

**Державна служба України з надзвичайних ситуацій
Національний університет цивільного захисту України
Кафедра автоматичних систем безпеки та інформаційних технологій**

ЗАТВЕРДЖУЮ

Начальник кафедри АСБтаІТ

Роман ШЕВЧЕНКО

Навчальна дисципліна

**СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ
ТА СПОСТЕРЕЖЕННЯ**

Практичне заняття 1

**МАТЕМАТИЧНИЙ ОПИС ТА ДИНАМІЧНІ ЛАНКИ
АВТОМАТИЧНИХ СИСТЕМ**

Мета роботи:

1. Формування навичок розрахунку динамічних ланок АС.
2. Одержання навичок чисельного дослідження автоматичних систем.
3. Одержання навичок обробки графічних результатів дослідження.

Час проведення заняття: 80 хвилин.

Методичну розробку склав
доцент кафедри АСБтаІТ

Вячеслав ДУРЄЄВ

ХАРКІВ 2024

Ціль заняття: Закріплення знань, отриманих на лекціях і самостійній роботі. Прищеплювання навичок по визначенню перехідних функцій і характеристик динамічних ланок і їх з'єднань.

План проведення практичного заняття

Навчальні питання:

Вступ	5хв
Основна частина	40хв
Рішення задач у дошки:.....	40хв
Самостійне рішення задач:.....	30хв
Заключна частина	5хв

НАВЧАЛЬНА ЛІТЕРАТУРА

1. Абрамов Ю.О. Основи пожежної автоматики. С. 07-12.
2. Автоматика для запобігання вибухам і пожежам. Посібник./ Дерев'янка О.А. та інш. – Харків: АЦЗУ, 2006.–279с.

План проведення заняття.

1.	Оголошення теми та мети заняття	2 хвил.
2	Інструктаж по техніці безпеки	5 хвил.
3	Лінеаризація диференціальних рівнянь АС	25 хвил.
4	Визначення передаточної функції	20 хвил.
5	Визначення еквівалентної передаточної функції АС	23 хвил.
6	Письмове опитування по матеріалам заняття	10 хвил.
7	Побудова часових характеристик елементів пожежної автоматики в системі VisSim	15 хвил.
8	Виконання індивідуальних завдань	40 хвил.
9.1	Дослідити вплив динамічних параметрів K и T реальної позиційної ланки на її перехідні характеристики $y(\infty)$ і t_R	20
9.2	Дослідити вплив динамічних параметрів K и T реальної позиційної ланки другого порядку на її перехідні характеристики $y(\infty)$ і t_R	20
10	Прийняття захисту	17
11	Видача завдання на самопідготовку	2 хвил.

1. Оголошення теми та мети заняття

Отримавши доповідь від чергового, ведучий викладач вітається з курсантами. Викладач перевіряє присутність курсантів на занятті, після чого вони займають робочі місця. Ведучий викладач повідомляє тему та мету заняття, курсанти

записують їх у зошити. Другий викладач записує тему заняття до журналу навчальної групи.

2. Інструктаж по техніці безпеки

Ведучий викладач проводить інструктаж по техніці безпеки під час проведення заняття:

- включення ПЕОМ виконується тільки з дозволу викладача;
- категорично забороняється самостійне підключення складників ПЕОМ;
- при порушенні ізоляції проводів та інших порушеннях нормального функціонування комп'ютерів негайно повідомити викладачу, усувати несправності самостійно категорично заборонено;
- при появі диму або інших ознак спалахування або порушення роботи необхідно вимкнути комп'ютер і негайно повідомити викладачу.

Другий викладач в цей час заповнює журнал по техніці безпеки.

3. Лінеаризація диференціальних рівнянь АС

Завдання 1.1. Лінеаризувати рівняння датчика повітряної швидкості:

$$U = K \frac{\rho V^2}{2}$$

де: U – напруга; V – повітряна швидкість;
 ρ – щільність повітря; K – коефіцієнт пропорційності.

Виконати лінеаризацію рівняння при $V = V_0$, вважаючи, що « K » і « ρ » є постійними величинами.

Рішення: Виконаємо попереднє логарифмування:

$$\ln U = \ln K + \ln \rho + 2 \ln V - \ln 2$$

Дорівнюємо диференціали правої і лівої частини рівняння в крапці $V = V_0$:

$$\left(\frac{dU}{U} \right)_0 = 2 \left(\frac{dV}{V} \right)_0 .$$

Замінімо диференціали кінцевими збільшеннями:

$$\frac{\Delta U}{U_0} = 2 \frac{\Delta V}{V_0} .$$

Замінімо абсолютні відхилення на відносні:

$$\bar{U} = 2 \bar{V} .$$

Завдання 3.1 Лінеаризувати рівняння витрати газу через випускний насадок:

$$G_B = m \cdot \frac{P^*}{\sqrt{T^*}} \cdot F \cdot q$$

де: m – коефіцієнт витрати; P^* – повний тиск, Па; T^* – повна температура, $^{\circ}\text{K}$;
 F – площа прохідного перетину, м^2 ; q – відносна щільність струму.

Виконати лінеаризацію при

$$P^* = P_0 ; T^* = T_0^* ; F^* = F_0^* ; q = q_0$$

Рішення: Виконаємо попереднє логарифмування:

$$\ln G_B = \ln m + \ln P^* - 0,5 \ln T^* + \ln F + \ln q$$

Дорівнюємо диференціали лівої і правої частини рівняння в точці «0»:

$$\frac{dG_B}{G_{B0}} = \frac{dP^*}{P_{0}^*} - 0,5 \frac{dT^*}{T_{0}^*} + \frac{dq}{q_0}.$$

Замінімо диференціали на кінцеві збільшення перемінних:

$$\frac{\Delta G_{\bar{A}}}{G_{\bar{A}0}} = \frac{\Delta P^*}{P_{0}^*} - 0,5 \frac{\Delta T^*}{T_{0}^*} + \frac{\Delta q}{q_0}.$$

Замінімо абсолютні відхилення на відносні:

$$\bar{G}_B = \bar{P}^* - 0,5 \bar{T}^* + \bar{q}$$

Завдання 3.2 Лінеаризувати рівняння витрати води через зрошувач:

$$Q = \mu \cdot f \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho} \cdot \Delta P}$$

Виконати лінеаризацію рівняння при $f=f_0$; $\Delta P = \Delta P_0$, вважаючи що μ і ρ постійні

Рішення: Виконаємо попереднє логарифмування:

$$\ln Q = \ln \mu + \ln f - 0,5 \ln 2 + 0,5 \ln \rho + 0,5 \ln \Delta P.$$

Дорівнюємо диференціали лівої і правої частини рівняння в точці «0»:

$$\left(\frac{dQ}{Q} \right)_0 = \left(\frac{df}{f} \right)_0 + 0,5 \left(\frac{d(\Delta P)}{\Delta P} \right)_0.$$

Замінімо диференціали на кінцеві збільшення перемінних:

$$\frac{\Delta Q}{Q_0} = \frac{\Delta f}{f_0} + 0,5 \frac{\Delta(\Delta P)}{\Delta P_0}.$$

Замінімо абсолютні відхилення на відносні:

$$\bar{Q} = \bar{f} + 0,5 \bar{\Delta P}$$

4. Привести рівняння до стандартної форми запису

Завдання 4.1 Привести ДР до стандартного виду:

$$10 \dot{\bar{y}} + 2 \bar{y} = 4 \bar{x}.$$

Рішення:

$$\frac{10}{2} \dot{\bar{y}} + \bar{y} = \frac{4}{2} \bar{x}; \quad 5 \dot{\bar{y}} + \bar{y} = 2 \bar{x}.$$

Завдання 4.2 Привести ДР до стандартного виду:

$$12 \ddot{\bar{y}} + 7 \dot{\bar{y}} + 4 \bar{y} = 6 \bar{x}; \quad T^2 \ddot{\bar{y}} + 2dT \dot{\bar{y}} + 4\bar{y} = K\bar{x}$$

Рішення:

$$\frac{12}{4}\ddot{y} + \frac{7}{4}\dot{y} + \bar{y} = \frac{6}{4}\bar{x}; \quad 3\ddot{y} + 1,75\dot{y} + \bar{y} = 1,5\bar{x}; \quad T^2=3; \quad 2dT=1,75; \quad T=1,7; \quad d=0,5.$$

5. Визначення передаточної функції

Завдання 5.1. Визначити передаточну функцію:

$$5\dot{\bar{y}} + \bar{y} = 3\bar{x}.$$

Рішення:

$$5pY + Y = 3X; \\ W(p) = \frac{Y}{X} = \frac{3}{5p+1}.$$

Завдання 5.2 Визначити передаточну функцію:

$$64\ddot{\bar{y}} + 4\dot{\bar{y}} + 2\bar{y} = 3\bar{x}.$$

Рішення:

$$32\ddot{\bar{y}} + 2\dot{\bar{y}} + \bar{y} = 1,5\bar{x}; \quad 32p^2Y + 2pY + Y = 1,5X.$$

$$W(p) = \frac{Y}{X} = \frac{1,5}{32p^2 + 2p + 1}.$$

Завдання 5.3 Записати ДР по відомій передаточній функції:

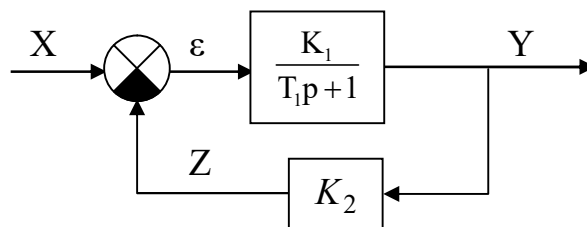
$$W(P) = \frac{Y}{X} = \frac{5}{(3P+1)P}$$

Рішення:

$$(3p+1)pY = 5X, \quad 3p^2Y + pY = 5X, \\ 3\ddot{\bar{y}} + \dot{\bar{y}} = 5\bar{x}.$$

6. Визначення еквівалентної передаточної функції АС

Завдання 6.1 Визначити еквівалентну передаточну функцію АС:

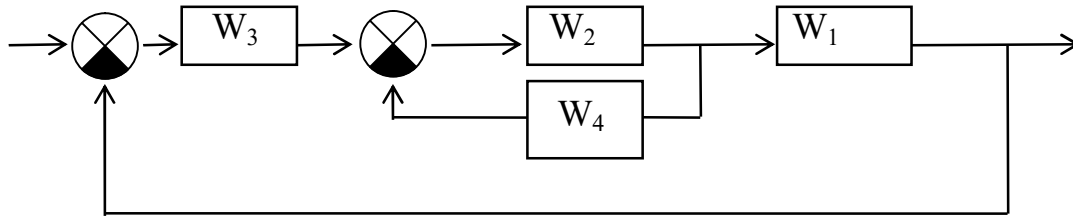


Рішення:

$$W(P) = \frac{Y}{X} = \frac{\frac{K_1}{T_1P+1}}{1 + \frac{K_1}{T_1P+1}K_2} = \frac{K_1}{(T_1P+1) + K_1K_2} = \frac{K}{TP+1},$$

$$\text{де } K = \frac{K_1}{1 + K_1 K_2} ; \quad T = \frac{T_1}{1 + K_1 K_2} .$$

Завдання 6.2 Визначити еквівалентну передаточну функцію АС:

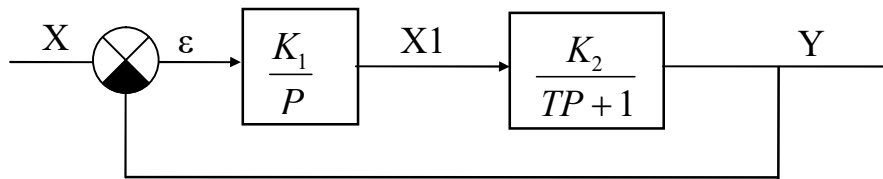


Рішення:

$$W_{2,4} = \frac{W_2}{1 + W_2 \cdot W_4} ; \quad W_{3,2,4,1} = W_3 \cdot W_{2,4} \cdot W_1$$

$$W_{\text{д\acute{е} \acute{а}}} = \frac{W_3 \cdot \frac{W_2}{1 + W_2 \cdot W_4} \cdot W_1}{1 + \frac{W_1 \cdot W_2 \cdot W_3}{1 + W_2 \cdot W_4}} = \frac{W_1 W_2 W_3}{W_1 W_2 W_3 + W_2 W_4 + 1}$$

Завдання 6.3 Визначити еквівалентну передаточну функцію АС:



Рішення:

$$W_{\text{д\acute{е} \acute{а}}} = \frac{\frac{K_1}{P} \cdot \frac{K_2}{TP+1}}{1 + \frac{K_1}{P} \cdot \frac{K_2}{TP+1}} = \frac{K_1 K_2}{P(TP+1) + K_1 K_2} ;$$

$$W_{\text{д\acute{е} \acute{а}}} = \frac{1}{T_1^2 P^2 + T_2 P + 1} ;$$

$$T_1^2 = \frac{T}{K_1 K_2} ; \quad T_2 = \frac{1}{K_1 K_2}$$

Задача 2.1

Скласти функціональну схему АС, по вихідній системі диференціальних рівняння її елементів:

$$T_1 \dot{y} = \bar{z} ;$$

$$T_2 \dot{z} + \bar{z} = \bar{x} .$$

Рішення: запишемо рівняння в операторній формі:

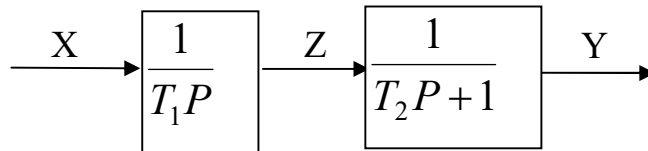
$$T_1 P Y = Z ;$$

$$T_2 P Z + Z = X .$$

Отже: $Y = \frac{1}{T_1 \cdot P} \cdot Z ; \quad Z = \frac{1}{T_2 P + 1} X . \quad Y = \frac{1}{T_1 P} \cdot \frac{1}{T_2 P + 1} \cdot X .$

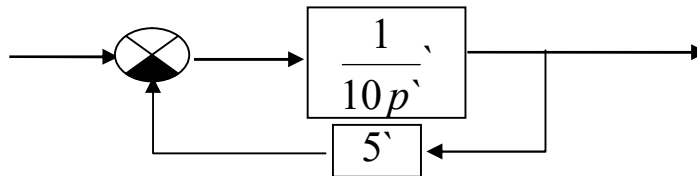
Далі: $Y = W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot X$, де: $W_1(p) = \frac{1}{T_1 P} ; \quad W_2(p) = \frac{1}{T_2 P + 1} .$

Складемо функціональну схему АС:



Задача 2.2

Визначити перехідну функцію і зобразити перехідну характеристику АС з наступною функціональною схемою:



Рішення:

Визначимо еквівалентну передатну функцію АС:

$$W(p) = \frac{\frac{1}{10p}}{1 + 5 \cdot \frac{1}{10p}} = \frac{1}{10p + 5} .$$

Запишемо рівняння динаміки АС в операторній формі:

$$10pY + 5Y = X$$

Визначимо динамічні параметри АС:

$$2pY + Y = 0,2 \cdot X , \text{ отже } T=2\text{с}, K=0,2$$

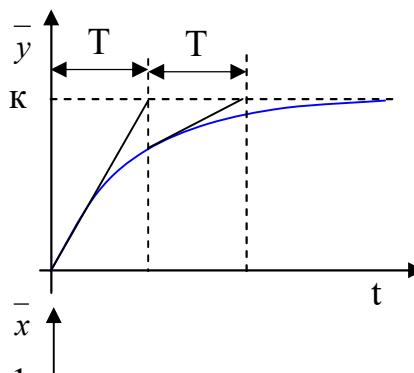
Запишемо рівняння динаміки АС у стандартному виді:

$$2\dot{\bar{y}} + \bar{y} = 0,2\bar{x} .$$

Одержали рівняння реальної позиційної ланки. Перехідна функція має вид:

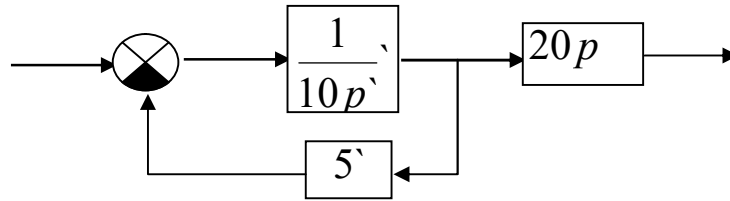
$$\bar{y}(t) = K \cdot (1 - e^{-\frac{t}{T}}) = 0,2 \cdot (1 - e^{-\frac{t}{2}}) .$$

Перехідна характеристика:



Задача 2.3

Визначити перехідну характеристику і зобразити перехідну функцію АС з функціональною схемою:

**Рішення:**

Визначимо еквівалентну передатну функцію АС:

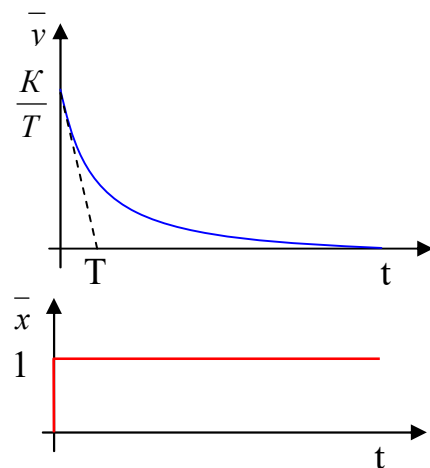
$$W(p) = \frac{\frac{1}{10p}}{1 + 5 \cdot \frac{1}{10p}} \cdot 20p = \frac{20p}{10p + 5} = \frac{4p}{2p + 1}$$

Передатна функція відповідає реальному (інерційному) ланці, що диференціює.

Динамічні параметри ланки:

$$K=4; \quad T=2\text{с.}$$

Перехідна характеристика:

**Задача 2.4**

Визначити перехідну функцію і зобразити перехідну характеристику АС з рівнянням динаміки:

$$12\ddot{y} + 10\dot{y} + 2\bar{y} = 6\bar{x}$$

Запишемо рівняння в стандартному виді:

$$6\ddot{y} + 5\dot{y} + \bar{y} = 3\bar{x}$$

Динамічні параметри системи:

$$K=3; \quad T = \sqrt{6}\text{с}; \quad d = \frac{5}{2T} = \frac{5}{2\sqrt{6}} > 1.$$

Декремент загасання більше одиниці, отже перехідний процес аперіодичний.

Визначимо корені характеристичного рівняння:

$$p_{1,2} = \frac{-5 \pm \sqrt{25 - 4 \cdot 6 \cdot 1}}{2 \cdot 6} = \frac{-5 \pm 1}{12}.$$

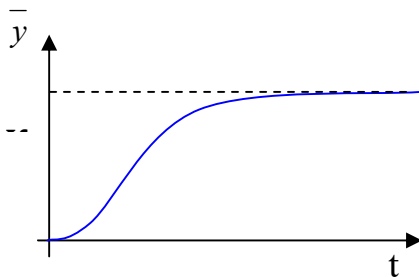
$$p_1 = -\frac{1}{3}; \quad p_2 = -\frac{1}{2}.$$

Позначимо: $T_1 = -\frac{1}{p_1} = 3$; $T_2 = -\frac{1}{p_2} = 2$.

Перехідна функція і характеристика мають вид:

$$\bar{y}(t) = K \left(1 - \frac{T_1}{T_1 - T_2} e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{T_2}{T_2 - T_1} e^{-\frac{t}{T_2}} \right).$$

Перехідна характеристика складається з двох експонент і відповідно до характеру перехідного процесу називається аперіодичної.



Особливості графіка:

1. При $t=0 \rightarrow \dot{\bar{y}} = 0$.
2. Є точка перегибу.

7. Письмове опитування по матеріалам заняття

Ведучий викладач видає кожному курсанту індивідуальне завдання (Додаток Б), яке містить теоретичне питання та практичну задачу. Другий викладач контролює роботу курсантів на місцях біля вікна, а ведучий – решти курсантів, причому необхідно щоб курсанти працювали самостійно, користуватися можна тільки довідковими таблицями [1, стор. 34].

Після написання роботи другий викладач перевіряє роботи курсантів, а ведучий викладач продовжує заняття.

8. 9 Виконання індивідуальних завдань.

Кожному курсанту видається індивідуальне завдання (Додаток Б), яке курсанти виконують самостійно, за допомогою ПЕОМ та алгоритму роботи, який знаходиться на кожному робочому місті. В кожній робочій групі (1 комп'ютер – 2 курсанта) призначається старший з числа найбільш встигаючих курсантів, який відповідає за вірність виконання інструкцій на комп'ютері. За 1-м – 4-м робочими місцями закріплюється ведучий викладач, за 5-м – 10-м другий викладач. Обидва викладачі в цей час слідкують за перебігом роботи на робочих місцях і відповідають на запитання, що постають індивідуально або дають пояснення для всієї групи.

10. Видача завдання на самопідготовку.

Завдання на самопідготовку

1. Теорія автоматичного управління. Практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Н.І. Бурау, Д.О. Півторак; КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – С 05-08.
https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/42076/1/TAU_praktykum.pdf

Питання письмового опитування Додаток А.

ВАРІАНТ №1

1. Пояснити: регулюючий фактор
2. Пояснити: звичайна форма диференційного рівняння
3. Пояснити: послідовне з'єднання ланок

ВАРІАНТ №2

1. Пояснити: регульований параметр
2. Пояснити: стандартна форма диференційного рівняння
3. Пояснити: паралельне з'єднання ланок

ВАРІАНТ №3

1. Пояснити: об'єкт управління
2. Пояснити: операторна форма диференційного рівняння
3. Пояснити: зустрічно-паралельне з'єднання ланок

ВАРІАНТ №1

1. Пояснити: регулюючий фактор
2. Пояснити: звичайна форма диференційного рівняння
3. Пояснити: послідовне з'єднання ланок

ВАРІАНТ №2

1. Пояснити: регульований параметр
2. Пояснити: стандартна форма диференційного рівняння
3. Пояснити: паралельне з'єднання ланок

ВАРІАНТ №3

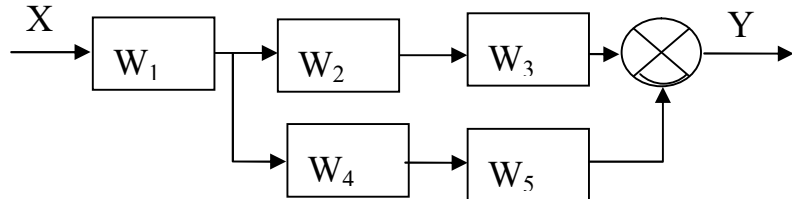
1. Пояснити: об'єкт управління
2. Пояснити: операторна форма диференційного рівняння
3. Пояснити: зустрічно-паралельне з'єднання ланок

ВАРІАНТ №1

1. Визначити W_p ПФ для: $2\dot{\bar{y}} + \bar{y} = 3\bar{x}$;
2. Визначити ПФ, зобразити ПХ для п.1;
3. Записати в операторній, стандартній формі

$$5 \frac{\ddot{\bar{y}}}{\bar{y}} + 8 \frac{\ddot{\bar{y}}}{\bar{y}} + 10 \frac{\dot{\bar{y}}}{\bar{y}} + 2 \bar{y} = 12 \bar{x}$$

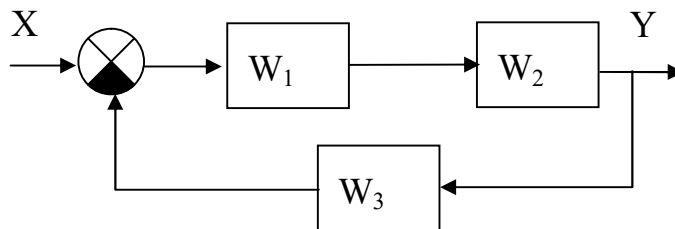
4. Визначити ПФ_{екв} АС:

**ВАРІАНТ №2**

1. Записати ДР по відомій ПФ: $W(p) = \frac{Y}{X} = \frac{4}{2p+1}$;
2. Визначити ПФ, зобразити ПХ для п.1;
3. Записати в операторній, стандартній формі

$$15 \frac{\ddot{\bar{y}}}{\bar{y}} + 25 \frac{\ddot{\bar{y}}}{\bar{y}} + 15 \frac{\dot{\bar{y}}}{\bar{y}} + 5 \bar{y} = 10 \bar{x}$$

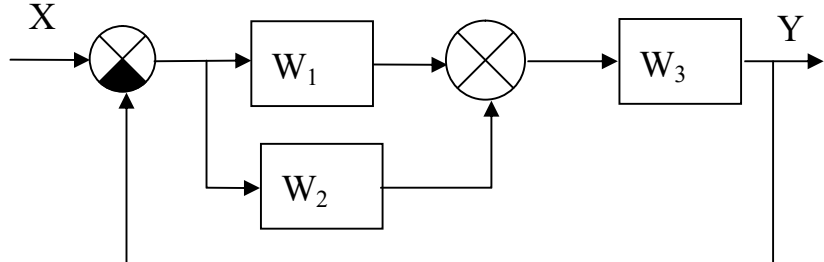
4. Визначити ПФ_{екв} АС:

**ВАРІАНТ №3**

1. Визначити W_p для: $4\ddot{\bar{y}} + 5\dot{\bar{y}} = 3\bar{x}$;
2. Визначити ПФ, зобразити ПХ для п.1;
3. Записати в операторній, стандартній формі

$$27 \frac{\ddot{\bar{y}}}{\bar{y}} + 18 \frac{\ddot{\bar{y}}}{\bar{y}} + 33 \frac{\dot{\bar{y}}}{\bar{y}} + 3 \bar{y} = 15 \bar{x}$$

4. Визначити ПФ_{екв} АС:

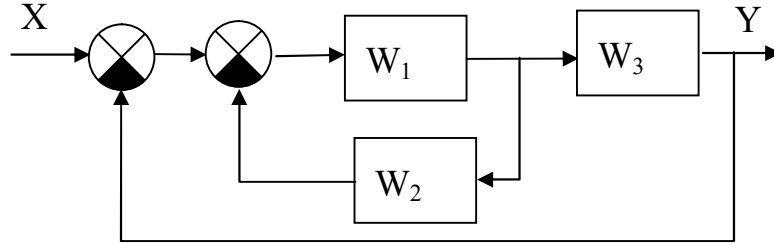


ВАРІАНТ № 4

1. Записати ДР по відомій ПФ: $W(p) = \frac{Y}{X} = \frac{5p}{3p^2 + 2p + 1}$.

2. Визначити ПФ, зобразити ПХ для п.1;

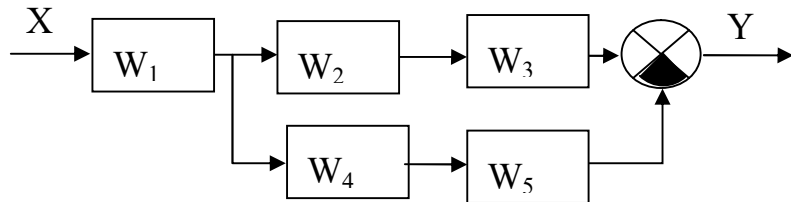
3. Визначити ПФ_{екв} АС:

**ВАРІАНТ № 5**

1. Визначити W_p для: $20\dot{\bar{y}} + 2\bar{y} = 6\bar{x}$.

2. Визначити ПФ, зобразити ПХ для п.1;

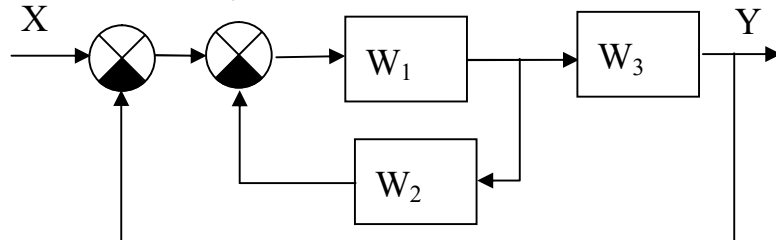
3. Визначити ПФ_{екв} АС:

**ВАРІАНТ № 6**

1. Записати ДР по відомій ПФ: $W(p) = \frac{Y}{X} = \frac{5}{3p^2 + 2p + 1}$

2. Визначити ПФ, зобразити ПХ для п.1;

3. Визначити ПФ_{екв} АС:

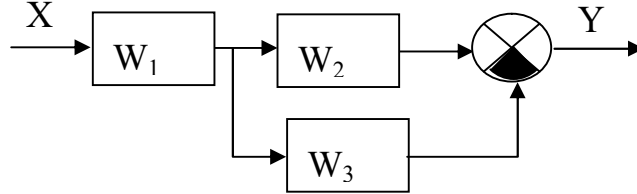


ВАРІАНТ № 7

1. Визначити W_p для: $6\ddot{\bar{y}} + \dot{\bar{y}} + 2\bar{y} = 6\bar{x}$

2. Визначити ПФ, зобразити ПХ для п.1;

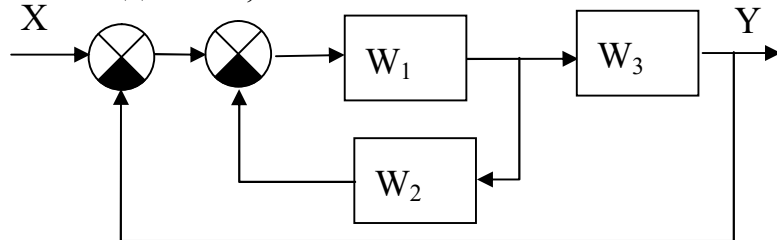
3. Визначити ПФ_{екв} АС:

**ВАРІАНТ № 8**

1. Записати ДР по відомій ПФ: $W(p) = \frac{Y}{X} = \frac{5}{2p+1}$

2. Визначити ПФ, зобразити ПХ для п.1;

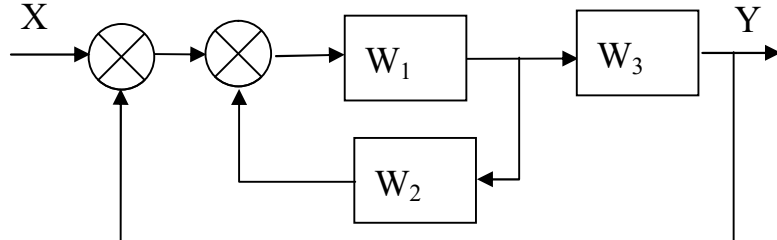
3. Визначити ПФ_{екв} АС:

**ВАРІАНТ № 9**

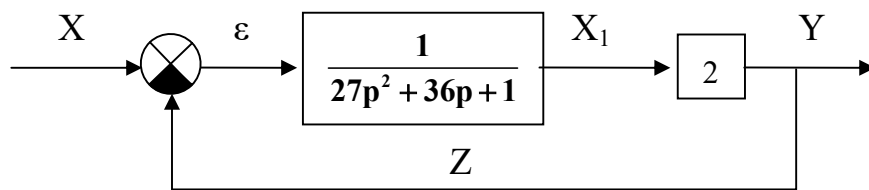
1. Записати ДР по відомій ПФ: $W(p) = \frac{Y}{X} = \frac{5p}{2p+1}$

2. Визначити ПФ, зобразити ПХ для п.1;

3. Визначити ПФ_{екв} АС: X



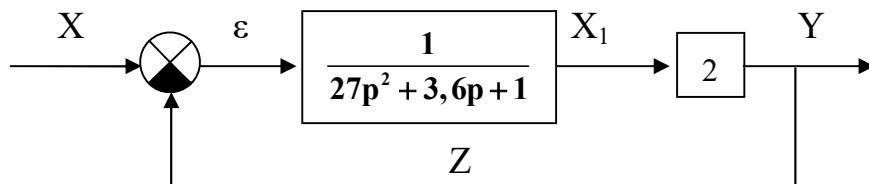
Варіант 1



Виконати:

- записати $W_{\text{ЕКВ}}$;
- записати рівняння АС в стандартній формі;
- визначити: T , d , K ;
- записати перехідну функцію;
- зобразити типову перехідну характеристику.

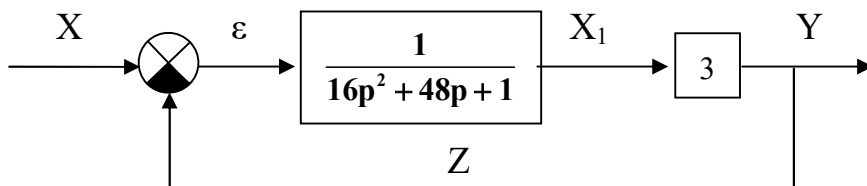
Варіант 2



Виконати:

- записати $W_{\text{ЕКВ}}$;
- записати рівняння АС в стандартній формі;
- визначити: T , d , K ;
- записати перехідну функцію;
- зобразити типову перехідну характеристику.

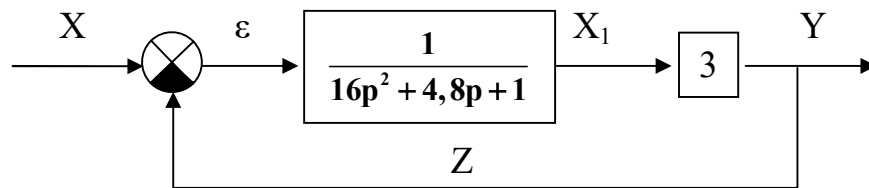
Варіант 3



Виконати:

- записати $W_{\text{ЕКВ}}$;
- записати рівняння АС в стандартній формі;
- визначити: T , d , K ;
- записати перехідну функцію;
- зобразити типову перехідну характеристику.

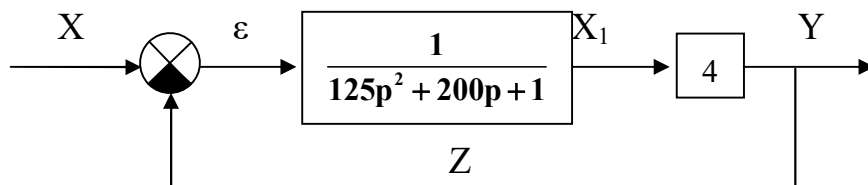
Варіант 4



Виконати:

- записати $W_{\text{Екв}}$;
- записати рівняння АС в стандартній формі;
- визначити: T , d , K ;
- записати перехідну функцію;
- зобразити типову перехідну характеристику.

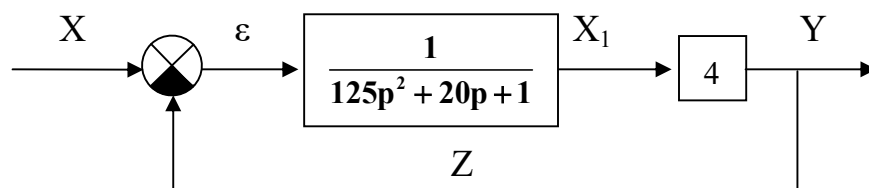
Варіант 5



Виконати:

- записати $W_{\text{Екв}}$;
- записати рівняння АС в стандартній формі;
- визначити: T , d , K ;
- записати перехідну функцію;
- зобразити типову перехідну характеристику.

Варіант 6



Виконати:

- записати $W_{\text{Екв}}$;
- записати рівняння АС в стандартній формі;
- визначити: T , d , K ;
- записати перехідну функцію;
- зобразити типову перехідну характеристику.