

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Київський національний університет будівництва і архітектури

ТЕОРІЯ УПРАВЛІННЯ

Методичні вказівки
до виконання практичних робіт
для підготовки здобувачів першого (бакалаврського) рівня
вищої освіти спеціальностей 122 «Комп'ютерні науки»,
126 «Інформаційні системи і технології»

Київ 2024

УДК: 005.1
Т34

Укладач: І.А. САЧЕНКО, канд. техн. наук, доцент

Рецензент О.О. Терентьев, д-р техн. наук, професор

Відповідальна за випуск Т.А. Гончаренко, канд. техн. наук,
доцент

*Затверджено на засіданні кафедри інформаційних технологій,
протокол № 7 від 09 лютого 2024 року.*

В авторській редакції.

Теорія управління : методичні вказівки до виконання
Т34 практичних робіт/ уклад. І.А. Саченко. – Київ : КНУБА, 2024. – 28 с.

Містять зміст, порядок оформлення і вказівки до виконання
окремих практичних робіт.

Призначено для здобувачів першого (бакалаврського) рівня
вищої освіти спеціальностей 122 «Комп'ютерні науки» та 126
«Інформаційні системи і технології».

ЗМІСТ

Загальні положення.....	4
1. Практичне заняття № 1. Лінійні динамічні системи управління.....	5
2. Практичне заняття № 2. Математичні моделі ланок лінійних динамічних систем.....	7
3. Практичне заняття № 3. Використання частотних характеристик під час дослідження САУ.....	11
4. Практичне заняття № 4. Оцінка якості регулювання САУ шляхом використання логарифмічних частотних характеристик.....	14
5. Додаток А Таблиця А1.....	19
6. Додаток Б.....	20
7. Додаток В.....	24
8. Список літератури.....	26

Загальні положення

Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «*Основи теорії управління*» призначені для проведення занять з основних розділів навчальної дисципліни відповідно до навчального плану підготовки «бакалаврів» спеціальностей 122 «Комп'ютерні науки», 126 «Інформаційні системи і технології».

Методичні вказівки містять рекомендації для розв'язання задач з таких розділів: статичні режими систем автоматичного управління (САУ), динамічні режими неперервних, лінійних, нелінійних та дискретних систем, оптимального управління.

Для лінійних неперервних систем автоматичного управління (САУ), статичні режими яких описуються алгебраїчними рівняннями, величина на виході кожного лінійного елемента визначається з рівняння:

$$X_{вих} = K X_{вх},$$

де $X_{вих}$ – вихідна величина елемента; $X_{вх}$ – вхідна величина елемента; K – коефіцієнт передачі (підсилювання) елемента.

Величина на виході системи визначається з рівняння:

$$Y_{вих} = K_e b x,$$

де $Y = X_{вих}$ – вихідна величина елемента; $X_{вх}$ – вхідна величина елемента; K_e – еквівалентний коефіцієнт передачі системи.

Величина K_e визначається шляхом звертання вихідної системи та приведення її до еквівалентної ланки, використовуючи правила перетворення різних схем з'єднання ланок, послідовного, паралельного, змішаного, ланки зі зворотним зв'язком.

Практична робота №1.

Лінійні динамічні системи управління

1.1. Теоретичні відомості

Лінійні системи управління і в статичі, і в динаміці описуються лінійними рівняннями. Одна з основних особливостей лінійних систем полягає в тому, що до них застосовується принцип суперпозиції, відповідно до якого реакція системи на сукупність збурень визначається сумою реакцій на кожне збурення, яке прикладається до системи в певний момент часу.

Динамічні режими лінійних систем досліджуються за допомогою їхніх математичних моделей. При цьому будь-яку динамічну лінійну систему можна представити у вигляді сукупності наступних типових структурних ланок: аперіодичних, коливальних, інтегруючих, диференціюючих та підсилюючих. Кожна з названих ланок достатньо повно характеризується формою диференційного рівняння, видом передаточної та видом перехідної функції. Диференціальне рівняння ланки визначає зв'язок між його вихідними та вхідними величинами в динамічних режимах.

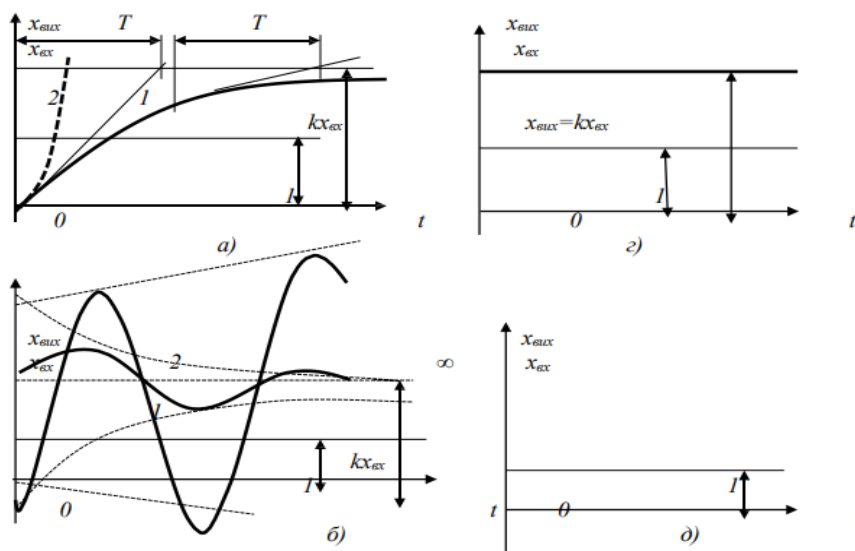
Передаточна функція ланки $W(p)$ представляє собою відношення перетвореної за Лапласом вихідної величини ланки до перетвореної за Лапласом вхідної величини при нульових початкових умовах, характеристики ланок наведені в дод. А:

$$W(p) = x_{вих}(p) / x_{вх}(p) \quad (1.1)$$

Перехідна функція $h(t)$ показує характер перехідного процесу в ланці, на вході якої прикладений одиничний вхідний вплив:

$$h(t) = x_{вих}(t) \text{ при } x_{вх}(t) = [1]. \quad (1.2)$$

Вказані характеристики ланки складають важливі елементи апарату дослідження динамічних лінійних систем. Розглянемо ці характеристики для кожної з ланок.



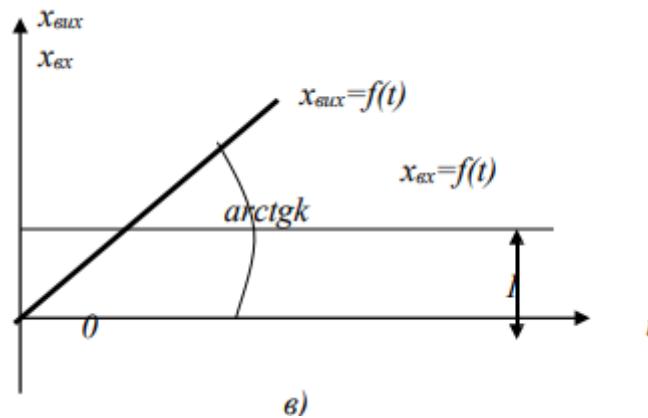


Рис. 1.1 Перехідні процеси в ланках: *a* – аперіодичний; *б* – коливальний; *в* – інтегруючий; *г* – підсилюючий; *д* – ідеальний диференціюючий

1.2. Приклад розв’язання задачі

Розглянемо на прикладі як зміниться постійна часу та коефіцієнт передачі, час і форма перехідного процесу аперіодичної ланки другого порядку ланки під час охоплення її жорстким зворотним зв’язком з коефіцієнтом передачі k_0 (рис. 1.2).

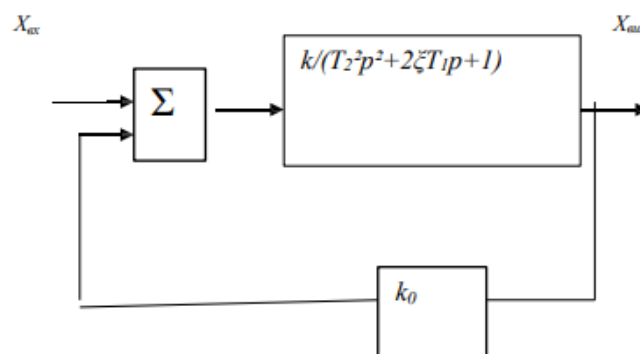


Рис. 1.2. Структурна схема системи

Користуючись формулою передаточної функції системи зі зворотним зв’язком, є очевидним те, що час перехідного процесу зменшиться, бо зменшаться постійні часу T_1 і T_2 ; перехідний процес стане коливальним, так як постійні часу T_1 зменшуватимуться в $1 + k_1 k_0$, а постійні часу T_2 зменшуватимуться в $(1 + k_1 k_0)0,5$, що значно повільніше, ніж при постійній часу T_1 . Коефіцієнт передачі зменшиться в $1 + k_1 k_0$ раз.

1.3. Задачі для розв'язання

Задача 1.1. Які динамічні ланки мають функцію ваги, що представлені наступними рівняннями? Знайти параметри кожної з цих ланок і записати вираз передаточної функції для кожної з них.

1. $x(t) = 14(e^{2t} + e^{3t}) + (e^{-5t} - e^{2t}) * I(t);$
2. $x(t) = (1 - e^{-12t}) - e^{-7t};$
3. $x(t) = (e^{-7t} + \sqrt{\frac{1 - e^{-8t}}{1 - e^{-2t}}}) * I(t);$
4. $x(t) = \frac{\sqrt{1 - e^{-12t}} - 5e^{14t}}{1 - e^{-4t}} - 9t;$
5. $x(t) = \frac{1 - e^{-4t}}{1 - e^{-2t}} + (-1 - e^{-9t});$
6. $x(t) = 4(e^{-2t} + e^{-7t}) + (e^{-35t} - e^{2t}) * I(t);$
7. $x(t) = \frac{1 - e^{-4t}}{1 - e^{-2t}} - (e^{-25t} - e^{6t}) * I(t);$
8. $x(t) = (1 + e^{-6t}) (\frac{1 - e^{-4t}}{1 - e^{-2t}} + e^{-9t})$
9. $x(t) = -e^{-5t} + \sqrt{\frac{1 - e^{-10t} + e^{-4t}}{1 - e^{-2t}}};$
10. $x(t) = (1 - e^{-12t}) - e^{-7t};$
11. $x(t) = 5(e^{-4t} + e^{-8t}) + (e^{-15t} - e^{4t}) * I(t);$
12. $x(t) = 4(e^{-2t} + \sqrt{1 - e^{-5t}}) * I(t);$
13. $x(t) = (1 - e^{-4t}) - e^{-13t}$
14. $x(t) = 2(e^{-2t} + \sqrt{\frac{-1 - e^{-10t} + e^{-4t}}{1 - e^{-2t}}}) * I(t);$
15. $x(t) = 5 * (-1 - e^{10t}) * I(t)$
16. $x(t) = 3(e^{-4t} - \sqrt{\frac{1 - e^{-8t}}{1 - e^{-2t}}});$
17. $x(t) = \frac{1 - e^{-4t}}{1 - e^{-2t}} - (e^{-16t} - e^{3t})$
18. $x(t) = ((1 - e^{-6t}) - e^{-11t}) * I(t)$
19. $x(t) = 8(-1 + \sqrt{1 - e^{-15t}}) * I(t);$
20. $x(t) = 12((1 + e^{-2t}) + e^{-3t})$
21. $x(t) = \sqrt{1 - e^{-11t}} + (1 - e^{-5t})$
22. $x(t) = 7(e^{-8t} + e^{-67t}) + \sqrt{1 - e^{-2t}} * I(t);$
23. $x(t) = (1 - e^{-12t}) - (e^{-3t} + e^{-14t})$
24. $x(t) = (e^{-4t} - \sqrt{\frac{1 - e^{-8t}}{1 - e^{-2t}}}) * I(t);$
25. $x(t) = 12 * ((1 - e^{-3t}) - e^{-10t})$

Задача 1.2. Знайти перехідну функцію ланки за заданою передаточною функцією ланки:

1. $W(p) = 0,2p + 1;$
2. $W(p) = \frac{4}{1,4p + 1};$
3. $W(p) = \frac{14}{2,5p + 1,75};$
4. $W(p) = \frac{1}{2,65p^2 + 12p + 1};$
5. $W(p) = 0,4p + 1;$
6. $W(p) = \frac{10}{0,0065p^2 + 0,028p + 1};$
7. $W(p) = \frac{20}{0,01p^2 + 0,4p + 1};$
8. $W(p) = \frac{12}{p(0,4p + 1)};$
9. $W(p) = \frac{15}{(1 + 0,5p) + (1 - 1,2p)};$
10. $W(p) = \frac{42}{0,002p^2 + 0,12p + 1};$
11. $W(p) = \frac{14,75}{0,0004p^2 + 0,002p + 1};$
12. $W(p) = \frac{30}{(1 + 0,25p) + (1 + 0,125p)}$

Задача 1.3. Визначити, як зміниться постійна часу та коефіцієнт передачі, час і форма перехідного процесу ланки (за даними задачі 1.2) при охопленні її жорстким зворотним зв'язком з коефіцієнтом передачі k_0 (п. 1.2).

Контрольні запитання

1. Головні і місцеві зворотні зв'язки, жорсткі і гнучкі зворотні зв'язки.
2. Принципи і закони регулювання.
3. Стисла характеристика дисципліни «Теорія управління», її роль в реалізації планів розвитку країни.
4. Основні визначення і поняття теорії автоматичного управління; об'єкт управління, вхідні і вихідні впливи, зміст задач управління динамічними об'єктами.
5. Сформулюйте визначення САУ і охарактеризуйте її склад.
6. Що таке функціональна схема САУ?
7. Що являють собою об'єкти управління, підсилювальні і виконавчі елементи, елементи порівняння?
8. Що таке вхідні і вихідні величини?
9. Багатомірні об'єкти і системи. Класифікація САУ.
10. Наведіть основні характеристики типової структурної ланки.
11. Що таке статичний режим роботи САУ?
12. Наведіть і охарактеризуйте основні визначення статистики САУ.
13. Що таке статична помилка регулювання?
14. Що таке динамічні режими роботи САУ?
15. Опишіть основні показники динамічних режимів роботи систем автоматичного управління.
16. Яким чином здійснюється математичний опис динаміки елементів САУ?

Практичне заняття №2.

Математичні моделі ланок лінійних динамічних систем

2.1. Теоретичні відомості

Математична модель лінійної динамічної системи може бути складена на основі математичних моделей елементів та ланок, що створюють систему. Лінійна система в загальному випадку включає в себе ланки, з'єднані послідовно, паралельно, охоплені зворотними та перехресними зворотними зв'язками. Передаточні функції всіх цих структур можуть виражатися через передаточні функції типових структурних ланок (рис. 2.1).

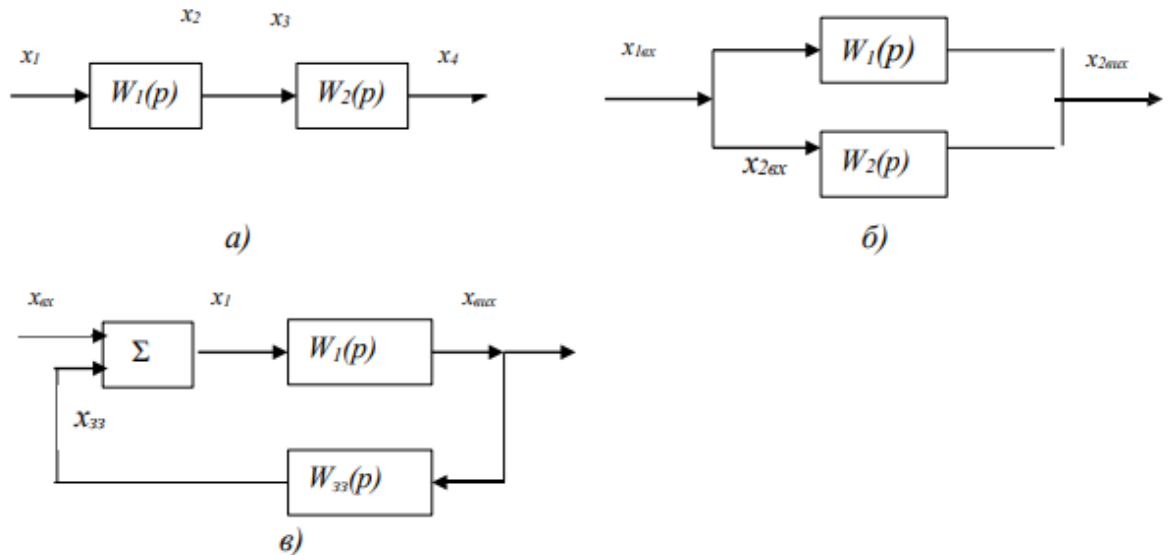


Рис. 2.1. Передаточні функції лінійних динамічних систем

Послідовне з'єднання ланок. В цьому з'єднанні вихідна величина попередньої ланки є вхідною величиною наступної ланки (рис. 2.1,а). Передаточна функція послідовно з'єднаних ланок дорівнює добутку передаточних функцій всіх ланок, що створюють з'єднання:

$$W_1(p) = x_2(p)/x_1(p); \quad W_2(p) = x_3(p)/x_2(p); \quad (2.1)$$

$$W_c(p) = x_3(p)/x_1(p) = W_2(p) x_2(p) W_1(p)/x_2(p) \quad (2.2)$$

В загальному випадку:

$$W(p) = \prod W_i(p), \quad i = 1 - n, \quad (2.3)$$

де n – число послідовно з'єднаних ланок.

Паралельне з'єднання ланок. В цьому з'єднанні (рис. 2.2,б) на вхід всіх ланок подається одна і та ж величина, а вихідна величина дорівнює сумі вихідних величин окремих ланок на основі рис. 2.2,б маємо:

$$W(p) = x_{вих}(p)/x_{вх}(p) = (x_{1вих}(p) + x_{2вих}(p))/x_{вх}(p) = (W_1(p)x_{1вх}(p) + W_2(p)x_{2вх}(p))/x_{вх}(p). \quad (2.4)$$

Оскільки $x_{1вх} = x_{2вх} = x_{вх}$, то $W(p) = W_1(p) + W_2(p)$ або в загальному випадку при k паралельно з'єднаних ланках.

$$W(p) = \sum W_i(p), \quad i = 1 - k \quad (2.5)$$

Таким чином, передаточна функція з'єднання з паралельних ланок дорівнює сумі їх передаточних функцій.

Ланка, охоплена зворотним зв'язком. Для цього з'єднання (рис. 1.2, в)

$$x_1(p) = x_{вх}(p) \pm x_{33}(p), \quad (2.6)$$

де знак мінус – для випадку від’ємного зворотного зв’язку, плюс – для додатного.

Передаточна функція з’єднана:

$$W(p) = x^{вух}(p)/x^{вх}(p) = (W1(p)[x^{вх}(p) \pm W33(p)x^{вух}(p)]) / x^{вх}(p), \quad (2.7)$$

або після перетворення:

$$W(p) = W1(p)/(1 \pm W1(p)W33(p)), \quad (2.8)$$

де знак мінус відповідає від’ємному зворотному зв’язку, а знак плюс – додатному.

2.2. Приклад розв’язання задачі

1. Записати передаточну функцію системи за структурною схемою систем.

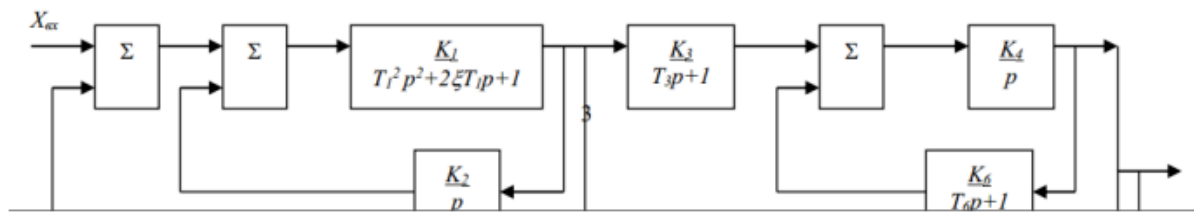


Рис. 2.2. Структурна схема системи

Вхідні дані:

Ланки: $W1(p)$ – коливальна; $W2(p)$ – інтегруюча; $W3(p)$ – аперіодична; $W4(p)$ – інтегруюча; $W5(p)$ – підсилювальна; $W6(p)$ – аперіодична.

Коефіцієнти підсилення ланок: $K1 = 7$; $K2 = 4$; $K3 = 2,5$; $K4 = 4$; $K5 = 3$; $K6 = 2,5$.

Постійні часу ланок: $T1 = 0,1$; $T2 = 0,5$; $T3 = 0,4$; $T4 = 0,1$; $T6 = 1,5$.

Приймаємо $\xi = 0,5$.

Запис передаточної функції:

Розіб’ємо схему на ділянки і запишемо передаточні функції по ділянках:

$$W331(p) = W4(p)/(1 - W4(p) * W6(p))$$

$$Wnoc1(p) = W331(p) * W3(p) \quad Wnap1(p) = Wnoc1(p) + W5(p)$$

$$W332(p) = W1(p)/(1 + W1(p) * W2(p))$$

$$Wnoc2(p) = Wnap1(p) * W332(p) = (W1(p) / (1 + W1(p) * W2(p))) * (W3(p) * W4(p) / (1 - W4(p) * W6(p)) + W5(p))$$

2. Записати математичний опис системи управління у вигляді поліномів.

Математичний опис системи управління у вигляді поліномів здійснюється за допомогою підставлення у передаточну формулу формул ланок, яким вони відповідають, формули для кожної ланки наведені на рис.1. 1.

Далі розрахунок поліному до виду $W_c(p)$ здійснюється за допомогою математичної програми Mathcad 2001i Professional і результати наведені у додатку.

3. *Визначення стійкості САУ за допомогою алгебраїчних критеріїв стійкості.* Розрахунок системи на стійкість за критеріями Рауса і Гурвіца виконуємо за допомогою програми Mathcad 2001i Professional. За результатами перевірки за алгебраїчними критеріями стійкості виявляємо стійкою чи нестійкою є система.

2.3. Задачі для розв'язання

Задача 2.1. За структурною схемою (дод. Б) скласти граф системи автоматичного регулювання і знайти передаточну функцію системи $W_c(p)$ в загальному вигляді.

Задача 2.2. За структурною схемою (дод. Б) та табл. Б.1 знайти передаточну функцію системи $W_c(p)$ та перевірити її на стійкість за алгебраїчними критеріями стійкості.

Контрольні запитання

1. Що таке лінеаризація рівнянь?
2. Математичний опис лінійних систем автоматичного управління.
3. Яким чином здійснюється ідентифікація об'єктів управління?
4. Використання перетворень Лапласа і Фур'є для складання і вирішення рівнянь динаміки елементів і систем автоматичного управління.
5. Визначення поняття передаточних функцій.
6. Передаточні функції елементів і систем автоматичного управління.
7. Які ви знаєте типові структурні ланки лінійних САУ?
8. Що таке передаточні і перехідні функції типових структурних ланок?
9. Передаточні функції сполучень ланок: послідовного, паралельного, охоплених зворотними зв'язками.
10. Передаточні функції замкнених САУ за керуючим впливом і впливом збурення.
11. Визначення стійкості САУ за критерієм Гауса.
12. Визначення стійкості САУ за критерієм Гурвіца.

Практичне завдання №3.

Використання частотних характеристик під час дослідження САУ

3.1. Теоретичні відомості

У практиці аналізу і синтезу лінійних динамічних систем управління велику роль відіграють частотні характеристики, що відображають властивості систем, що працюють у режимі гармонійних впливів. До таких характеристик

відносяться амплітудно-фазові характеристики (АФХ) та логарифмічні амплітудно-фазові частотні характеристики (ЛАФЧХ).

Аналітичний вираз АФХ формально отримано з виразу передаточної функції при чисто уявному значенні її аргументу: $p=j\omega$. Таким чином, АФХ, тобто, $W(j\omega)$, відображає відношення вихідної величини до вхідної при гармонійному впливі на вході.

Нехай до системи з передаточною функцією $W(p)$ прикладається гармонійний вхідний вплив з частотою ω :

$$x_{вх} = X_{вх} e^{j\omega t}, \quad (3.1)$$

де $X_{вх}$ – амплітуда вхідного впливу.

Якщо система стійка, то власні коливання з плином часу зникають і залишаються лише змуснені рухи. При цьому в лінійній системі на виході встановлюються також гармонічні коливання з тією ж частотою ω :

$$x_{вих} = X_{вих} e^{j(\omega t + \varphi)}, \quad (3.2)$$

де $X_{вих}$ – амплітуда вихідних коливань; φ – кут зсуву фаз між вихідними і вхідними коливаннями.

Взявши відношення вихідної величини до вхідної, на основі (3.1) та (3.2) маємо:

$$\frac{x_{вих} e^{j(\omega t + \varphi)}}{x_{вх} e^{j\omega t}} = A(\omega) e^{j\varphi(\omega)} = W(j\omega), \quad (3.3)$$

де $A(\omega) = X_{вих}/X_{вх}$ – амплітуда вектора $W(j\omega)$.

Для кожного значення частоти ω збурюючий вплив на вході виразу $W(j\omega)$ у комплексній площині подається вектором, амплітуда $A(\omega)$ та фаза $\varphi(\omega)$ якого є функціями частоти. Зі зміною частоти в діапазоні $-\infty < \omega < +\infty$ кінець вектора $W(j\omega)$ буде ковзати по деякій кривій, що розташована на комплексній площині.

Розглянемо загальний прийом побудови АФХ та покажемо його на прикладі. АФХ будь-якої лінійної ланки чи системи будується на основі їхніх передаточних функцій. Замінюючи $p=j\omega$, отримуємо вихідний вираз для АФХ:

$$W(j\omega) = \frac{K(j\omega)}{H(j\omega)} = A(\omega) e^{j\varphi(\omega)} \quad (3.4)$$

Далі, у (3.4) потрібно звільнитися від уявності в знаменнику, для чого чисельник і знаменник виразу помножимо на вираз, що спряжений знаменнику:

$$W(j\omega) = \frac{K(j\omega)}{H(j\omega)} = \frac{K(j\omega)H^*(j\omega)}{[mod H(j\omega)]^2}, \quad (3.5)$$

де $H(j\omega)$ – вираз, що спряжений до виразу $H(j\omega)$.

Відокремлюючи у (3.5) дійсну частину від уявної, отримуємо:

$$()W(j\omega) = P(\omega) + jQ(\omega), \quad (3.6)$$

де $P(\omega)$ – поліном, що містить парні ступені ω , тобто дійсна частина виразу $W(j\omega)$; $Q(\omega)$ – поліном, що містить непарні ступені, тобто уявна частина виразу $W(j\omega)$.

3.2. Приклад розв'язання задачі

Побудувати логарифмічну характеристику коливальної ланки.

Математична модель передаточної функції коливальної ланки при коефіцієнті підсилення $k=1$ матиме наступний вигляд:

$$W(p) = \frac{1}{T^2 p^2 + 2\xi T p + 1}, \quad (3.7)$$

проведемо заміну $p=j\omega$ та, взявши до уваги, що $j^2 = -1$, маємо:

$$W(j\omega) = \frac{1}{(1 - T^2 \omega^2) + j2\xi \omega T}. \quad (3.8)$$

Помноживши чисельник і знаменник останнього рівняння на вираз, що спряжений до знаменника, та відокремлюючи дійсну частину від уявної, отримуємо :

$$\frac{1 - T^2 \omega^2}{(1 - T^2 \omega^2)^2 + (2\xi \omega T)^2} - j \frac{2\xi \omega T}{(1 - T^2 \omega^2)^2 + (2\xi \omega T)^2} = P(\omega) + jQ(\omega), \quad (3.9)$$

де $P(\omega) = \frac{1 - T^2 \omega^2}{(1 - T^2 \omega^2)^2 + (2\xi \omega T)^2}$ - дійсна частина; $Q(\omega) = \frac{2\xi \omega T}{(1 - T^2 \omega^2)^2 + (2\xi \omega T)^2}$ - уявна частина.

Побудуємо за рівнянням (3.9) АФХ коливальної ланки рис. 3.1. З цього рисунку видно, що для будь-якої ланки:

$$A(\omega) = \sqrt{[P(\omega)]^2 + [Q(\omega)]^2}; \quad (3.10)$$

$$\varphi(\omega) = \arctg(Q(\omega) / P(\omega)). \quad (3.11)$$

Враховуючи (3.9) та (3.8), для коливальної ланки знаходимо:

$$A(\omega) = k / \sqrt{(1 - T^2 \omega^2)^2 + (2\xi \omega T)^2} = X_{\text{вих}} / X_{\text{вх}}; \quad (3.12)$$

$$\varphi(\omega) = -\arctg \frac{2\xi \omega T}{1 - T^2 \omega^2}. \quad (3.13)$$

Модель АФХ являє собою відношення амплітуди коливань вихідної величини ланки чи системи до амплітуди гармонійних коливань з частотою ω на вході, а аргумент вектора АФХ дорівнює куту зсуву фаз між вихідною та вхідною величинами та запрограмуємо побудову графіка (дод. В, рис. В.1).

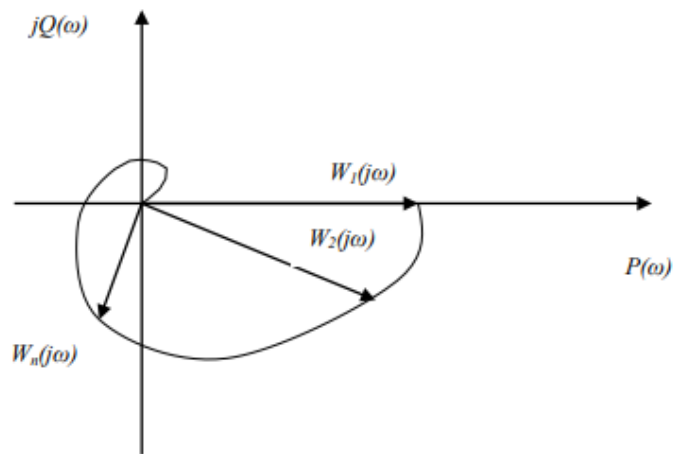


Рис. 3.1. Графік годографа-вектора АФХ коливальної ланки

3.3. Задача для розв'язання

Задача. Побудувати АФХ ланки за заданою передаточною функцією ланки в задачі 1.2. і визначити, чи стійка задана САУ.

Контрольні запитання

1. Визначення і призначення частотних характеристик елементів і систем автоматичного управління.
2. Що являють собою логарифмічні, амплітудно-фазові та частотні характеристики?
3. Яким чином будуються амплітудно-фазові характеристики лінійних САУ?
4. Визначення стійкості. Постановка задачі аналізу САУ на стійкість.
5. Загальність лінійних умов систем управління; принцип лівих коренів. Критерії стійкості: алгебраїчні і частотні.
6. Що таке область стійкості САУ?
7. Визначення поняття «якість управління».
8. Прямі і побічні засоби оцінки якості управління. Засоби розрахунку перехідних процесів в лінійних САУ.
9. Розрахунок перехідних процесів в САУ засобами чисельного інтегрування Єйлера і Рунге-Кутта з використанням цифрових ЕОМ.
10. Частотні засоби оцінки якості: зв'язок тимчасових і частотних характеристик, близька оцінка параметрів якості за амплітудно-фазовими і логарифмічними характеристикам лінійних систем.

11. Дослідження якості автоматичних систем на ЕОМ з використанням пакетів прикладних програм і алгоритмічних мов моделювання.
12. Корекція лінійних автоматичних систем.
13. Синтез ланок за логарифмічними, амплітудно-фазовими та частотними характеристиками.

Практичне заняття №4.

Оцінка якості регулювання САУ шляхом використання логарифмічних частотних характеристик

4.1. Теоретичні відомості

Для побудови ЛАФЧХ розімкненої системи доцільно систему представити у вигляді сукупності типових структурних ланок. Тоді характеристики $L(\omega)$ та $\varphi(\omega)$ системи можна отримати, сумуючи ординати відповідних характеристик, побудованих для кожної типової ланки, що входить в систему. На практиці ця побудова ще більше спрощується і не потребує побудови характеристик окремих ланок на усьому діапазоні частот. Розглянемо характерний приклад, що розкриває прийоми побудови ЛАФЧХ одноконтурних лінійних динамічних систем.

Приклад. Побудувати характеристики $L(\omega)$ та $\varphi(\omega)$ одноконтурної системи, що має передаточну функцію :

$$W(p) = \frac{k}{(1+T_1p)(1+T_2p)p} = \frac{24}{(1+0,07p)(1+0,28p)p}. \quad (4.1)$$

Як видно з (4.1), система включає в себе підсилювальну ланку з коефіцієнтом підсилення $k=24$, дві аперіодичні ланки з постійними часу $T_1 = 0,07c$ і $T_2 = 0,28c$ і одну інтегруючу ланку.

Для побудови характеристики $L(\omega)$ системи знайдемо «спряжені» частоти:

$$\omega_{c1} = 1 / T = 1 / 0,07 = 14c^{-1} ; \omega_{c2} = 1 / T = 1 / 0,28 = 3,57c^{-1}. \quad (4.2)$$

Саму побудову зручно починати з характеристик інтегруючих ланок (або диференціюючих ідеальних, якщо такі є в системі). З цією метою на висоті $20 \lg k = 20 \lg 24 = 27,6$ дБ при $\omega = 1$ ($\lg \omega = 0$) проведемо лінію з нахилом -20 дБ/дек., що відбиває ЛАЧХ виразу $k / p = 24 / p$ (рис. 2.4, ж). Ця лінія до перетину з ординатою $\omega_{c2} = 3,57c^{-1}$ є характеристикою $L(\omega)$ всієї системи, бо на цій ділянці частот логарифмічні амплітудно-частотні характеристики аперіодичних ланок співпадають з віссю абсцис і їх ординати дорівнюють нулю.

При частотах $\omega_{c2} < \omega < \omega_{c1}$ на характеристику $L(\omega)$, що відбиває передаточну функцію $W(p) = 24/p$, накладається ЛАЧХ аперіодичної ланки з постійною часу $T_2 = 0,28c$ і «спряжені» частоти $\omega_{c2} = 3,57c^{-1}$. Отже, на цій ділянці характеристика $L(\omega)$ буде мати нахил -40 дБ/дек. Продовжуючи

міркування, дійдемо висновку, що при $\omega > \omega_{c1}$, тобто при $\omega > 14,3 \text{ с}^{-1}$, характеристика $L(\omega)$ має нахил - 60 дБ/дек.

Розглянутий прийом побудови ЛАЧХ одноконтурної розімкненої системи є універсальним і зручним для побудови характеристики $L(\omega)$ будь-якої одноконтурної системи, що представлена у вигляді послідовного з'єднання типових структурних ланок. Як бачимо, цей прийом зводиться до того, що спочатку проводиться ділянка ЛАЧХ, що відповідає інтегруючим (або ідеальним диференціюючим) ланкам з урахуванням коефіцієнту підсилення, а далі нахил характеристики змінюється при кожній із «спряжених» частот, а саме: збільшується на 20 дБ/дек. в аперіодичній ланці, збільшується на 40 дБ/дек. в коливальній ланці, зменшується на 20 дБ/дек. в диференціюючій ланці першого порядку і зменшується на 40 дБ / дек. в диференціюючій ланці другого порядку.

Для побудови фазових характеристик одноконтурних систем зручно користуватися номограмою. По ній визначаються значення фазових зсувів для кожної ланки, а фазові зсуви системи знаходяться як сума значень фазових кутів окремих ланок.

Хоча номограма побудована для визначення фазових зсувів в аперіодичній ланці, вона може використовуватись для побудови характеристики $\phi(\omega)$ будь-якої ланки. При цьому для коливальної ланки значення фазових зсувів, отриманих з номограмми, потрібно подвоїти. Фазовий кут для диференціюючої ланки першого порядку буде по величині такий самий, як для аперіодичної ланки, але з оберненим знаком (плюс). Нагадаємо, що в підсилювальних, інтегруючих, диференціюючих ланках фазові зсуви мають постійні значення і не залежать від частоти: в підсилювальній ланці $\phi(\omega) = 0^\circ$; в інтегруючій $\phi(\omega) = -90^\circ$; в ідеальній диференціюючій $\phi(\omega) = 90^\circ$, табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Фазові характеристики	Значення фази, град, при частоті $\omega, \text{с}^{-1}$					
	2	5	10	20	30	50
$\phi_1(\omega)$	$\phi_1(\omega) = 0$					
$\phi_2(\omega)$	-8	-19,3	-35	-54,3	-64,1	74,1
$\phi_3(\omega)$	-29,3	-54,5	-70,5	-79,8	-83,1	-88,0
$\phi_4(\omega)$	$\phi_4(\omega) = -90^\circ$					
$\phi_5(\omega)$	-127,3	-163,8	-195,5	-224,1	-237,2	-270,1

В табл. 4.1 занесені числові значення фазових зсувів одноконтурної системи, що розглядається, які визначені за допомогою номограмми, а результуючу характеристику $\phi(\omega)$ зображатимемо на графіку разом з ЛАФХ.

4.2. Приклад розв'язання задачі

1. Побудова логарифмічних амплітудно-фазових характеристик САУ.

Під час побудови логарифмічно-амплітудної характеристики спочатку знаходимо коефіцієнт передачі системи (за рис. 1.3):

$$K_c = K_1 / (1 + K_1 * K_2) * (K_3 * K_4 / (1 - K_4 * K_6) + K_5) = 7 / (1 + 7 * 4) * (2,5 * 4 / (1 - 4 * 2,5) + 3) \approx 0,4559$$

Визначимо коефіцієнт передачі системи з $W_c(p)$ його значення – $K_c = 14$.

Розраховуємо частоти для кожної ланки по формулі: $\omega_i = 1 / T_i$

$$\omega_1 = 1 / 0,1 = 10; \omega_2 = 1 / 0,5 = 2; \omega_3 = 1 / 0,4 = 2,5;$$

$$\omega_4 = 1 / 0,1 = 10; \omega_6 = 1 / 1,5 = 0,66(6)$$

Визначаємо початкову точку побудови ЛАХ:

$$20 * \lg K_c = 20 * \lg 14 \approx 22,92 \text{ дБ/дек.}$$

2. *Визначити стійкість системи (запас за фазою системи $\Delta\phi$).*

Користуючись побудованим графіком, визначимо запас стійкості системи. Запас за фазою визначається за формулою: $\Delta\phi = |-180^\circ - \phi_2(\omega)|$, причому якщо точка перетину графіка ЛАХ та перпендикуляру, проведеного до осі ОУ в точці частоти зрізу, буде вище за горизонталь 180° , – то систем стійка, якщо нижча за горизонталь 180° , – то система нестійка.

$$\text{В нашому випадку: } \Delta\phi = |-180^\circ - (-139,5^\circ)| = 44,0,5^\circ$$

Висновок. Отже, досліджувана САУ – стійка.

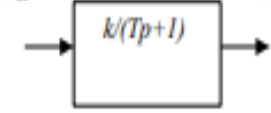
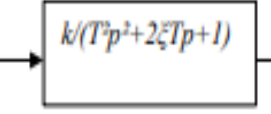
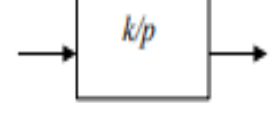
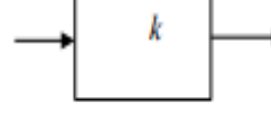
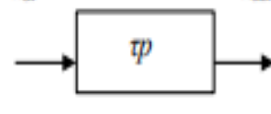
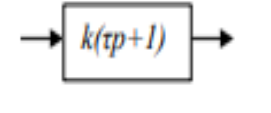
4.3. Задача для розв'язання

Задача. За структурною схемою (дод. Б) та табл. Б.1 та знайденими в задачі 2.2 передаточною функцією системи $W_c(p)$ перевірити якість регулювання системи та її стійкість за частотними критеріями стійкості (ЛАФЧХ).

Контрольні запитання

1. Визначення і загальна характеристика нелінійні САУ.
2. Особливості динамічних режимів нелінійних систем: стійкість в «малому» і «великому», автоколивальність.
3. Дослідження якості управління в нелінійних САУ за методом фазових траєкторій.
4. Фазові портрети лінійних і нелінійних систем автоматичного управління.
5. Побудова фазових портретів нелінійних САУ, що містять типові нелінійності.

Додаток А
Таблиця А.1

Ланка	Передаточна функція	Типова ланка	Перехідний процес
Аперіодична	$W(p) = k/(Tp + 1)$		$x_{вих} = kx_{вх}(1 - e^{-t/T})$
Коливальна	$W(p) = k/(T^2p^2 + 2\zeta Tp + 1)$		$x_{вих} = kx_{вх} [1 - (e^{-\zeta t/T}) / \sqrt{1 - \zeta^2} * \sin((\sqrt{1 - \zeta^2}/T)t + \arctg(\sqrt{1 - \zeta^2} / \zeta))]$
Інтегруюча	$W(p) = k/p$		$x_{вих} = kx_{вх}$
Підсилююча	$W(p) = k$		$x_{вих} = kx_{вх}$
Диференціююча	$W(p) = \tau p$		$x_{вих} = \tau dx_{вх}/dt$
Диференціююча другого порядку	$W(p) = k(\tau p + 1)$		$x_{вих} = k(\tau dx_{вх}/dt + x_{вх})$

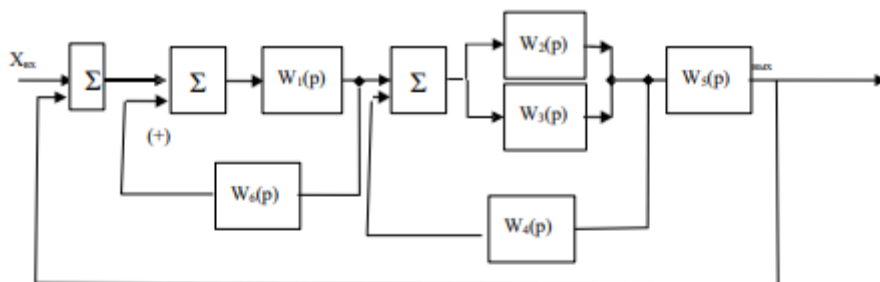


Рисунок Б.1 Структурна схема системи

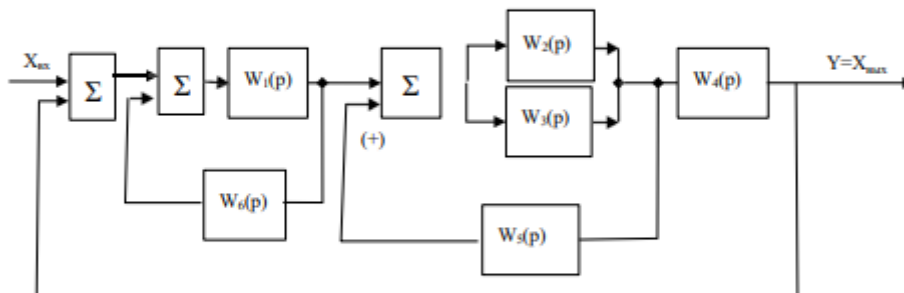


Рисунок Б.2 Структурна схема системи

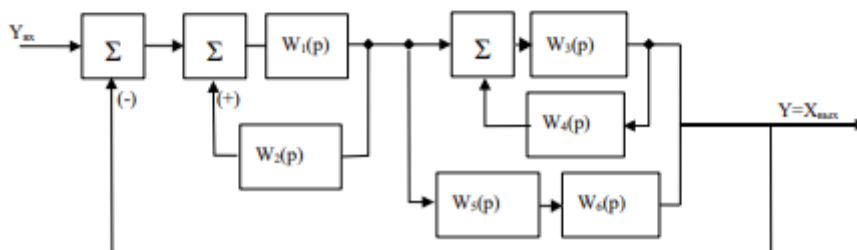


Рисунок Б.3 Структурна схема системи

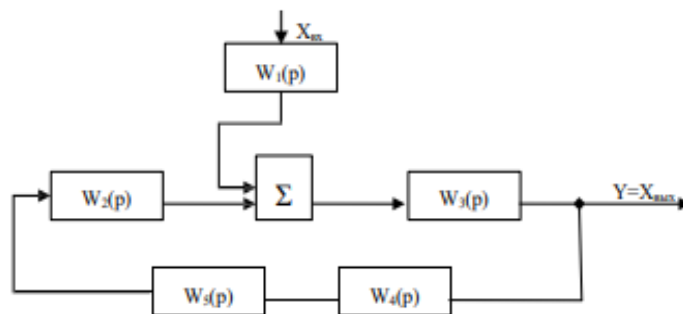


Рисунок Б.4 Структурна схема системи

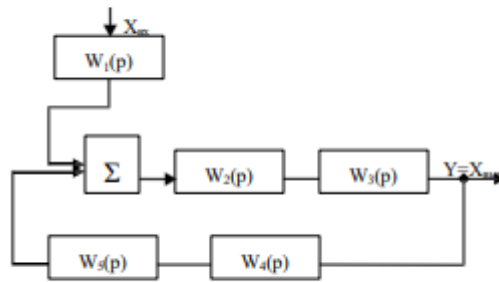


Рисунок Б.5 Структурна схема системи

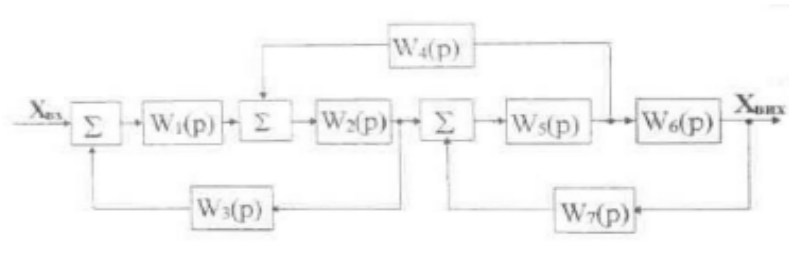


Рисунок Б.6 Структурна схема системи

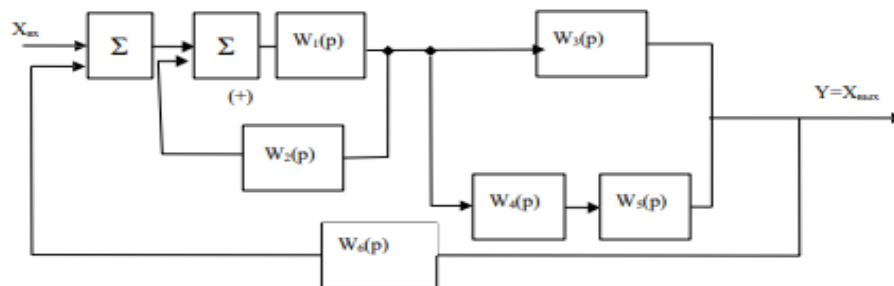


Рисунок Б.7 Структурна схема системи

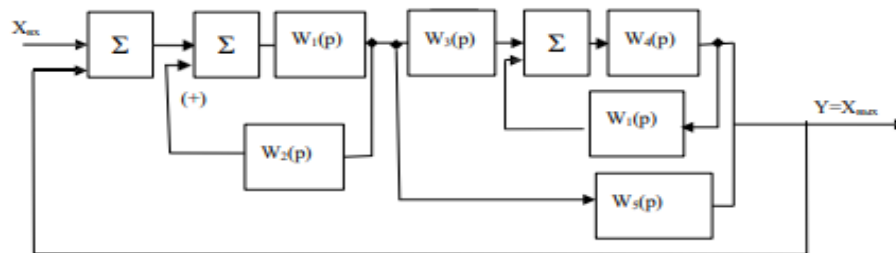


Рис. Б.8. Структурна схема системи

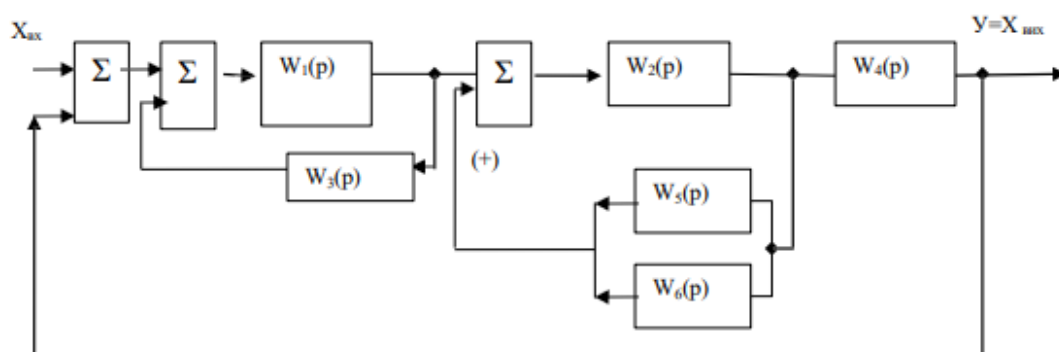


Рисунок Б.13 Структурна схема системи

Таблиця Б.1

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
№ рисунка	1	5	4	7	9	10	2	6	8	13	3	12	10	4	6	11	1	5	8	7	12	13	2	9	3
$W_1(p)$	А	І	І	К	К	І	А	К	І	К	І	К	А	А	А	К	І	К	К	І	К	І	І	П	К
$W_2(p)$	Д	К	К	А	П	І	К	Д	К	Д	Д	А	Д	І	Д	І	Д	І	І	К	І	К	Д	К	Д
$W_3(p)$	К	Д	А	Д	І	Д	І	А	Д	П	К	Д	К	А	К	А	П	А	Д	Д	П	А	К	А	А
$W_4(p)$	І	П	Д	А	Д	К	Д	П	А	Д	А	П	І	Д	А	Д	А	Д	А	І	А	П	П	А	І
$W_5(p)$	П	А	П	П	А	А	А	І	П	А	П	І	А	А	П	А	К	П	І	А	І	Д	А	Д	П
$W_6(p)$	А	А	А	І	А	А	П	А	А	І	А	А	П	П	І	І	А	А	А	А	А	А	А	І	А
k_1	3	8	9	2	5	12	20	11	18	15	12	14	22	30	18	20	16	40	24	15	30	22	20	10	40
k_2	30	22	20	10	40	12	14	22	18	20	16	18	20	16	40	15	30	5	12	20	24	15	30	22	20
k_3	2	5	12	20	12	14	22	30	18	20	16	12	14	22	2	5	12	20	12	20	12	14	22	12	20
k_4	12	20	30	18	20	16	18	12	14	22	15	30	5	12	20	18	30	18	20	16	24	15	30	22	20
k_5	15	30	30	22	20	10	40	18	20	16	40	30	18	20	16	12	20	24	15	30	22	18	12	14	22
k_6	24	15	30	22	18	12	14	22	24	15	30	22	18	20	16	40	12	20	2	5	12	20	12	14	22
T_1	03	2	02	4	06	1	8	2	05	02	2	1	02	2	10	02	05	05	6	01	12	8	01	02	05
T_2	05	6	05	2	02	02	4	4	07	05	4	02	05	4	09	05	02	08	4	02	6	2	4	05	01
T_3	08	5	07	8	05	5	2	05	02	08	02	05	02	10	2	6	05	1	05	4	02	4	02	08	02
T_4	1	4	02	2	08	07	6	08	1	2	4	2	05	12	02	4	08	2	08	05	05	10	05	1	08
T_5	04	05	06	6	1	02	10	1	2	4	6	4	08	6	05	5	1	4	02	08	08	6	12	05	1
T_6	02	4	1	1	04	05	8	2	4	11	12	10	1	4	3	08	02	10	05	1	1	01	6	01	04

А – аперіодична ланка; ДІ (Д) – диференціююча ланка першого порядку;
Д2 – диференціююча ланка другого порядку; К – коливальна ланка;
П – підсилювальна ланка; І – інтегруюча ланка.

Програма для побудови годографів АФХ мовою програмування С1++

```

#include <graphics.h>
#include <iostream.h>
#include <conio.h>
#include <dos.h>
#include <stdlib.h>

#include <stdio.h>
#include <math.h>
#include <string.h>

void Godograf(float Tpr, float Ko, float Kos, int Color
              int Xc, int Byc, int x, int y, int z,
int err);
void Osi(int Xc, int Byc, int kol);
int xmax, ymax;
float Kos[]={0.1,1.0}
              Ko[]={10.0,100.0}
              Tpr[]={0.01,0.09,0.2,0.5};

void main(void)
{
    float P_w, Q_w, w;
    int driver, mode, err;
    driver = DETECT;
    initgraph(&driver,&mode,"");
    err = graphresult();
    if (err!=grOk) {cout<<"\n!"<<grapherrormsg(err);
                  getch();}
    else {
        xmax = getmaxx();
        ymax = getmaxy();
        int Xc=(int)(xmax/2), Yc=(int)(ymax/2);
        for(int i=0;i<=1;i++) for(int j=0;j<=1;j++) for(int
k=0;k<=3;k++){
            cleardevice();
            setviewport(0,0,xmax,ymax,0);
            Osi((int)(xmax/2),(int)(ymax/2),i+j+k);
            Godograf(Tpr[k],Ko[j],Kos[j],15,(int)(xmax/2),(int)(
ymax/2),k,j,i,1);
            setcolor(7);
            setlinestyle(1,0,1);
            rectangle(Xc-18,Yc-15,Xc+18,Yc+15);
            setlinestyle(0,0,1);
            rectangle(10,Yc+5,250,Yc+205);
            setcolor(15);
            setviewport(10,(int)(ymax/2)+5,250,(int)(ymax/2)+20
5,1);
            setfillstyle(1,0);
            floodfill(5,5,7);
            line(10,100,230,100);
            line(125,10,125,190);
            Godograf(Tpr[k],Ko[j],Kos[j],15,125,100,k,j,i,0);
            closegraph();
        }
    }

    void Godograf(float Tpr, float Ko, float Kos, int Color
                  int Xc, int Byc, int x, int y, int z,
int err)
    {
        float P_wl=0.0, Q_wl=0.0
              P_w, Q_w
              To=0.5, Tg=0.1, P_w_min=0.0;
        for(float w=0;w<=100;w=w+0.05){
            if(((Kos*Ko-(To+Tpr)*w*w)*(Kos*Ko-
(To+Tpr)*w*w)+
                (w+Tpr*Kos*Ko*w-
To*Tpr*w*w*w)*(w+Tpr*Kos*Ko*w-
To*Tpr*w*w*w*w))!=0){
                P_w = (Ko*w*Tg*(w+Tpr*Kos*Ko*w-
To*Tpr*w*w*w*w)+
                    (Kos*Ko*Ko-(To+Tpr)*Kos*w*w))/
                    ((Kos*Ko-(To+Tpr)*w*w)*(Kos*Ko-
(To+Tpr)*w*w)+
                    (w+Tpr*Kos*Ko*w-
To*Tpr*w*w*w*w)*(w+Tpr*Kos*Ko*w-
To*Tpr*w*w*w*w)));
                if (abs(P_w)>abs(P_wl)) P_wl=P_w;
                if (abs(Q_w)>abs(Q_wl)) Q_wl=Q_w;
                if (P_w<P_w_min) P_w_min=P_w;
                if (P_wl==0) P_wl=P_wl+0.01;
                if (Q_wl==0) Q_wl=Q_wl+0.01;
            }
        }

        float KmasX=(float)(xmax-Xc-100)/P_wl
              KmasY=(float)(ymax-Yc-100)/Q_wl;
        if (KmasX<0) KmasX=-KmasX; if (KmasY<0)
KmasY=-KmasY;
        if (KmasX>=220) KmasX=150;
        if (KmasY>=140) KmasY=100;
        if (err==0) {KmasX=KmasX*4;
KmasY=KmasY*4;};
        w = 0;
        if(((Kos*Ko-(To+Tpr)*w*w)*(Kos*Ko-
(To+Tpr)*w*w)+
            (w+Tpr*Kos*Ko*w-
To*Tpr*w*w*w*w)*(w+Tpr*Kos*Ko*w-
To*Tpr*w*w*w*w))!=0){
            P_w =
KmasX*(Ko*w*Tg*(w+Tpr*Kos*Ko*w-
To*Tpr*w*w*w*w)+
            (Kos*Ko*Ko-(To+Tpr)*Kos*w*w))/
            ((Kos*Ko-(To+Tpr)*w*w)*(Kos*Ko-
(To+Tpr)*w*w)+
            (w+Tpr*Kos*Ko*w-
To*Tpr*w*w*w*w)*(w+Tpr*Kos*Ko*w-
To*Tpr*w*w*w*w)));
            Q_w = KmasY*(Tg*(Kos*Ko*Ko*w-
Ko*(w+Tpr*Kos*Ko*Ko*w-
Ko*To*Tpr*w*w*w*w))/
            ((Kos*Ko-(To+Tpr)*w*w)*(Kos*Ko-
(To+Tpr)*w*w)+
            (w+Tpr*Kos*Ko*w-
To*Tpr*w*w*w*w)*(w+Tpr*Kos*Ko*w-
To*Tpr*w*w*w*w)));
            moveto(Xc+P_w,Yc-Q_w); };
        setcolor(Color);
        setcolor(9);
        line(Xc+P_w_min*KmasX,10,Xc+P_w_min*KmasX
,ymax-10);
        gotoxy(2,5);
        printf("K2=");
        printf("%f",(-1/P_w_min));
        setcolor(15);
        for(w=0;w<=700;w=w+0.05){
            if(((Kos*Ko-(To+Tpr)*w*w)*(Kos*Ko-
(To+Tpr)*w*w)+
                (w+Tpr*Kos*Ko*w-
To*Tpr*w*w*w*w)*(w+Tpr*Kos*Ko*w-
To*Tpr*w*w*w*w))!=0){
                P_w =
KmasX*(Ko*w*Tg*(w+Tpr*Kos*Ko*w-
To*Tpr*w*w*w*w)+
                (Kos*Ko*Ko-(To+Tpr)*Kos*w*w))/
            }
        }
    }
}

```

```

        ((Kos*Ko-(To+Tpr)*w*w)*(Kos*Ko-
(To+Tpr)*w*w)+ (w+Tpr*Kos*Ko*w-
To*Tpr*w*w*w)*(w+Tpr*Kos*Ko*w-To*Tpr*w*w*w));
        Q_w = KmasY*(Tg*(Kos*Ko*Ko*w-
(To+Tpr)*Ko*w*w)-
        Ko*(w+Tpr*Kos*Ko*Ko*w-
Ko*To*Tpr*w*w*w))/
        ((Kos*Ko-(To+Tpr)*w*w)*(Kos*Ko-
(To+Tpr)*w*w)+
        (w+Tpr*Kos*Ko*w-
To*Tpr*w*w*w)*(w+Tpr*Kos*Ko*w-To*Tpr*w*w*w));
        lineto(Xc+P_w,Yc-Q_w);
    };
};

setcolor(13);
circle(Xc-KmasX,Yc,2);
circle(Xc-KmasX,Yc,1);
putpixel(Xc-KmasX,Yc,13);
outtextxy(Xc-KmasX-7,Yc-12,"-1");
setcolor(15);
if (err==1){
    if (x==0) outtextxy(10,10,"Tpr = 0.01");
    if (x==1) outtextxy(10,10,"Tpr = 0.09");
    if (x==2) outtextxy(10,10,"Tpr = 0.2");
    if (x==3) outtextxy(10,10,"Tpr = 0.5");
    if (y==0) outtextxy(10,30,"Ko = 10");
    if (y==1) outtextxy(10,30,"Ko = 100");
    if (z==0) outtextxy(10,50,"Koc = 0.1");

    if (z==1) outtextxy(10,50,"Koc = 1.0");}
    else {
        char ch='';

        while(ch!=27&&ch!=13)
            if (kbhit()!=0) ch=getch();};

void Osi(int Xc, int Yc, int kol)
{
    setcolor(15);
    rectangle(0,0,xmax,ymax);
    line(Xc,10,Xc,ymax-10);
    line(10,Yc,xmax-10,Yc);
    line((int)(xmax/2)-3,15,(int)(xmax/2),10);
    line((int)(xmax/2),10,(int)(xmax/2)+3,15);
    line(xmax-15,(int)(ymax/2)-3,xmax-
10,(int)(ymax/2));
    line(xmax-15,(int)(ymax/2)+3,xmax-
10,(int)(ymax/2));
    settextstyle(2,0,5);
    outtextxy((int)(xmax/2)+7,10,"jQ(w)");
    outtextxy(xmax-35,(int)(ymax/2)+7,"P(w)");
    settextstyle(2,0,4);
    outtextxy((int)(xmax/2)-8,(int)(ymax/2)+1,"0");
    settextstyle(0,0,0);
    if (kol==5) outtextxy(5,ymax-15,"Esc' - exit");
    else outtextxy(5,ymax-15,"Enter' - next ");
    setcolor(15);
};

```

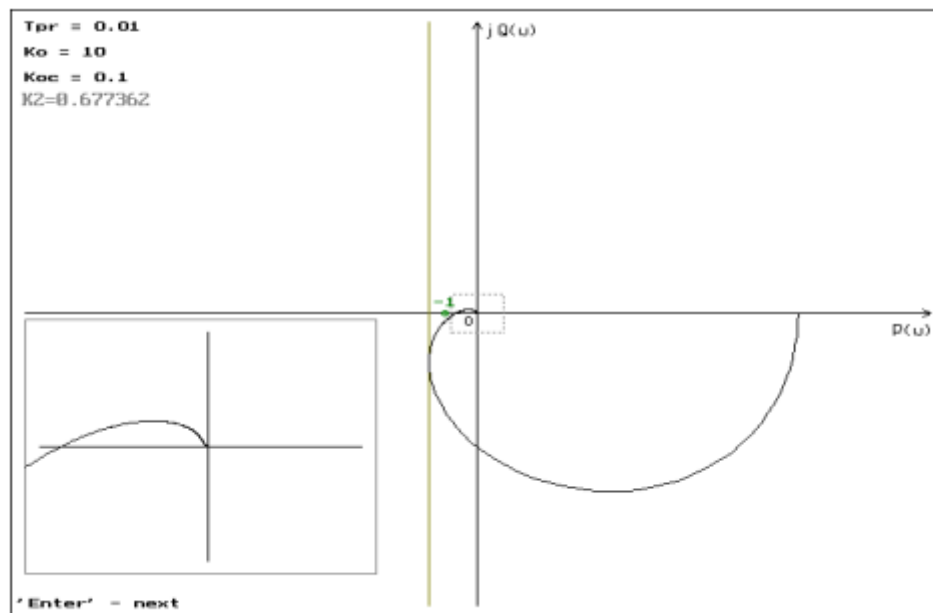


Рис. В.1. Результати роботи програми – графік АФХ

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Лекції з теорії автоматичного контролю: навч. посібн./ Б.Б. Самотокін, Ю.О.Скрипник. – Житомир, ЖІТІ, 2021. – 508 с.
2. Луцкая Н. та ін. Методи сучасної теорії управління / Н. Луцкая, А. Ладанюк, В. Кищенко, Л. Власенко, В. Иващук – К.: Ліра-К, 2018. – 368 с.
3. Ковриго Ю.М. та ін.. Сучасна теорія управління. Частина 2. Прикладні аспекти сучасної теорії управління / Ю.М. Ковриго та ін.. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. –155 с.
4. Цюцюра С.В. «Теорія управління». конспект лекцій в ел.вид. – К.: КНУБА, 2013. – 54 с.
5. Цюцюра С.В., Терентьев О.О., Цюцюра М.І. „Теорія управління”. Методичні вказівки в ел.вигляді до практичних робіт. – К.: КНУБА, 2013. – 24 с.
6. Цюцюра С.В., Терентьев О.О., Цюцюра М.І. „Теорія управління”. Методичні вказівки в ел.вид. до виконання індивідуальних робіт з дисципліни. – К.: КНУБА, 2013. – 12 с.
7. Цюцюра С.В. «Теорія управління». Конспект лекцій – К.: КНУБА, 2003. – 52 с.
8. Цюцюра С.В. «Теорія управління». Методичні вказівки до вивчення дисципліни. 2001. –14 с.
9. Лекції з теорії автоматичного контролю: Навч. посібн./ Б.Б.Самотокін, Ю.О.Скрипник. – Житомир, ЖІТІ, 2001. – 508 с.
10. В.Г.Надира «Практикум по теорії управління» Навч. пос./ Дніпропетровськ: НГА, 2002. –414 с.

ДЛЯ ПОДАТОК

ДЛЯ ПОДАТОК

Навчально-методичне видання

ТЕОРІЯ УПРАВЛІННЯ

Методичні вказівки
до виконання практичних робіт
для підготовки здобувачів першого (бакалаврського) рівня
вищої освіти спеціальностей 122 «Комп'ютерні науки»,
126 «Інформаційні системи і технології»

Укладач: САЧЕНКО Ілля Анатолійович

Випусковий редактор *Л. С. Тавлуй*

Комп'ютерне верстання *К. А. Мавроді*

Підписано до друку 2024. Формат 60 x 84_{1/16}

Ум. друк. арк. 1,63. Обл.-вид. арк. 1,75.

Електронний документ. Вид. № 192/III-24

Видавець і виготовлювач:

Київський національний університет будівництва і архітектури

Проспект Повітряних Сил, 31, Київ, Україна, 03037

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів
видавничої справи ДК № 808 від 13.02.2002