

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

В. А. Халіков

ТЕОРІЯ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ПРАКТИКУМ

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра
за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка*

Електронне мережне навчальне видання

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2022

Рецензент *Дмитренко О. О.*, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри автоматизації енергосистем КПІ ім. Ігоря Сікорського

Відповідальний редактор *Баженов В. А.*, канд. техн. наук, доцент

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
(протокол № 6 від 24.06.2022 р.)
за поданням Вченої ради Факультету електроенерготехніки та автоматики
(протокол № 9 від 17.05.2022 р.)*

Навчальний посібник містить приклади розв'язання типових задач, які охоплюють розділи кредитного модуля «Теорія автоматичного керування». Призначений для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Електричні системи і мережі» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

ЗМІСТ

Вступ.	3
1. Типові задачі та принципи керування. Класифікація систем автоматичного керування.	4
1.1. Типові завдання керування.	4
1.2. Основні принципи керування.	6
1.3. Класифікація систем автоматичного керування.	7
2. Математичні моделі процесів в пристроях і системах автоматичного керування.	9
2.1. Математичний опис процесів в пристроях та системах автоматичного керування.	9
2.2. Перетворення математичних моделей.	10
3. Передаточні функції і матриці.	12
4. Типові динамічні ланки лінійних систем.	16
5. Операторно-структурні схеми лінійних систем.	17
6. Перетворення операторно-структурних схем.	19
7. Приклади для самостійного опрацювання.	24
8. Рекомендована література.	26

ВСТУП

Теорія автоматичного керування є однією із базових дисциплін вищих технічних учбових закладів. На її основі формуються такі курси, як теорія автоматичного регулювання, теорія автоматичного управління, автоматизовані системи переробки інформації, управління технологічними та організаційно-економічними процесами і т. д.

Даний посібник призначений для студентів, які вивчають теорію автоматичного керування (ТАК), для більш якісного засвоєння теоретичного матеріалу курсу та надбання навиків застосування положень ТАК при необхідності вирішення відповідних практичних задач. Зміст і форма досить простих наведених прикладів і задач дозволяє застосовувати як комп'ютерний так і звичайний очний методи контролю під час належних атестацій. Цим також забезпечується оперативність оцінки засвоєння знань по відповідним розділам ТАК.

1. ТИПОВІ ЗАДАЧІ ТА ПРИНЦИПИ КЕРУВАННЯ. КЛАСИФІКАЦІЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

1.1. Типові завдання керування

1. Які з наведених нижче типових завдань управління:

- а) параметричне переналаштування;
 - б) переалгоритмізація;
 - в) реконфігурація структурних зв'язків;
 - г) стабілізація;
 - д) термінальне керування; е) стеження;
 - ж) фінітне управління;
 - з) програмне управління;
 - і) екстремальне управління
- відносяться до завдань регулювання?

ВАРІАНТИ ВІДПОВІДІ:

- 1) б, г, е, і; 2) г, д, е, з; 3) г, е, з, і; 4) е, ж, з, і; 5) а, д, ж, е.

2. Чи накладається суворе обмеження на час керування завданнях фінітного керування?

ВАРІАНТИ ВІДПОВІДІ:

- 1) так; 2) ні; 3) мало даних.

3. Чи накладається суворе обмеження на час управління завданням термінального управління?

ВАРІАНТИ ВІДПОВІДІ:

- 1) так; 2) ні; 3) мало даних.

4. Чи накладаються суворі обмеження на траєкторію руху об'єкта під час вирішення завдання термінального управління?

ВАРІАНТИ ВІДПОВІДІ:

- 1) накладаються; 2) не накладаються; 3) мало даних.

5. Яка має бути в ідеалі зміна керованої змінної об'єкта $y(t)$ у при задаючому впливі $x(t)$ та реалізації для нього завдання стеження?

ВАРІАНТИ ВІДПОВІДІ:

- 1) $y(t) \rightarrow x(t)$; 2) $y(t) \equiv x(t)$; 3) $x(t) \rightarrow y(t)$;
4) $x(t) - y(t) = \min$; 5) $x(t) - y(t) \rightarrow 0$

- 6. Які з наведених нижче керувань:**
- а) програмне управління;
 - б) адаптивне керування;
 - в) цифрове керування;
 - г) стабілізація;
 - д) термінальне керування;
 - е) автоматичне керування;
 - ж) фінітне управління;
 - з) екстремальне управління
- не належать до типових завдань управління?

ВАРІАНТИ ВІДПОВІДІ:

1) а, б, в; 2) б, в, г; 3) д, е, ж; 4) е, ж, з; 5) б, в, е.

- 7. Яке (або які) з наведених нижче типових завдань управління:**
- а) стабілізація;
 - б) стеження,
 - в) програмне управління,
 - г) фінітне управління,
 - д) термінальне управління
- вирішує автопілот пасажирського літака після набору висоти під час руху заданою траєкторією польоту?

ВАРІАНТИ ВІДПОВІДІ:

1) а; 2) б; 3) в; 4) г; 5) д.

- 8. Яке (або які) з наведених нижче типових завдань управління:**
- а) стабілізація;
 - б) стеження,
 - в) програмне управління,
 - г) фінітне управління,
 - д) термінальне управління
- вирішують при автоматизації керування ліфтом у житловому будинку?

ВАРІАНТИ ВІДПОВІДІ:

1) б; 2) а, в; 3) а; 4) г; 5) д.

- 9. Які з типових завдань управління реалізуються в системі управління ракетною класу «повітря-повітря» із системою самонаведення на ціль?**

ВАРІАНТИ ВІДПОВІДІ:

1) стабілізація; 2) термінальне керування; 3) фінітне управління та стеження; 4) термінальне управління та стеження; 5) стеження.

10. Яке типове завдання управління реалізується в автоматичному маніпуляторі, який використовується для розкрою листового металу?

ВАРІАНТИ ВІДПОВІДІ:

1) стабілізація; 2) стеження; 3) фінітне управління, 4) програмне управління, 5) термінальне управління.

Фінітне управління.

Управління, мета якого полягає у переведенні об'єкта управління із заданого початкового стану в заданий кінцевий стан за обмежений час.

Термінальне управління.

Управління, мета якого полягає в переведенні об'єкта управління в заданий кінцевий стан в заданий момент часу.

Екстремальне управління.

Управління, мета якого полягає у досягненні та утриманні екстремуму заданого показника якості функціонування об'єкта управління.

1.2. Основні принципи керування

1. У функції яких величин реалізується жорстке управління об'єктом з метою підтримки його керованої змінної $y(t)$ на рівні $y_3 = \text{const}$ при дії на нього збурення $f(t)$?

ВАРІАНТИ ВІДПОВІДІ:

1) $u = u(y_3)$; 2) $u = u(y, t)$; 3) $u = u(y_3, y, t)$;
4) $u = u(y_3, f, t)$; 5) $u = u(y_3, y, f)$.

2. Чи можна реалізувати принцип управління по відхиленню, не маючи поточної інформації про впливи на об'єкт управління, що його збурюють?

ВАРІАНТИ ВІДПОВІДІ:

1) можна; 2) не можна; 3) мало даних.

3. Про які змінні об'єкта управління необхідна поточна інформація для реалізації регулювання за відхиленням?

ВАРІАНТИ ВІДПОВІДІ:

1) про регульовані змінні; 2) про зовнішні дії; 3) про керуючі впливи;
4) про регульовані змінні та зовнішні впливи;
5) про регульовані змінні та керуючі впливи.

5. Який принцип управління використаний у наведеній на рис. 1.1 системі регулювання швидкості електродвигуна Д, що включає в себе електромашинний підсилювач ЕМП і тахогенератор ТГ?

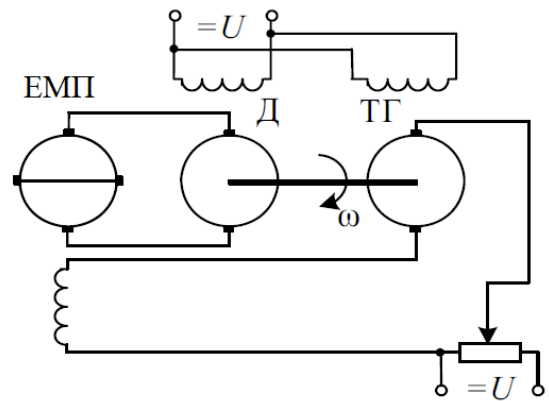


Рис.1.1

ВАРІАНТИ ВІДПОВІДІ:

- 1) жорстке керування;
- 2) управління за відхиленням;
- 3) управління за збуренням;
- 4) комбіноване управління.

6. Який принцип управління використаний для автоматичної стабілізації швидкості обертання парової турбіни до САР, наведеної на рис. 1.2 і має у своєму складі відцентровий регулятор швидкості 1 з кулями 2, золотник 3 та гідроциліндр 4?

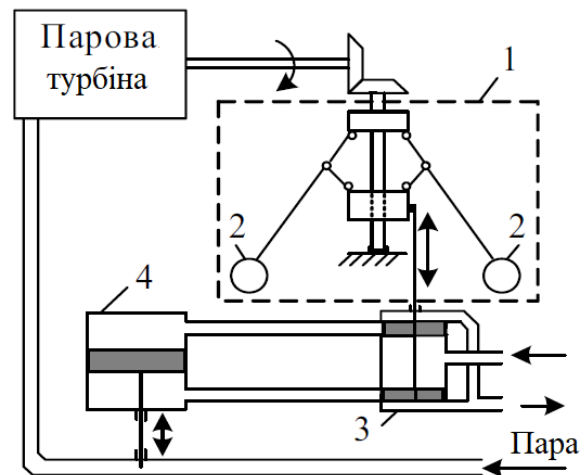


Рис.1.2

ВАРІАНТИ ВІДПОВІДІ:

- 1) жорстке керування;
- 2) управління за відхиленням;
- 3) управління за збуренням;
- 4) комбіноване управління

7. Яка з наведених на рис. 1.3 структурних схем відповідає управлінню за збуренням?

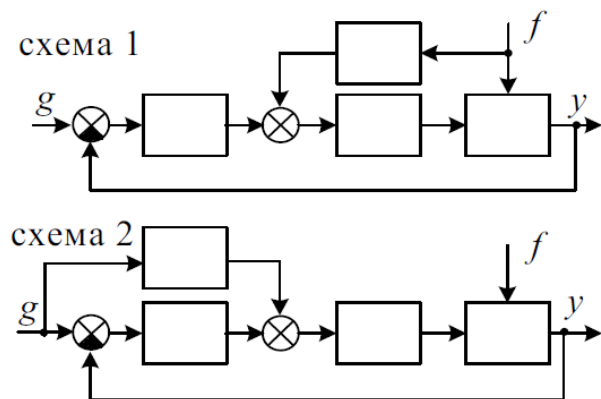


Рис.1.3

ВАРІАНТИ ВІДПОВІДІ:

- 1) схема 1;
- 2) схема 2;
- 3) схеми 1 та 2;
- 4) жодна з них;
- 5) мало даних.

1.3. Класифікація систем автоматичного керування

1. Яке (пряме або непряме) регулювання рівня H рідини в резервуарі реалізовано у наведеній на рис. 1.4 системі автоматичного регулювання з використанням поплавка Π ?

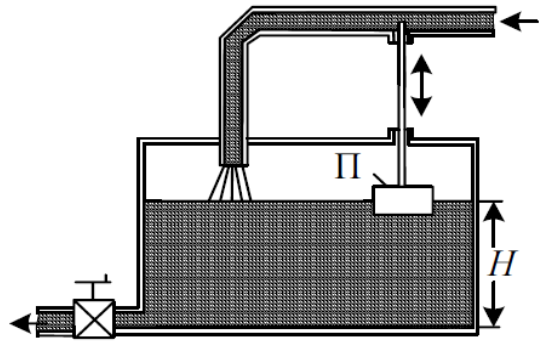


Рис.1.4

ВАРІАНТИ ВІДПОВІДІ:

- 1) пряме; ;
 - 2) непряме;
 - 3) комбіноване
 - 4) мало даних.
2. Яким є характер зміни в часі змінних у дискретних систем автоматичного регулювання?

ВАРІАНТИ ВІДПОВІДІ:

- 1) всі змінні квантовані за часом;
- 2) всі змінні квантовані за рівнем;
- 3) всі змінні квантовані за часом та за рівнем;
- 4) мінімум одна внутрішня або вихідна змінна квантована за рівнем або часом.

3. До класу дискретних або неперервних відноситься система автоматичної стабілізації напруги генератора (рис. 1.5), що включає електромагнітне реле ЗМ, пружину Π_r і потенціометр Π ?

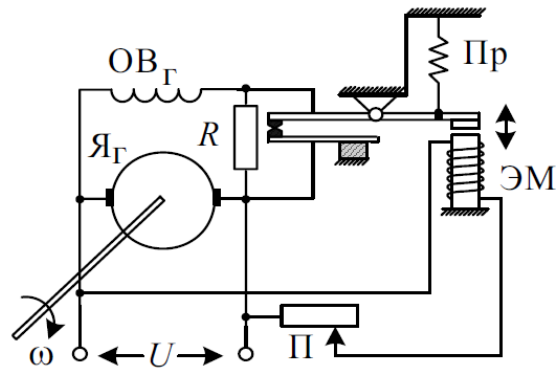


Рис.1.5

ВАРІАНТИ ВІДПОВІДІ:

- 1) неперервна;
 - 2) дискретна;
 - 3) мало даних.
4. До класу систем прямого або непрямого регулювання належить система стабілізації напруги керованого об'єкта «привідний двигун – генератор», схема якої наведена на рис. 1.6?

ВАРІАНТИ ВІДПОВІДІ:

- 1) до систем прямого регулювання;
- 2) до систем непрямого регулювання;
- 3) мало даних.

5. Який характер зміни в часі задаючої величини у слідкуючої системи?

ВАРІАНТИ ВІДПОВІДІ:

- 1) незмінна у часі величина;
- 2) змінюється у часі за відомим законом величина;
- 3) величина, що змінюється в часі за заздалегідь невідомим законом;
- 4) наростаюча з часом величина.

2. МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ПРОЦЕСІВ В ПРИСТРОЯХ І СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ.

2.1. Математичний опис процесів в пристроях та системах автоматичного керування.

1. Яке рівняння зв'язку вихідного u_2 і вхідного u_1 напруг чотириполюсника, схема якого наведена на рис. 2.1?

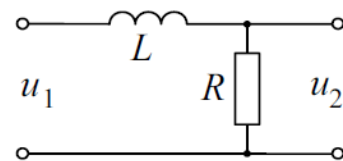


Рис. 2.1

ВАРІАНТИ ВІДПОВІДІ:

- | | |
|---------------------------------------------------|-------------------------------|
| 1) $T \frac{du_2}{dt} + u_2 = k u_1;$ | 4) $u_2 = k \frac{du_1}{dt};$ |
| 2) $T \frac{du_2}{dt} + u_2 = k \frac{du_1}{dt};$ | 5) $u_2 = k u_1.$ |
| 3) $\frac{du_2}{dt} = k u_1;$ | |

Яке рівняння зв'язку напруг u_2 і u_1 у чотириполюснику, схема якого наведена на рис. 2.2?

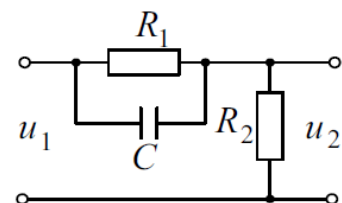


Рис. 2.2

ВАРІАНТИ ВІДПОВІДІ:

- 1) $T_2 \frac{du_2}{dt} + u_2 = k \left(T_1 \frac{du_1}{dt} + u_1 \right)$, где $T_2 < T_1$;
- 2) $T_2 \frac{du_2}{dt} + u_2 = k \left(T_1 \frac{du_1}{dt} + u_1 \right)$, где $T_2 > T_1$;
- 3) $T \frac{du_2}{dt} + u_2 = k T \frac{du_1}{dt};$
- 4) $T \frac{du_2}{dt} + u_2 = k u_1.$

2. Яким рівнянням описується зв'язок напруги збудження та вихідної напруги електричного генератора, схема якого представлена на рис. 2.3?

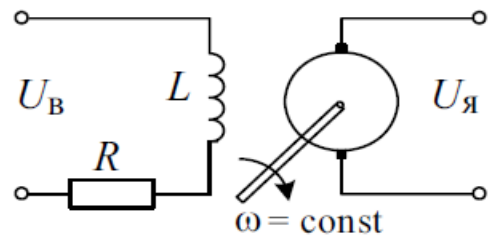


Рис. 2.3

- 1) $\frac{du_{\text{я}}}{dt} = k u_{\text{в}};$
- 2) $T \frac{du_{\text{я}}}{dt} + u_{\text{я}} = k T \frac{du_{\text{в}}}{dt};$
- 3) $T^2 \frac{d^2 u_{\text{я}}}{dt^2} + 2\xi T \frac{du_{\text{я}}}{dt} + u_{\text{я}} = k u_{\text{в}};$
- 4) $T \frac{du_{\text{я}}}{dt} + u_{\text{я}} = k u_{\text{в}};$
- 5) $u_{\text{я}} = k \frac{du_{\text{в}}}{dt}.$

3. Яким рівнянням описується зв'язок тиску притоку x та рівня y рідини в резервуарі, представленому на рис. 2.4?

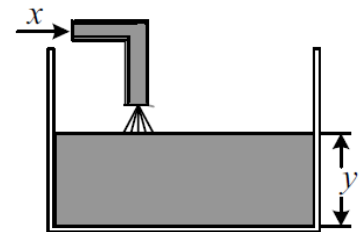


Рис. 2.3

- 1) $T \frac{dy}{dt} + y = kx;$
- 2) $y = k \frac{dx}{dt};$
- 3) $\frac{dy}{dt} = kx;$
- 4) $T \frac{dy}{dt} + y = k \frac{dx}{dt};$
- 5) $y = k \left(T \frac{dx}{dt} + x \right).$

2.2. Перетворення математичних моделей.

1. Визначте зображення по Лапласу $x(s)$ сигналу $x(t) = a \cdot I(t)$.

ВАРІАНТИ ВІДПОВІДІ:

- 1) 1; 2) as ; 3) $\frac{a}{s}$; 4) a ; 5) $\frac{a}{s^2}.$

2. Визначте зображення по Лапласу $x(s)$ сигналу $x(t) = a + btc$

ВАРІАНТИ ВІДПОВІДІ:

1) $x(s) = a + bs$;

4) $x(s) = \frac{a}{s} + \frac{b}{s^2}$;

2) $x(s) = a + \frac{b}{s}$;

5) $x(s) = a + \frac{b}{s^2}$.

3) $x(s) = \frac{a}{s} + \frac{b}{s}$;

3. Визначте зображення по Лапласу $x(s)$ сигналу $x(t) = e^{at}$.

ВАРІАНТИ ВІДПОВІДІ:

1) $x(s) = \frac{1}{s+a}$;

4) $x(s) = \frac{s}{s+a}$;

2) $x(s) = \frac{1}{s-a}$;

5) не має зображення .

3) $x(s) = \frac{a}{s-a}$;

4. Визначте зображення по Лапласу $x(s)$ сигналу $x(t) = \sin \omega t$.

ВАРІАНТИ ВІДПОВІДІ:

1) $x(s) = \frac{1}{s^2 + \omega^2}$;

4) $x(s) = \frac{\omega}{s + \omega}$;

2) $x(s) = \frac{\omega^2}{s^2 + \omega^2}$;

5) $x(s) = \frac{\omega}{s^2 + \omega^2}$.

3) $x(s) = \frac{s}{s^2 + \omega^2}$;

5. Визначте зображення по Лапласу $x(s)$ сигналу $x(t) = \cos \omega t$.

ВАРІАНТИ ВІДПОВІДІ:

1) $x(s) = \frac{1}{s^2 + \omega^2}$;

4) $x(s) = \frac{\omega}{s + \omega}$;

2) $x(s) = \frac{\omega^2}{s^2 + \omega^2}$;

5) $x(s) = \frac{\omega}{s^2 + \omega^2}$.

3) $x(s) = \frac{s}{s^2 + \omega^2}$;

6. Визначте зображення по Лапласу $x(s)$ сигналу $x(t) = 1 - e^{-at}$.

ВАРІАНТИ ВІДПОВІДІ:

1) $x(s) = \frac{a}{(s+a)^2}$;

3) $x(s) = \frac{s}{s+a}$;

2) $x(s) = \frac{a}{s+a}$;

4) $x(s) = \frac{a}{s(s+a)}$.

3. ПЕРЕДАТОЧНІ ФУНКЦІЇ І МАТРИЦІ.

1. Що називається передаточною функцією лінійної стаціонарної звичайної неперервної системи з одним входом та одним виходом?

ВАРІАНТИ ВІДПОВІДІ:

1) відношення вихідного сигналу до вхідного;

2) відношення вихідного сигналу до вхідного при нульових початкових умовах;

3) відношення зображення за Лапласом вхідного сигналу до зображення за Лапласом вихідного сигналу;

4) відношення зображення за Лапласом вихідного сигналу до зображення за Лапласом вхідного сигналу;

5) відношення зображення за Лапласом вихідного сигналу до зображення за Лапласом вхідного сигналу за нульових початкових умов.

2. Визначте передаточну функцію $W(s) = \frac{y(s)}{x(s)}$ системи, що

описується рівнянням: $T^2 \frac{d^2 y}{dt^2} + y = k x$.

ВАРІАНТИ ВІДПОВІДІ:

1) $\frac{k}{(T^2 s^2 + 1)} + y_0 s + \dot{y}_0$;

3) $\frac{k}{(T^2 s^2 + 1)}$;

2) $\frac{k}{(T^2 s^2 + 1)} + y_0 s$;

4) $\frac{k}{(T^2 s + 1)}$.

3. Якою передаточною функцією описується RC-чотириполіусник із напругами на вході u_1 і виходом u_2 , схему якого наведено на рис. 3.1?

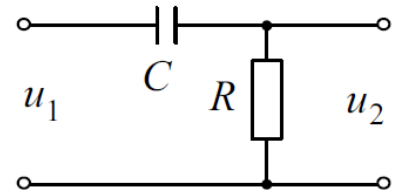


Рис. 3.1

ВАРІАНТИ ВІДПОВІДІ:

- 1) $e^{-\tau s}$;
- 2) $\frac{T_1 s + 1}{T_2 s + 1}$, где $T_2 < T_1$;
- 3) $\frac{T_1 s + 1}{T_2 s + 1}$, где $T_2 > T_1$;
- 4) $\frac{T s}{T s + 1}$;
- 5) $\frac{k}{s}$.

4. Якою передаточною функцією описується RC-чотириполіусник із напругами на вході u_1 і виходом u_2 , схему якого наведено на рис. 3.2?

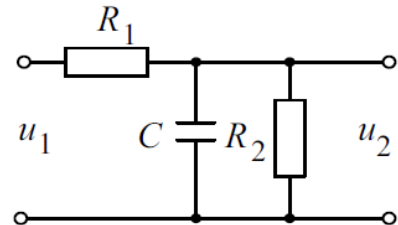


Рис. 3.2

ВАРІАНТИ ВІДПОВІДІ:

- 1) $\frac{T_1 s + 1}{T_2 s + 1}$, где $T_2 > T_1$;
- 2) $\frac{T_1 s + 1}{T_2 s + 1}$, где $T_2 < T_1$;
- 3) $\frac{k s}{T s + 1}$;
- 4) $\frac{k}{T s + 1}$;
- 5) $\frac{k}{s}$.

5. Якою передаточною функцією

$W(s) = \frac{u(s)}{\omega(s)}$ можна описати наведений на рис.3.3 тахогенератор?

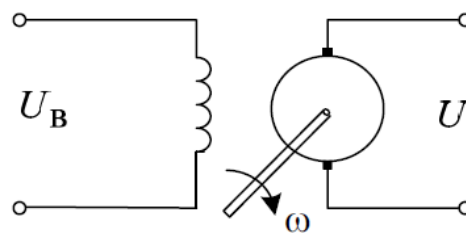


Рис. 3.3

ВАРІАНТИ ВІДПОВІДІ:

- 1) $\frac{k}{s}$;
- 2) $\frac{k T s}{T s + 1}$;
- 3) $T s$;
- 4) k ;

6. Обчисліть передаточну функцію $W(s) = \frac{y(s)}{u(s)}$ лінійної системи

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t), \quad y(t) = Cx(t) \quad \text{за умови, що}$$

$$A = \begin{bmatrix} -1 & 2 \\ 0 & -2 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \end{bmatrix}, \quad C = [-1 \quad 1].$$

ВАРІАНТИ ВІДПОВІДІ:

1) $W(s) = \frac{2s}{(s+1)(s+2)}$;

3) $W(s) = \frac{s-4}{(s+1)(s+2)}$;

2) $W(s) = \frac{1}{s+1}$;

4) $W(s) = \frac{1}{s+2}$.

7. Що розуміється під передаточною матрицею звичайної лінійної стаціонарної неперервної системи?

ВАРІАНТИ ВІДПОВІДІ:

- 1) матриця статичних коефіцієнтів передачі між виходами та входами системи;
- 2) матриця коефіцієнтів передачі між виходами та входами системи;
- 3) матриця, елементами якої є передавальні функції між виходами та входами системи;
- 4) матриця, сформована з передавальних функцій системи так, що її (i, j) - елементом є передаточна функція між i -м виходом та j -м входом системи.

8. З якого рівняння визначаються полюси системи, що описується

передаточною функцією $W(s) = \frac{B(s)}{A(s)}$?

ВАРІАНТИ ВІДПОВІДІ:

1) $A(s) + B(s) = 0$;

3) $B(s) = 0$;

2) $A(s) = 0$;

4) мало даних.

9. З якого рівняння визначаються нулі системи, що описується

передаточною функцією $W(s) = \frac{B(s)}{A(s)}$?

ВАРІАНТИ ВІДПОВІДІ:

1) $A(s) + B(s) = 0$;

3) $B(s) = 0$;

2) $A(s) = 0$;

4) мало даних.

10. Визначте полюси системи, що описуються передаточною функцією

$$W(s) = \frac{10(0,1s+1)}{s(s+1)(0,5s+1)}$$

ВАРІАНТИ ВІДПОВІДІ:

1) $s = -10$;

3) $s_1 = -1$; $s_2 = -2$;

2) $s_1 = 0$; $s_2 = -1$; $s_3 = -2$;

4) $s_1 = 0$; $s_2 = -1$; $s_3 = -2$; $s_4 = -10$.

11. Визначте нулі системи, що описуються передаточною функцією

$$W(s) = \frac{10(s^2 + 4s + 4)}{s(s+1)^2(5s+1)}$$

ВАРІАНТИ ВІДПОВІДІ:

1) $s_1 = 0$; $s_2 = -1$; $s_3 = -1$; $s_4 = -2$;

2) $s_1 = -2$; $s_2 = -2$;

3) $s_1 = 0$; $s_2 = -1$; $s_3 = -2$;

4) $s_1 = 0$; $s_2 = -1$; $s_3 = -1$; $s_4 = -2$; $s_4 = -2$; $s_4 = -2$.

12. Визначити передатну функцію об'єкта регулювання, модель якого задана диференціальним рівнянням

$$1.1\ddot{y} + 2.2\dot{y} + 3.1y + 4.2y = 1.34\ddot{x} - \dot{x}$$

ВИРІШЕННЯ: – Співставляючи похідним відповідний степінь s , відкидаючи символи функцій x та y і ділячи багаточлен правої частини диференціального рівняння на многочлен лівої частини, отримуємо ПФ.

$$W_{yx}(s) = \frac{1.34s^2 - 1}{1.1s^3 + 2.2s^2 + 3.1s + 4.2}$$

13. Визначити порядок об'єкта, записати його диференціальне рівняння з передатної функції

$$W_{yu}(s) = \frac{2s^2 + 3s + 1}{2s^3 + 4s^2 + 3s + 5}$$

ВИРІШЕННЯ: – Порядок об'єкта дорівнює трьом. Позначивши відповідно до індексів передатної функції вихідну величину $y(t)$, вхідну величину $u(t)$, замінюємо комплексну змінну Лапласа похідною за часом відповідного порядку і одержуємо:

$$2y^{(3)} + 4y^{(2)} + 3y^{(1)} + 5y = 2u^{(2)} + 3u^{(1)} + u$$

4. ТИПОВІ ДИНАМІЧНІ ЛАНКИ ЛІНІЙНИХ СИСТЕМ

1. Якій типовій динамічній ланці еквівалентний резервуар, що наповнюється рідиною (рис. 4.1), якщо за вхід прийняти тиск x рідини, що подається, а за вихід – її рівень y в баку?

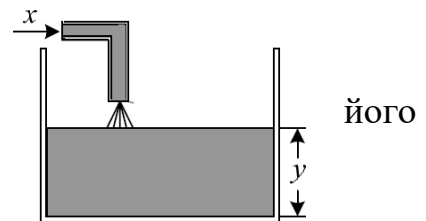


Рис. 4.1

ВАРІАНТИ ВІДПОВІДІ:

- 1) аперіодична; 2) ідеально інтегруюча;
3) ідеально диференціююча; 4) коливальна.

2. Яка типова динамічна ланка відповідає RL-чотирьохполюснику з наведеною на рис. 4.2 схемою?

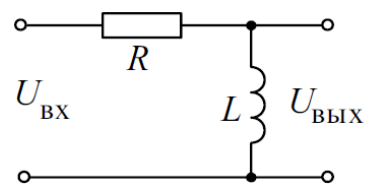


Рис. 4.2

ВАРІАНТИ ВІДПОВІДІ:

- 1) масштабна; 2) коливальна; 3) ідеально інтегруюча;
4) пружно диференціююча; 5) реально диференціююча.

3. Якій типовій динамічній ланці еквівалентний тахогенератор постійного струму (рис. 4.3), якщо за її вхід прийняти кут α повороту на валу тахогенератора, а за вихід – напругу U ?

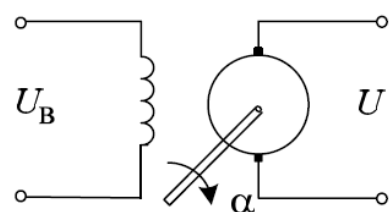


Рис. 4.3

ВАРІАНТИ ВІДПОВІДІ:

- 1) аперіодичній; 2) ідеально диференціюючій; 3) реально диференціюючій; 4) ідеально інтегруючій; 5) масштабуючій.

5. ОПЕРАТОРНО-СТРУКТУРНІ СХЕМИ ЛІНІЙНИХ НЕПЕРВНИХ СИСТЕМ

1. Що розуміється під операторно-структурною схемою системи автоматичного керування?

ВАРІАНТИ ВІДПОВІДІ:

- 1) графічне відображення математичної моделі;
 2) графічне відображення математичної моделі, записаної в операторній формі;
 3) графічне відображення структури системи;
 4) графічне відображення математичної моделі структури системи.

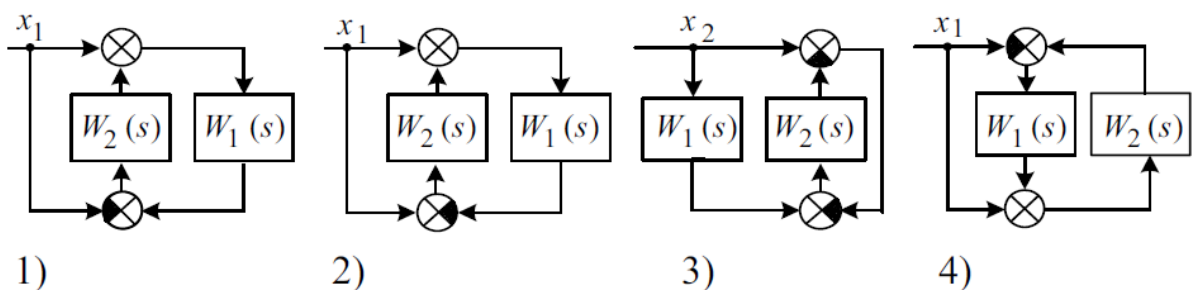
2. Чим характеризуються ланки в операторно-структурних схемах лінійних стаціонарних систем?

ВАРІАНТИ ВІДПОВІДІ:

- 1) перехідними функціями;
 2) імпульсними перехідними функціями;
 3) передавальними функціями;
 4) передатними матрицями.

3. Виберіть варіант операторно-структурної схеми системи, що описується рівняннями:

ВАРІАНТИ ВІДПОВІДІ:

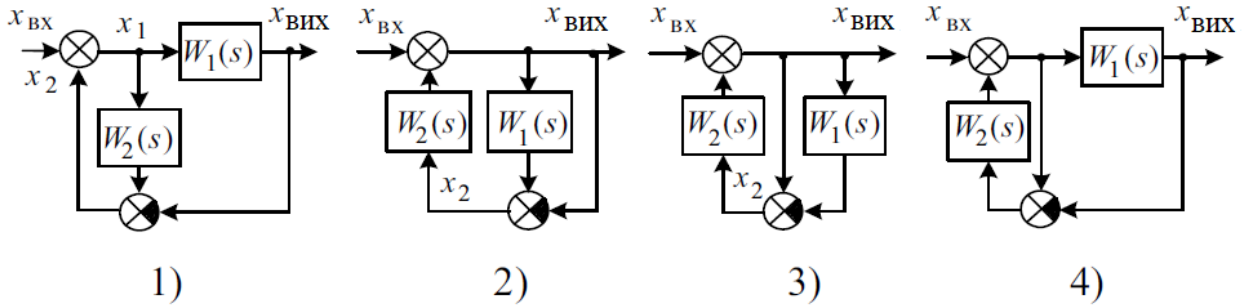


4. Складіть операторно-структурну схему системи, що описується наступними рівняннями:

$$x_1(s) = x_{\text{ВХ}}(s) + W_2(s)x_2(s); \quad x_{\text{ВИХ}}(s) = W_1(s)x_1(s);$$

$$x_2(s) = x_1(s) - x_{\text{ВИХ}}(s).$$

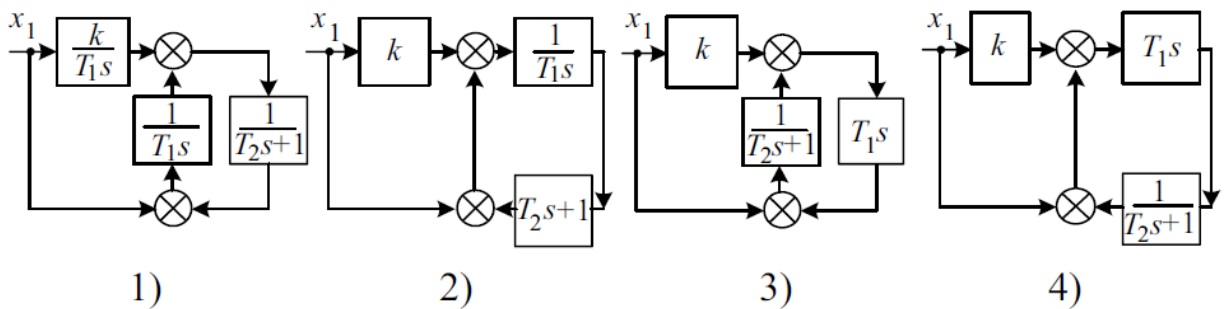
ВАРІАНТИ ВІДПОВІДІ:



5. Виберіть варіант операторно-структурної схеми системи, що описується рівняннями:

$$T_1 \frac{dx_3}{dt} = kx_1 + x_2; \quad x_2 = x_1 + x_4; \quad T_2 \frac{dx_4}{dt} + x_4 = x_3.$$

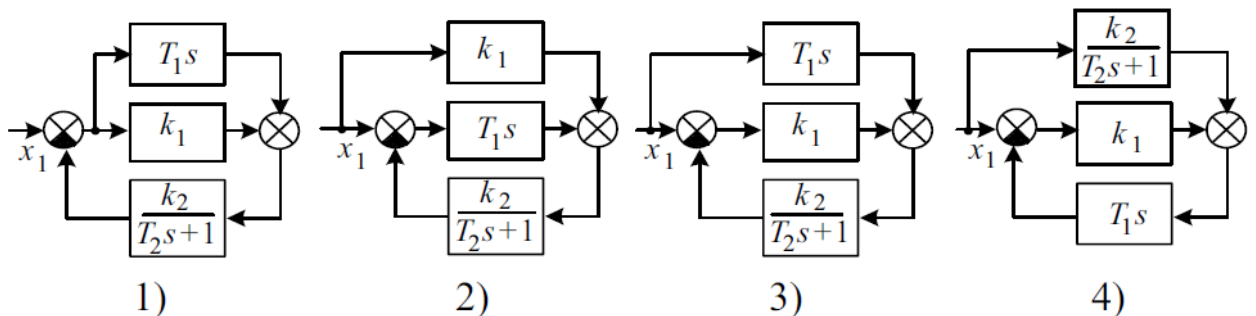
ВАРІАНТИ ВІДПОВІДІ:



6. Виберіть варіант операторно-структурної схеми системи, що описується рівняннями:

$$x_3 = x_2 + T_1 \frac{dx_1}{dt}; \quad x_2 = k_1 x_1 - k_1 x_4; \quad T_2 \frac{dx_4}{dt} + x_4 = k_2 x_3.$$

ВАРІАНТИ ВІДПОВІДІ:

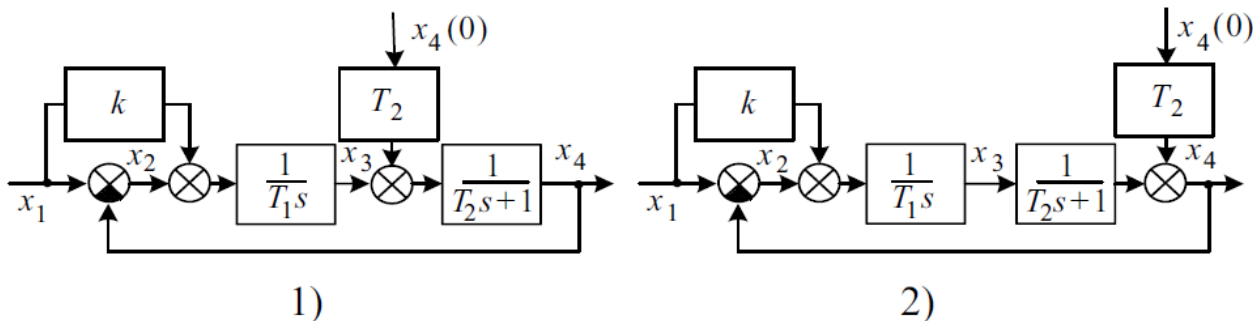


7. Виберіть варіант операторно-структурної схеми системи, що описується рівняннями:

$$T_1 \frac{dx_3}{dt} = kx_1 + x_2, \quad x_2 = x_1 - x_4, \quad T_2 \frac{dx_4}{dt} + x_4 = x_3,$$

враховуючи початкові умови $x_1(0) = x_2(0) = x_3(0) = 0, \quad x_4(0) \neq 0$.

ВАРІАНТИ ВІДПОВІДІ:



6. ПЕРЕТВОРЕННЯ ОПЕРАТОРНО-СТРУКТУРНИХ СХЕМ

1. Визначте передатну функцію $W_{xg}(s)$ системи, операторно-структурна схема якої представлена на рис. 6.1.

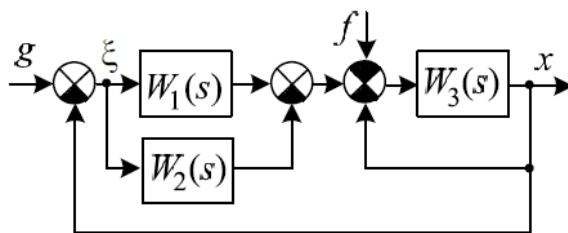


Рис. 6.1

- 1) $\frac{[W_1(s) + W_2(s)][W_3(s) + 1]}{1 + W_3(s)[W_1(s) + W_2(s) + 1]}$; 4) $\frac{W_1(s)W_2(s)}{[1 + W_3(s)][1 + W_1(s)W_2(s)] + W_1(s)W_3(s)}$;
 2) $\frac{[W_1(s) + W_2(s)]W_3(s)}{1 + W_3(s)[W_1(s) + W_2(s) + 1]}$; 5) $\frac{W_3(s)}{1 + W_3(s)[W_1(s) + W_2(s)]}$;
 3) $\frac{[W_1(s) + W_2(s)]W_3(s)}{1 + W_3(s)[W_1(s) + W_2(s)]}$;

2. Визначте передатну функцію $W_{xf}(s)$ системи, операторно-структурна схема якої представлена на рис. 6.2.

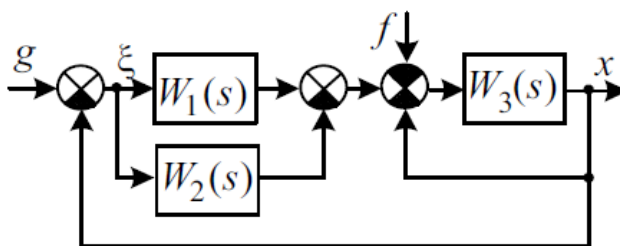


Рис. 6.2

ВАРІАНТИ ВІДПОВІДІ:

- 1) $\frac{W_3(s)}{[W_1(s) - W_2(s)][W_3(s) + 1]}$; 4) $\frac{W_1(s) - W_2(s)}{W_3(s)[W_1(s) - W_2(s)] + 1}$;
- 2) $\frac{-W_1(s)W_2(s)}{[1 + W_3(s)][W_1(s) - W_2(s)]}$; 5) $\frac{-W_3(s)}{[1 + W_3(s)][1 + W_1(s)W_2(s)]}$.
- 3) $\frac{-W_3(s)}{1 + W_3(s)[1 - W_1(s) - W_2(s)]}$;

3. Визначте передатну функцію $W_{yx}(s)$ системи, операторно-структурна схема якої представлена на рис. 6.3.

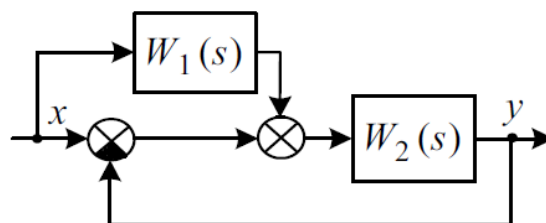


Рис. 6.3

ВАРІАНТИ ВІДПОВІДІ:

- 1) $\frac{W_2(s)[1 - W_1(s)]}{[1 + W_2(s)]}$; 2) $\frac{W_2(s)[1 + W_1(s)]}{1 + W_1(s)W_2(s)}$; 3) $\frac{1 + W_1(s)}{1 + W_2(s)}$;
- 4) $\frac{W_2(s)[1 + W_1(s)]}{1 + W_1(s)}$; 5) $\frac{W_2(s)[1 + W_1(s)]}{1 + W_2(s)}$.

4. Визначте передатну функцію $W_{yx}(s)$ системи, операторно-структурна схема якої представлена на рис. 6.4.

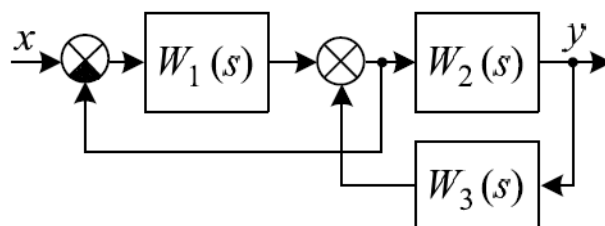


Рис. 6.4

ВАРІАНТИ ВІДПОВІДІ:

- 1) $\frac{W_1(s)W_2(s)}{1 + W_1(s) - W_2(s)W_3(s)}$; 4) $\frac{W_1(s)W_2(s)}{1 + W_1(s)W_2(s)W_3(s)}$;
- 2) $\frac{W_1(s)}{1 + W_1(s) - W_2(s)W_3(s)}$; 5) $\frac{W_1(s)W_2(s)}{1 + W_1(s) + W_2(s)W_3(s)}$;
- 3) $\frac{W_2(s)}{1 + W_1(s) + W_2(s)W_3(s)}$;

5. Визначте передатну функцію $W_{\xi g(s)}$ системи, операторно-структурна схема якої представлена на рис. 6.5.

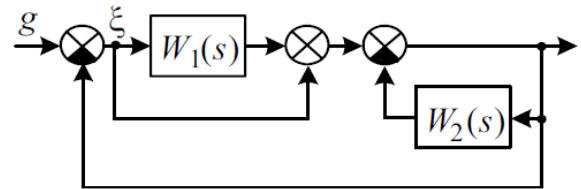


Рис. 6.5

ВАРІАНТИ ВІДПОВІДІ:

- | | |
|----------------------------------------------|---------------------------------------------|
| 1) $\frac{1+W_2(s)}{W_1(s)+W_2(s)+2}$; | 4) $\frac{1+W_2(s)}{W_1(s)+W_2(s)+1}$; |
| 2) $\frac{1+W_1(s)}{W_1(s)+W_2(s)+1}$; | 5) $\frac{W_1(s)}{W_1(s)W_2(s)+W_2(s)+1}$. |
| 3) $\frac{W_1(s)+W_2(s)}{W_1(s)+W_2(s)+1}$; | |

6. Визначте передатну функцію $W_{\xi x(s)}$ системи, операторно-структурна схема якої представлена на рис. 6.6.

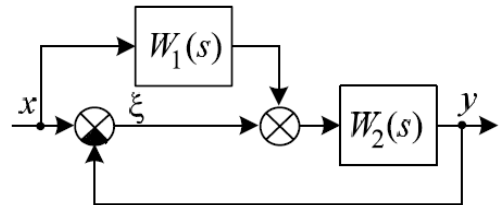


Рис. 6.6

ВАРІАНТИ ВІДПОВІДІ:

- | | |
|----------------------------------------|----------------------------------------|
| 1) $\frac{1}{1+W_2(s)}$; | 4) $\frac{1+W_2(s)}{1+W_1(s)W_2(s)}$; |
| 2) $\frac{1+W_1(s)}{1+W_1(s)W_2(s)}$; | 5) $\frac{1-W_1(s)W_2(s)}{1+W_2(s)}$. |
| 3) $\frac{1+W_1(s)}{1+W_1(s)W_2(s)}$; | |

7. Визначте передатну функцію $W_{\xi f(s)}$ системи, операторно-структурна схема якої представлена на рис. 6.7.

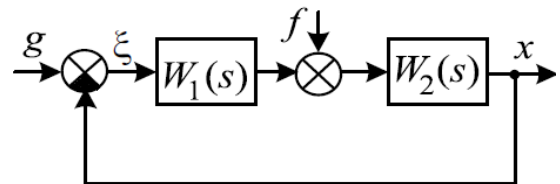


Рис. 6.7

ВАРІАНТИ ВІДПОВІДІ:

- | | |
|--------------------------------------------|---------------------------------------|
| 1) $-\frac{W_1(s)}{1+W_1(s)W_2(s)}$; | 3) $-\frac{W_2(s)}{1+W_1(s)W_2(s)}$; |
| 2) $\frac{W_1(s)W_2(s)}{1+W_1(s)W_2(s)}$; | 4) $\frac{1}{1+W_1(s)W_2(s)}$; |
| | 5) $\frac{W_2(s)}{1+W_1(s)W_2(s)}$. |

8. Визначте передатну функцію $W_{yx}(s)$ системи, операторно-структурна схема якої представлена на рис. 6.8.

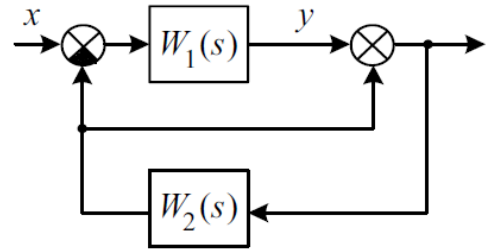


Рис. 6.8

ВАРІАНТИ ВІДПОВІДІ:

- | | |
|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| 1) $\frac{W_1(s)[1+W_2(s)]}{1+W_2(s)+W_1(s)W_2(s)}$; | 4) $\frac{W_1(s)[1-W_2(s)]}{1-W_1(s)+W_1(s)W_2(s)}$; |
| 2) $\frac{W_1(s)[1-W_2(s)]}{1-W_2(s)-W_1(s)W_2(s)}$; | 5) $\frac{W_1(s)[1-W_2(s)]}{1-W_2(s)+W_1(s)W_2(s)}$. |
| 3) $\frac{W_1(s)[1-W_2(s)]}{1+W_2(s)-W_1(s)W_2(s)}$; | |

9. Визначте передатну функцію $W_{yx}(s)$ системи, операторно-структурна схема якої представлена на рис. 6.9.

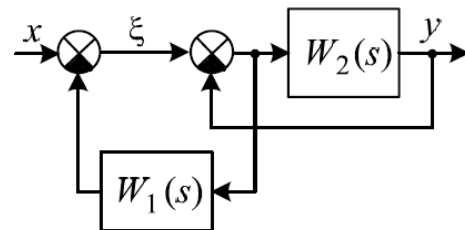


Рис. 6.9

ВАРІАНТИ ВІДПОВІДІ:

- | | |
|-----------------------------------------|----------------------------------------|
| 1) $\frac{W_1(s)}{1+W_1(s)+W_2(s)}$; | 4) $\frac{W_1(s)}{1+W_1(s)W_2(s)}$; |
| 2) $\frac{1+W_2(s)}{1+W_1(s)+W_2(s)}$; | 5) $\frac{1+W_2(s)}{1+W_1(s)W_2(s)}$. |
| 3) $\frac{W_2(s)}{1+W_1(s)+W_2(s)}$; | |

10. Визначте лапласово зображення сигналу $y(t)$ у наведеній на рис. 4.10 системі за умови, що $x(t) = 2t + 3 \cdot 1(t)$.

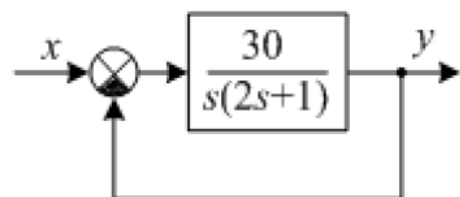


Рис. 6.10

ВАРІАНТИ ВІДПОВІДІ:

$$1) \left(\frac{2}{s^2} + \frac{3}{s} \right) \cdot \frac{30}{s(2s+1) - 30};$$

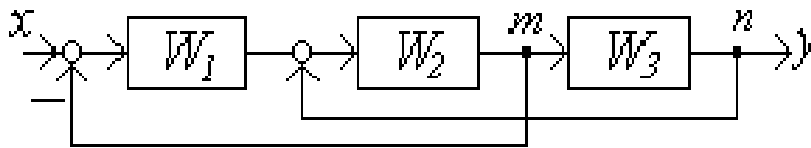
$$4) \left(\frac{2}{s^2} + \frac{3}{s} \right) \cdot \frac{30}{s(2s+1) + 30};$$

$$2) \left(\frac{2}{s} + 3 \right) \cdot \frac{30}{s(2s+1) + 30};$$

$$5) \left(\frac{2}{s} + 3 \right) \cdot \frac{30}{s(2s+1) - 30};$$

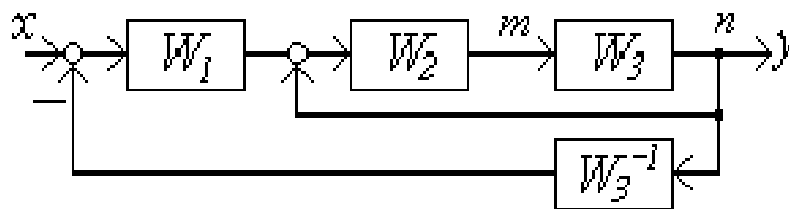
$$3) (2 + 3s) \cdot \frac{30}{s(2s+1) + 30};$$

11. Визначити передатну функцію схеми:



РІШЕННЯ ТА КОМЕНТАРІ:

Видно, що без перетворень не можна починати згортати схему, зокрема не можна об'єднати ланки W_2 і W_3 , як послідовно включені, через зв'язок у точці m . Перенесемо гілку із вузла m в вузол n .



У вихідній схемі на шляху від точки m до вхідного суматора не було ланок, що перетворюють сигнал, а в новій схемі на шляху між тими ж точками з'являється ланка з передатною функцією W_3 . Отже, в ланцюг переносимого впливу потрібно ввести фіктивну ланку зі зворотною функцією передачі, тобто $1/W_3$ або W_3^{-1} . Після перенесення починається етап згортання схеми, замінюючи щоразу кілька ланок одною еквівалентною. Проміжні (допоміжні) ПФ зазвичай індексують римськими цифрами, їх використовують тимчасово і обов'язково замінюють у результаті на ПФ реально існуючими індексами.

$$W^I = W_2 W_3; \quad W^{II} = \frac{W_1 W_2 W_3}{1 - W_2 W_3};$$

$$W = \frac{\frac{W_1 W_2 W_3}{1 - W_2 W_3}}{1 + \frac{W_1 W_2 W_3}{1 - W_2 W_3} \cdot \frac{1}{W_3}} = \frac{\frac{W_1 W_2 W_3}{1 - W_2 W_3}}{\frac{1 - W_2 W_3 + W_1 W_2}{1 - W_2 W_3}} = \frac{W_1 W_2 W_3}{1 - W_2 W_3 + W_1 W_2}.$$

Кінцевий результат завжди представляється у виді простого раціонального дроби і виражається лише через висхідні передатні функції. Сигнал не може пройти через одну і ту ж точку двічі, тому поява у виразі кратних величин виду $2W_i$ або W_i^2 є ознакою допущеної при перетвореннях помилки. Якщо, в системі є хоч один зворотний зв'язок, передатна функція системи завжди буде дробом; знак перед добутком ПФ ланок у знаменнику зазвичай протилежний знаку зворотного зв'язку.

$$W(p) = \frac{W_1(p)}{1 \pm W_1(p)W_2(p)},$$

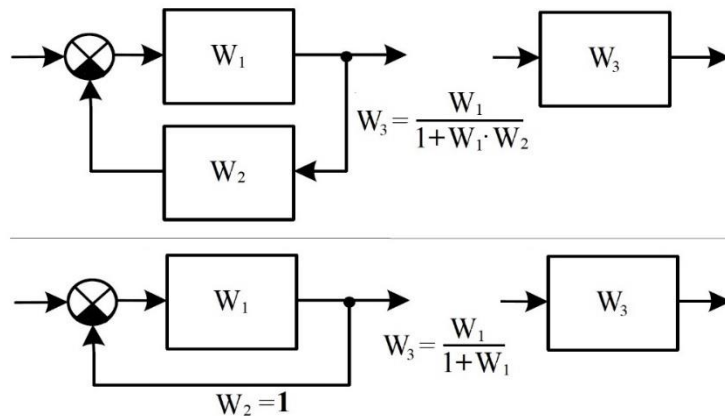


Рис. 6.11

7. ПРИКЛАДИ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО ОПРАЦЮВАННЯ

Відома передатна функція системи без зворотних зв'язків (рис. 6.11а). Знайти передатну функцію цієї системи але із одиничним (стопроцентним) рівнем зворотного зв'язку (рис. 6.11б). Хід розв'язку і результат показано на рис. 6.12.

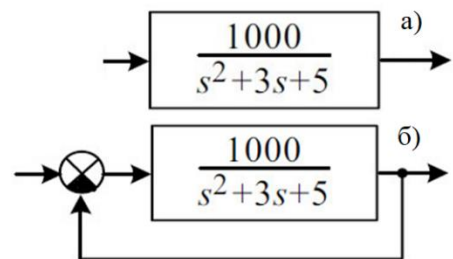


Рис. 6.11

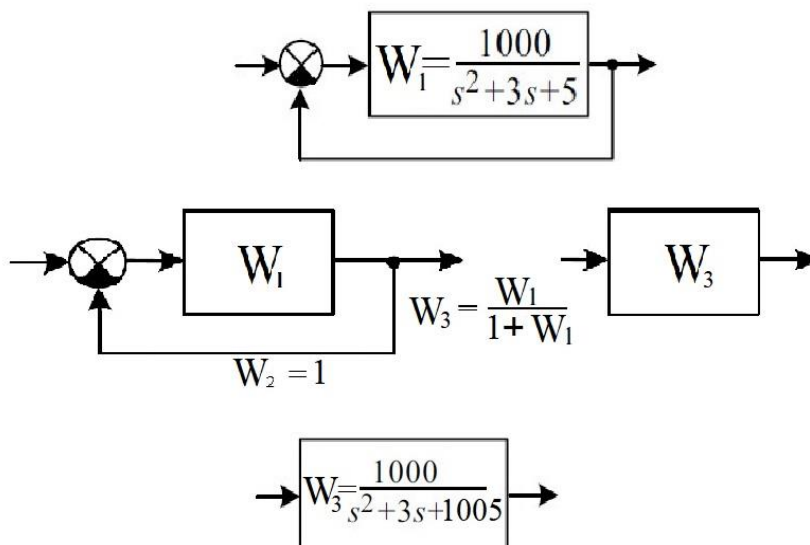
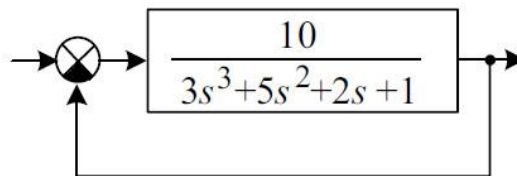


Рис. 6.12

Зверніть увагу, що вільний член у знаменнику збільшився на значення наявне у чисельнику (було 5, стало 5+1000=1005). По аналогії, при передатній функції розімкнutoї (без зворотних зав'язків) системи:

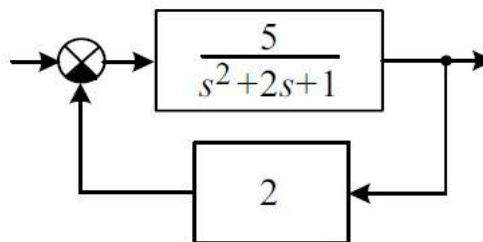
$$W = \frac{10}{3s^3 + 5s^2 + 2s + 1}$$

передатна функція замкнутої системи буде такою:



$$W_3 = \frac{10}{3s^3 + 5s^2 + 2s + 11}$$

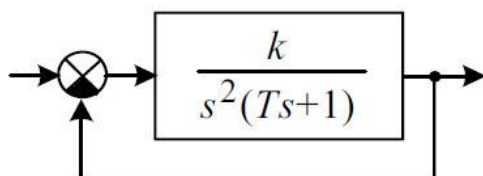
У випадку коли рівень зворотного зв'язку (33) дійсне число (наприклад 2).



$$W_3 = \frac{5}{(s^2 + 2s + 1) + 5 \times 2} = \frac{5}{s^2 + 2s + 11}$$

Тобто, перемножується чисельник на значення 33 (5×2), результат додається до вільного члена у знаменнику (тут, це 1).

Для передатна функція системи (рис. 6.13) із одиничним (сто процентним) рівнем зворотного зв'язку буде мати наступний вид:



$$W_3 = \frac{k}{s^2(Ts + 1) + k} .$$

Рис. 6.13

Таким чином, в деяких випадках, маючи передаточну функцію системи без зворотного зв'язку, можна відразу визначити передаточну функцію системи при умітненні кола зворотного зв'язку, не вдаючись до якихось математичних викладок.

8. РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Теория автоматического управления / Под ред. А. В. Нетушила.– М.: Высшая школа, 1976. – 400 с.
2. Сборник задач по теории автоматического регулирования и управления. 3-е изд. перераб. и доп. / Под ред. В. А. Бесекерского. – М.: Наука, 1969. – 588 с.
3. <https://ifirmal.com/primery-resheniya-zadach-po-teorii-avtomaticheskogo-upravleniya/> [Электронный ресурс].
4. Попович М.Г., Ковальчук О.В. Теорія автоматичного керування. – Київ: Либідь, 2007. – 655 с.
5. Малишенко А.М., Вадутов О.М. Сборник тестовых задач по теории автоматического управления. – Томск: "ТПУ", 2008.– 368 с.
6. Маркіна О.М., Маркін М.О Теорія автоматичного керування. Конспект лекцій. – Київ: НТУУ "КПІ", 2009. – 137 с.