

Кафедра автоматизації
технологічних процесів
і виробництв

Теорія автоматичного керування

Методичні вказівки для розрахункової
роботи № 2

З'єднання ланок та стійкість систем

Методичні вказівки для розрахункової роботи № 2. З'єднання ланок та стійкість систем з курсу "Теорія автоматичного управління". Пісьціо В.П., Рогатинська О.Р., Тернопіль: ТНТУ, 2015 - 42 с.

Для студентів напрямку: 6.050202 "Автоматизоване управління технологічними процесами.

Методичні вказівки розглянуті і затверджені на засіданні кафедри автоматизації технологічних процесів і виробництв (протокол 6 від 23.11.2015 року).

ПРИЙНЯТІ СКОРОЧЕННЯ

А-ланка - аперіодична ланка;
АЧХ - амплітудно-частотна характеристика;
АФЧХ - амплітудно-фазочастотна характеристика;
Д-ланка - диференціююча ланка;
ІД-ланка - ідеальна інтегруюча ланка;
І-ланка - інтегруюча ланка;
П-ланка - ідеальна інтегруюча ланка;
ЛАЧХ - логарифмічна амплітудно-частотна характеристика;
ЛФЧХ - логарифмічна фазочастотна характеристика;
ЗЗ - зворотній зв'язок;
П-ланка - пропорційна ланка;
РД-ланка - реальна диференціююча ланка;
РІ-ланка - реальна інтегруюча ланка;
ФЧХ - фазочастотна характеристика.

ПРИКЛАДИ РОЗВ'ЯЗКУ ЗАДАЧ

Задача 1.

Знайти передавальну функцію послідовного з'єднання ланок заданого типу з заданими параметрами. Варіанти завдання наведені в таблиці Д 1.

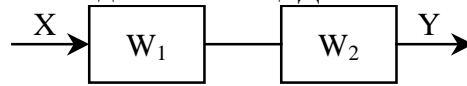


Рис. 1. Послідовне з'єднання ланок.

Приклад розв'язку: нехай задано з'єднання А-ланки ($k_1 = 5$ та $T = 0,1$ с) та ІД-ланки ($k_2 = 0,2$).

Передавальна функція першої та другої ланки визначається за формулами $W_1(p) = \frac{k_1}{Tp+1}$ та $W_2(p) = k_2 p$, відповідно.

Для послідовного з'єднання передавальна функція представляє собою добуток передавальних функцій ланок, що з'єднуються. Отже передавальна функція послідовного з'єднання рівна:

$$W(p) = W_1(p) \cdot W_2(p) = \frac{k_1}{Tp+1} \cdot k_2 p.$$

Підставляючи відповідні дані отримуємо:

$$W(p) = \frac{5}{0,1 p+1} \cdot 0,2 p = \frac{p}{0,1 p+1}.$$

Задача 2.

Знайти передавальну функцію паралельного з'єднання ланок заданого типу з заданими параметрами. Варіанти завдання наведені в таблиці Д 2.

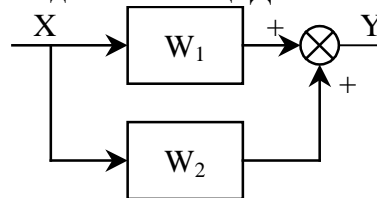


Рис. 2. Паралельне з'єднання ланок з сумуванням

Приклад розв'язку: нехай задано з'єднання А-ланки ($k_1 = 5$ та $T = 0,1$ с) та ІІ-ланки ($k_2 = 0,2$).

Передавальна функція першої та другої ланки визначається за формулами $W_1(p) = \frac{k_1}{Tp+1}$ та $W_2(p) = \frac{k_2}{p}$, відповідно.

Для паралельного з'єднання передавальна функція представляє собою суму передавальних функцій ланок, що з'єднуються. Отже передавальна функція паралельного з'єднання рівна:

$$W(p) = W_1(p) + W_2(p) = \frac{k_1}{Tp+1} + \frac{k_2}{p} = \frac{(k_1 + k_2 T)p + k_2}{(Tp+1)p}.$$

Підставляючи відповідні дані отримуємо:

$$W(p) = \frac{5}{0,1 p+1} + \frac{0,2}{p} = \frac{5,02p+0,2}{(0,1 p+1)p}.$$

Задача 3.

Знайти передавальну функцію з'єднання ланок із позитивним (додатнім) зворотнім зв'язком. Параметри ланок задані у таблиці Д 3.

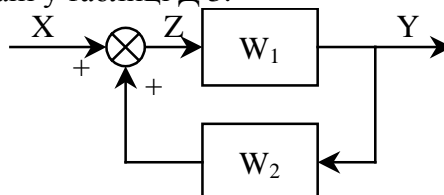


Рис. 3. З'єднання ланок з позитивним зворотнім зв'язком

Приклад розв'язку: нехай задано з'єднання А-ланки ($k_1 = 5$ та $T_1 = 0,1$ с) та ІІ-ланки ($k_2 = 10$).

Передавальна функція першої та другої ланки визначається за формулами

$$W_1(p) = \frac{k_1}{T_1 p + 1} \text{ та } W_2(p) = \frac{k_2}{p}, \text{ відповідно.}$$

Нагадаємо, що передавальна функція з'єднання може бути визначена із рівнянь:

$$Z = X + W_2(p) Y,$$

$$Y = W_1(p) Z.$$

Звідки слідує

$$Y = \frac{W_1(p)}{1 - W_1(p)W_2(p)} X.$$

Отже передавальна функція кола із позитивним зворотнім зв'язком рівна

$$W(p) = \frac{Y}{X} = \frac{W_1(p)}{1 - W_1(p)W_2(p)}.$$

Підставляючи вирази передавальних функцій отримаємо:

$$W(p) = \frac{\frac{k_1}{T_1 p + 1}}{1 - \frac{k_1}{T_1 p + 1} \cdot \frac{k_2}{p}} = \frac{k_1 p}{T_1 p^2 + p - k_1 k_2}.$$

Звідки

$$W(p) = \frac{5p}{0,1p^2 + p - 50} = \frac{0,1p}{0,002p^2 + 0,02p - 1}.$$

Задача 4.

Знайти передавальну функцію з'єднання ланок із негативним (від'ємним) зворотнім зв'язком. Параметри ланок задані у таблиці Д 4.

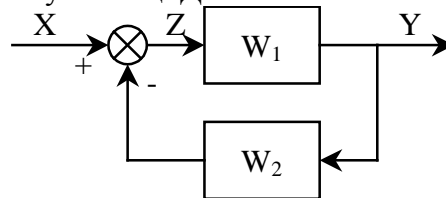


Рис. 4. З'єднання ланок з від'ємним (негативним) зворотнім зв'язком

Приклад розв'язку: нехай задано з'єднання А-ланки ($k_1 = 5$ та $T_1 = 0,1$ с) та ІІ-ланки ($k_2 = 10$).

Передавальна функція першої та другої ланки визначається за формулами

$$W_1(p) = \frac{k_1}{T_1 p + 1} \text{ та } W_2(p) = \frac{k_2}{p}, \text{ відповідно.}$$

Нагадаємо, що передавальна функція з'єднання може бути визначена із рівнянь:

$$Z = X + W_2(p) Y,$$

$$Y = W_1(p) Z.$$

з яких слідує, що

$$Y = \frac{W_1(p)}{1 + W_1(p)W_2(p)} X,$$

а отже передавальна функція кола із негативним зворотнім зв'язком рівна:

$$W(p) = \frac{Y}{X} = \frac{W_1(p)}{1 + W_1(p)W_2(p)}.$$

Підставляючи вирази передавальних функцій отримаємо:

$$W(p) = \frac{\frac{k_1}{T_1 p + 1}}{1 + \frac{k_1}{T_1 p + 1} \cdot \frac{k_2}{p}} = \frac{k_1 p}{T_1 p^2 + p + k_1 k_2}.$$

Звідки

$$W(p) = \frac{k_1 p}{T_1 p^2 + p + k_1 k_2} = \frac{5p}{0.1p^2 + p + 50} = \frac{0.1p}{0.002p^2 + 0.02p + 1}$$

Задача 5.

Знайти ЛАЧХ послідовного з'єднання ланок заданого типу з заданими параметрами. Варіанти завдання наведені в таблиці Д 5.

Приклад розв'язку: нехай задано з'єднання РІ-ланки ($k_1 = 5$ та $T = 0,1$ с) та А-ланки ($k_2 = 0,2$ та $T_2 = 1$).

Передавальна функція першої та другої ланки визначається за формулами

$$W_1(p) = \frac{k_1}{p(T_1 p + 1)} \text{ та } W_2(p) = \frac{k_2}{T_2 p + 1}, \text{ відповідно.}$$

Для послідовного з'єднання передавальна функція представляє собою добуток передавальних функцій ланок, що з'єднуються. Тому ЛАЧХ, що представляє собою логарифм модуля передавальної функції є сумою ЛАЧХ окремих ланок:

$$L(\omega) = L_1(\omega) + L_2(\omega)$$

Легко бачити, що ЛАЧХ першої ланки рівна

$$L_1(\omega) = 20 \lg(k_1) - 20 \lg(\omega) - 10 \lg(T_1^2 p^2 + 1),$$

а ЛАЧХ другої ланки рівна:

$$L_2(\omega) = 20 \lg(k_2) - 10 \lg(T_2^2 p^2 + 1).$$

ЛАЧХ послідовно з'єднаних ланок рівна:

$$L(\omega) = 20 \lg(k_1) + 20 \lg(k_2) - 20 \lg(\omega) - 10 \lg(T_1^2 p^2 + 1) - 10 \lg(T_2^2 p^2 + 1),$$

$$L(\omega) = 20 \lg(5) + 20 \lg(0,2) - 20 \lg(\omega) - 10 \lg(0,01 p^2 + 1) - 10 \lg(p^2 + 1).$$

Тепер побудуємо ЛАЧХ кожної із ланок наближеним методом. Перша наближена ЛАЧХ є суперпозицією ЛАЧХ ланок з характеристиками:

$$W_{11}(p) = \frac{k_1}{(T_1 p + 1)} \text{ та } W_{12}(p) = \frac{1}{p}.$$

ЛАЧХ для $W_{11}(j\omega)$ починається на рівні $20 \log(W_{11}(0)) = 20 \log(k_1) = 14$ дБ і йде горизонтально до частоти спряження, що відповідає частоті полюса у котрому $\omega_2 = |p| = 1/|T_1| = 10$, а далі ЛАЧХ набуває спад 20 дБ/дек. Уточнену ЛАЧХ $W_{11}(p)$ побудуємо відступивши на -3 дБ від ЛАЧХ у точці спряження і провівши відрізок із нахилом -10 дБ/дек до перетину із первиною ЛАЧХ.

ЛАЧХ для $W_{12}(j\omega)$ є прямою із сталим спадом рівним 20 дБ/дек, що проходить через точку ($\omega = 1, L(\omega = 1) = 0$).

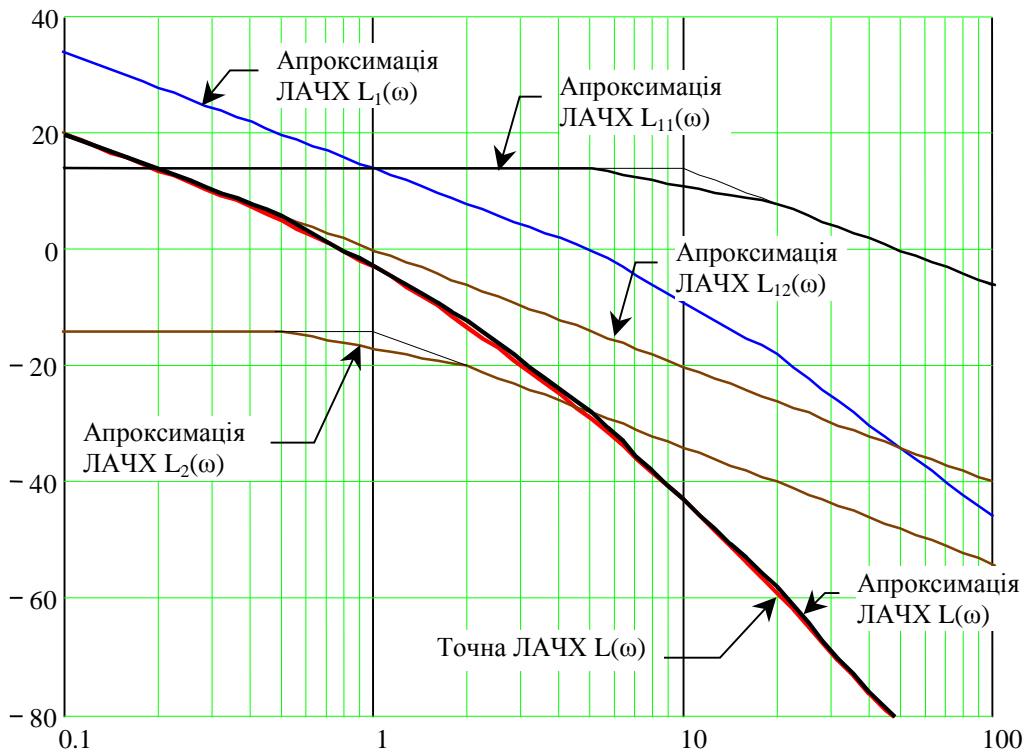
ЛАЧХ $W_1(\omega)$ отримуємо як суму ЛАЧХ ланок із $W_{11}(j\omega)$ та $W_{12}(j\omega)$.

ЛАЧХ для $W_2(j\omega)$ починається на рівні $20 \log(W_2(0)) = 20 \log(k_2) = -14$ дБ і йде горизонтально до частоти спряження, що відповідає частоті полюса у котрому $\omega_2 = |p| = 1/|T_2| = 1$, а далі ЛАЧХ набуває спад 20 дБ/дек. Уточнену ЛАЧХ $W_2(p)$ побудуємо відступивши на -3 дБ від ЛАЧХ у точці спряження і провівши відрізок із нахилом -10 дБ/дек до перетину із первиною ЛАЧХ.

ЛАЧХ для $W_{12}(j\omega)$ є прямою із сталим спадом рівним 20 дБ/дек, що проходить через точку ($\omega = 1, L(\omega = 1) = 0$).

ЛАЧХ $W(\omega)$ отримуємо як суму ЛАЧХ ланок $W_1(j\omega)$ та $W_2(j\omega)$.

Всі побудови зображені на наступному рисунку.



**Рис. 5. Побудова ЛАЧХ двох послідовно з'єднаних ланок заданого типу
Задача 6.**

Накреслити ЛФЧХ для послідовного з'єднання двох ланок заданого типу з заданими параметрами. Варіанти наведені в табл. Д 6.

Приклад розв'язку: нехай необхідно побудувати ЛФЧХ для послідовного з'єднання РД-ланки ($k_1 = 4$ та $T_1 = 1$ с) та А-ланки ($k_2 = 3$ и $T_2 = 0,5$ с).

Передавальна функція першої та другої ланки визначається за формулами

$$W_1(p) = \frac{k_1 p}{(T_1 p + 1)} \text{ та } W_2(p) = \frac{k_2}{T_2 p + 1}, \text{ відповідно.}$$

Для послідовного з'єднання передавальна функція представляє собою добуток передавальних функцій ланок, що з'єднуються. Тому ЛФЧХ, що представляє собою аргумент передавальної функції є сумою ЛФЧХ окремих ланок:

$$\Psi(\omega) = \Psi_1(\omega) + \Psi_2(\omega).$$

Легко бачити, що ЛФЧХ першої ланки рівна

$$\Psi_1(\omega) = \arg(k_1 j\omega) - \arg(1 + T_1 j\omega) = 90^\circ - \operatorname{arctg}(T_1 \omega),$$

а ЛФЧХ другої ланки -

$$\Psi_2(\omega) = \arg(k_2) - \arg(T_2 j\omega + 1) = -\operatorname{arctg}(T_2 \omega).$$

ЛФЧХ послідовно з'єднаних ланок рівна:

$$\Psi(\omega) = 90^\circ - \operatorname{arctg}(T_1 \omega) - \operatorname{arctg}(T_2 \omega).$$

Тепер побудуємо ЛФЧХ кожної із ланок наближеним методом. Перша наближена ЛФЧХ є суперпозицією ЛАЧХ ланок з характеристиками:

$$W_{11}(p) = \frac{k_1}{(T_1 p + 1)} \text{ та } W_{12}(p) = p.$$

ЛФЧХ для $W_{11}(j\omega)$ починається на рівні 0 градусів ($\arg(W_{11}(0)) = \arg(k_1) = 0$) і йде горизонтально до частоти спряження, що відповідає частоті $\omega_{11} = 0.1/|T_1| = 0.1$, а далі ЛФЧХ набуває спад 45 градусів на декаду і прямує з цим нахилом до частоти $\omega_{12} = 10/|T_1| = 10$. ЛФЧХ для $W_{12}(j\omega)$ є сталою рівною 90 градусів. ЛФЧХ $W_1(\omega)$ отримуємо як суму ЛФЧХ ланок $W_{11}(j\omega)$ та $W_{12}(j\omega)$.

ЛФЧХ для $W_2(j\omega)$ йде горизонтально на рівні 0 градусів до частоти $\omega_{21} = 0.1/|T_2| = 0.2$, а далі ЛФЧХ набуває спад 45 градусів на декаду і прямує з цим нахилом до частоти $\omega_{22} = 10/|T_2| = 20$.

ЛФЧХ $W(\omega)$ отримуємо як суму ЛАЧХ ланок $W_1(j\omega)$ та $W_2(j\omega)$.

Всі побудови зображені на наступному рисунку.

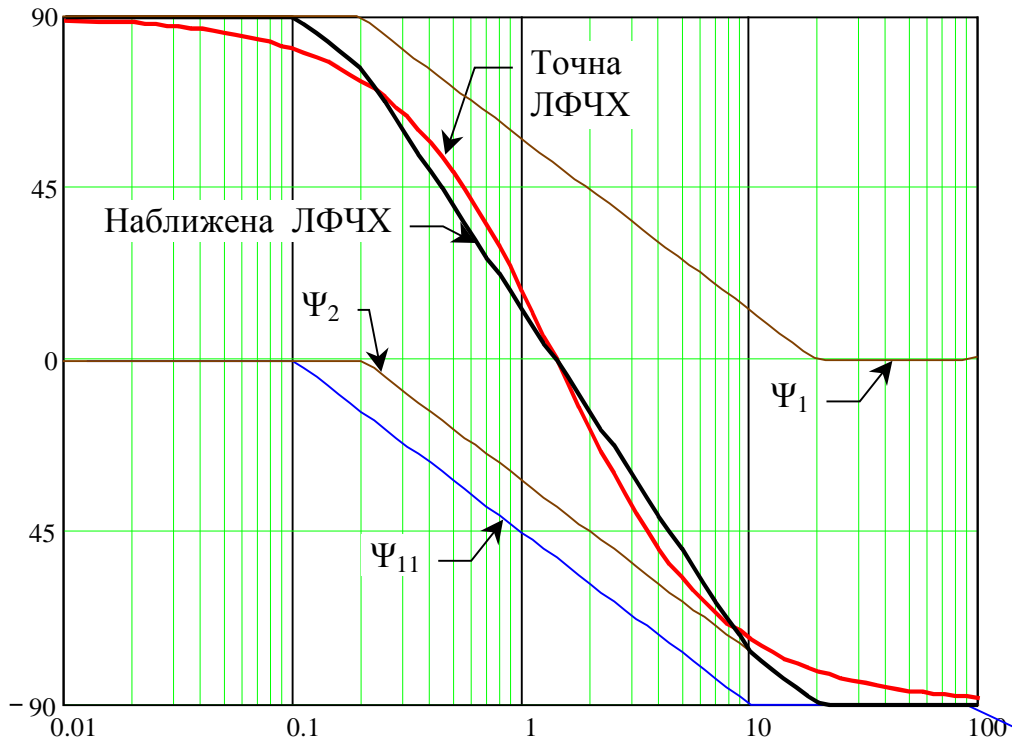


Рис. 6. ЛФЧХ системи
Задача 7.

Накреслити АФЧХ для послідовного з'єднання двох ланок заданого типу з заданими параметрами. Варіанти наведені в табл. Д 7.

Приклад розв'язку: нехай необхідно побудувати АФЧХ для послідовного з'єднання РІ-ланки ($k_1 = 4$ та $T_1 = 1$ с) та РД-ланки ($k_2 = 3$ и $T_2 = 0,5$ с).

Передавальна функція першої та другої ланки визначається за формулами

$$W_1(p) = \frac{k_1}{p(T_1 p + 1)} \text{ та } W_2(p) = \frac{k_2 p}{T_2 p + 1}, \text{ відповідно.}$$

Для послідовного з'єднання передавальна функція представляє собою добуток передавальних функцій ланок, що з'єднуються:

$$W(p) = W_1(p) W_2(p) = \frac{k_1 k_2}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)}.$$

Комплексна передавальна функція рівна:

$$W(j\omega) = \frac{k_1 k_2}{(T_1 j\omega + 1)(T_2 j\omega + 1)}.$$

Будуємо АФЧХ по точках, побудова зображена на наступному рисунку.

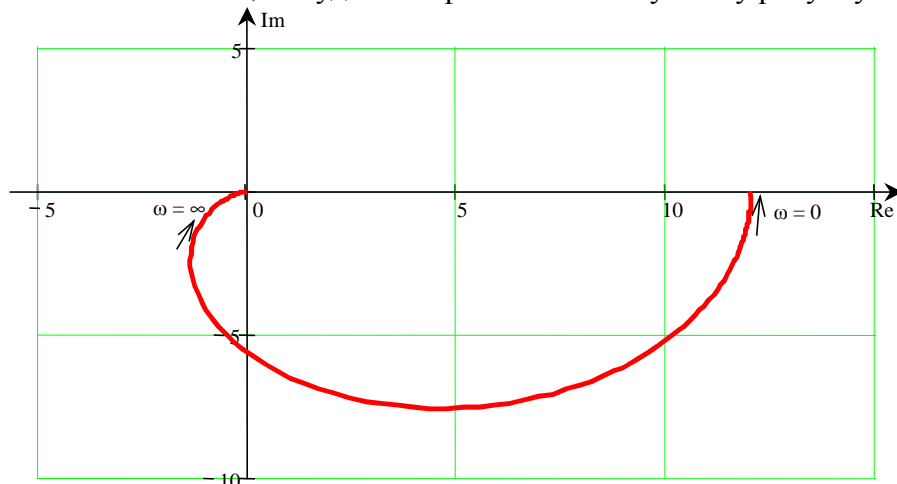


Рис. 7. АФЧХ системи

Задача 8.

Накреслити АФЧХ для паралельного з'єднання двох заданих ланок. Варіанти подані в табл. Д 8.

Приклад розв'язку: нехай задано з'єднання ІД-ланки ($k_1 = 1$) та А-ланки ($k_2 = 5$ та $T_2 = 2$). Передавальна функція першої та другої ланки визначається за формулами $W_1(p) = k_1 p$ та $W_2(p) = \frac{k_2}{T_2 p + 1}$, відповідно.

При паралельному з'єднанні із сумуванням передавальні функції додаються, тому передавальна функція системи рівна:

$$W(p) = W_1(p) + W_2(p) = k_1 p + \frac{k_2}{T_2 p + 1}.$$

Комплексна передавальна функція рівна :

$$W(j\omega) = k_1 j\omega + \frac{k_2}{T_2 j\omega + 1},$$

$$W(j\omega) = j\omega + \frac{5}{2j\omega + 1}.$$

Будуємо АФЧХ по точках, побудова зображена на наступному рисунку.

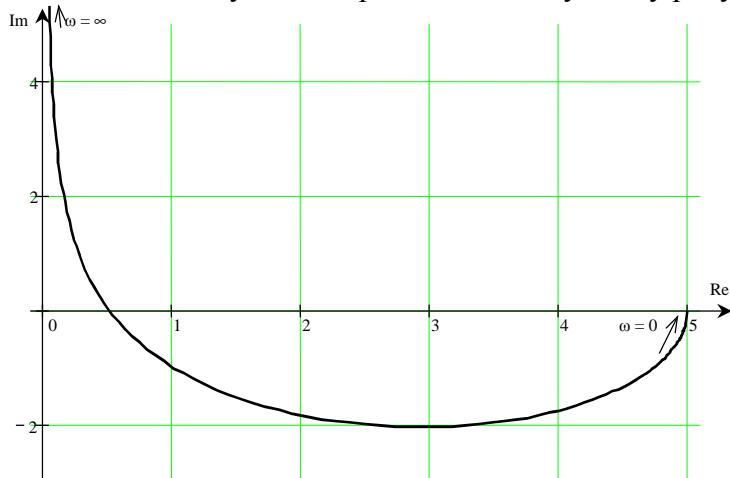


Рис. 8. АФЧХ системи

Задача 9

Спростити функціональну схему системи і знайти передавальну функцію. Варіанти завдання наведені в таблиці Д 9.

Нехай задана система зображена на наступному рисунку.

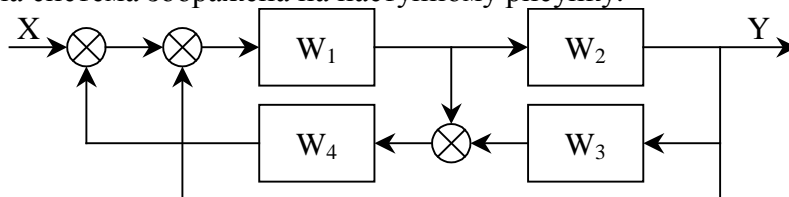


Рис. 9. Система

Спочатку переставимо два лівих суматори. Це не приведе до будь-яких змін передавальної функції.

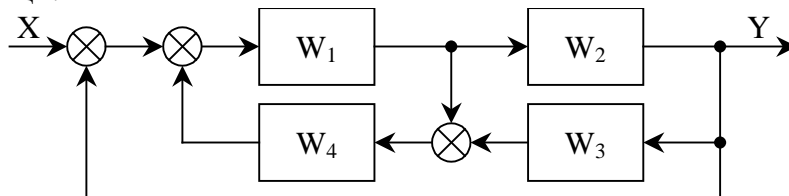


Рис. 10. Перестановка суматорів

Розділимо коло зворотного зв'язку і вихідне коло.

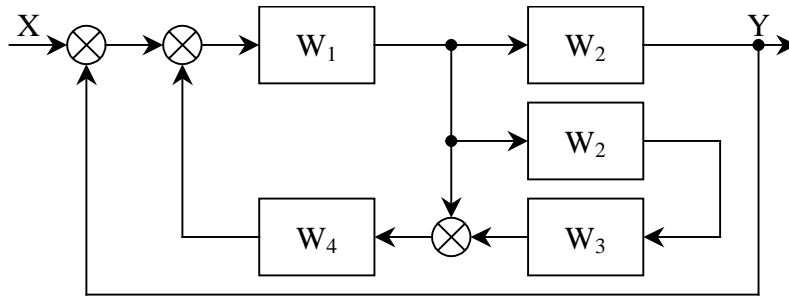


Рис. 11. Розділення кола зворотного зв'язку і вихідного кола

Та перекреслимо систему у більш звичній формі:

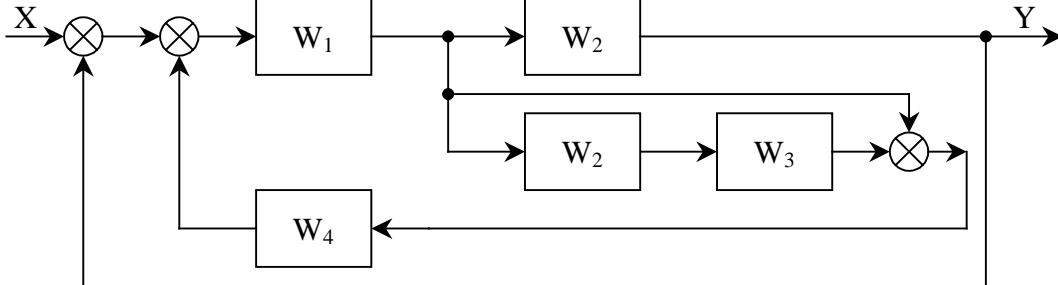


Рис. 12.

Об'єднуємо ланки із передавальними функціями W_2 та W_3 , отримаємо:

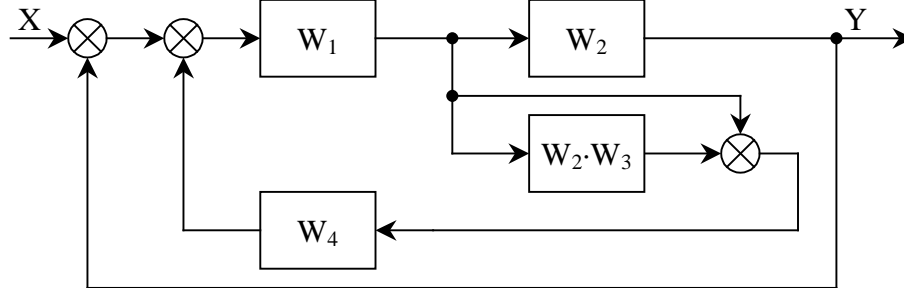


Рис. 13.

Позбавляємось від крайнього правого суматора:

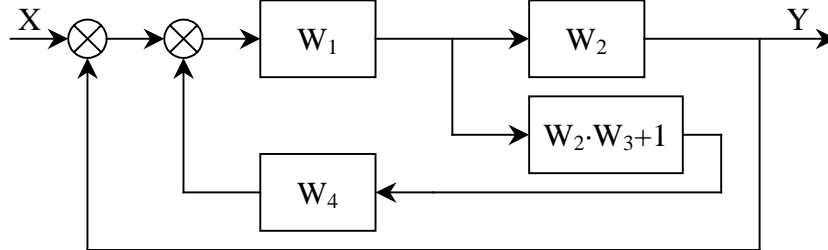


Рис. 14.

Об'єднуємо ланку із передавальною функцією $W_2 \cdot W_3 + 1$ із ланкою із передавальною функцією W_4 :

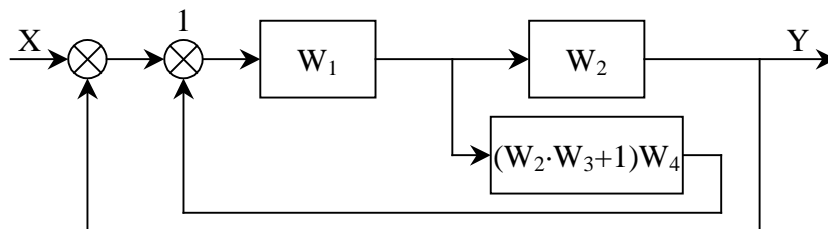


Рис. 15.

Позбавляємось від зворотного зв'язку заданого суматором 1.

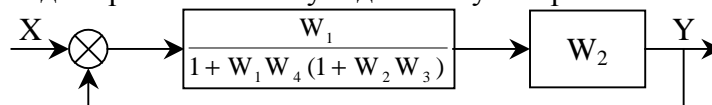


Рис. 16.

Об'єднуємо ланки :

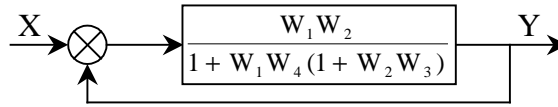


Рис. 17.

І позбавляємось від зворотного зв'язку:

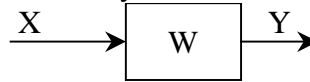


Рис. 18.

Де W визначається за формулою:

$$W = \frac{\frac{W_1 W_2}{1 + W_1 W_4 (1 + W_2 W_3)}}{1 + \frac{W_1 W_2}{1 + W_1 W_4 (1 + W_2 W_3)}} = \frac{W_1 W_2}{1 + W_1 W_2 + W_1 W_4 (1 + W_2 W_3)}$$

Задача 10.

Знайти передавальну функцію системи за задаючим X та за збурюючим впливом f . Варіанти завдання наведені в таблиці Д 10.

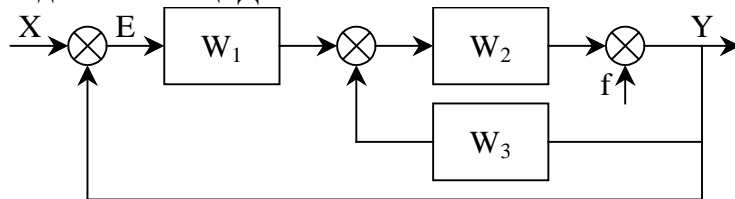


Рис. 19. Система

Для визначення передавальної функції за задаючим впливом вважаємо, що збурюючий вплив рівний 0. Тоді структурна схема системи може бути накреслена у виді.

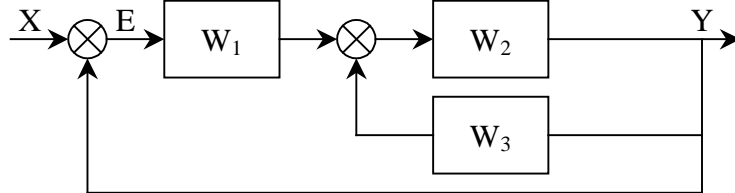


Рис. 20.

Об'єднуємо ланки W_2 та W_3 , користуючись формулою для ланки охопленої зворотнім зв'язком.

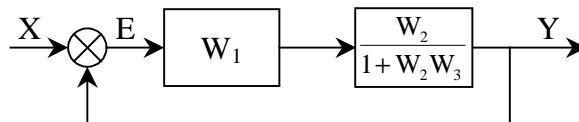


Рис. 21.

Користуючись формулою про передавальну функцію послідовного з'єднання ланок отримаємо:

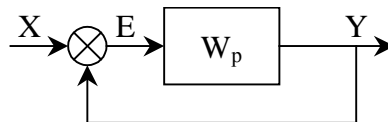


Рис. 22.

де $W_p = \frac{W_1 W_2}{1 + W_2 W_3}$.

Користуючись формулою про передавальну функцію ланки охопленої одиничним зворотнім зв'язком маємо:

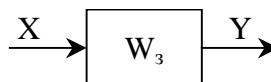


Рис. 23.

$$W_3 = \frac{W_p}{1 + W_p} = \frac{\frac{W_1 W_2}{1 + W_2 W_3}}{1 + \frac{W_1 W_2}{1 + W_2 W_3}} = \frac{W_1 W_2}{1 + W_2 W_3 + W_1 W_2}$$

Знайдемо передавальну функцію за збурюючим впливом. Як відомо передавальна функція за збуренням визначається як відношення вихідної величини до збурення при відсутності керуючого впливу. Тобто як відношення зображення Y до f , якщо $X = 0$.

Для зручності визначення передавальної функції за збурюючим перейдемо від віднімаючих суматорів до додаючих. Тоді структурна схема системи може бути намальована у наступному виді.

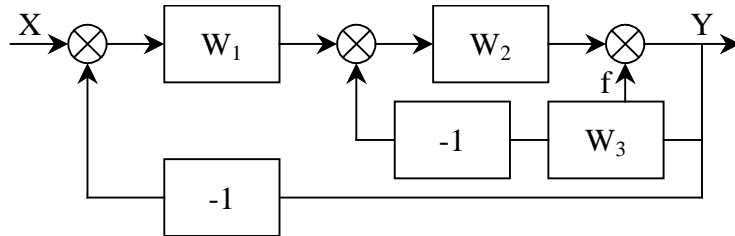


Рис. 24

При визначенні передавальної функції за похибкою вважаємо, що керуючий вплив рівний 0. Тоді система може бути намальована у вигляді.

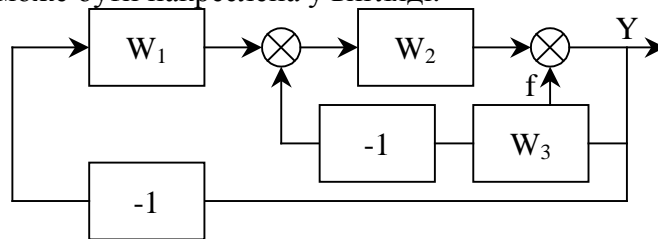


Рис. 25

Переставляючи інвертори (ланки із передавальною функцією рівною -1) та об'єднуючі паралельно ввімкнені ланки з передавальними функціями W_1 та W_3 маємо.

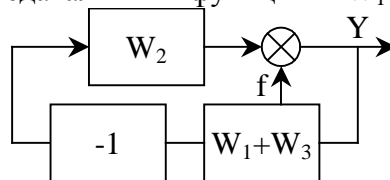


Рис. 26

Переставляємо інвертор та ланку із передавальною характеристикою W_2 отримаємо.

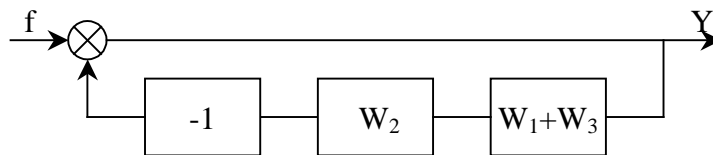


Рис. 27

Перекреслюємо схему у більш звичній формі

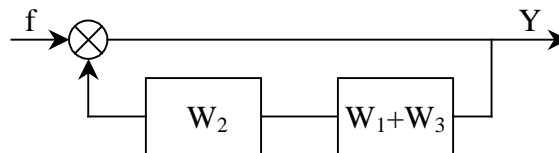


Рис. 28

Отже передавальна функція за збурюючим впливом у даному випадку рівна:

$$W_f = \frac{1}{1 + W_2(W_1 + W_3)}$$

Задача 11

Проаналізувати стійкість системи з заданою передавальною функцією замкнутої системи за допомогою алгебраїчного критерію стійкості Гурвіца. Варіанти завдання наведені в

таблиці Д 11.

Нехай задана система із передавальною функцією замкнутої системи рівною:

$$W(p) = \frac{-2p^2 + 3p - 1}{-2p^4 - 3p^3 - 21p^2 - 20p - 10}.$$

Для визначення умов стійкості спочатку у випадку необхідності, перепишемо передавальну функцію, так щоб коефіцієнт при старшій степені p у знаменнику був позитивний.

$$W(p) = \frac{2p^2 - 3p + 1}{2p^4 + 3p^3 + 21p^2 + 20p + 10}.$$

Записуємо характеристичне рівняння, що рівне знаменнику передавальної функції замкнутої системи

$$D(p) = 2p^4 + 3p^3 + 21p^2 + 20p + 10.$$

Складемо тепер визначник Гурвіца.

$$a_0 = 2, a_1 = 3, a_2 = 21, a_3 = 20, a_4 = 10,$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & 0 & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 & 0 \\ 0 & a_0 & a_2 & a_4 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 3 & 20 & 0 & 0 \\ 2 & 21 & 10 & 0 \\ 0 & 3 & 20 & 0 \\ 0 & 2 & 21 & 10 \end{vmatrix}.$$

Система буде стійка, якщо всі головні діагональні мінори із визначника будуть мати однаковий знак із a_0 .

Запишемо діагональні мінори визначника Гурвіца:

$$\Delta_1 = a_1 = 3,$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ a_0 & a_2 \end{vmatrix} = a_1 a_2 - a_3 a_0,$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 3 & 20 \\ 2 & 21 \end{vmatrix} = 3 \cdot 21 - 2 \cdot 20 = 23,$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} 3 & 20 & 0 \\ 2 & 21 & 10 \\ 0 & 3 & 20 \end{vmatrix} = 3 \cdot 21 \cdot 20 + 20 \cdot 10 \cdot 0 + 2 \cdot 3 \cdot 0 - 21 \cdot 0 \cdot 0 - 20 \cdot 2 \cdot 20 - 3 \cdot 3 \cdot 10 = 370,$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & 0 & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 & 0 \\ 0 & a_0 & a_2 & a_4 \end{vmatrix} = \Delta_3 \cdot a_4 = 3700,$$

Так як всі мінори мають однаковий знак з a_0 система стійка.

Задача 12

Знайти характеристичне рівняння і проаналізувати за допомогою алгебраїчного критерію стійкості Гурвіца стійкість системи з одиничним зворотнім зв'язком, якщо задано передавальну функцію розімкнутої системи. Варіанти завдання наведені в таблиці Д 12.

Нехай задана система із передавальною функцією розімкнутої системи:

$$W_p(p) = \frac{2p^2 + 3p - 1}{2p^4 + 3p^3 + 19p^2 + 17p - 9}.$$

Чисельник і знаменник передавальної функції рівні:

$$Q(p) = 2p^2 + 3p - 1,$$

$$R(p) = 2p^4 + 3p^3 + 19p^2 + 17p - 9.$$

Як відомо, у випадку коли передавальна функція розімкнутої системи може бути

представлена у вигляді $W_p = \frac{Q(p)}{R(p)}$ передавальна функція замкнутої системи із одиничним зворотнім зв'язком рівна:

$$W(p) = \frac{Q(p)}{Q(p) + R(p)}.$$

Отже характеристичне рівняння у такому випадку рівне:

$$D(p) = Q(p) + R(p),$$

$$D(p) = 2p^4 + 3p^3 + 21p^2 + 20p - 10.$$

Складемо тепер визначник Гурвіца, ураховуємо, що ступень характеристичного рівняння рівна 4.

$$a_0 = 2, a_1 = 3, a_2 = 21, a_3 = 20, a_4 = -10,$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & 0 & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 & 0 \\ 0 & a_0 & a_2 & a_4 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 3 & 20 & 0 & 0 \\ 2 & 21 & -10 & 0 \\ 0 & 3 & 20 & 0 \\ 0 & 2 & 21 & -10 \end{vmatrix}.$$

Випишемо всі визначники

$$\Delta_1 = a_1 = 3,$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 3 & 20 \\ 2 & 21 \end{vmatrix},$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} 3 & 20 & 0 \\ 2 & 21 & -10 \\ 0 & 3 & 20 \end{vmatrix},$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & 0 & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 & 0 \\ 0 & a_0 & a_2 & a_4 \end{vmatrix} = \Delta_3 \cdot a_4 = -10 \cdot \Delta_3.$$

Отже без подальших розрахунків зрозуміло, що Δ та Δ_3 мають різні знаки, отже вони не можуть бути обидва додатними і тому або $\Delta < 0$ або $\Delta_3 < 0$ і отже система - нестійка.

Задача 13

Проаналізувати стійкість системи із заданою структурною схемою. Варіанти завдання наведені в таблиці Д 13.

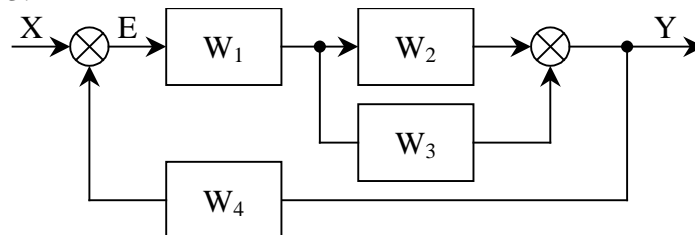


Рис. 29. Система

$$\text{Де } W_1 = \frac{100}{(p+1)}, W_2 = \frac{10}{2p+1}, W_3 = \frac{5}{3p^2+2p+1}, W_4 = \frac{0.1}{3p+1}.$$

Додаємо ланки

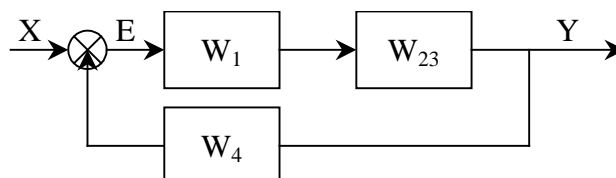


Рис. 30. Система

На рисунку рис. 30

$$W_{23} = W_2 + W_3 = \frac{10}{2p+1} + \frac{5}{3p^2+2p+1} = \frac{15(2p^2+2p+1)}{(2p+1)(3p^2+2p+1)}.$$

Передавальна функція розімкнутої системи визначається за формулою

$$W_p = W_1 W_{23} = \frac{100}{(10p+1)} \frac{15(2p^2+2p+1)}{(2p+1)(3p^2+2p+1)} = \frac{1500(2p^2+2p+1)}{6p^4+13p^3+11p^2+5p+1}.$$

Передавальна функція замкнутої системи визначається за формулою

$$W_3 = \frac{W_p}{1 + W_p W_4} = \frac{\frac{1500(2p^2+2p+1)}{6p^4+13p^3+11p^2+5p+1}}{1 + \frac{1500(2p^2+2p+1)}{6p^4+13p^3+11p^2+5p+1} \cdot \frac{0.1}{3p+1}} = \frac{1500(3p+1)(2p^2+2p+1)}{18p^5+45p^4+46p^3+326p^2+308p+151}.$$

Характеристичне рівняння системи:

$$D(p) = 18p^5 + 45p^4 + 46p^3 + 326p^2 + 308p + 151.$$

Складаємо визначник Гурвіца:

$$\Delta = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 & 0 & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 & 0 & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 & a_5 & 0 \\ 0 & a_0 & a_2 & a_4 & 0 \\ 0 & 0 & a_1 & a_3 & a_5 \end{vmatrix},$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} 45 & 326 & 151 & 0 & 0 \\ 18 & 46 & 308 & 0 & 0 \\ 0 & 45 & 326 & 151 & 0 \\ 0 & 18 & 46 & 308 & 0 \\ 0 & 0 & 45 & 326 & 151 \end{vmatrix},$$

Система буде стійка, якщо всі головні діагональні мінори із визначника будуть мати однаковий знак із a_0 .

Запишемо діагональні мінори визначника Гурвіца

$$\Delta_1 = a_1 = 45,$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ a_0 & a_2 \end{vmatrix} = a_1 a_2 - a_3 a_0,$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 45 & 326 \\ 18 & 46 \end{vmatrix} = 45 \cdot 46 - 18 \cdot 326 = -3798,$$

Так як $\Delta_2 < 0$ система є не стійкою.

Задача 14

Провести аналіз системи на стійкість за критерієм Михайлова, якщо задане характеристичне рівняння системи у замкнутому стані. Варіанти завдання наведені в таблиці Д 14.

Нехай задана система із характеристичним рівнянням у замкнутому стані

$$D(p) = 4p^4 - 2p^3 + 6p^2 + 3p + 1.$$

Замінюємо p на $j\omega$ та розділяємо дійсну і уявну частини характеристичного рівняння

$$D(p) = 4\omega^4 + 2j\omega^3 - 6\omega^2 + 3j\omega + 1 = (4\omega^4 - 6\omega^2 + 1) + j(2\omega^3 + 3\omega),$$

Виділяємо дійсні і уявні частини:

$$U(\omega) = 4\omega^4 - 6\omega^2 + 1,$$

$$V(\omega) = 2\omega^3 + 3\omega,$$

на креслимо годограф Михайлова (рис. 31)

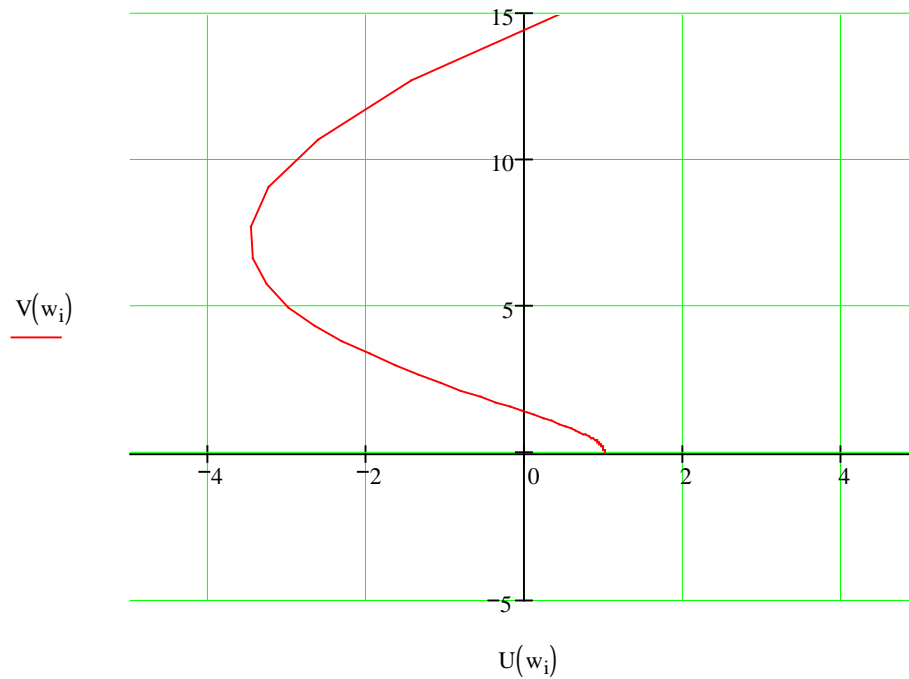


Рис. 31 Годограф Михайлова

Так як годограф не проходить послідовно через 4 квадранти проти годинникової стрілки система є нестійкою.

Задача 15

Провести аналіз системи на стійкість за критерієм Михайлова, якщо задана передавальна функція системи у замкнутому стані. Варіанти завдання наведені в таблиці Д 15.

Нехай задана передавальна функція системи:

$$W(p) = \frac{2p^2 + 3p - 1}{2p^4 + 3p^3 + 7p^2 + 4p + 2}.$$

Характеристичне рівняння системи рівне знаменнику передавальної функції системи у замкнутому стані:

$$D(p) = 2p^4 + 3p^3 + 7p^2 + 4p + 2.$$

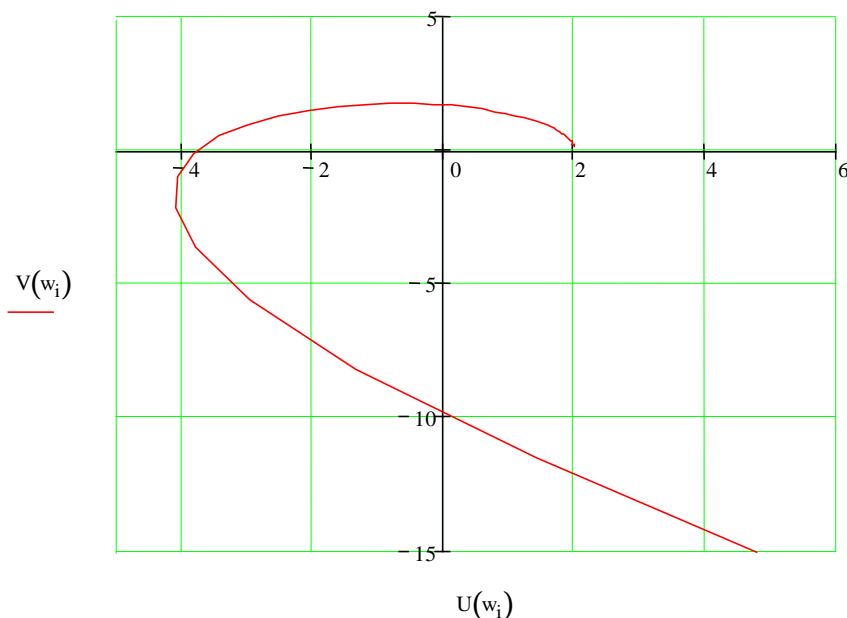


Рис. 32 Годограф Михайлова

Замінюємо p на $j\omega$ та розділяємо дійсну і уявну частини характеристичного рівняння:

$$D(j\omega) = 2\omega^4 - 3j\omega^3 - 7\omega^2 + 4j\omega + 2 = (2\omega^4 - 7\omega^2 + 2) + j(-3\omega^3 + 4\omega).$$

Виділяємо дійсні і уявні частини

$$U(\omega) = 2\omega^4 - 7\omega^2 + 2,$$

$$V(\omega) = -3\omega^3 + 4\omega.$$

та будемо годограф (рис. 32). Так як годограф Михайлова починається на позитивній частині дійсної осі і проходить проти годинникової стрілки послідовно через стільки ж квадрантів який порядок характеристичного рівняння то система є стійкою.

Задача 16

Провести аналіз системи на стійкість за критерієм Михайлова, якщо задана передавальна функція системи у розімкнутому стані і відомо, що система охоплена одиничним від'ємним зворотнім зв'язком. Варіанти завдання наведені в таблиці Д 16.

Нехай задана система із передавальною функцією у розімкнутому стані

$$W_p(p) = \frac{2p^2 + 3p - 2}{2p^3 + 4p^2 + 2}.$$

Передавальна функція у замкненому стані при наявності одиничного зворотного зв'язку рівна:

$$W_3(p) = \frac{W_p(p)}{1 + W_p(p)},$$

$$W_3(p) = \frac{2p^2 + 3p - 2}{(2p^2 + 3p - 2) + (2p^3 + 4p^2 + 2)} = \frac{2p^2 + 3p - 2}{2p^3 + 6p^2 + 3p}.$$

Характеристичне рівняння:

$$D(p) = 2p^3 + 6p^2 + 3p.$$

Замінюємо p на $j\omega$ та розділяємо дійсну і уявну частини характеристичного рівняння

$$D(j\omega) = -2j\omega^3 - 6\omega^2 + 3j\omega = (-6\omega^2) + j(-2\omega^3 + 3\omega).$$

Виділяємо дійсні і уявні частини:

$$U(\omega) = -6\omega^2, \quad V(\omega) = -2\omega^3 + 3\omega.$$

Будемо годограф Михайлова. Так як годограф Михайлова не починається на додатній частині дійсної осі система є нестійкою.

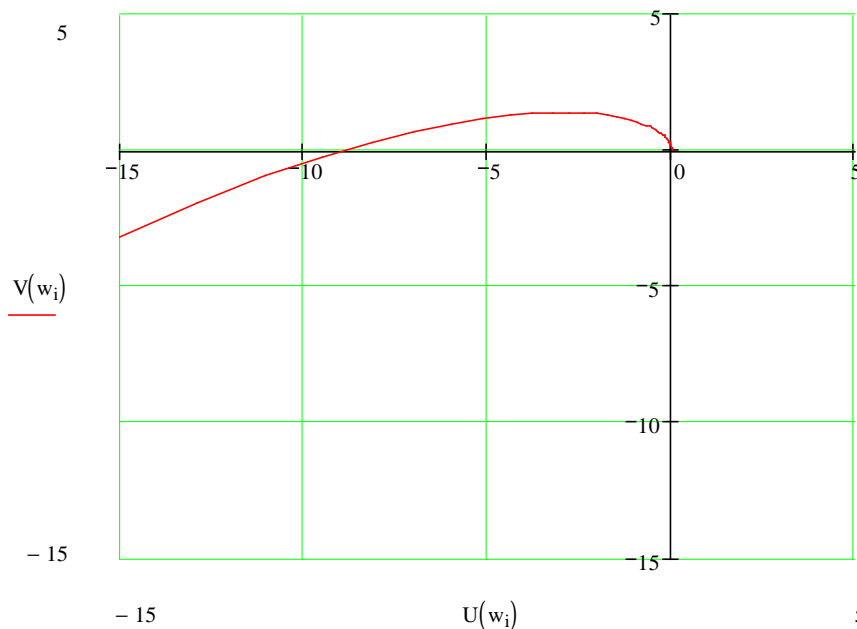


Рис. 33 Годограф Михайлова

Задача 17

Визначити похибку системи заданої за допомогою структурної схеми у стаціонарному режимі при дії на вхід системи лінійно зростаючого та одиничного впливів. Варіанти завдання наведені в таблиці Д 17.

Нехай задана система, із передавальними функціями ланок $W_1 = \frac{10}{p+1}$, $W_2 = \frac{1}{2p+1}$

$W_3 = \frac{1}{10}$ зображена на наступному рисунку.

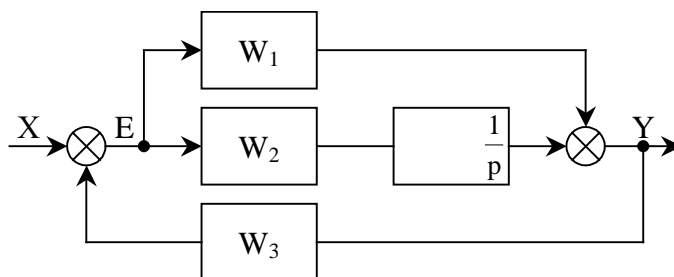


Рис. 34. Система, що досліджується

Для подальших розрахунків спростимо систему. Користуючись правилами перетворення систем отримаємо

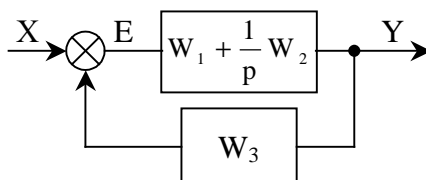


Рис. 35. Система, що досліджується

Визначимо спочатку чи є система стійкою. Для цього запишемо передавальну функцію системи.

$$W(p) = \frac{W_1 + \frac{1}{p} W_2}{1 + \left(W_1 + \frac{1}{p} W_2 \right) W_3} = 10 \frac{(20p^2 + 11p + 1)}{20p^3 + 50p^2 + 21p + 1}.$$

Характеристичне рівняння системи рівне

$$D(p) = 20p^3 + 50p^2 + 21p + 1.$$

Замінюємо p на $j\omega$ та розділяємо дійсну і уявну частини характеристичного рівняння

$$D(j\omega) = -20j\omega^3 - 50\omega^2 + 21j\omega + 1 = (-50\omega^2 + 1) + j(-20\omega^3 + 21\omega).$$

Виділяємо дійсні і уявні частини:

$$U(\omega) = (-50\omega^2 + 1),$$

$$V(\omega) = -20\omega^3 + 21\omega.$$

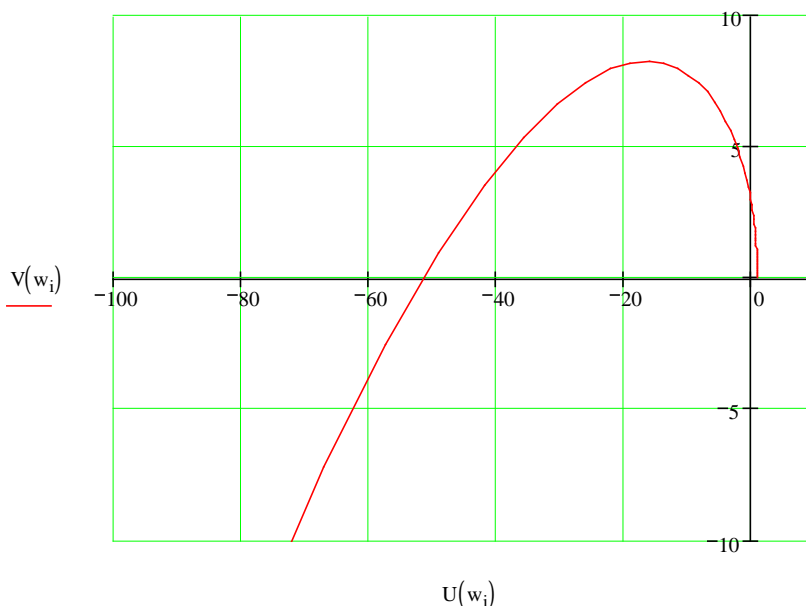


Рис. 36. Годограф системи

Система має характеристичне рівняння 3 порядку і для стійкості системи необхідно, щоб годограф обійшов попергово 3 квадранти проти годинникової стрілки і починався на додатній частині дійсної півосі. Так як годограф Михайлова починається на додатній частині

дійсної осі і проходить квадранти у вірному порядку система є стійкою, отже є зміст говорити при уставлене значення похибки..

Як відомо, похибка системи, приведена до входу визначається як різниця

$$E = X(p) - W_{33}Y(p),$$

де W_{33} - передавальна функція зворотного зв'язку. Легко довести, що похибка від керуючого впливу визначається за формулою

$$E = \left(\frac{1 - \frac{W_3 \left(W_1 + \frac{1}{p} W_2 \right)}{1 + W_3 \left(W_1 + \frac{1}{p} W_2 \right)}}{1 + W_3 \left(W_1 + \frac{1}{p} W_2 \right)} \right) X(p) = \frac{p}{p + W_3(pW_1 + W_2)} X(p).$$

Відмітимо, що передавальна функція за похибкою рівна

$$W_E = \frac{p}{p + W_3(pW_1 + W_2)}.$$

І після відповідних перетворень може бути записана у вигляді

$$W_E = \frac{10(2p^2 + 3p + 1)p}{20p^3 + 50p^2 + 21p + 1}.$$

Знайдемо похибку у уставленому режимі при подачі на вхід одиначної функції.

Зображення шуканої похибки буде отримано якщо на вхід системи подати одиначну функцію $X_0(t) = 1$, що має зображення $X_0(p) = \frac{1}{p}$.

Зображення шуканої похибки:

$$E_0(p) = W_E L(1(t)) = \frac{10(2p^2 + 3p + 1)p}{20p^3 + 50p^2 + 21p + 1} \cdot \frac{1}{p} = \frac{10(2p^2 + 3p + 1)}{20p^3 + 50p^2 + 21p + 1}.$$

Якщо уставлений режим досягається то значення похибки рівне

$$\lim_{t \rightarrow \infty} E_0(t) = \lim_{p \rightarrow 0^+} p E_0(p) = \lim_{p \rightarrow 0^+} p \frac{10(2p^2 + 3p + 1)}{20p^3 + 50p^2 + 21p + 1} = 0.$$

Знайдемо похибку у уставленому режимі при подачі на вхід лінійно зростаючої функції. Така функція у випадку одиначної швидкості зростання може бути записана у просторі оригіналів як $X_1(t) = t$.

$$\text{Зображення даної функції рівне } X_1(p) = \frac{1}{p^2}.$$

Зображення шуканої похибки буде отримано якщо на вхід системи подати відповідну функцію і воно дорівнює:

$$E_1(p) = W_E L(1(t)) = \frac{10(2p^2 + 3p + 1)p}{20p^3 + 50p^2 + 21p + 1} \cdot \frac{1}{p^2} = \frac{10(2p^2 + 3p + 1)}{(20p^3 + 50p^2 + 21p + 1)p}.$$

Якщо уставлений режим досягається то значення похибки рівне

$$\lim_{t \rightarrow \infty} E_1(t) = \lim_{p \rightarrow 0^+} p E_1(p) = \lim_{p \rightarrow 0^+} p \frac{10(2p^2 + 3p + 1)}{(20p^3 + 50p^2 + 21p + 1)p} = 10.$$

Знайдемо похибку у уставленому режимі при подачі на вхід квадратично зростаючої функції. Така функція у випадку одиначної прискорення зростання може бути записана у просторі оригіналів як: $X_2(t) = \frac{t^2}{2}$. Зображення даної функції рівне $X_2(p) = \frac{1}{p^3}$.

Зображення шуканої похибки буде отримано якщо на вхід системи подати відповідну функцію і воно дорівнює.

$$E_2(p) = W_E L(1_2(t)) = \frac{10(2p^2 + 3p + 1)p}{20p^3 + 50p^2 + 21p + 1} \cdot \frac{1}{p^3} = \frac{10(2p^2 + 3p + 1)}{(20p^3 + 50p^2 + 21p + 1)p^2}$$

Якщо уставлений режим досягається то значення похибки рівне:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} E_2(t) = \lim_{p \rightarrow 0^+} p E_2(p) = \lim_{p \rightarrow 0^+} p \frac{10(2p^2 + 3p + 1)}{p^2(20p^3 + 50p^2 + 21p + 1)} = \infty$$

Отже у останньому варіанті похибка у уставленому режимі рівна нескінченності.

Задача 18

Використовуючи критерій Найквіста на основі аналізу АФЧХ проаналізувати стійкість системи, що задана передавальною функцією у розімкненому стані. Вважати, що система має одиничний від'ємний зворотній зв'язок. Варіанти завдання наведені в таблиці Д 18.

Нехай задана передавальна функція у розімкненому стані рівна

$$W_p(p) = \frac{-2p + 2}{(2p + 1)(4p^2 + 2p + 1)}$$

Легко бачити, що передавальна функція системи в розімкнутому стані має полюса із від'ємними дійсними частинами.

Тепер переходимо до аналізу системи у замкнутому стані. Замінюючи p на $j\omega$ переходимо до комплексної передавальної функції розімкнутої системи.

$$W_p(j\omega) = \frac{-2j\omega + 2}{(2j\omega + 1)(-4\omega^2 + 2j\omega + 1)}$$

Будуємо АФЧХ системи по точках.

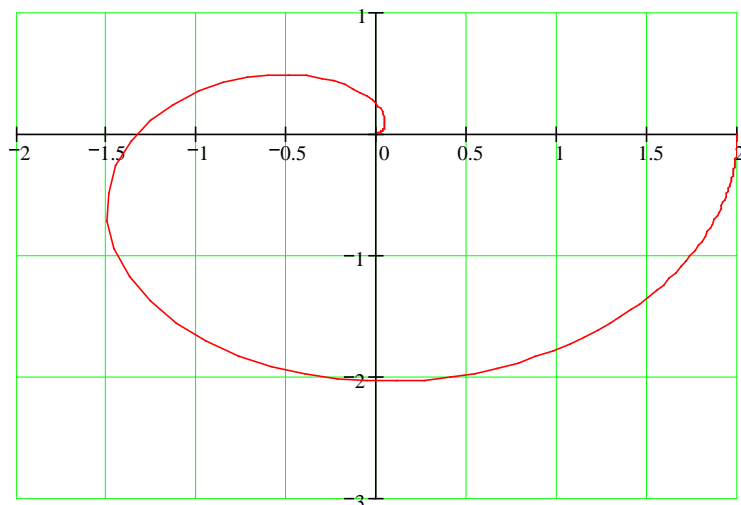


Рис. 37

Так як система у розімкнутому стані стійка, а АФЧХ розімкнутої системи охоплює точку на комплексній площині із координатами (-1,0) система у замкнутому стані є нестійкою.

Задача 19

Використовуючи критерій Найквіста на основі аналізу АФЧХ проаналізувати стійкість системи, що задана передавальною функцією у розімкненому стані. Вважати, що система має одиничний від'ємний зворотній зв'язок. Варіанти завдання наведені в таблиці Д 19.

Нехай задана передавальна функція у розімкненому стані рівна

$$W_p(p) = \frac{5(p^2 - p + 1)}{(p + 1)(p^2 + 8p + 1)}$$

Легко бачити, що передавальна функція системи в розімкнутому стані має полюса із від'ємними дійсними частинами, тому система у розімкненому стані -стійка.

Переходимо до аналізу системи у замкнутому стані. Замінюючи p на $j\omega$ переходимо до комплексної передавальної функції розімкнутої системи.

$$W_p(j\omega) = \frac{5(-\omega^2 - j\omega + 1)}{(j\omega + 1)(-\omega^2 + 8j\omega + 1)}$$

Будуємо АФЧХ системи по точках.

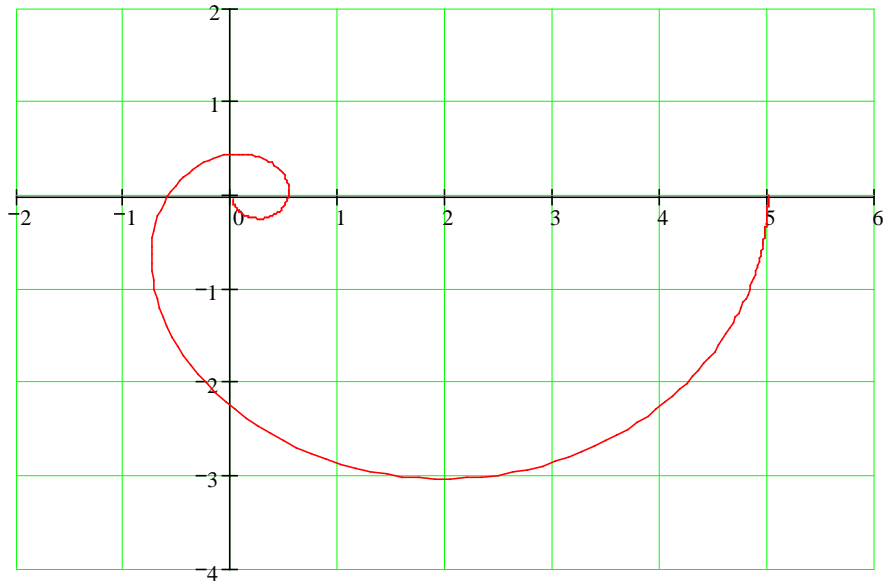


Рис. 38

Так як система у розімкнутому стані стійка, а АФЧХ розімкнутої системи не охоплює точку на комплексній площині із координатами (-1,0) система у замкнутому стані є стійкою.

Задача 20

Використовуючи критерій на основі аналізу ЛАФЧХ проаналізувати стійкість системи, що задана передавальною функцією у розімкненому стані. Вважати, що система має одиничний від'ємний зворотній зв'язок. Варіанти завдання наведені в таблиці Д 20.

Нехай система має передавальну функцію у розімкнутому стані рівну

$$W_p(p) = \frac{5(3p^2 - p + 1)}{(0.1p + 1)(7p + 1)(3p + 1)}$$

Легко бачити, що система у розімкнутому стані є стійкою.

Відповідна комплексна передавальна функція рівна

$$W_p(j\omega) = \frac{5(-3\omega^2 - j\omega + 1)}{(0.1j\omega + 1)(7j\omega + 1)(3j\omega + 1)}$$

ЛАЧХ визначається за формулою

$$L(\omega) = 20 \lg \left| \frac{5(-3\omega^2 - j\omega + 1)}{(0.1j\omega + 1)(7j\omega + 1)(3j\omega + 1)} \right|$$

після перетворень отримаємо

$$L(\omega) = 20 \lg(5) + 10 \lg \left((1 - 3\omega^2)^2 + \omega^2 \right) - 10 \lg(1 + 0.01\omega^2) - 10 \lg(1 + 49\omega^2) - 10 \lg(1 + 9\omega^2)$$

ЛФЧХ визначається за формулою

$$\Psi(\omega) = \arg \left(\frac{5(-3\omega^2 - j\omega + 1)}{(0.1j\omega + 1)(7j\omega + 1)(3j\omega + 1)} \right)$$

$$\Psi(\omega) = \arg(-3\omega^2 - j\omega + 1) - \arg(0.1j\omega + 1) - \arg(7j\omega + 1) - \arg(3j\omega + 1)$$

Будуємо на одному графіку ЛАЧХ та ЛФЧХ. Так як у точці де фаза рівна 180 градусів, ЛФЧХ менше 0 система стійка.

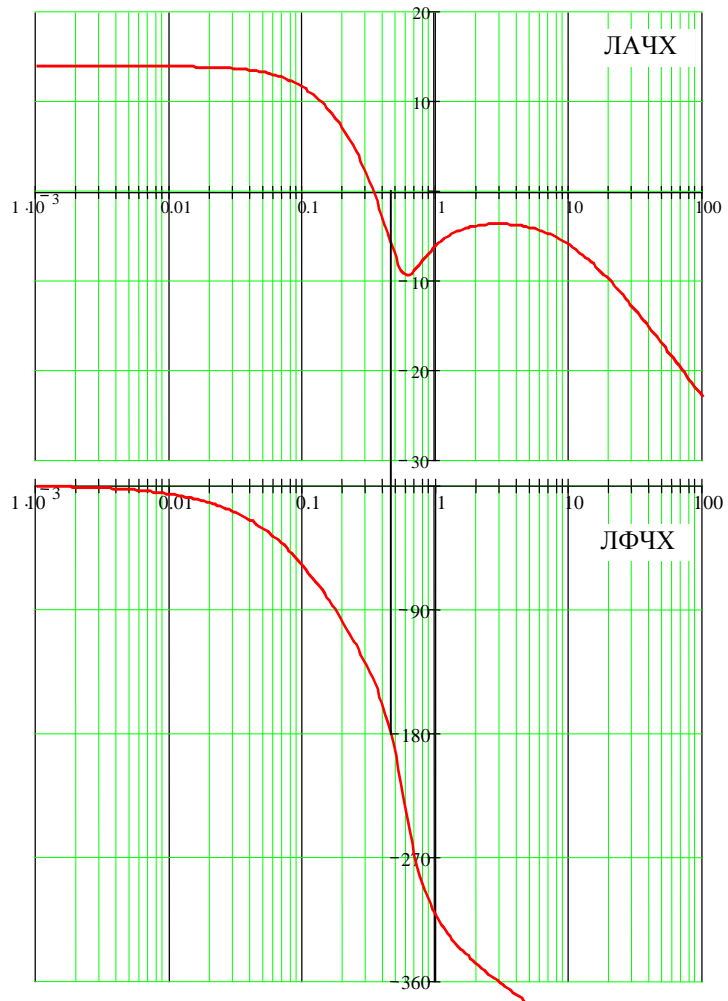


Рис. 39. ЛАЧХ та ЛФЧХ стійкої системи.

ДОДАТОК 1. ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

Задача 1

Знайти передавальну функцію послідовного з'єднання ланок заданого типу з заданими параметрами. Варіанти завдання наведені в таблиці Д 1.

Таблиця Д 1

№	Перша ланка			Друга ланка		
	Тип	k	T, с	Тип	k	T, с
1	Аперіодична	5	0,1	Реальна диференціююча	0,2	0,1
2	Реальна інтегруюча	2	0,1	Реальна інтегруюча	30	0,4
3	Реальна диференціююча	3	0,01	Аперіодична	25	0,1
4	Аперіодична	4	0,01	Реальна інтегруюча	10	0,4
5	Реальна інтегруюча	5	1	Реальна інтегруюча	25	0,5
6	Пропорційна	4	1	Коливальна ($\xi = 0.1$)	35	0,5
7	Аперіодична	3	10	Реальна диференціююча	40	100
8	Реальна диференціююча	20	10	Реальна диференціююча	5	10
9	Реальна інтегруюча	15	0,1	Реальна інтегруюча	4	0,1
10	Аперіодична	25	0,1	Реальна диференціююча	3	0,5
11	Реальна інтегруюча	30	100	Аперіодична	2	0,1
12	Реальна диференціююча	4	100	Аперіодична	1	0,1
13	Аперіодична	5	1	Ідеальна інтегруюча	2	-
14	Реальна інтегруюча	4	1	Реальна інтегруюча	3	0,01
15	Реальна диференціююча	3	0,3	Реальна диференціююча	4	100
16	Аперіодична	10	0,1	Реальна інтегруюча	30	0,1
17	Реальна інтегруюча	15	0,01	Ідеальна інтегруюча	40	-
18	Реальна диференціююча	20	0,1	Реальна диференціююча	50	0,01
19	Аперіодична	25	0,01	Реальна диференціююча	60	100
20	Аперіодична	30	0,1	Реальна інтегруюча	100	0,1

Задача 2.

Знайти передавальну функцію паралельного з'єднання ланок заданого типу з заданими параметрами. Варіанти завдання наведені в таблиці Д 2.

Таблиця Д 2

№	Перша ланка			Друга ланка		
	Тип	k	T, с	Тип	k	T, с
1	Аперіодична	4	1	Реальна інтегруюча	3	0,5
2	Реальна диференціююча	3	0,01	Аперіодична	25	0,1
3	Коливальна ($\xi = 0.1$)	4	0,01	Реальна інтегруюча	10	0,3
4	Реальна інтегруюча	5	1	Коливальна ($\xi = 0.1$)	25	0,5
5	Реальна диференціююча	4	1	Аперіодична	35	0,5
6	Аперіодична	3	10	Реальна диференціююча	40	100
7	Реальна диференціююча	20	10	Реальна диференціююча	5	10
8	Реальна інтегруюча	15	0,1	Реальна інтегруюча	4	0,1
9	Аперіодична	25	0,1	Реальна диференціююча	3	1,5
10	Реальна інтегруюча	30	100	Аперіодична	2	0,1
11	Реальна диференціююча	4	100	Аперіодична	1	0,1
12	Аперіодична	5	1	Аперіодична	2	10
13	Реальна інтегруюча	4	1	Реальна інтегруюча	3	0,01
14	Реальна диференціююча	3	1,5	Аперіодична	4	100
15	Аперіодична	10	0,1	Реальна інтегруюча	30	0,1
16	Реальна інтегруюча	15	0,01	Аперіодична	40	10
17	Коливальна ($\xi = 0.1$)	20	0,1	Реальна диференціююча	50	0,01
18	Аперіодична	25	0,01	Реальна диференціююча	60	100
19	Аперіодична	30	0,1	Аперіодична	100	0,1

№	Перша ланка			Друга ланка		
	Тип	k	T, с	Тип	k	T, с
20	Реальна інтегруюча	10	10	Аперіодична	100	100

Задача 3

Знайти передавальну функцію з'єднання ланок із позитивним (додатнім) зворотнім зв'язком. Параметри ланок задані у таблиці Д 3.

Таблиця Д 3

№	Перша ланка			Друга ланка		
	Тип	k	T, с	Тип	k	T, с
1	Реальна інтегруюча	4	0,5	Аперіодична	1	0,5
2	Реальна інтегруюча	10	10	Реальна інтегруюча	100	100
3	Реальна диференціююча	3	0,01	Аперіодична	25	0,1
4	Аперіодична	4	0,01	Реальна інтегруюча	10	0,1
5	Реальна інтегруюча	5	1	Реальна інтегруюча	25	0,5
6	Реальна диференціююча	4	1	Аперіодична	35	0,5
7	Аперіодична	3	10	Реальна диференціююча	40	100
8	Реальна диференціююча	20	10	Реальна диференціююча	5	10
9	Коливальна ($\xi = 0.4$)	15	0,1	Ідеальна інтегруюча	4	0,1
10	Коливальна ($\xi = 0.2$)	25	0,1	Реальна диференціююча	3	2
11	Реальна інтегруюча	30	100	Аперіодична	2	0,1
12	Реальна диференціююча	4	100	Аперіодична	1	0,1
13	Аперіодична	5	1	Аперіодична	2	10
14	Реальна інтегруюча	4	1	Реальна інтегруюча	3	0,01
15	Реальна диференціююча	3	0,1	Аперіодична	4	100
16	Аперіодична	10	0,1	Реальна інтегруюча	30	0,1
17	Реальна інтегруюча	15	0,01	Аперіодична	40	10
18	Реальна диференціююча	20	0,1	Реальна диференціююча	50	0,01
19	Аперіодична	25	0,01	Реальна диференціююча	60	100
20	Аперіодична	30	0,1	Аперіодична	100	0,1

Задача 4

Знайти передавальну функцію з'єднання ланок із негативним (від'ємним) зворотнім зв'язком. Параметри ланок задані у таблиці Д 4.

Таблиця Д 4

№	Перша ланка			Друга ланка		
	Тип	k	T, с	Тип	k	T, с
1	Аперіодична	100	0,1	Реальна диференціююча	10	10
2	Ідеальна диференціююча	10	-	Аперіодична	1	100
3	Аперіодична	100	0,1	Реальна інтегруюча	10	0,1
4	Реальна інтегруюча	1000	0,01	Аперіодична	100	10
5	Реальна диференціююча	0,1	0,1	Реальна диференціююча	1000	0,01
6	Аперіодична	0,01	0,1	Коливальна ($\xi = 0.1$)	0,1	1
7	Реальна інтегруюча	1	10	Реальна інтегруюча	0,01	100
8	Ідеальна диференціююча	10	-	Аперіодична	1	2
9	Аперіодична	100	0,01	Реальна інтегруюча	10	4
10	Реальна інтегруюча	1000	1	Реальна інтегруюча	100	0,5
11	Реальна диференціююча	0,1	1	Аперіодична	1000	0,5
12	Аперіодична	0,01	10	Реальна диференціююча	0,1	100
13	Реальна інтегруюча	1	100	Аперіодична	0,01	0,1
14	Реальна диференціююча	10	100	Аперіодична	1	0,1
15	Аперіодична	100	1	Ідеальна інтегруюча	10	-
16	Реальна інтегруюча	1000	1	Коливальна ($\xi = 0.1$)	100	0,01
17	Реальна інтегруюча	0,1	100	Аперіодична	1000	0,1

№	Перша ланка			Друга ланка		
	Тип	k	T, с	Тип	k	T, с
18	Реальна диференціююча	0,01	100	Аперіодична	0,1	0,1
19	Аперіодична	1	1	Аперіодична	0,01	10
20	Реальна інтегруюча	10	1	Реальна інтегруюча	1	0,01

Задача 5

Знайти ЛАЧХ послідовного з'єднання ланок заданого типу з заданими параметрами. Варіанти завдання наведені в таблиці Д 5.

Таблиця Д 5

№	Перша ланка			Друга ланка		
	Тип	k	T, сек	Тип	k	T, сек
1	Реальна диференціююча	10	10	Аперіодична	100	0,1
2	Аперіодична	1	100	Реальна диференціююча	10	4
3	Реальна інтегруюча	10	0,1	Аперіодична	100	0,1
4	Аперіодична	100	10	Реальна інтегруюча	1000	0,01
5	Реальна диференціююча	1000	0,01	Реальна диференціююча	0,1	0,1
6	Реальна диференціююча	0,1	1	Аперіодична	0,01	0,1
7	Коливальна ($\xi = 0.3$)	0,01	100	Ідеальна інтегруюча	1	10
8	Аперіодична	1	2	Реальна диференціююча	10	0,01
9	Коливальна ($\xi = 0.1$)	10	4	Аперіодична	100	0,01
10	Реальна інтегруюча	100	0,5	Реальна інтегруюча	1000	1
11	Аперіодична	1000	0,5	Реальна диференціююча	0,1	1
12	Реальна диференціююча	0,1	100	Аперіодична	0,01	10
13	Аперіодична	0,01	0,1	Реальна інтегруюча	1	100
14	Коливальна ($\xi = 0.1$)	1	0,1	Реальна диференціююча	10	100
15	Аперіодична	10	10	Аперіодична	100	1
16	Реальна інтегруюча	100	0,01	Реальна інтегруюча	1000	1
17	Аперіодична	1000	0,1	Реальна інтегруюча	0,1	100
18	Аперіодична	0,1	0,1	Реальна диференціююча	0,01	100
19	Аперіодична	0,01	10	Аперіодична	1	1
20	Реальна інтегруюча	1	0,01	Реальна інтегруюча	10	1

Задача 6.

Накреслити ЛФЧХ для послідовного з'єднання двох ланок заданого типу з заданими параметрами. Варіанти наведені в табл. Д 6.

Таблиця Д 6

№	Перша ланка			Друга ланка		
	Тип	k	T, с	Тип	k	T, с
1	Реальна диференціююча	10	10	Реальна диференціююча	10	4
2	Аперіодична	1	100	Коливальна ($\xi = 0.3$)	100	0,5
3	Реальна інтегруюча	10	0,1	Аперіодична	1000	0,5
4	Аперіодична	100	10	Коливальна ($\xi = 0.1$)	0,1	100
5	Реальна диференціююча	1000	0,01	Реальна інтегруюча	0,01	0,1
6	Реальна диференціююча	0,1	1	Аперіодична	1	0,1
7	Коливальна ($\xi = 0.3$)	0,01	100	Реальна диференціююча	10	10
8	Аперіодична	1	2	Аперіодична	100	0,01
9	Коливальна ($\xi = 0.1$)	10	4	Коливальна ($\xi = 0.1$)	1000	0,1
10	Реальна інтегруюча	100	0,5	Аперіодична	0,1	0,1
11	Аперіодична	1000	0,5	Аперіодична	100	0,1
12	Реальна диференціююча	0,1	100	Реальна інтегруюча	1000	0,01
13	Аперіодична	0,01	0,1	Реальна диференціююча	0,1	0,1
14	Аперіодична	0,01	10	Аперіодична	0,01	0,1
15	Реальна інтегруюча	1	100	Реальна інтегруюча	1	10

№	Перша ланка			Друга ланка		
	Тип	k	T, c	Тип	k	T, c
16	Реальна диференціююча	10	100	Ідеальна диференціююча	10	-
17	Аперіодична	100	1	Аперіодична	100	0,01
18	Реальна інтегруюча	1000	1	Реальна інтегруюча	1000	1
19	Реальна інтегруюча	0,1	100	Реальна диференціююча	0,1	1
20	Реальна диференціююча	0,01	100	Аперіодична	0,01	10

Задача 7.

Накреслити АФЧХ для послідовного з'єднання двох ланок заданого типу з заданими параметрами. Варіанти наведені в табл. Д 7.

Таблиця Д 7

№	Перша ланка			Друга ланка		
	Тип	k	T, c	Тип	k	T, c
1	Коливальна ($\xi = 0.4$)	25	0,1	Ідеальна інтегруюча	4	0,1
2	Коливальна ($\xi = 0.2$)	30	100	Реальна диференціююча	3	2
3	Реальна інтегруюча	4	100	Аперіодична	2	0,1
4	Реальна диференціююча	5	1	Аперіодична	1	0,1
5	Аперіодична	4	1	Аперіодична	2	10
6	Реальна інтегруюча	3	0,1	Реальна інтегруюча	3	0,01
7	Реальна диференціююча	10	0,1	Аперіодична	4	100
8	Аперіодична	15	0,01	Реальна інтегруюча	30	0,1
9	Реальна інтегруюча	20	0,1	Аперіодична	40	10
10	Коливальна ($\xi = 0.4$)	25	0,01	Ідеальна інтегруюча	4	-
11	Коливальна ($\xi = 0.2$)	15	0,1	Реальна диференціююча	3	2
12	Реальна інтегруюча	25	0,1	Аперіодична	2	0,1
13	Реальна диференціююча	30	100	Аперіодична	1	0,1
14	Аперіодична	4	100	Аперіодична	2	10
15	Реальна інтегруюча	5	1	Реальна інтегруюча	3	0,01
16	Реальна диференціююча	4	1	Аперіодична	4	100
17	Аперіодична	3	0,1	Реальна інтегруюча	30	0,1
18	Реальна інтегруюча	10	0,1	Аперіодична	40	10
19	Реальна диференціююча	15	0,01	Реальна диференціююча	50	0,01
20	Аперіодична	15	0,1	Реальна диференціююча	60	100

Задача 8.

Накреслити АФЧХ для паралельного з'єднання двох заданих ланок. Варіанти подані в табл. Д 8.

Таблиця Д 8

№	Перша ланка			Друга ланка		
	Тип	k	T, c	Тип	k	T, c
1	Реальна інтегруюча	20	0,1	Аперіодична	40	10
2	Коливальна ($\xi = 0.4$)	25	0,01	Ідеальна інтегруюча	4	-
3	Коливальна ($\xi = 0.2$)	15	0,1	Реальна диференціююча	3	2
4	Реальна інтегруюча	25	0,1	Аперіодична	2	0,1
5	Реальна диференціююча	30	100	Аперіодична	1	0,1
6	Аперіодична	4	100	Аперіодична	2	10
7	Реальна інтегруюча	5	1	Реальна інтегруюча	3	0,01
8	Реальна диференціююча	4	1	Аперіодична	4	100
9	Аперіодична	3	0,1	Реальна інтегруюча	30	0,1
10	Реальна інтегруюча	10	0,1	Аперіодична	40	10
11	Реальна диференціююча	15	0,01	Реальна диференціююча	50	0,01
12	Аперіодична	15	0,1	Реальна диференціююча	60	100
13	Коливальна ($\xi = 0.4$)	25	0,1	Ідеальна інтегруюча	4	0,1

№	Перша ланка			Друга ланка		
	Тип	k	T, с	Тип	k	T, с
14	Коливальна ($\xi = 0.2$)	30	100	Реальна диференціююча	3	2
15	Реальна інтегруюча	4	100	Аперіодична	2	0,1
16	Реальна диференціююча	5	1	Аперіодична	1	0,1
17	Аперіодична	4	1	Аперіодична	2	10
18	Реальна інтегруюча	3	0,1	Реальна інтегруюча	3	0,01
19	Реальна диференціююча	10	0,1	Аперіодична	4	100
20	Аперіодична	15	0,01	Реальна інтегруюча	30	0,1

Задача 9

Спростити функціональну схему системи і знайти передавальну функцію. Варіанти завдання наведені в таблиці Д 9.

Таблиця Д 9

№	Схема
1	
2	
3	
4	
5	
6	

№	Схема
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	

№	Схема
15	
16	
17	
18	
19	
20	

Задача 10.

Знайти передавальну функцію системи за задаючим X та за збурюючим впливом f .
Варіанти завдання наведені в таблиці Д 10.

Таблиця Д 10

№	Схема
1	
2	

№	Схема
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	

№	Схема
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	

Задача 11

Проаналізувати стійкість системи з заданою передавальною функцією замкнутої системи за допомогою алгебраїчного критерію стійкості Гурвіца. Варіанти завдання наведені в таблиці Д 11.

Таблиця Д 11

№	Передавальна функція	№	Передавальна функція
1	$W(p) = \frac{p+1}{30p^4 + 20p^3 + 20p^2 + 10p + 1}$	11	$W(p) = \frac{8p^3 + 1}{p^4 + 5p^3 + 5p^2 + 4p + 1}$
2	$W(p) = \frac{5p^2 + 7}{10p^4 + 10p^3 + 10p^2 + 10p + 2}$	12	$W(p) = \frac{7p^3 + 17}{2p^4 + 2p^3 + 2p^2 + 3p + 3}$
3	$W(p) = \frac{p+1}{7p^4 + 2p^3 + 10p^2 + p + 1}$	13	$W(p) = \frac{3p^2 + 4p + 6}{p^4 + 5p^3 + 4p^2 + 3p + 10}$
4	$W(p) = \frac{p+1}{3p^3 + 3p^2 + 2p + 1}$	14	$W(p) = \frac{7p^3 + 10}{2p^4 + 2p^3 + 2p^2 + 4p + 2}$
5	$W(p) = \frac{p+1}{7p^4 + 2p^3 + 10p^2 + p + 1}$	15	$W(p) = \frac{10(7p^3 + 1)}{p^4 + 5p^3 + 5p^2 + 4p + 1}$
6	$W(p) = \frac{4p^2 + 2}{4p^4 + 7p^3 + 2p^2 + p + 3}$	16	$W(p) = \frac{5p + 1}{p^4 + p^3 + 7p^2 + 3p + 1}$
7	$W(p) = \frac{10p + 1}{p^4 + p^3 + 8p^2 + p + 1}$	17	$W(p) = \frac{5p + 1}{p^4 + p^3 + 8p^2 + 4p + 1}$
8	$W(p) = \frac{3p + 1}{p^4 + p^3 + 6p^2 + 3p + 1}$	18	$W(p) = \frac{3p^2 + 3p + 1}{p^4 + 2p^3 + 4p^2 + 3p + 1}$
9	$W(p) = \frac{7p + 1}{2p^4 + 2p^3 + 5p^2 + 4p + 1}$	19	$W(p) = \frac{5p + 5}{p^4 + p^3 + 7p^2 + 3p + 15}$
10	$W(p) = \frac{3p^2 + 3p + 7}{p^4 + p^3 + 4p^2 + 3p + 5}$	20	$W(p) = \frac{3p^2 + 3p + 2}{p^4 + 2p^3 + 4p^2 + 3p + 5}$

Задача 12

Знайти характеристичне рівняння і проаналізувати за допомогою алгебраїчного критерію стійкості Гурвіца стійкість системи з одиничним зворотнім зв'язком, якщо задано передавальну функцію розімкнутої системи. Варіанти завдання наведені в таблиці Д 12.

Таблиця Д 12

№	Передавальна функція	№	Передавальна функція
1	$W(p) = \frac{10p^2 + 5p + 1}{p^3 + 2p^2 + 3p + 5}$	11	$W(p) = \frac{p^2 + 17p + 2}{p^3 + p^2 + 8p + 1}$
2	$W(p) = \frac{p^2 + 4p + 1}{p^3 + p^2 + 8p + 1}$	12	$W(p) = \frac{p^2 + 5p + 20}{p^3 + p^2 + 8p + 1}$
3	$W(p) = \frac{p^2 + 4p + 20}{p^3 + p^2 + 8p + 10}$	13	$W(p) = \frac{p^2 + 2p + 1}{p^3 + 3p^2 + 8p + 1}$
4	$W(p) = \frac{p^2 + p + 5}{p^3 + 3p^2 + p + 10}$	14	$W(p) = \frac{5}{p^3 + 3p^2 + p + 2}$
5	$W(p) = \frac{p^2 + 2p + 20}{p^3 + 2p^2 + 4p + 1}$	15	$W(p) = \frac{p^2 + 3p + 1}{p^3 + 4p^2 + 4p + 1}$
6	$W(p) = \frac{3p + 2}{p^4 + 2p^3 + 4p^2 + 4p + 2}$	16	$W(p) = \frac{3p + 1}{p^4 + 4p^3 + 4p^2 + 4p + 1}$

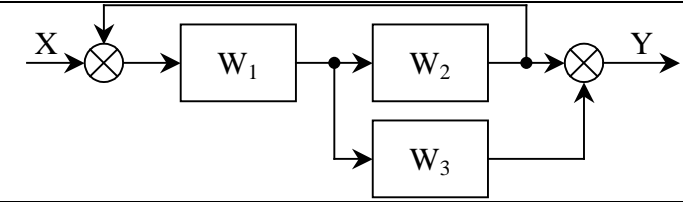
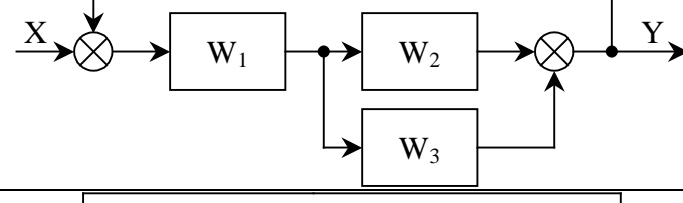
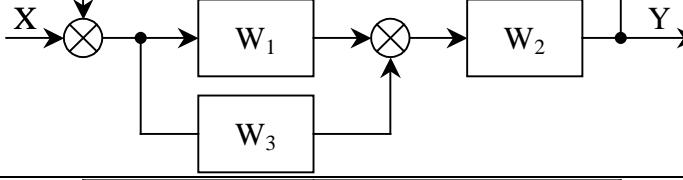
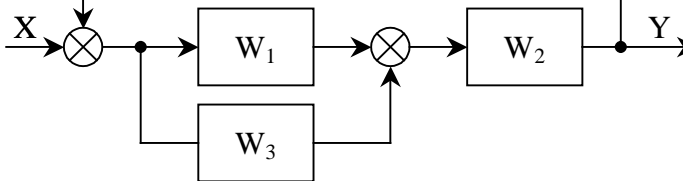
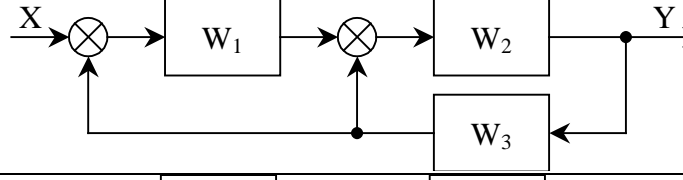
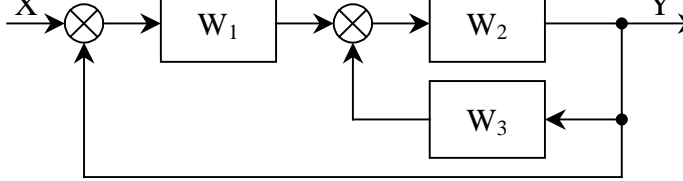
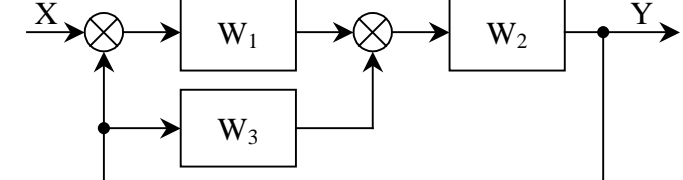
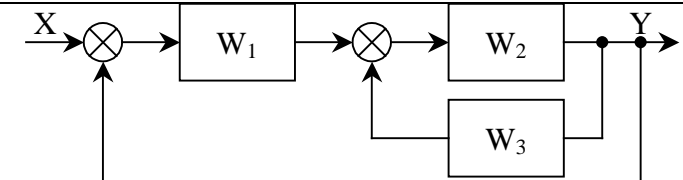
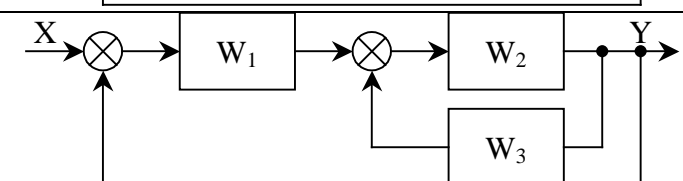
№	Передавальна функція	№	Передавальна функція
7	$W(p) = \frac{2}{p^4 + 4p^3 + p^2 + 4p + 2}$	17	$W(p) = \frac{2p + 1}{p^4 + 4p^3 + 5p^2 + 4p + 1}$
8	$W(p) = \frac{p}{p^4 + 4p^3 + 6p^2 + 4p + 1}$	18	$W(p) = \frac{2p^3 + 2p^2 + p}{p^4 + 4p^3 + 6p^2 + 4p + 1}$
9	$W(p) = \frac{p + 1}{p^4 + 2p^3 + 3p^2 + 2p + 1}$	19	$W(p) = \frac{p + 2}{p^4 + 2p^3 + 3p^2 + 2p + 2}$
10	$W(p) = \frac{3p^2 + 1}{p^4 + p^3 + p^2 + p + 1}$	20	$W(p) = \frac{3p^2 + 1}{4p^4 + 4p^3 + 4p^2 + 4p + 1}$

Задача 13

Проаналізувати стійкість системи із заданою структурною схемою. Варіанти завдання наведені в таблиці Д 13.

Таблиця Д 13

№	Схема	Ланки			
		Тип	k	T	
1		W1	Р І	3	5
		W2	Р І	10	7
		W3	А	2	3
2		W1	А	2	4
		W2	Р І	5	10
		W3	Р І	4	7
3		W1	Р Д	10	3
		W2	Р І	10	2
		W3	А	2	10
4		W1	Р Д	5	3
		W2	Р І	3	4
		W3	А	2	5
5		W1	П	10	-
		W2	І І	6	-
		W3	А	20	2
6		W1	А	10	7
		W2	Р Д	1	10
		W3	П	10	-
7		W1	Р Д	1	8
		W2	А	12	3
		W3	Р І	5	10

№	Схема	Ланки			
		Тип	k	T	
8		W ₁	А	7	9
		W ₂	РД	2	10
		W ₃	П	2	5
9		W ₁	А	3	3
		W ₂	РД	3	20
		W ₃	А	3	2
10		W ₁	А	2	2
		W ₂	РІ	4	2
		W ₃	А	4	1
11		W ₁	А	3	5
		W ₂	П	4	-
		W ₃	РД	3	5
12		W ₁	П	3	-
		W ₂	А	3	1
		W ₃	РД	2	4
13		W ₁	РІ	5	10
		W ₂	А	1	2
		W ₃	П	2	-
14		W ₁	РД	1	2
		W ₂	ІІ	2	-
		W ₃	П	10	-
15		W ₁	П	10	-
		W ₂	РД	3	4
		W ₃	А	5	10
16		W ₁	А	4	4
		W ₂	РІ	10	4
		W ₃	РД	3	8

№	Схема	Ланки			
		Тип	k	T	
17		W1	П	5	-
		W2	А	10	4
		W3	Р І	4	2
18		W1	П	20	-
		W2	І Д	8	-
		W3	Р Д	5	10
19		W1	А	7	2
		W2	Р Д	10	10
		W3	Р І	20	2
20		W1	Р Д	4	3
		W2	А	4	4
		W3	А	3	8

Задача 14

Провести аналіз системи на стійкість за критерієм Михайлова, якщо задане характеристичне рівняння системи у замкнутому стані. Варіанти завдання наведені в таблиці Д 14.

Таблиця Д 14

№	Характеристичне рівняння	№	Характеристичне рівняння
1	$D(p) = 2p^4 + p^3 + 4p^2 + 2p + 2$	11	$D(p) = p^5 + p^4 + p^3 + 4p^2 + 5p + 2$
2	$D(p) = p^5 + p^4 + p^3 + 4p^2 + 2p + 2$	12	$D(p) = p^5 + 5p^4 + 5p^3 + 4p^2 + 5p + 1$
3	$D(p) = p^5 + 3p^4 + 5p^3 + 4p^2 + 2p + 2$	13	$D(p) = p^5 + 5p^4 + 8p^3 + 4p^2 + 5p + 2$
4	$D(p) = p^5 + 3p^4 + 4p^3 + 6p^2 + 2p + 1$	14	$D(p) = p^4 + 5p^3 + 4p^2 + 2p + 1$
5	$D(p) = 10p^5 + 30p^4 + 30p^3 + 30p^2 + 10p + 1$	15	$D(p) = p^5 + 5p^4 + 8p^3 + 5p^2 + 5p + 1$
6	$D(p) = p^5 + 3p^4 + 4p^3 + 6p^2 + 2p + 1$	16	$D(p) = 5p^4 + 8p^3 + 5p^2 + 5p + 2$
7	$D(p) = 3p^5 + 2p^4 + 10p^3 + 5p^2 + 5p + 1$	17	$D(p) = 3p^5 + 2p^4 + 10p^3 + 5p^2 + 5p + 3$
8	$D(p) = 2p^5 + 2p^4 + 9p^3 + 5p^2 + 4p + 1$	18	$D(p) = 2p^5 + 2p^4 + 9p^3 + 5p^2 + 4p + 3$
9	$D(p) = p^5 + 3p^4 + 9p^3 + 4p^2 + 4p + 1$	19	$D(p) = p^5 + 3p^4 + 9p^3 + 4p^2 + 4p + 2$
10	$D(p) = p^5 + 5p^4 + 10p^3 + 4p^2 + 5p + 2$	20	$D(p) = p^5 + 2p^4 + 4p^3 + 1p^2 + 2p + 3$

Задача 15

Провести аналіз системи на стійкість за критерієм Михайлова, якщо задана передавальна функція системи у замкнутому стані. Варіанти завдання наведені в таблиці Д 15.

Таблиця Д 15

№	Передавальна функція	№	Передавальна функція
1	$W(p) = \frac{2p^2 + 7p + 4}{p^5 + 2p^4 + 3p^3 + 4p^2 + 5p + 6}$	11	$W(p) = \frac{3p^2 + p + 8}{2p^4 + p^3 + p^2 + 2p + 3}$
2	$W(p) = \frac{21}{p^5 + 3p^4 + 5p^3 + 4p^2 + 2p + 1}$	12	$W(p) = \frac{22p + 1}{p^5 + p^4 + 5p^3 + 3p^2 + 2p + 1}$
3	$W(p) = \frac{18p + 10}{3p^5 + p^4 + 10p^3 + 4p^2 + 4p + 2}$	13	$W(p) = \frac{11p + 1}{p^5 + p^4 + 10p^3 + 4p^2 + 4p + 1}$
4	$W(p) = \frac{1}{10p^5 + 30p^4 + 30p^3 + 30p^2 + 10p + 1}$	14	$W(p) = \frac{2}{2p^4 + 5p^3 + 4p^2 + 4p + 2}$

№	Передавальна функція	№	Передавальна функція
5	$W(p) = \frac{6p+1}{p^5+2p^4+4p^3+6p^2+p+1}$	15	$W(p) = \frac{3p^2+1}{2p^4+5p^3+4p^2+4p+1}$
6	$W(p) = \frac{10p^2+1}{10p^5+20p^4+20p^3+20p^2+2p+1}$	16	$W(p) = 10 \frac{2p+4}{2p^5+p^4+4p^3+6p^2+2p+4}$
7	$W(p) = \frac{23p}{p^5+5p^4+10p^3+10p^2+5p+1}$	17	$W(p) = 2 \frac{p^2+1}{2p^5+2p^4+5p^3+4p^2+2p+1}$
8	$W(p) = \frac{p-1}{3p^5+3p^4+6p^3+4p^2+2p+1}$	18	$W(p) = \frac{14p+2}{p^5+p^4+p^3+p^2+p+7}$
9	$W(p) = \frac{0.01p+1}{5p^4+8p^3+5p^2+5p+1}$	19	$W(p) = \frac{12p+1}{p^5+p^4+5p^3+3p^2+2p+2}$
10	$W(p) = 15 \frac{p+1}{2p^5+3p^4+6p^3+4p^2+2p+1}$	20	$W(p) = \frac{33p+3}{2p^5+6p^4+p^3+2p^2+3p+2}$

Задача 16

Провести аналіз системи на стійкість за критерієм Михайлова, якщо задана передавальна функція системи у розімкнутому стані і відомо, що система охоплена одиничним від'ємним зворотнім зв'язком. Варіанти завдання наведені в таблиці Д 16.

Таблиця Д 16

№	Передавальна функція	№	Передавальна функція
1	$W_p(p) = \frac{p^3+p^2+2p+1}{5p^4+10p^3+10p^2+5p+1}$	11	$W_p(p) = \frac{p^3+p^2+2p+1}{3p^4+4p^3+3p^2+5p+1}$
2	$W_p(p) = \frac{p^3+2p+1}{p^4+2p^3+4p^2+3p+1}$	12	$W_p(p) = \frac{2p+1}{p^4+2p^3+4p^2+3p+1}$
3	$W_p(p) = 8 \frac{p^2+p+1}{p^4+4p^3+2p^2+4p+1}$	13	$W_p(p) = \frac{5p^2+p+3}{7p^4+2p^3+2p^2+p+2}$
4	$W_p(p) = 5 \frac{-p^2+2}{3p^4+p^3+20p^2+3p+1}$	14	$W_p(p) = \frac{2p^2+2}{3p^4+p^3+7p^2+3p+2}$
5	$W_p(p) = 5 \frac{4p^2+1}{3p^4+4p^3+5p^2+3p+1}$	15	$W_p(p) = \frac{-20p^2+20}{p^4+2p^3+5p^2+3p+2}$
6	$W_p(p) = \frac{2p^2+1}{p^4+2p^3+5p^2+3p+1}$	16	$W_p(p) = \frac{5p+1}{6p^4+2p^3+5p^2+3p+2}$
7	$W_p(p) = \frac{p+1}{p^4+5p^3+5p^2+4p+1}$	17	$W_p(p) = 3 \frac{p+1}{p^4+2p^3+5p^2+4p+1}$
8	$W_p(p) = \frac{3p+1}{p^4+5p^3+5p^2+4p+1}$	18	$W_p(p) = \frac{2p^3+1}{p^4+3p^3+3p^2+3p+2}$
9	$W_p(p) = 4 \frac{2p+1}{p^4+3p^3+5p^2+p+1}$	19	$W_p(p) = 2 \frac{p+2}{p^4+3p^3+5p^2+p+2}$
10	$W_p(p) = 2 \frac{p+1}{p^4+3p^3+5p^2+2p+1}$	20	$W_p(p) = 4 \frac{p+1}{p^4+3p^3+5p^2+4p+1}$

Задача 17

Визначити похибку системи заданої за допомогою структурної схеми у стаціонарному режимі при дії на вхід системи лінійно зростаючого та одиничного впливів. Варіанти завдання наведені в таблиці Д 17.

Таблица Д 17

№	Схема	Ланки			
		Тип	k	T	
1		W ₁	Р Д	4	3
		W ₂	А	4	4
		W ₃	П	3	-
2		W ₁	А	2	4
		W ₂	П П	5	-
		W ₃	П	1/4	-
3		W ₁	П Д	10	3
		W ₂	П	10	-
		W ₃	А	2	10
4		W ₁	П Д	5	-
		W ₂	Р П	3	4
		W ₃	П	1/2	-
5		W ₁	П	10	-
		W ₂	П П	6	-
		W ₃	А	20	2
6		W ₁	А	10	7
		W ₂	Р Д	1	10
		W ₃	П	10	-
7		W ₁	Р Д	1	8
		W ₂	А	12	3
		W ₃	П	1/5	-
8		W ₁	А	7	9
		W ₂	Р Д	2	10
		W ₃	П	2	-
9		W ₁	П	3	-
		W ₂	Р Д	3	20
		W ₃	А	3	2

№	Схема	Ланки			
		Тип	k	T	
10		W ₁	Р I	3	5
		W ₂	П	10	-
		W ₃	П	1/2	-
11		W ₁	П	2	-
		W ₂	Р I	4	2
		W ₃	A	4	1
12		W ₁	A	3	5
		W ₂	П	4	-
		W ₃	П	1/3	-
13		W ₁	П	3	-
		W ₂	A	3	1
		W ₃	Р Д	2	4
14		W ₁	Р I	5	10
		W ₂	A	1	2
		W ₃	П	2	-
15		W ₁	Р Д	1	2
		W ₂	П I	2	-
		W ₃	П	10	-
16		W ₁	П	10	-
		W ₂	Р Д	3	4
		W ₃	A	5	10
17		W ₁	A	4	4
		W ₂	Р I	10	4
		W ₃	П	3	8
18		W ₁	П	5	-
		W ₂	A	10	4
		W ₃	П	1/4	-

№	Схема	Ланки			
			Тип	k	T
19		W ₁	П	20	-
		W ₂	І Д	8	-
		W ₃	Р Д	5	10
20		W ₁	А	7	2
		W ₂	Р Д	10	10
		W ₃	П	1/20	-

Задача 18

Використовуючи критерій Найквіста на основі аналізу АФЧХ проаналізувати стійкість системи, що задана передавальною функцією у розімкненому стані. Вважати, що система має одиничний від'ємний зворотній зв'язок. Варіанти завдання наведені в таблиці Д 18.

Таблиця Д 18

№	Передавальна функція	№	Передавальна функція
1	$W(p) = \frac{7(3p+1)}{(2p+1)(5p+1)(p^2+1.5p+1)}$	11	$W(p) = 10 \frac{p+1}{(2p+1)(3p^2+2p+1)}$
2	$W(p) = \frac{2(2p+3)}{(5p+1)(p+1)(4p^2+3p+1)}$	12	$W(p) = \frac{10(4p+1)(p+1)}{(2p+1)(5p+1)(p^2+1.5p+1)}$
3	$W(p) = \frac{4(p+2)}{(2p+1)(3p+1)(4p^2+3p+1)}$	13	$W(p) = \frac{4(p+1)}{(2p+1)(3p+1)(4p^2+2p+1)}$
4	$W(p) = \frac{(p+3)}{(0.5p+1)(2p+1)(4p^2+p+1)}$	14	$W(p) = \frac{2(p+1)(5p+1)}{(2p+1)(3p+1)(4p^2+2p+1)}$
5	$W(p) = 2 \frac{(5p+1)}{(0.5p+1)(2p+1)(p^2+p+1)}$	15	$W(p) = \frac{3(p+2)}{(2p+1)^2(9p^2+4.5p+1)}$
6	$W(p) = \frac{3(2p+1)}{(p+1)^2(4p^2+2p+1)}$	16	$W(p) = \frac{3(2p+1)}{(5p+1)(p+1)(4p^2+3p+1)}$
7	$W(p) = \frac{2(p+4)}{(4p+1)(p+1)(4p^2+3p+1)}$	17	$W(p) = 3 \frac{(p+3)}{(0.5p+1)(2p+1)(4p^2+3p+1)}$
8	$W(p) = \frac{2(p+1)}{(2p+1)(3p+1)(4p^2+2p+1)}$	18	$W(p) = \frac{8(4p+1)(p+2)}{(2p+1)(5p+1)(4p^2+p+1)}$
9	$W(p) = \frac{(p+2)}{(p+1)(2p+1)(4p^2+p+1)}$	19	$W(p) = 5 \frac{(3p+2)}{(0.5p+1)(2p+1)(p^2+1.5p+1)}$
10	$W(p) = 2 \frac{3p+1}{(p+1)(5p+1)(p^2+1.5p+1)}$	20	$W(p) = \frac{10(3p+2)}{(2p+1)(5p+1)(p^2+1.5p+1)}$

Задача 19

Використовуючи критерій Найквіста на основі аналізу АФЧХ проаналізувати стійкість системи, що задана передавальною функцією у розімкненому стані. Вважати, що система має одиничний від'ємний зворотній зв'язок. Варіанти завдання наведені в таблиці Д 19.

Таблиця Д 19

№	Передавальна функція	№	Передавальна функція
1	$W(p) = \frac{3(7p+2)}{(0.5p+1)(p+1)(p^2+1.5p+1)}$	11	$W(p) = 9 \frac{(2p+2)}{(0.5p+1)(2p+1)(4p^2+3p+1)}$
2	$W(p) = \frac{(7p+1)}{(0.5p+1)(p+1)(p^2+1.5p+1)}$	12	$W(p) = \frac{2(p+2)}{(2p+1)(3p+1)(4p^2+3p+1)}$

№	Передавальна функція	№	Передавальна функція
3	$W(p) = \frac{3(2p+1)}{(p+1)^2(4p^2+2p+1)}$	13	$W(p) = 3 \frac{(5p+2)}{(0.5p+1)(2p+1)(p^2+p+1)}$
4	$W(p) = \frac{3(p+1)}{(2p+1)^2(9p^2+4.5p+1)}$	14	$W(p) = 2 \frac{(5p+1)}{(0.5p+1)(2p+1)(p^2+p+1)}$
5	$W(p) = \frac{2(p+4)}{(4p+1)(p+1)(4p^2+3p+1)}$	15	$W(p) = 1.5 \frac{(p+1)}{(2p+1)^2(4p^2+p+1)}$
6	$W(p) = 5 \frac{(5p+2)}{(0.5p+1)(2p+1)(p^2+1.5p+1)}$	16	$W(p) = \frac{3(p+3)}{(5p+1)(p+1)(4p^2+3p+1)}$
7	$W(p) = 2 \frac{(5p+1)}{(0.5p+1)(2p+1)(p^2+p+1)}$	17	$W(p) = 5 \frac{(5p+1)}{(0.5p+1)(2p+1)(4p^2+3p+1)}$
8	$W(p) = 6 \frac{(5p+2)}{(0.5p+1)(4p+1)(p^2+1.5p+1)}$	18	$W(p) = 9 \frac{(p+1)}{(0.5p+1)(2p+1)(4p^2+p+1)}$
9	$W(p) = 5 \frac{(p+1)}{(0.5p+1)(2p+1)(4p^2+3p+1)}$	19	$W(p) = \frac{p+1}{(p+1)(2p+1)(4p^2+p+1)}$
10	$W(p) = \frac{2(p+2)}{(2p+1)(3p+1)(4p^2+2p+1)}$	20	$W(p) = 6 \frac{(5p+1)}{(0.5p+1)(4p+1)(p^2+1.5p+1)}$

Задача 20

Використовуючи критерій на основі аналізу ЛАФЧХ проаналізувати стійкість системи, що задана передавальною функцією у розімкненому стані. Вважати, що система має одиничний від'ємний зворотній зв'язок. Варіанти завдання наведені в таблиці Д 20.

Таблиця Д 20

№	Передавальна функція	№	Передавальна функція
1	$W(p) = \frac{4(p+2)}{(2p+1)(3p+1)(4p^2+3p+1)}$	11	$W(p) = \frac{4(p+1)}{(2p+1)(3p+1)(4p^2+2p+1)}$
2	$W(p) = \frac{(p+2)}{(p+1)(2p+1)(4p^2+p+1)}$	12	$W(p) = 2 \frac{3p+1}{(p+1)(5p+1)(p^2+1.5p+1)}$
3	$W(p) = \frac{3(p+2)}{(2p+1)^2(9p^2+4.5p+1)}$	13	$W(p) = \frac{2(p+1)(5p+1)}{(2p+1)(3p+1)(4p^2+2p+1)}$
4	$W(p) = 5 \frac{(3p+2)}{(0.5p+1)(2p+1)(p^2+1.5p+1)}$	14	$W(p) = \frac{2(p+1)}{(2p+1)(3p+1)(4p^2+2p+1)}$
5	$W(p) = 3 \frac{(p+3)}{(0.5p+1)(2p+1)(4p^2+3p+1)}$	15	$W(p) = \frac{2(p+4)}{(4p+1)(p+1)(4p^2+3p+1)}$
6	$W(p) = \frac{10(4p+1)(p+1)}{(2p+1)(5p+1)(p^2+1.5p+1)}$	16	$W(p) = \frac{2(2p+3)}{(5p+1)(p+1)(4p^2+3p+1)}$
7	$W(p) = \frac{10(4p+1)(p+1)}{(2p+1)(5p+1)(p^2+1.5p+1)}$	17	$W(p) = \frac{2(p+1)(5p+1)}{(2p+1)(3p+1)(4p^2+2p+1)}$
8	$W(p) = 2 \frac{(5p+1)}{(0.5p+1)(2p+1)(p^2+p+1)}$	18	$W(p) = 3 \frac{(p+3)}{(0.5p+1)(2p+1)(4p^2+3p+1)}$
9	$W(p) = \frac{(p+3)}{(0.5p+1)(2p+1)(4p^2+p+1)}$	19	$W(p) = 5 \frac{(3p+2)}{(0.5p+1)(2p+1)(p^2+1.5p+1)}$
10	$W(p) = \frac{3(p+2)}{(2p+1)^2(9p^2+4.5p+1)}$	20	$W(p) = \frac{8(4p+1)(p+2)}{(2p+1)(5p+1)(4p^2+p+1)}$

ЗМІСТ

Прийняті скорочення	3
Приклади розв'язку задач.....	4
Задача 1.....	4
Задача 2.....	4
Задача 3.....	4
Задача 4.....	5
Задача 5.....	6
Задача 6.....	7
Задача 7.....	8
Задача 8.....	9
Задача 9.....	9
Задача 10.....	11
Задача 11.....	12
Задача 12.....	13
Задача 13.....	14
Задача 14.....	15
Задача 15.....	16
Задача 16.....	17
Задача 17.....	17
Задача 18.....	20
Задача 19.....	20
Задача 20.....	21
Додаток 1. Завдання для самостійної роботи	23
Задача 1.....	23
Задача 2.....	23
Задача 3.....	24
Задача 4.....	24
Задача 5.....	25
Задача 6.....	25
Задача 7.....	26
Задача 8.....	26
Задача 9.....	27
Задача 10.....	29
Задача 11.....	32
Задача 12.....	32
Задача 13.....	33
Задача 14.....	35
Задача 15.....	35
Задача 16.....	36
Задача 17.....	36
Задача 18.....	39
Задача 19.....	39
Задача 20.....	40
Зміст.....	41