 43	15, 14	35, 16	5, 26	35, 46	45, 46	15, 36	45, 16
3	11, 12	13, 14	15, 16	17, 16	37, 14	7, 28	33, 48	47, 48	17, 34	43, 14
4	17, 18	19, 20	21, 22	19, 18	39, 12	9, 30	31, 50	49, 50	19, 32	41, 12
5	23, 24	25, 26	27, 28	21, 20	41, 10	11, 32	29, 30	1, 50	21, 30	39, 10
6	29, 30	31, 41	33, 34	23, 22	43, 8	13, 34	27, 32	3, 48	23, 28	37, 8
7	35, 36	37, 38	39, 40	25, 24	45, 6	15, 36	25, 34	5, 46	25, 26	35, 6
8	41, 42	43, 44	45, 5	27, 26	47, 4	17, 38	23, 36	7, 44	27, 24	33, 4
9	47, 48	49, 50	1, 4	29, 28	49, 2	19, 40	21, 38	9, 42	29, 22	31, 2



1. Основні поняття і визначення в ТАУ: керування і регулювання, об'єкти керування, задаючі, управляючі і збурюючі дії.
2. Ланка з постійним запізненням, її часові та частотні характеристики.
3. Основні поняття і визначення в ТАУ: засоби автоматичного керування і регулювання, системи автоматичного керування, функціональна схема системи автоматичного регулювання.
4. Фазо-частотна та амплітудно-частотна частотні характеристики елементів та систем автоматичного управління.
5. Класифікація систем автоматичного керування за типом інформації, яка використовується в САК.
6. Амплітудно-фазова характеристика елементів та систем автоматичного управління.
7. Класифікація систем автоматичного керування за типом сигналів.
8. Дійсна та уявна частотні характеристики елементів та систем автоматичного управління.
9. Класифікація систем автоматичного керування за параметрами системи.
10. Логарифмічні частотні характеристики.
11. Принцип побудови автоматичних систем регулювання за відхиленням.
12. Знаходження параметрів ланок за їх перехідними характеристиками.
13. Принцип побудови автоматичних систем регулювання з компенсацією збурення.
14. Визначення передаточних функцій та частотних характеристик системи за каналами управління і збурення.
15. Комбінований принцип побудови автоматичних систем регулювання.
16. Математичні моделі і характеристики об'єктів управління.
17. Паралельне зустрічне з'єднання ланок (зі зворотним зв'язком).
18. Ємність та самовирівнювання об'єктів регулювання.
19. Види з'єднань типових ланок. Послідовне з'єднання ланок.



20. Апроксимація реальних об'єктів типовими ланками.

21. Види з'єднань типових ланок. Паралельне з'єднання ланок.

22. Стійкість лінійних систем автоматичного регулювання.

Загальна умова стійкості.

23. Еквівалентні передаточні функції послідовного та паралельного узгодженого з'єднання ланок.

24. Алгебраїчні критерії стійкості Гурвіца і Рауса.

25. Еквівалентні перетворення структурних схем.

26. Частотний критерій стійкості Михайлова.

27. Одиначна імпульсна функція як типовий вхідний сигнал.

28. Диференціююча ланка, її часові та частотні характеристики.

29. Одиначний ступінчастий сигнал як типовий вхідний сигнал.

30. Аперіодична ланка, її часові та частотні характеристики.

31. Типові вхідні сигнали і реакція лінійних систем на ці сигнали.

32. Інтегруюча ланка, її часові та частотні характеристики.

33. Перехідна характеристика і імпульсна перехідна характеристики систем.

34. Пропорційна ланка, її часові та частотні характеристики.

35. Реакція систем (елементів) на гармонічні вхідні дії.

36. Частотний критерій стійкості Найквіста.

37. Пропорційний закон регулювання. Характеристики П-регуляторів.

38. Коливна ланка, її часові та частотні характеристики.

39. Інтегральний закон регулювання. Характеристики І-регуляторів.

40. Запаси стійкості за амплітудою і фазою.

41. Поняття передаточних функцій ланок і систем.

42. Пропорційно-інтегральний закон регулювання. Характеристики ПІ-регуляторів.

43. Пропорційно-інтегрально-диференціальний закон регулювання. Характеристики ПІД-регуляторів.

44. Зображення Лапласа. Операторна форма диференціальних рівнянь.

45. Мінімально-фазові і немінімально-фазові ланки.

46. Вплив величини постійного запізнення на запаси стійкості системи.

47. Диференціальні рівняння динаміки систем автоматичного регулювання.



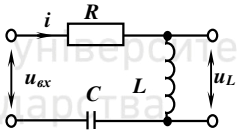
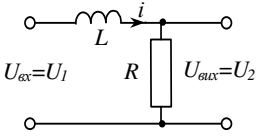
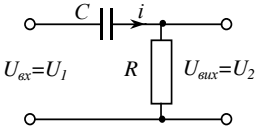
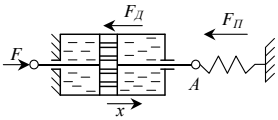
48. Виділення областей стійкості. Метод D-розбиття.

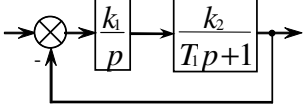
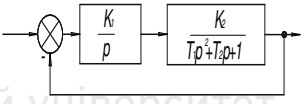
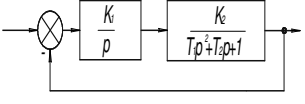
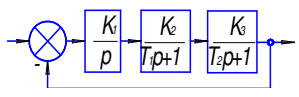
49. Лінійні системи автоматичного регулювання. Лінеаризація статичних характеристик елементів системи.

50. Загальна умова стійкості систем автоматичного регулювання. Критерії стійкості.

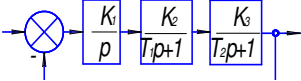
Задача 1

Таблиця 2.

Остання цифра шифру	Умова задачі	
1	Скласти математичну модель та записати передаточну функцію наведеного електричного кола. За вхідну величину прийняти вхідну напругу, за вихідну – напругу на індуктивності.	
2	Скласти математичну модель та записати передаточну функцію наведеного електричного кола. За вхідну величину прийняти вхідну напругу, за вихідну – напругу на опорі.	
3	Скласти математичну модель та записати передаточну функцію наведеного електричного кола. За вхідну величину прийняти вхідну напругу, за вихідну – напругу на опорі.	
4	Знайти передаточну функцію гідравлічного демпфера з пружиною, якщо знехтувати впливом маси рухомих частин і прийняти за вхідну величину силу F , а за вихідну – переміщення поршня x .	

5	<p>Знайти передаточну функцію гідравлічного демфера, якщо знехтувати впливом маси рухомих частин і прийняти за вхідну величину силу F, а за вихідну – переміщення поршня x.</p>	
6	<p>Розрахувати перехідну характеристику замкнутої системи автоматичного керування. $K_1=0.1$, $K_2=0.5$, $T_1=0.55$ с.</p>	
7	<p>Використовуючи критерій стійкості Михайлова визначити значення K_1 при якому замкнута САР буде знаходитись на межі стійкості. Розімкнута САР складається із регулятора – інтегруючої ланки та об'єкта – аперіодичної ланки II – порядку. $K_2=1.5$, $T_1=0.6$ с, $T_2=0.4$ с.</p>	
8	<p>Використовуючи критерій стійкості Михайлова визначити значення K_2 при якому замкнута САР буде знаходитись на межі стійкості. Розімкнута САР складається із регулятора – інтегруючої ланки та об'єкта – аперіодичної ланки II – порядку. $K_1=5$, $T_1=1.6$ с, $T_2=0.35$ с.</p>	
9	<p>Використовуючи алгебраїчний критерій стійкості Гурвіца визначити значення K_3 при якому замкнута САР буде знаходитись на межі стійкості. Розімкнута САР складається із регулятора – інтегруючої ланки та об'єкта – двох аперіодичних ланок I – порядку. $K_2=0.05$, $K_1=0.25$, $T_1=0.15$ с, $T_2=0.35$ с.</p>	



0	Використовуючи критерій стійкості Михайлова визначити значення K_3 при якому замкнута САК буде знаходитись на межі стійкості. Розімкнута САК складається із регулятора – інтегруючої ланки та об'єкта – двох аперіодичних ланок I – порядку. $K_2=1.05$, $K_1=2.02$, $T_1=0.6$ с, $T_2=4$ с.	
---	--	--

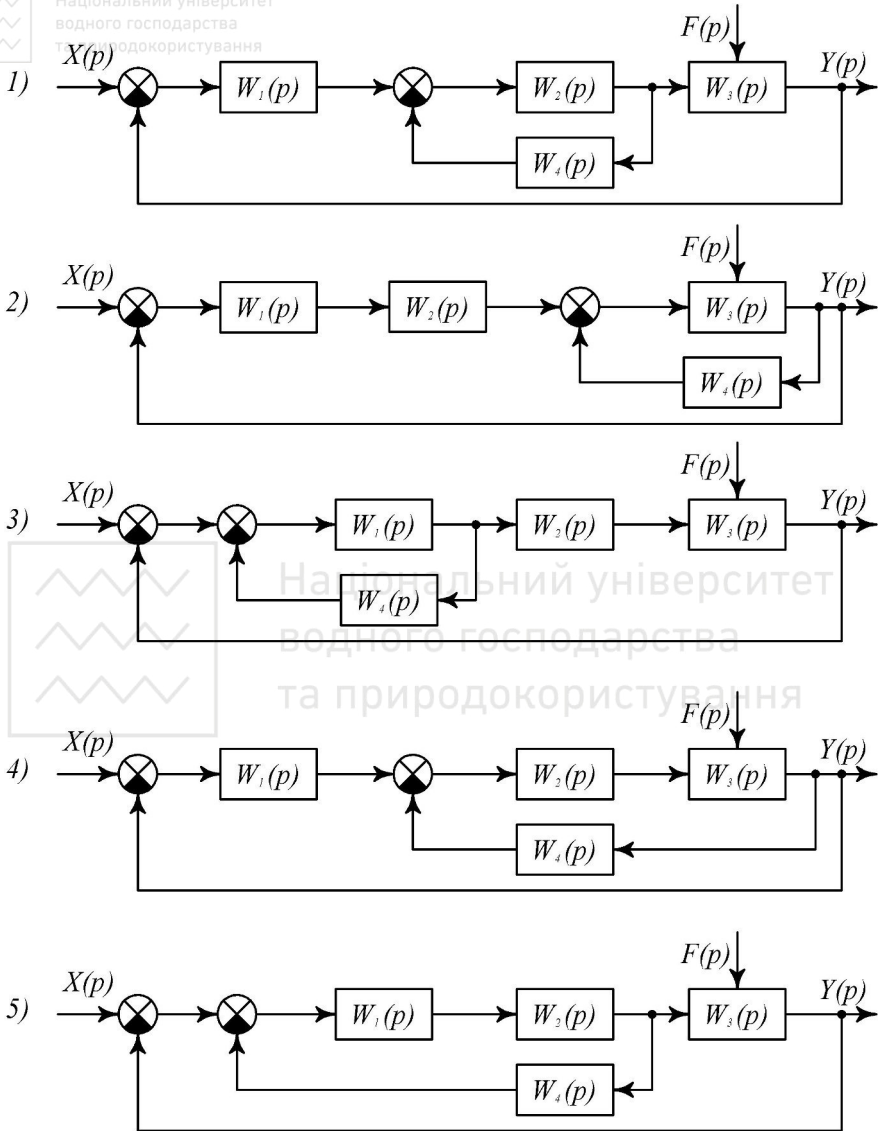
Задача 2

На підставі наведеної структурної схеми системи автоматичного управління, шляхом її спрощення та перетворення, запишіть передаточну функцію та її характеристичне рівняння. На основі знайденої передаточної функції записати диференціальне рівняння системи. Використовуючи програмні продукти CIAM або Simulink побудувати часові та частотні характеристики для даної САУ.

Схему вибрати за останньою цифрою шифру, параметри елементів наведено в таблицях 4 і 5.

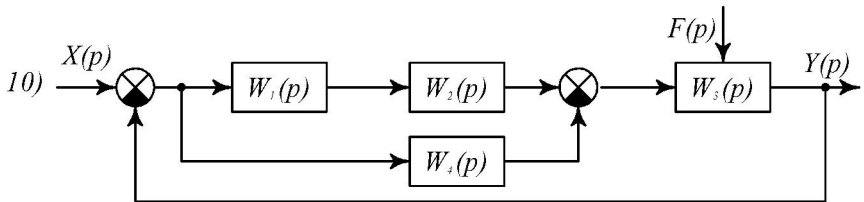
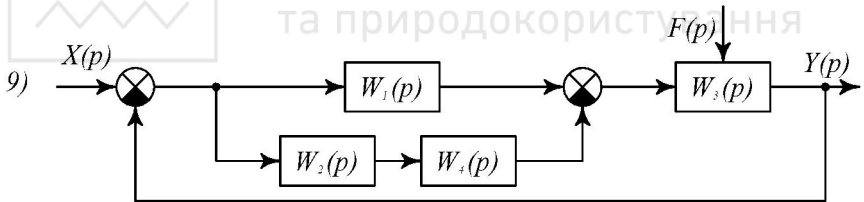
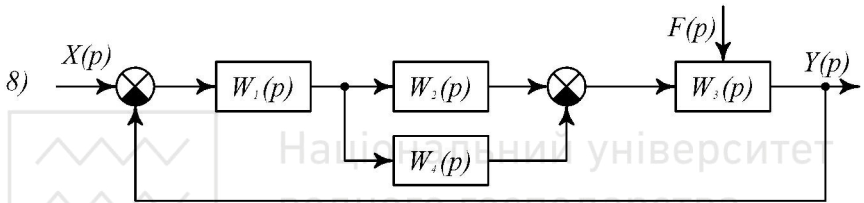
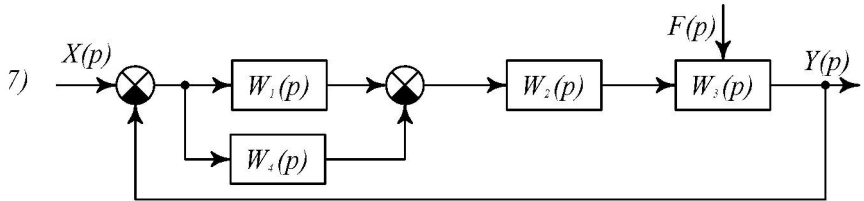
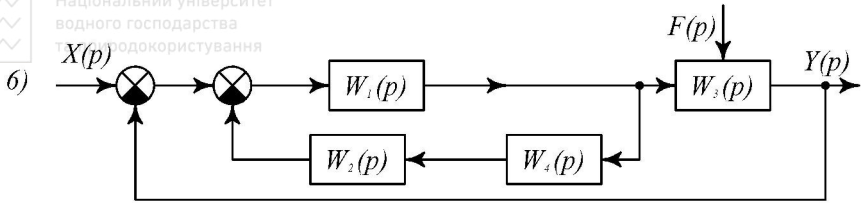


Національний університет
водного господарства
та природокористування





Національний університет
водного господарства
та природокористування





Таблиця 3.

Остання цифра шифру	Передаточні функції ланок			
	$W_1(p)$	$W_2(p)$	$W_3(p)$	$W_4(p)$
1	$\frac{k_1}{T_1 p + 1}$	k_2	$\frac{k_3}{T_3 p}$	$\frac{k_4}{T_4 p + 1}$
2	$\frac{k_1}{T_1 p}$	$\frac{k_2}{p(T_2 p + 1)}$	k_3	$\frac{k_4}{T_4 p + 1}$
3	k_1	$\frac{k_2}{T_2 p + 1}$	$\frac{k_3}{T_3 p + 1}$	$\frac{k_4}{T_4 p}$
4	$\frac{k_1}{T_1 p + 1}$	$\frac{k_2}{T_2 p}$	$\frac{k_3}{T_3 p}$	k_4
5	$\frac{k_1}{T_1 p + 1}$	k_2	$\frac{k_3}{T_3 p + 1}$	$\frac{k_4}{T_4 p + 1}$
6	$\frac{k_1}{T_1 p}$	$\frac{k_2}{p(T_2 p + 1)}$	k_3	$\frac{k_4}{T_4 p}$
7	k_1	$\frac{k_2}{T_2 p + 1}$	$\frac{k_3}{T_3 p + 1}$	$\frac{k_4}{T_4 p}$
8	$\frac{k_1}{T_1 p + 1}$	$\frac{k_2}{T_2 p}$	$\frac{k_3}{T_3 p}$	k_4
9	$\frac{k_1}{T_1 p}$	$\frac{k_2}{p(T_2 p + 1)}$	k_3	$\frac{k_4}{T_4 p + 1}$
0	k_1	$\frac{k_2}{T_2 p + 1}$	$\frac{k_3}{T_3 p + 1}$	$\frac{k_4}{T_4 p}$

Таблиця 4.

Остання цифра шифру \ Параметр	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
k_1	1,5	2,0	1,0	0,5	2,5	1,5	0,5	1,0	2,0	2,5
T_1	8	5	3	10	6	8	20	2	10	15

k_2	4	6	5	2	20	25	4	12	3	4
T_2	12	8	15	20	6	12	25	30	20	10

Таблиця 5.

Передостання цифра шифру	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Параметр										
k_3	1	5	2	4	0,5	2,5	2	2,5	3	5
T_3	15	25	10	30	40	15	5	10	20	30
k_4	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
T_4	50	40	30	20	10	15	20	25	30	40

Приклад виконання практичного завдання №1

Розглянемо приклад визначення перехідної характеристики для системи автоматичного керування з передаточною функцією

$$W_3(p) = \frac{k}{a_3 p^3 + a_2 p^2 + a_1 p + a_0},$$

де $k = 0,6$; $a_3 = 0,1$; $a_2 = 0,7$; $a_1 = 1$; $a_0 = 0,6$.

На основі для зображення перехідної характеристики отримаємо

$$H(p) = \frac{0,6}{p(0,1p^3 + 0,7p^2 + p + 0,6)}.$$

Отже, у цьому випадку

$$M(p) = 0,6$$

$$D(p) = 0,1p^3 + 0,7p^2 + p + 0,6$$

$$D'(p) = (0,1p^3 + 0,7p^2 + p + 0,6)' = 0,3p^2 + 1,4p + 1$$

Прирівнявши знаменник зображення перехідної характеристики до нуля отримуємо один нульовий корінь і корені характеристичного рівняння замкнутої системи

$$0,1p^3 + 0,7p^2 + p + 0,6 = 0$$

Значення коренів цього рівняння

$$p_1 = -5,3c^{-1}$$

$$p_2 = -0,8 + j0,7c^{-1}$$

$$p_3 = -0,8 - j0,7c^{-1}$$



Згідно з теоремою розкладання вираз для перехідної характеристики має вигляд

$$h(t) = \frac{M(0)}{D(0)} + \sum_{i=1}^n \frac{M(p_i)}{p_i D'(p_i)} e^{p_i t},$$

де p_i - корені характеристичного рівняння $D(p) = 0$; $D'(p)$ - похідна від полінома знаменник передаточної функції.

Підрахуємо:

$$\frac{M(0)}{D(0)} = \frac{0,6}{0,6} = 1$$

$$\frac{M(p_1)}{p_1 D'(p_1)} = \frac{0,6}{-5,3 \cdot (0,3 \cdot 5,3^2 - 1,4 \cdot 5,3 + 1)} = -0,054;$$

$$\frac{M(p_2)}{p_2 D'(p_2)} = \frac{0,6}{(-0,8 + j0,7)(0,3 \cdot (-0,8 + j0,7)^2 + 1,4(-0,8 + j0,7) + 1)} = 0,87e^{2,17}$$

$$\frac{M(p_3)}{p_3 (D'p_3)} = 0,87e^{-2,17}$$

Після підстановки розрахункових значень вираз для розрахунку перехідної характеристики буде

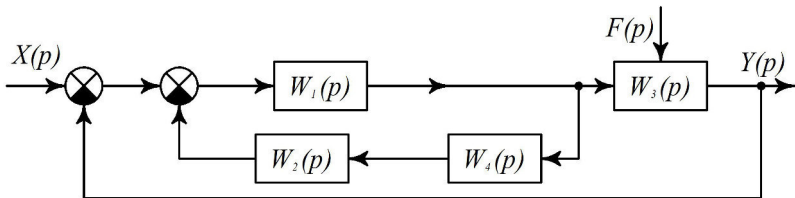
$$h(t) = 1 - 0,054e^{-5,3t} + 2 \cdot 0,87e^{0,8t} \cos(0,7t + 2,17)$$

Приклад виконання практичного завдання №2

Згідно варіанту виберемо параметри передаточних функцій та відповідну структурну схему

$$W_1(p) = \frac{k_1}{T_1 p} = \frac{1,5}{8p}, \quad W_2(p) = \frac{k_2}{p(T_2 p + 1)} = \frac{25}{p(12p + 1)}, \quad W_3(p) = k_3 = 2,5$$

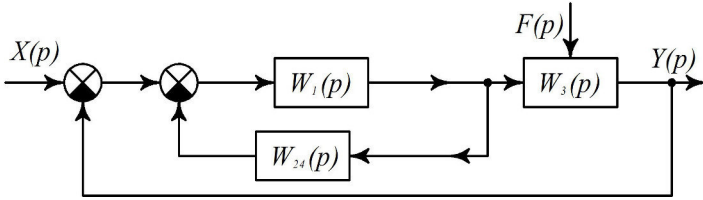
$$W_4(p) = \frac{k_4}{T_4 p} = \frac{0,6}{15p}.$$





1) Ланки $W_4(p)$ та $W_2(p)$ з'єднані послідовно, тому їх передаточна функція буде рівна добутку даних ланок:

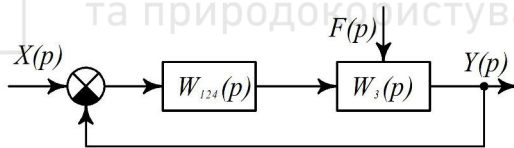
$$W_{12}(p) = W_2(p) \cdot W_4(p) = \frac{25}{p(12p+1)} \cdot \frac{0,6}{15p} = \frac{15}{180p^3 + 15p^2}$$



2) Ланки $W_1(p)$ та $W_{24}(p)$ з'єднані паралельно зустрічно, тому їх передаточна функція буде обчислюватись за формулою:

$$W_{124}(p) = \frac{W_1(p)}{1 + W_1(p)W_{24}(p)} = \frac{1.5}{(8p) \left(1 + \frac{1.5}{8p} \cdot \frac{15}{180p^3 + 15p^2} \right)} =$$

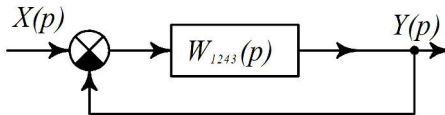
$$= \frac{1.5}{8p + \frac{22.5}{180p^3 + 15p^2}} = \frac{270p^3 + 22.5p^2}{1440p^4 + 120p^3 + 22.5}$$



3) Ланки $W_{124}(p)$ та $W_3(p)$ з'єднані послідовно, тому їх передаточна функція буде рівна добутку даних ланок:

$$W_{1234}(p) = W_{124}(p) \cdot W_3(p) = \frac{270p^3 + 22.5p^2}{1440p^4 + 120p^3 + 22.5} \cdot 2.5 =$$

$$= \frac{675p^3 + 56.25p^2}{1440p^4 + 120p^3 + 22.5}$$



3) Ланка $W_{1234}(p)$ охоплена від'ємним зворотнім зв'язком:



$$\begin{aligned} W(p) &= \frac{W_{1234}(p)}{1 + W_{1234}(p)} = \frac{675p^3 + 56.25p^2}{1440p^4 + 120p^3 + 22.5} = \\ &= \frac{675p^3 + 56.25p^2}{1440p^4 + 120p^3 + 22.5 + 675p^3 + 56.25p^2} = \\ &= \frac{675p^3 + 56.25p^2}{1440p^4 + 795p^3 + 56.25p^2 + 22.5} \end{aligned}$$

Характеристичне рівняння –

$$D(p) = 1440p^4 + 795p^3 + 56.25p^2 + 22.5$$

Диференціальне рівняння

$$W(p) = \frac{675p^3 + 56.25p^2}{1440p^4 + 795p^3 + 56.25p^2 + 22.5} = \frac{Y(p)}{X(p)} \Rightarrow$$

$$Y(p)(1440p^4 + 795p^3 + 56.25p^2 + 22.56) = X(p)(675p^3 + 56.25p^2)$$

Отримали рівняння в операторній формі

$$\begin{aligned} 1440p^4 Y(p) + 795p^3 Y(p) + 56.25p^2 Y(p) + 22.56Y(p) &= \\ = 675p^3 X(p) + 56.25p^2 X(p) \end{aligned}$$

Виконуючи зворотнє перетворення Лапласа отримаємо диференціальне рівняння

$$1440 \frac{d^4 y(t)}{dt^4} + 795 \frac{d^3 y(t)}{dt^3} + 56.25 \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + 22.56 y(t) = 675 \frac{d^3 x(t)}{dx^3} + 56.25 \frac{d^2 x(t)}{dt^2}$$

Для побудови часових та частотних характеристик використаємо програму Matlab Simulink.

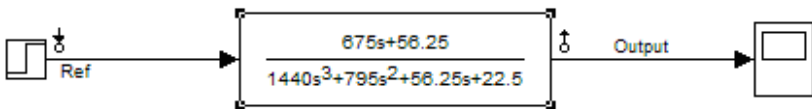


Рис. 1. Структурна схема досліджуваної САУ

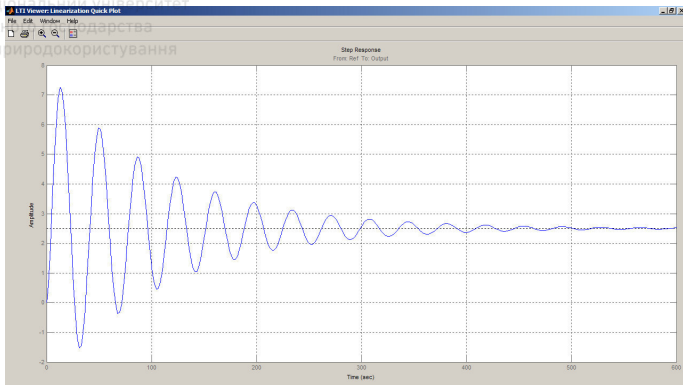


Рис.2. Перехідна характеристика САУ

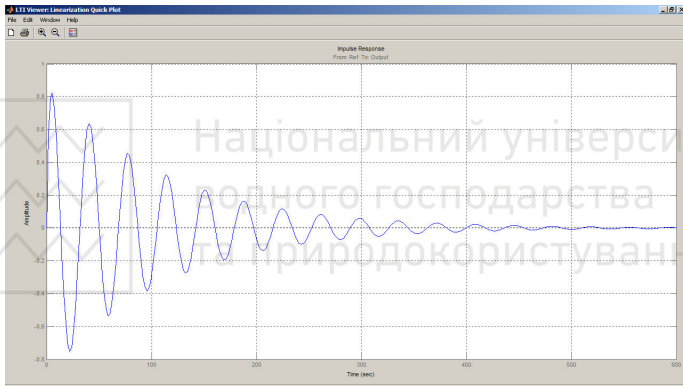


Рис.3. Імпульсна перехідна характеристика САУ

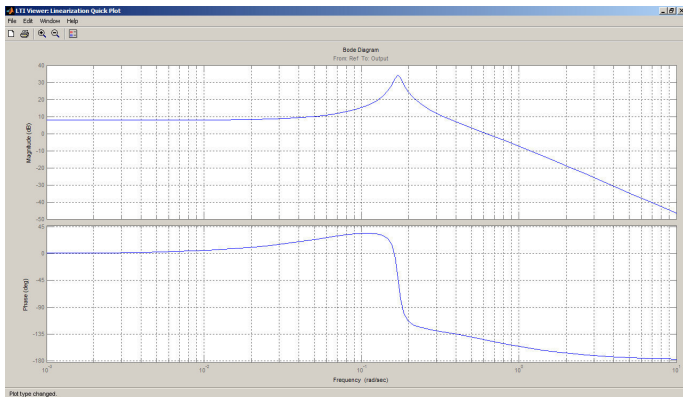


Рис.4. Логарифмічні частотні характеристики САУ

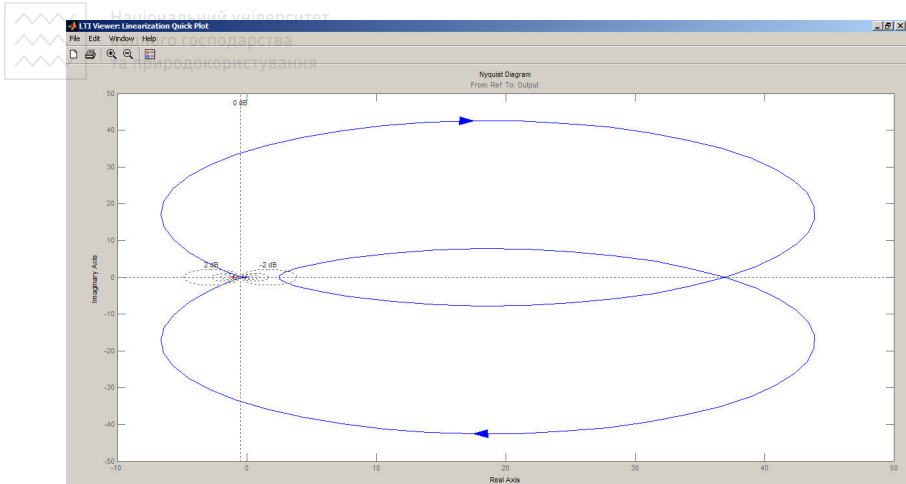


Рис.5. Годограф АФЧХ САУ

Рекомендована література

Базова література

1. Теория автоматического управления: Учебник /Под ред. А.В. Нетушила - М.:Высшая школа, 1983. - 432 с.
2. М.Г.Попович, О.В.Ковальчук. Теорія автоматичного керування: Підручник.-Київ: Либідь, 1997.-525с.

Допоміжна література

- 1.Теория автоматического управления. Учебное пособие /Под ред. А.С. Шаталова - М.:Высшая школа, 1977. - 448 с.
2. Воронов А.А., Титов В.К., Новогренов Б.Н. Основы теории автоматического регулирования и управления: Учебное пособие. - М.:Высшая школа, 1977. - 519 с.
4. Цыпкин Я.З. Основы теории автоматических систем: Учебное пособие. - М.:Наука, 1977. - 569 с.
5. Сборник задач по теории автоматического регулирования и управления/Под ред. В.А. Бесекерского - М.:Наука, 1979. - 512 с.
6. Избранные главы теории автоматического управления с примерами на языке MATLAB. Б.Р.Андриевский, А.Л. Фрадков – СПб.: Наука, 2000. -475 с.
8. Ким Д.П. Теория автоматического управления Т.1. Линейные системы.- М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003.-288 с.