

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО КОНТРОЛЬНОЇ РОБИ ЗА КУРСОМ
«ТЕОРІЯ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ»**

Донецьк ДонНТУ 2004

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до контрольної роботи за курсом
«Теорія автоматичного керування»
(для студентів заочної форми навчання спеціальності 7.090602)

Затверджено
на засіданні кафедри електричних систем.
Протокол № ___ від “___” _____ 2004 р.

Затверджено
на засіданні учбово-видавничої ради ДонНТУ.
Протокол № ___ від “___” _____ 2004 р.

Донецьк ДонНТУ 2004

УДК 621.311:681.5

Методичні вказівки до контрольних робіт за курсом «Теорія автоматичного керування» (для студентів заочної форми навчання спеціальності 7.090602)/ Уклад.: В.П.Кобазєв, Д.В.Полковніченко. - Донецьк: ДонНТУ, 2004. - 51 с.

Приведені методичні вказівки до виконання контрольних робіт із курсу «Теорія автоматичного керування». Методичні вказівки можуть також використовуватися студентами очної форми навчання спеціальностей 7.090601 і 7.090602

Укладачі: доц. Кобазєв В.П.
ас. Полковніченко Д.В.

Рецензент: доц. Шумяцький В.М.

ЗМІСТ

Вступ	
Завдання № 1. Рівняння, передавальні функції й перехідні характеристики типових ланок	
Завдання № 2. Основні способи з'єднання ланок	
Завдання № 3. Структурні схеми САК і їхнє перетворення	
Завдання № 4. Критерії стійкості Гурвіця і Найквіста	
Завдання № 5. Критерій стійкості Михайлова	
Література	
Додаток А. Таблиці для вибору варіантів завдань	
Додаток Б. Приклади виконання завдань	

ВСТУП

У курсі «Теорія автоматичного керування» (ТАК) для студентів, що навчаються по напрямку "Електротехніка" вивчаються основи лінійної теорії автоматичного керування. Вона складається з наступних розділів: математичний опис систем автоматичного керування (САК), типові ланки, типові регулятори, показники якості регулювання, передатні функції САК, помилки регулювання САК, стійкість, корекція й синтез бажаної САК.

Ціль контрольної роботи з ТАК наступна. У результаті виконання запропонованих завдань сформувані в студентів навички знаходження для різних електричних схем з R , L , C - елементів передатних функцій й їхніх параметрів, передатних функцій для різних схем САК, побудови перехідних характеристик, оцінки стійкості САК за допомогою алгебраїчних і частотних критеріїв.

У методичних вказівках до контрольних робіт з ТАК наведені завдання по основних розділах курсу, а також наведені приклади їхнього виконання. Інші розділи курсу проробляються при виконанні лабораторних робіт, які містять у собі розрахункову частину як при підготовці до роботи, так і при обробці результатів моделювання. Пропоновані приклади рішення завдань повинні допомогти студентові засвоїти типову методику підходу до розрахунків елементів САК.

Таким чином, у результаті виконання контрольних робіт у студента є можливість закріпити й конкретизувати матеріал курсу ТАК.

ЗАВДАННЯ № 1.
РІВНЯННЯ, ПЕРЕДАВАЛЬНІ ФУНКЦІЇ
Й ПЕРЕХІДНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТИПОВИХ ЛАНОК

Для заданої схеми визначити передавальну функцію і знайти вирази для обчислення її параметрів. Побудувати перехідну характеристику. $U_{вх}(t)$ прийняти 10 В.

Вихідні дані приведені в табл.1. Номер варіанта завдання, який також відповідає номеру схеми, визначається згідно табл.А.1-А.5.

Методичні вказівки до виконання завдання

Спочатку потрібно визначити струми в гілках схеми. Потім за допомогою першого і другого законів Кірхгофа скласти системи рівнянь. При складанні рівнянь на виході схеми прийняти втрату напруги рівною $U_{вих}(t)$. Далі провести перетворення з метою отримання диференційного рівняння, що зв'язує між собою напруги $U_{вх}(t)$ і $U_{вих}(t)$. Для визначення передавальної функції записуємо диференційне рівняння в операторній формі. Після спрощення виразів у чисельнику і знаменнику треба визначити якій типовій ланці відповідає отримана функція.

Для побудови графіків перехідних характеристик $U_{вих}(t)$ треба розрахувати $U_{вих}(t=0)$, $U_{вих}(t=\infty)$ і якщо можливо $U_{вих}(t=T)$. Осі напруги $U_{вих}$ й часу t розбити згідно значення $U_{вих}(t=\infty)$ і сталої часу T схеми.

Таблиця 1 - Вихідні дані до виконання завдання № 1

Варіант	R_1 , кОм	R_2 , кОм	R_3 , кОм	L_1 , Гн	L_2 , Гн	C_1 , мкФ	C_2 , мкФ
1	3	4	5	6	7	8	9
1	3	3	-	1	1	-	-
2	1,5	35	80	-	-	120	-
3	0,8	45	-	0,5	-	-	-
4	1,5	0,75	20	-	-	30	-
5	2,5	17	-	-	-	80	-
6	5	-	-	15	-	-	-
7	1,5	13,5	-	0,8	-	-	-
8	800	50	-	-	-	25	-
9	25	-	-	1,5	-	-	-
10	500	15	-	1,5	-	-	-

Продовження табл. 1

1	3	4	5	6	7	8	9
11	10	100	-	1,2	-	-	-
12	5	10	-	-	-	50	100
13	4	5	10	-	-	60	-
14	0,5	10	-	10	-	200	-
15	6	12	-	-	-	60	80
16	10	-	-	5	-	500	-
17	-	-	-	2	-	800	-
18	0,1	-	-	6	-	600	-
19	8	-	-	-	-	20	30
20	30	-	-	-	-	2	3
21	3	0,4	10	1,2	-	-	-
22	10	20	-	-	-	200	-
23	0,05	-	-	0,5	1	-	-
24	30	-	-	1,5	1	-	-
25	20	-	-	2	1	-	-
26	12	-	-	0,7	-	60	-
27	10	-	-	0,84	-	30	-
28	3	50	110	-	-	150	-
29	2	20	35	-	-	70	-
30	2,5	15	40	1	-	-	-

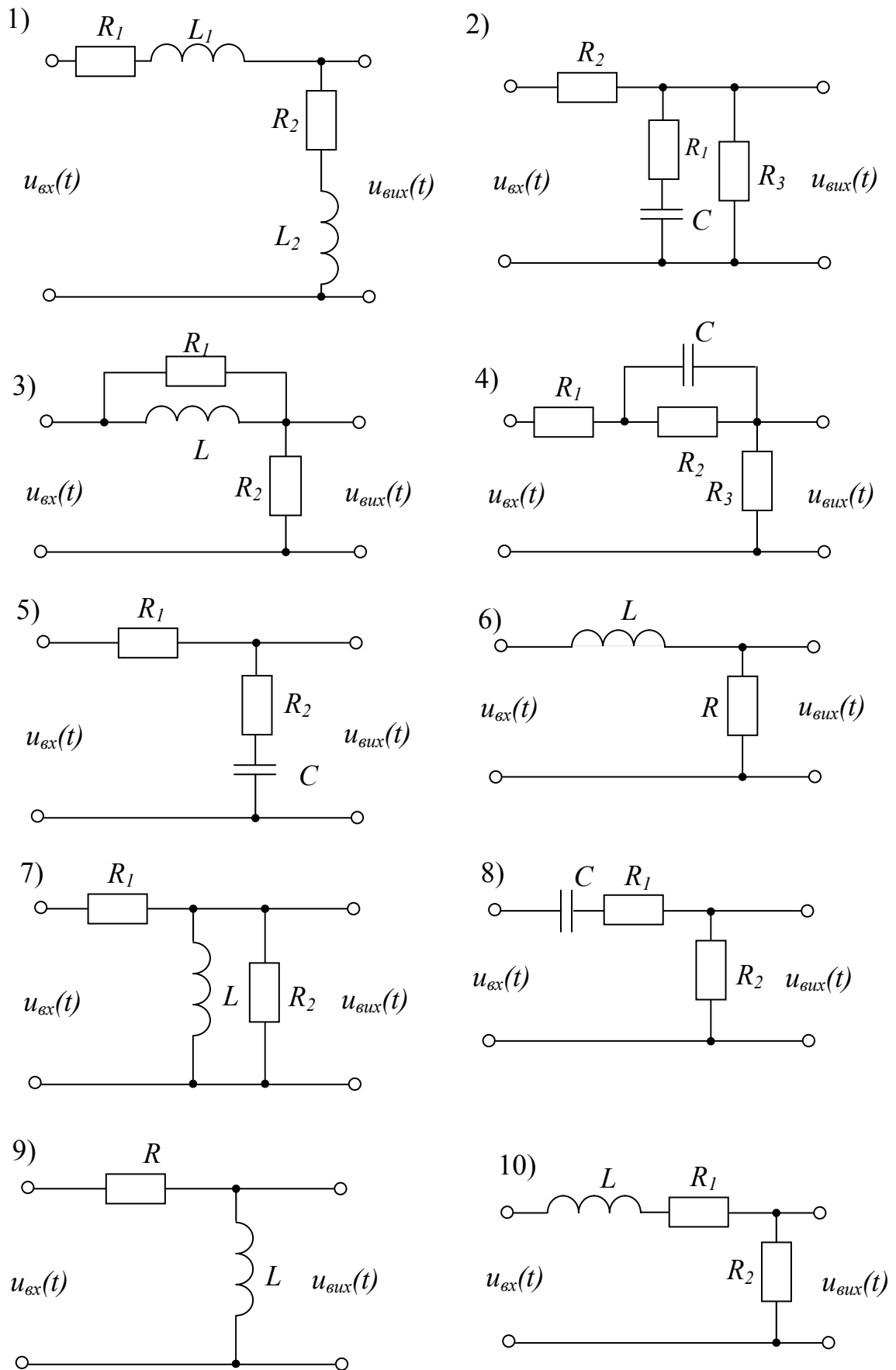
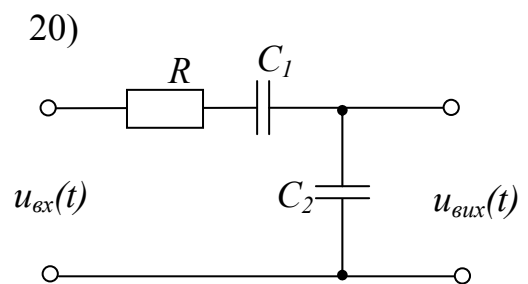
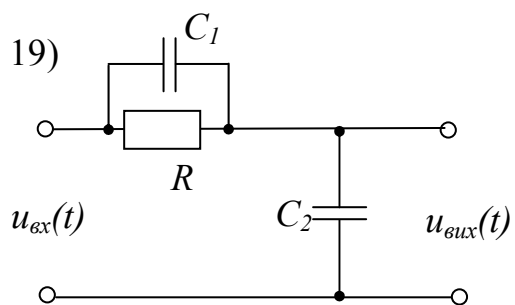
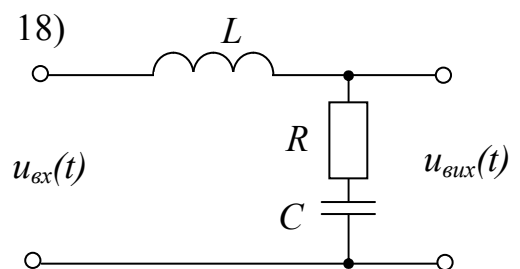
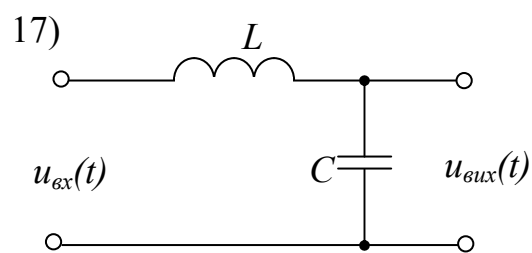
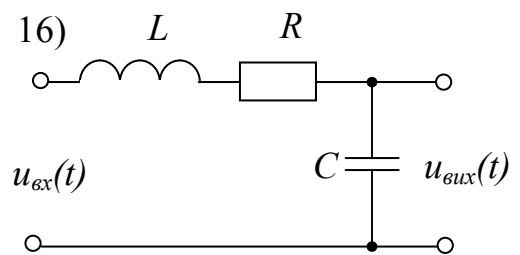
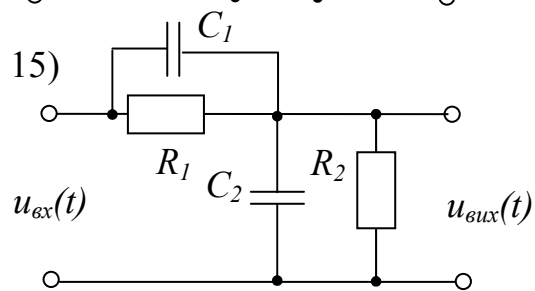
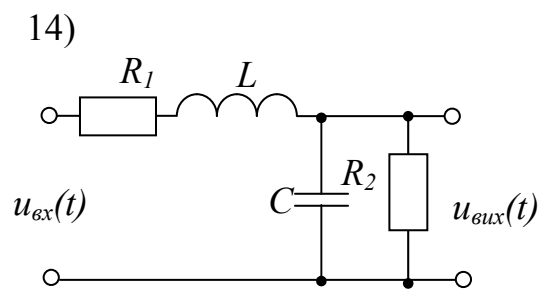
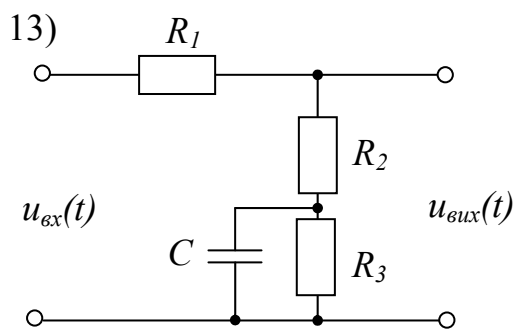
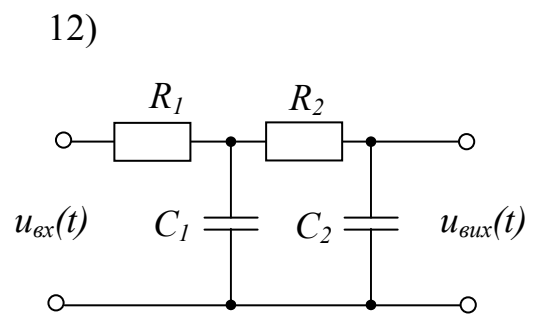
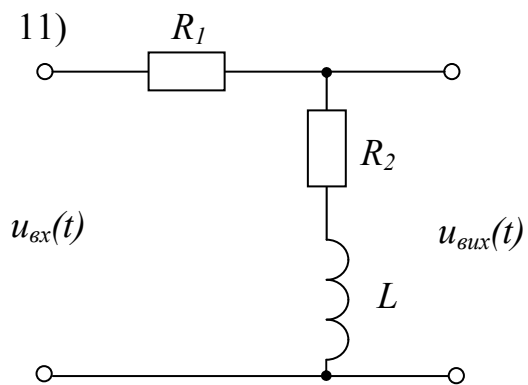
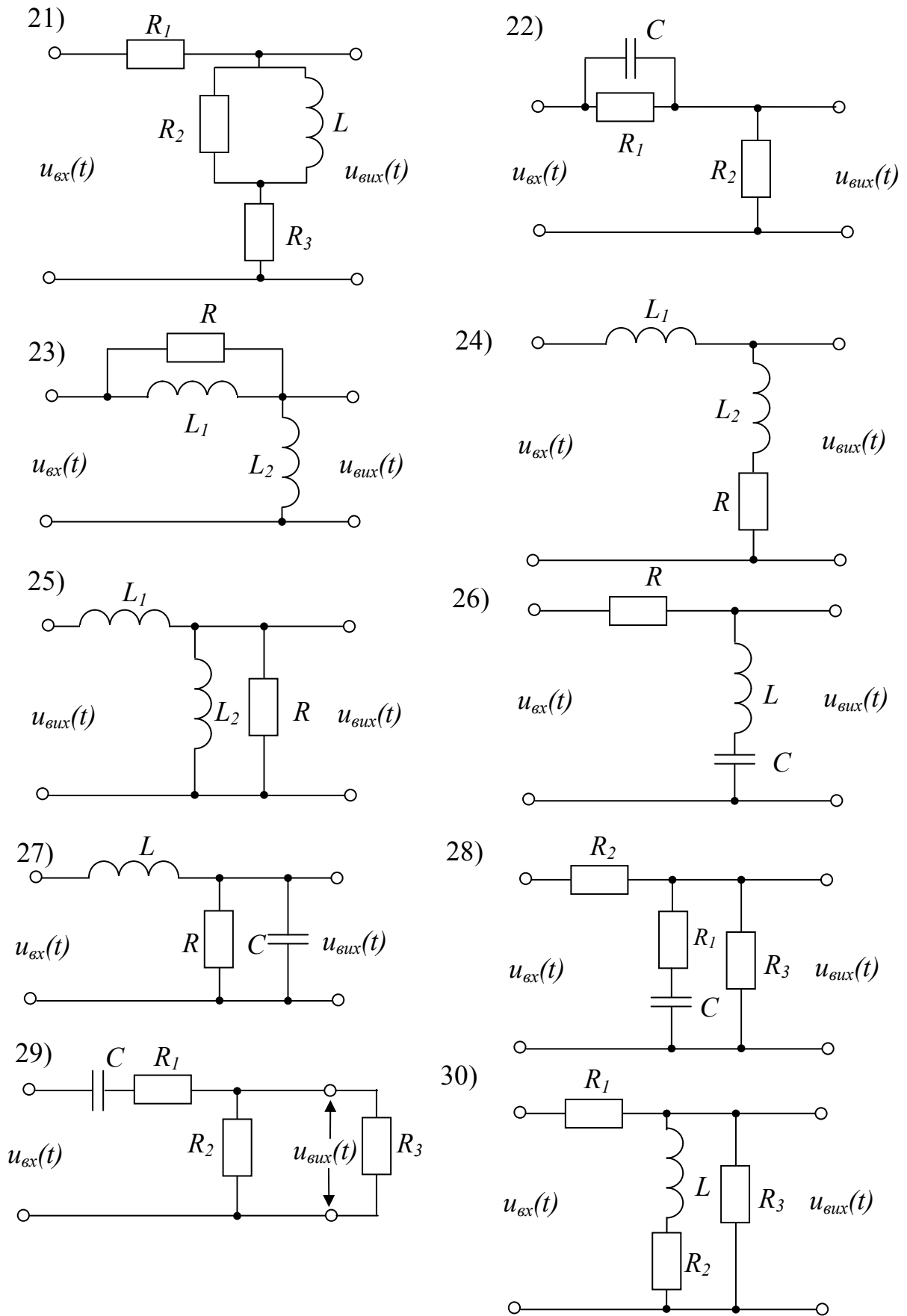


Рисунок 1 – Схеми електричних кіл до завдання № 1



Продовження рис. 1.



Продовження рис.1.

ЗАВДАННЯ № 2. ОСНОВНІ СПОСОБИ З'ЄДНАННЯ ЛАНОК

Для схеми з'єднання ланок, показаної на рис.2, визначити еквівалентну передатну функцію і якісно побудувати в одній і тій же системі координат перехідні характеристики у прямому каналі й еквівалентної ланки. Вихідні дані приведені в табл.2. Номер варіанта завдання, який також відповідає номеру схеми, визначається згідно табл.А.1-А.5.

Методичні вказівки до виконання завдання

При визначенні еквівалентної передавальної функції схеми $W_{cx}(p)$ з'єднання ланок використовується вираз для знаходження еквівалентної передавальної функції при послідовному, паралельному й зустрічно-паралельному з'єднанні ланок. При необхідності визначається передавальна функція ланок, які розташовані у прямому каналі. Отримана передавальна функція приймається за передавальну функцію вихідної ланки. При складанні виразу для визначення $W_{cx}(p)$ потрібно послатися на одну або кілька основних схем з'єднання ланок. Перетворення отриманого виразу потрібно проводити поетапно із вказівкою на здійснювані дії. Ціль перетворень - одержати поліноми в чисельнику й знаменнику. Після цього потрібно оцінити, якій типовій ланці відповідає отримана передавальна функція. Далі знаходяться вирази для визначення параметрів $W_{cx}(p)$ і $W_{вих}(p)$.

Для побудови в одній і тій же системі координат перехідних характеристик у прямому каналі й еквівалентній ланці розраховуються значення $x_{вих}(t)$ при $t=0$, $t=T$, $t=3 \cdot T$ і при $t=\infty$.

Наприкінці робляться висновки щодо впливу прямих і зворотних зв'язків на параметри $W_{cx}(p)$ і перехідну характеристику.

Таблиця 2 - Вихідні дані до виконання завдання № 2

Варіант	$x_{вих}(t)$	K_1	K_2	K_3	K_4	T_1 , сек.	T_2 , сек.	T_3 , сек.	T_4 , сек.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	8	-	-	-	0,55	-	-	-
2	1	2	1,5	4	-	-	-	-	-
3	1	1,7	3,3	-	-	-	0,4	-	-
4	1	15	25	0,1	-	0,45	0,25	-	-
5	1	1,5	8	-	-	-	-	-	-
6	1	1	5	-	-	-	0,015	-	-

Продовження табл..2

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>
7	1	12	15	0,5	-	0,35	0,4	-	-
8	1	20	0,5	-	-	0,6	-	-	-
9	1	3	5	-	-	-	0,6	-	-
10	1	14	3	-	-	-	0,45	-	-
11	1	20	25	10	-	-	0,65	-	-
12	1	30	10	-	-	-	-	-	-
13	1	2	2	4	-	-	-	-	-
14	1	10	2	-	-	0,8	0,2	-	-
15	1	1,5	3	-	-	-	0,02	-	-
16	1	20	1,5	-	-	-	-	-	-
17	1	5	3	-	-	-	0,5	-	-
18	1	2	4	-	-	-	-	-	-
19	1	3	2	-	-	-	0,1	-	-
20	1	10	7	-	-	-	-	-	-
21	1	-	-	5	-	0,3	0,15	-	-
22	1	5	9	3	-	-	0,35	-	-
23	1	3	6	4	2	-	-	-	-
24	1	2	4	3	6	0,4	-	-	-
25	1	8	4	2	7	-	-	-	-
26	1	5	7	7	3	-	-	0,55	-
27	1	3	4	5	6	-	-	-	0,18
28	1	10	6	2	-	-	0,23	-	-
29	1	8	3	-	-	0,4	0,1	-	-
30	1	9	4	7	-	-	-	-	-

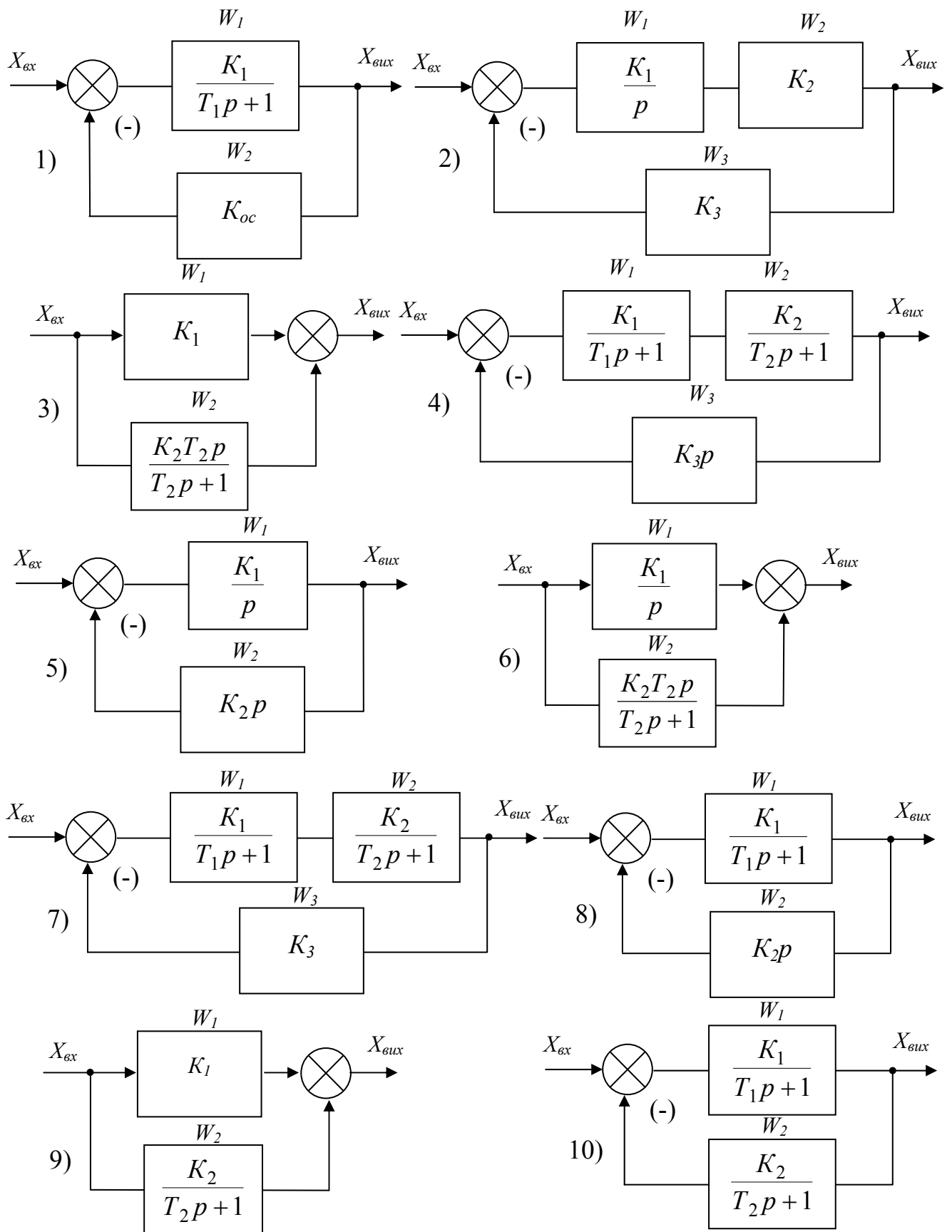
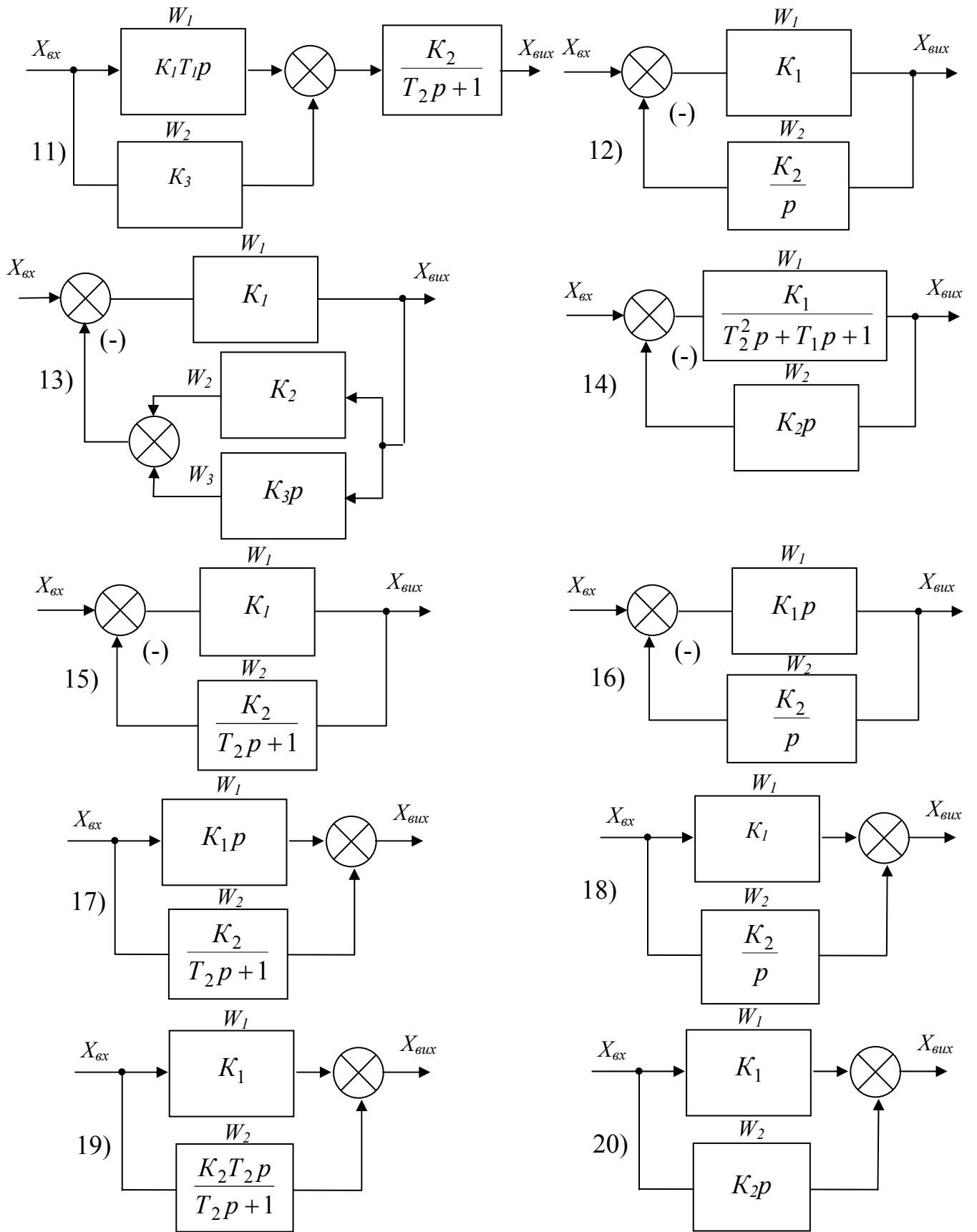
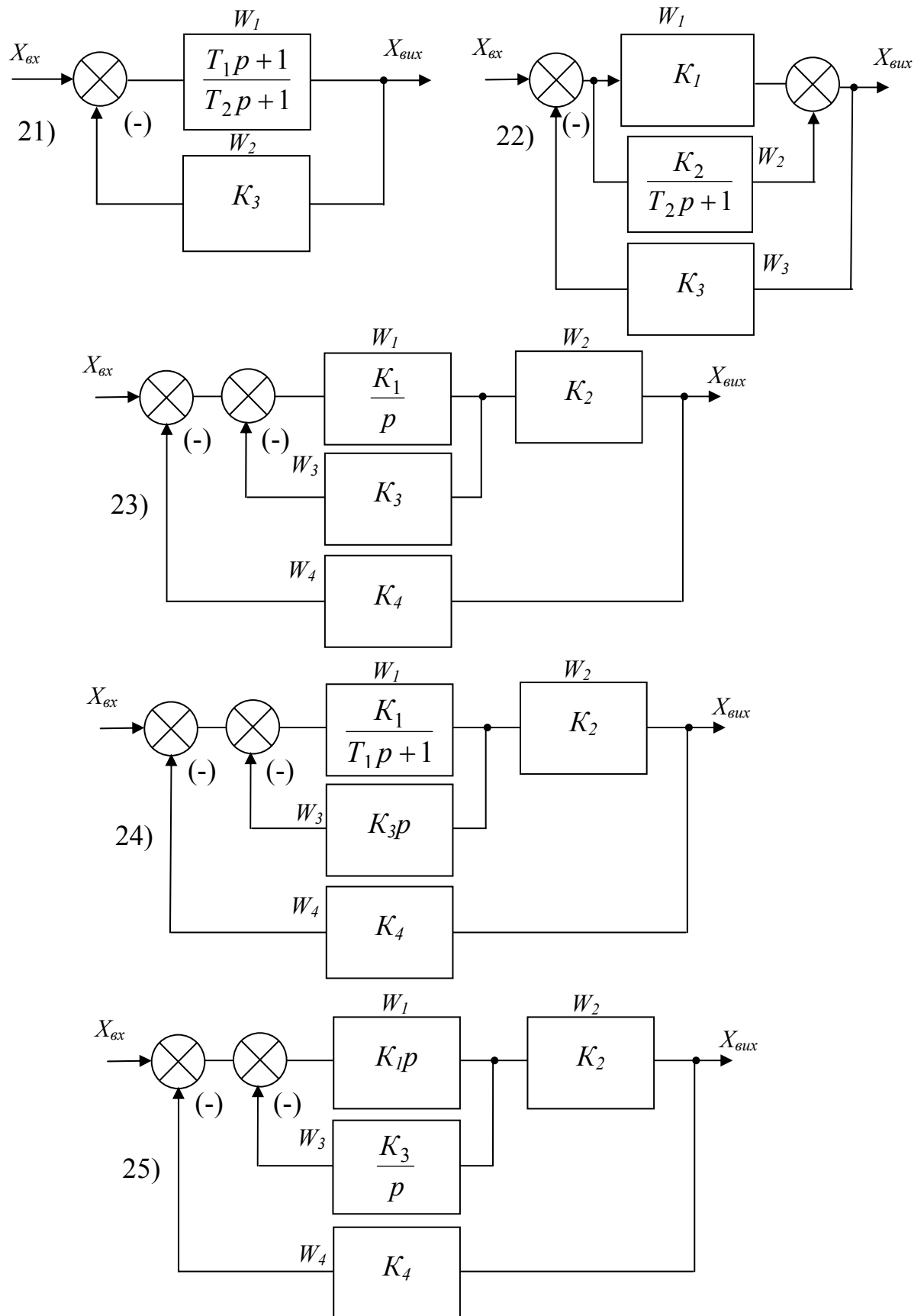


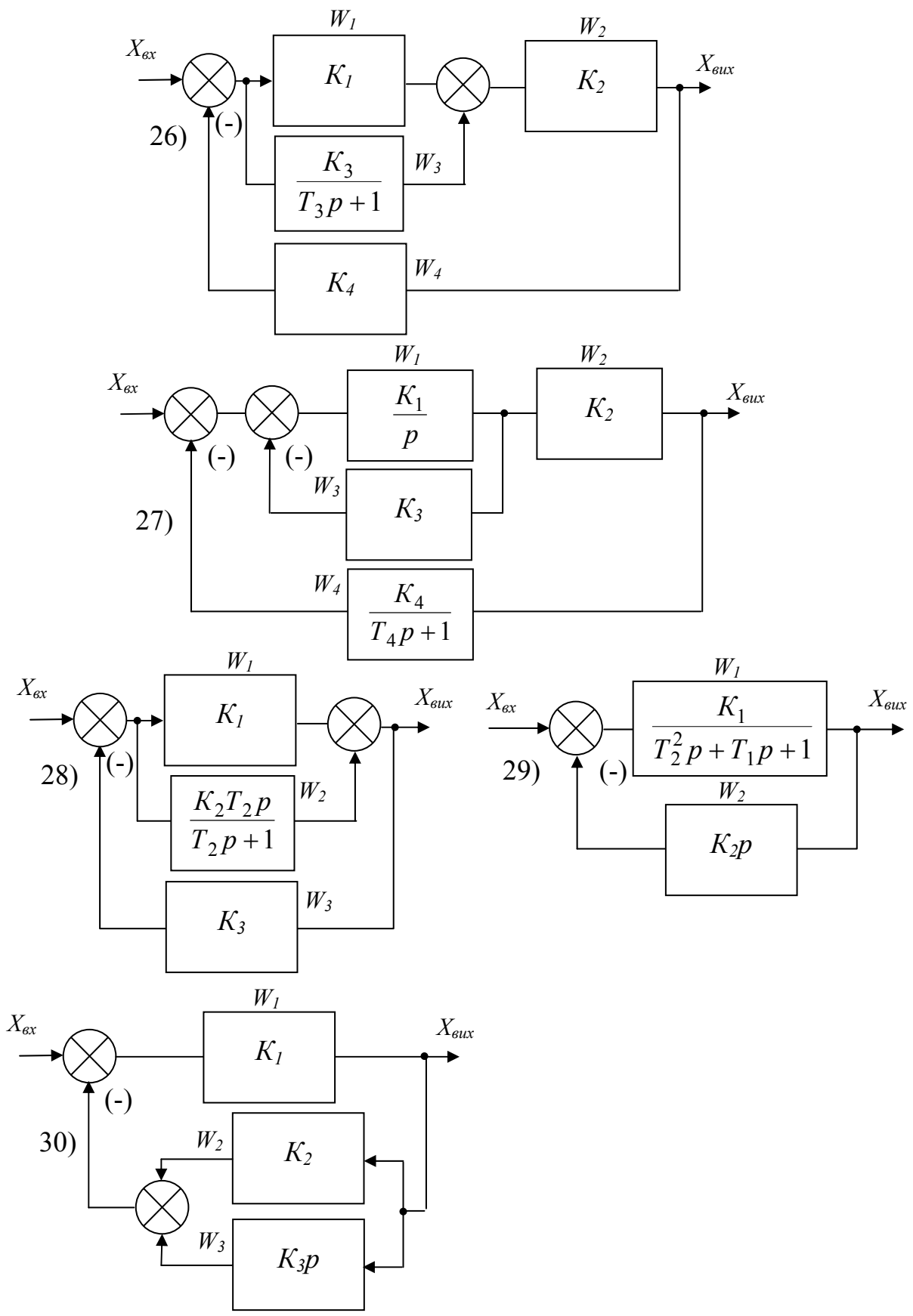
Рисунок 2 - Схеми з'єднання ланок до завдання № 2



Продовження рис.2.



Продовження рис.2.



Продовження рис.2.

ЗАВДАННЯ № 3. СТРУКТУРНІ СХЕМИ САК І ЇХНЄ ПЕРЕТВОРЕННЯ

Для заданої схеми (рис.3) визначити еквівалентну передавальну функцію. Номер варіанта завдання (схеми) визначається згідно табл.А.1-А.5.

Методичні вказівки до виконання завдання

Той самий процес автоматичного керування може бути здійснено за допомогою систем розчленованих на різне число ланок з різними структурними зв'язками між ними. Будь-яку таку систему можна спростити шляхом еквівалентних перетворень. При цих перетвореннях передавальна функція системи не змінюється й вона не залежить від того на скільки ланок розбита система керування.

Починати перетворення треба з перехресних зв'язків. Для цього використовуються наступні правила переносу точки приєднання структурного зв'язку з виходу ланки на вхід і із входу на вихід, перенос впливу з виходу ланки на його вхід і навпаки. Потім використовуються співвідношення для визначення еквівалентних передатних функцій при послідовному, паралельному і зустрічно-паралельному з'єднанні ланок.

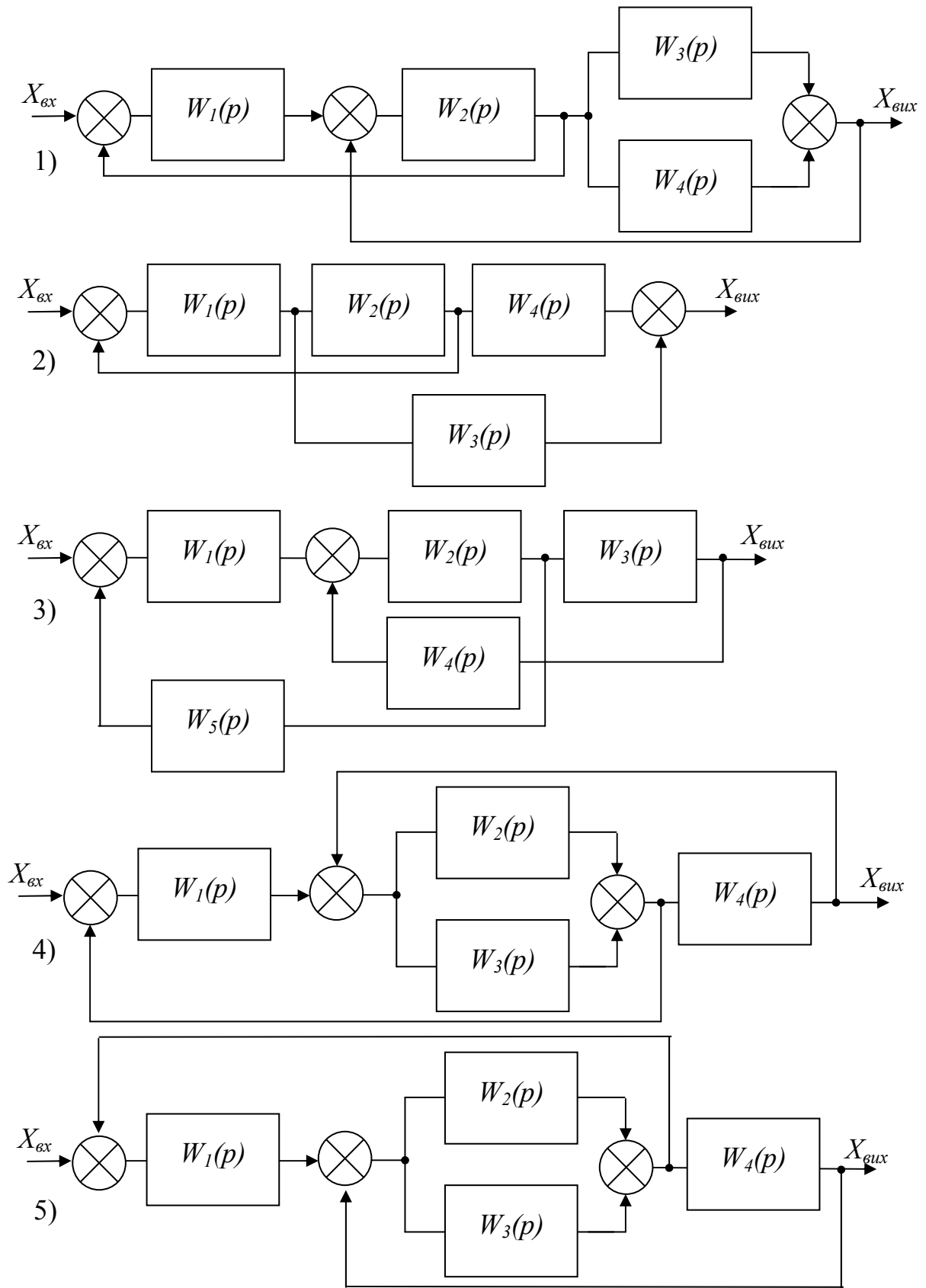
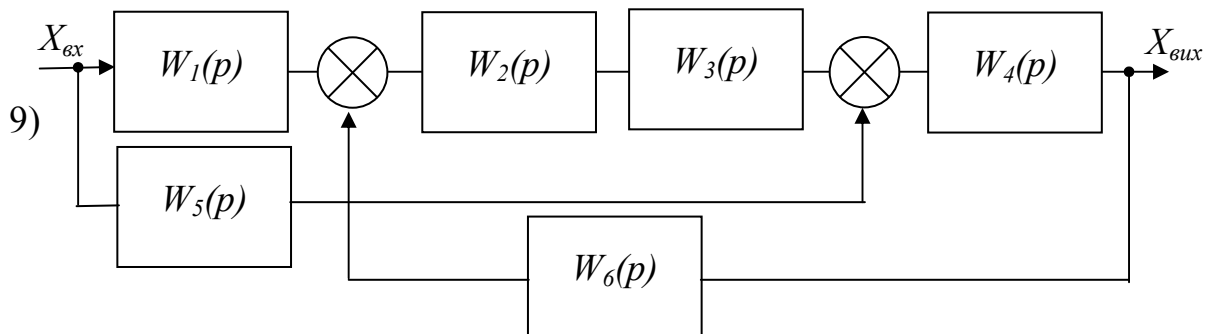
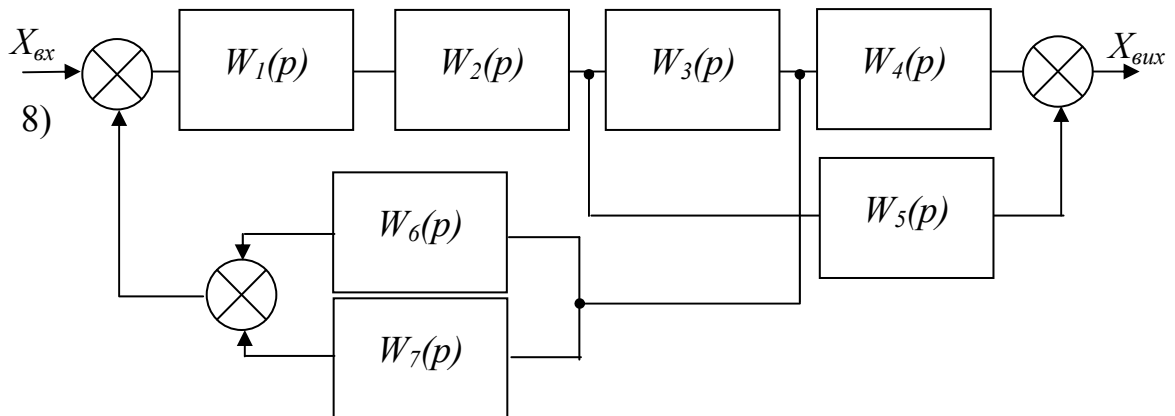
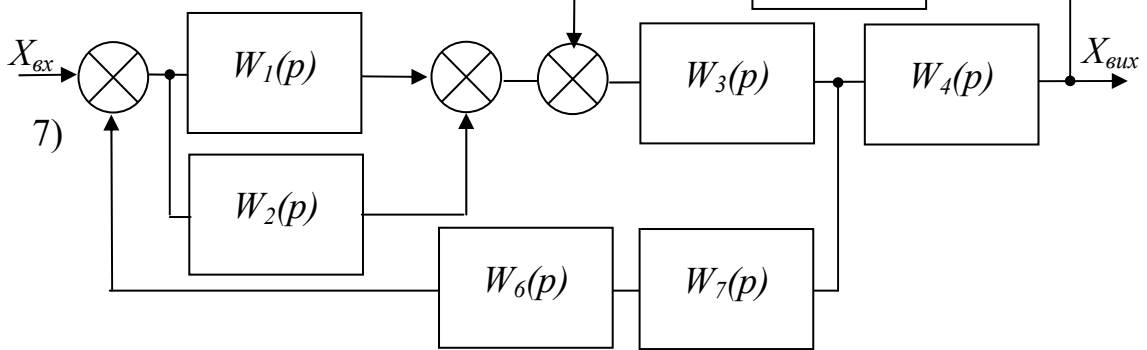
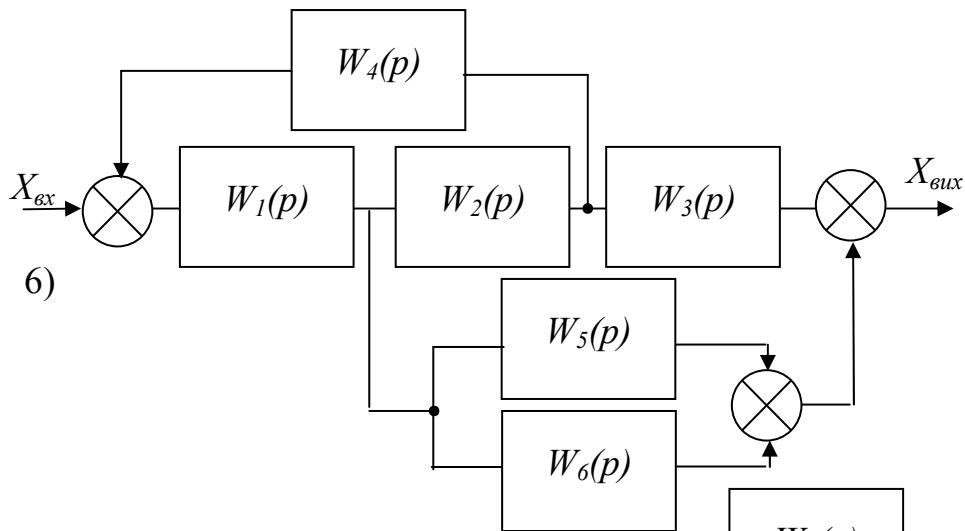
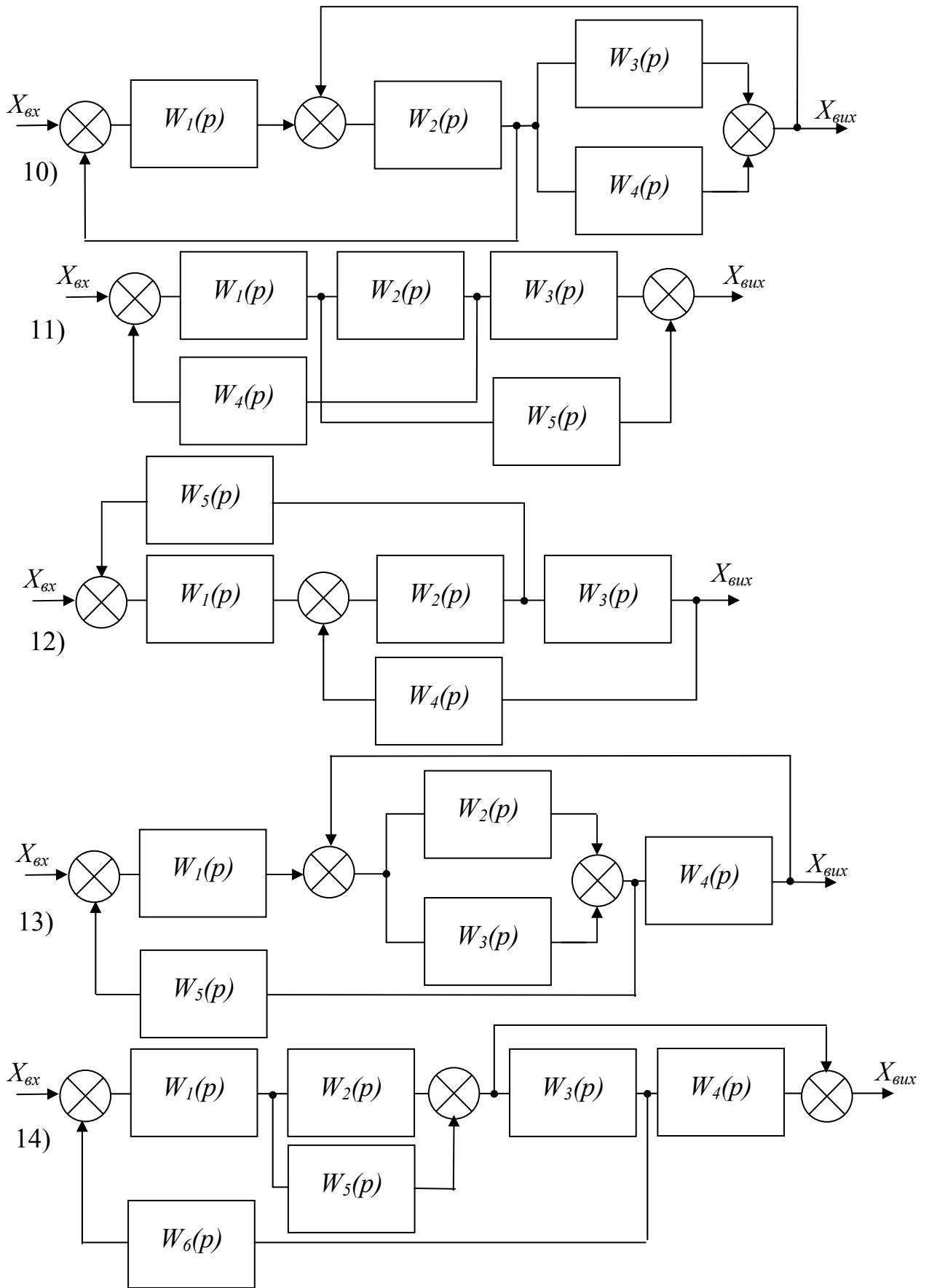


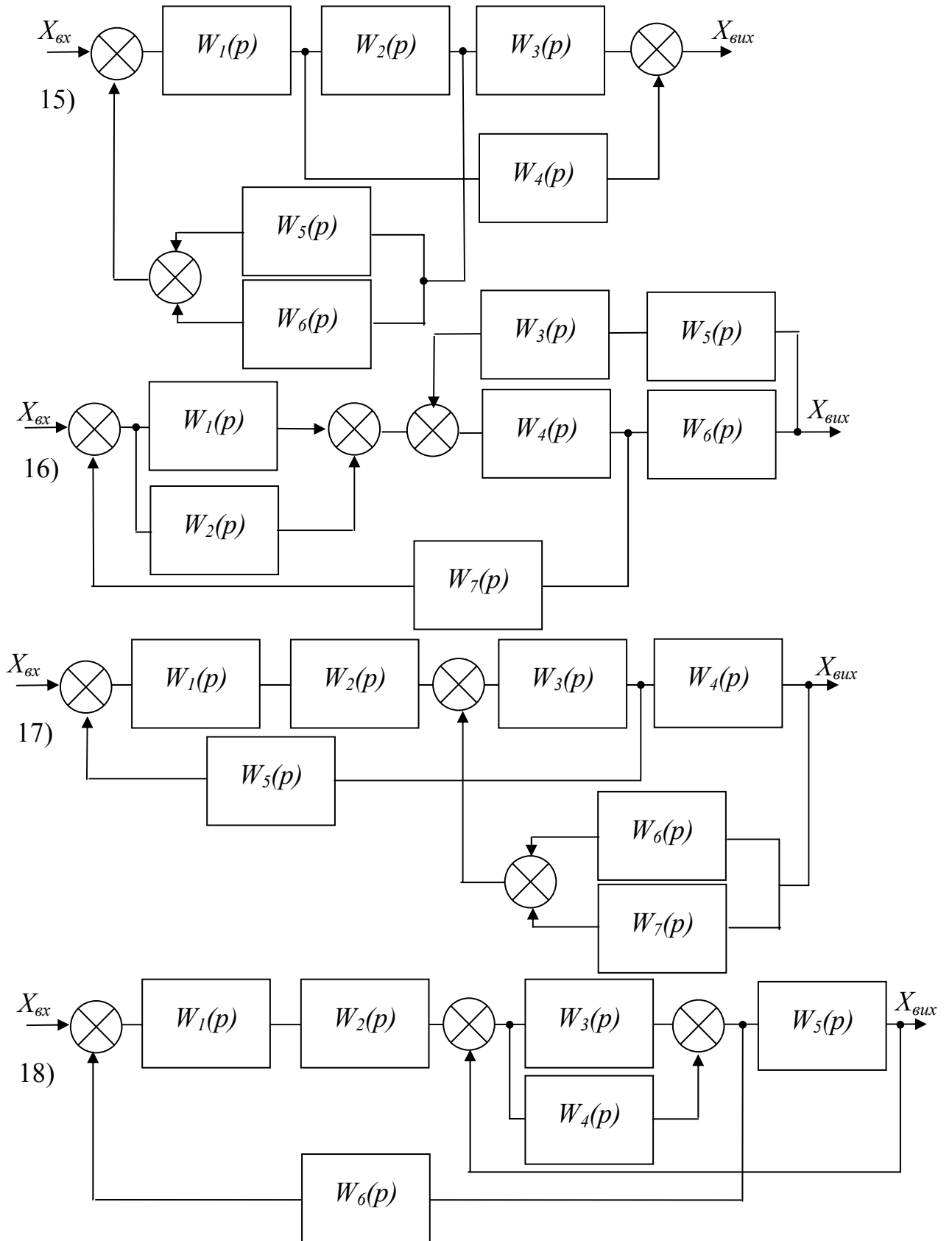
Рисунок 3 - Схема САК до завдання № 3



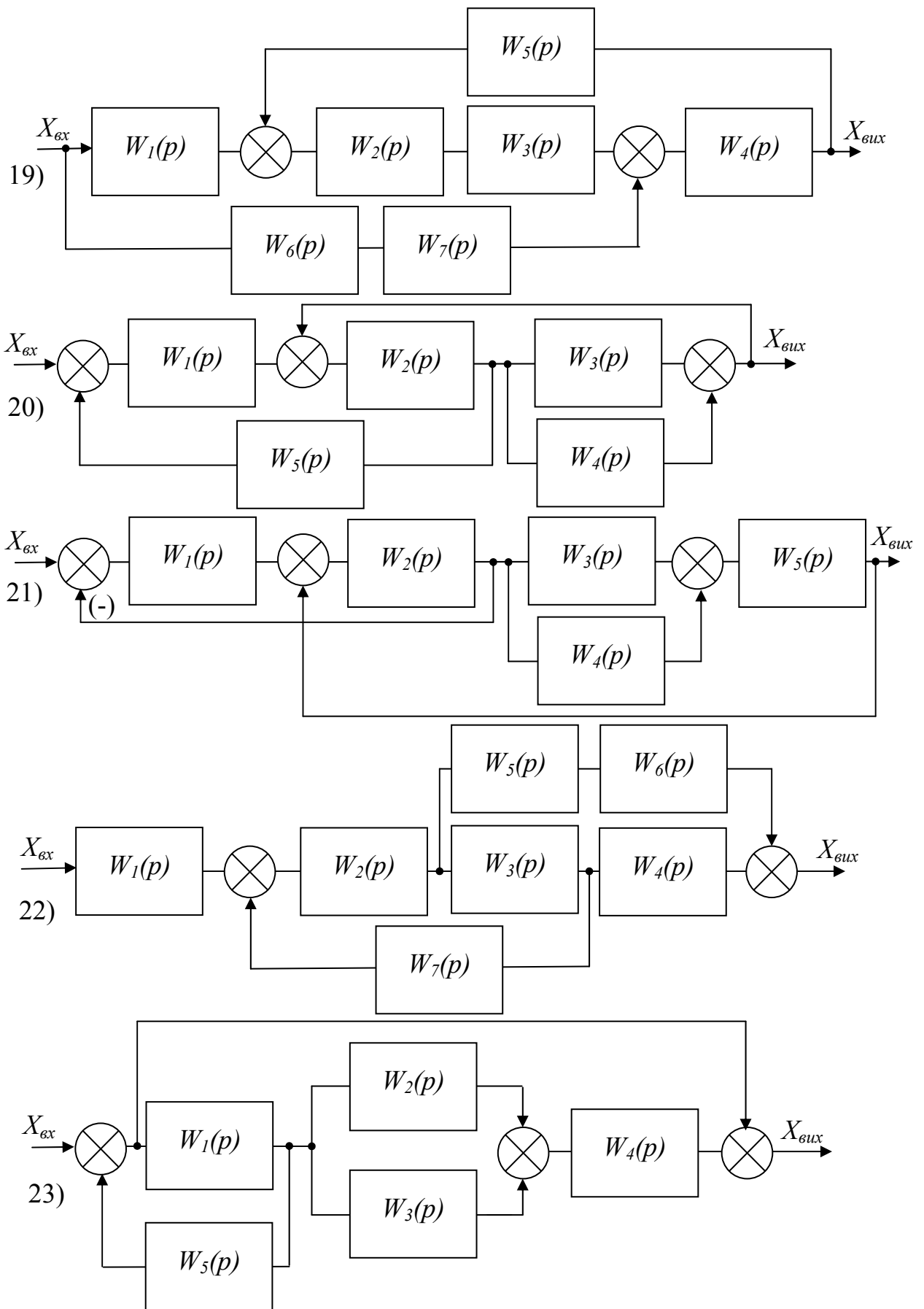
Продовження рис.3



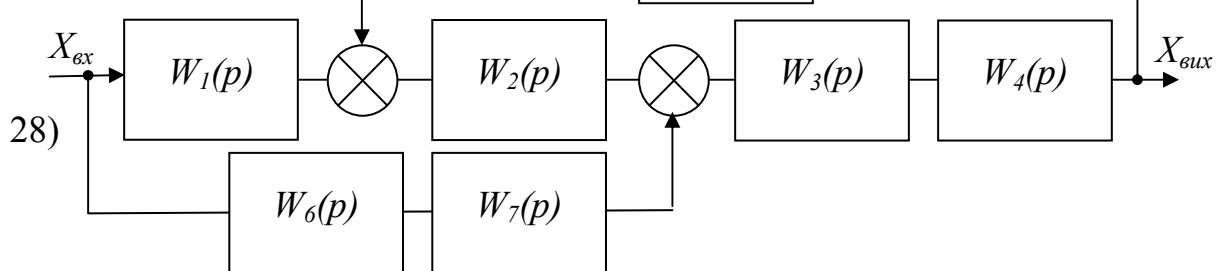
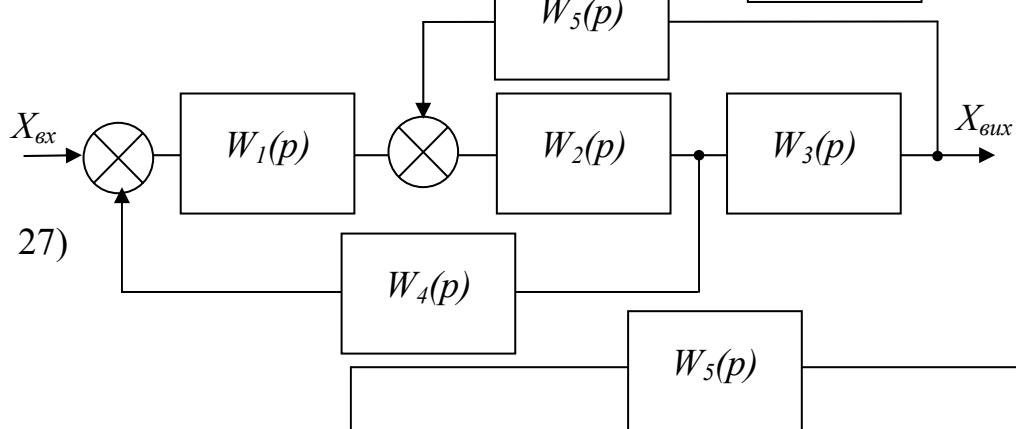
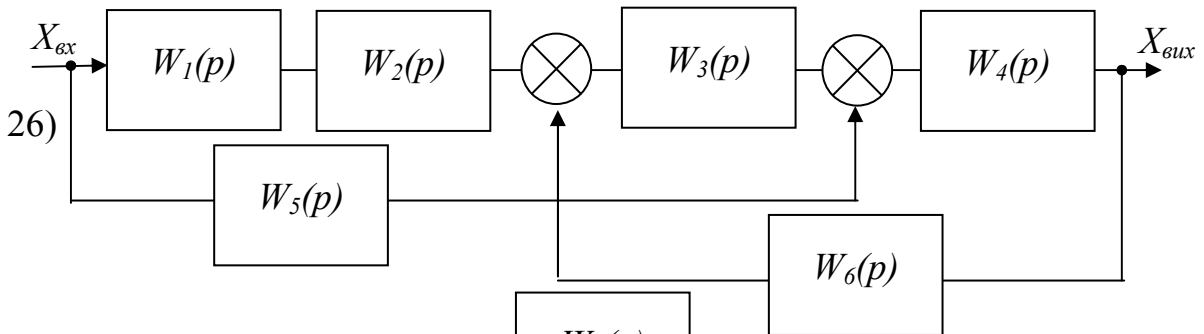
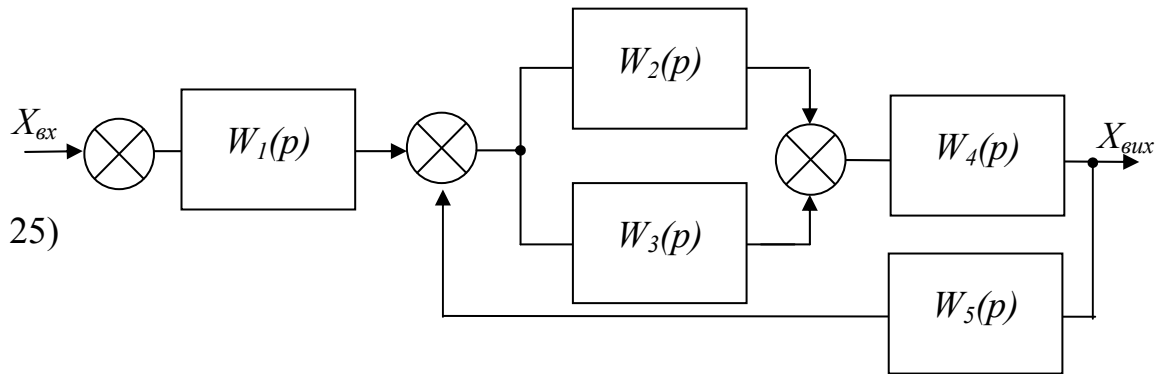
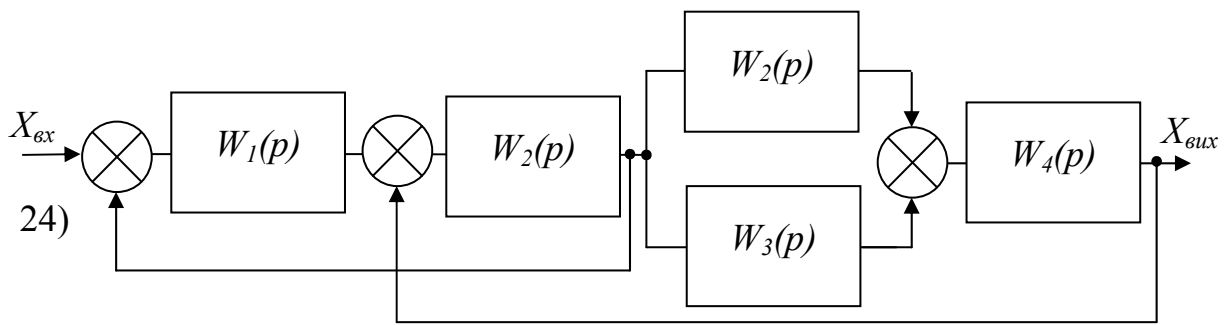
Продовження рис.3



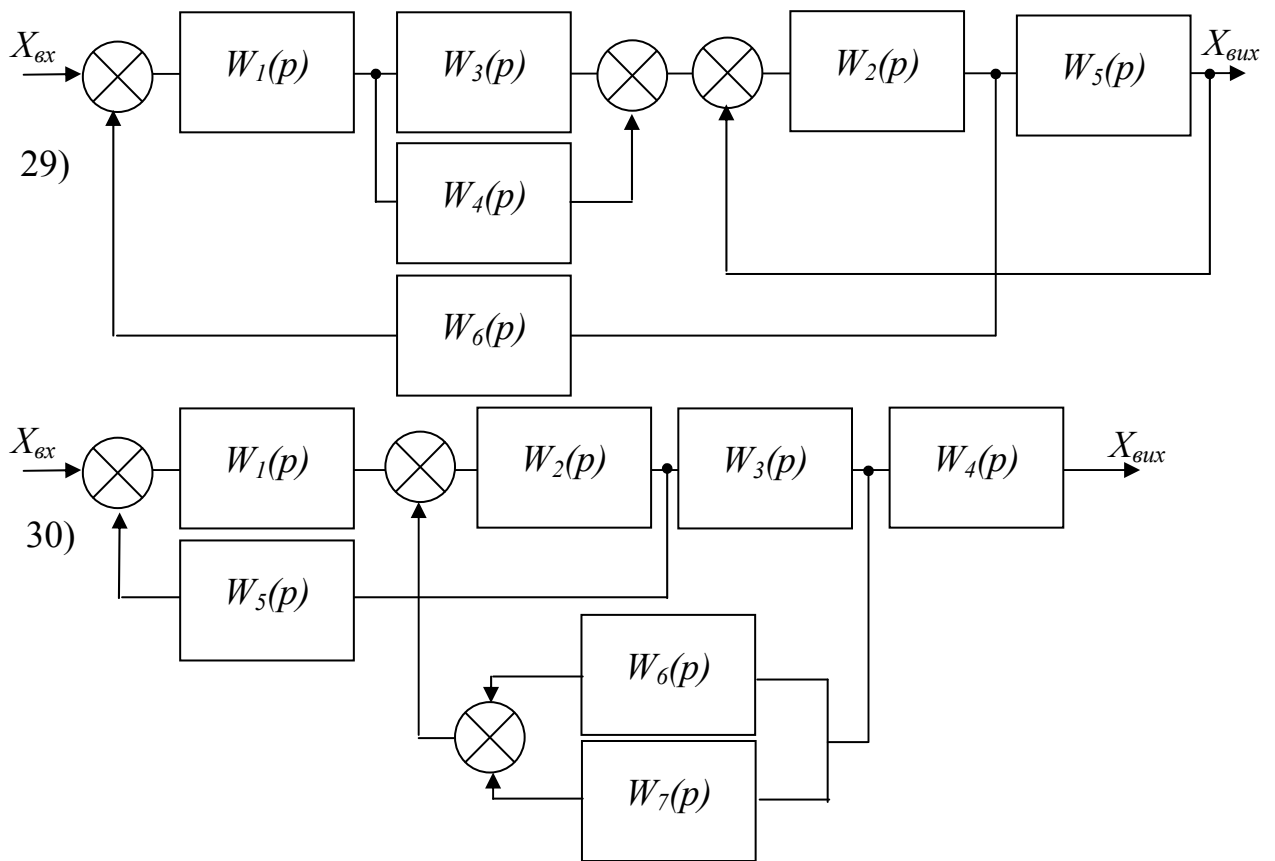
Продовження рис.3



Продовження рис.3



Продовження рис.3



Продовження рис.3

ЗАВДАННЯ № 4. КРИТЕРІЙ СТІЙКОСТІ ГУРВІЦЯ І НАЙКВІСТА

Знайти умову стійкості за допомогою критерію Гурвіця або Найквіста для системи автоматичного керування, яка приведена на рис.4. Номер варіанта завдання (схеми) визначається згідно табл.А.1-А.5. Буква z після номеру варіанта вказує на те, що при виконанні цього завдання треба використовувати критерій Гурвіця, буква n – критерій Найквіста. Наприклад, варіант 7, n відповідає схемі САК № 7 на рис.4, для якої треба знайти умову стійкості за допомогою критерію Найквіста.

Методичні вказівки до виконання завдання

Критерій Гурвіця. Визначити передавальну функцію САК в замкненому стані. З неї треба отримати характеристичне рівняння. При додатних значеннях коефіцієнтів рівняння необхідно скласти визначник Гурвіця. Визначник більш низького порядку отримуємо шляхом викреслювання стовпця з права і рядка з низу. Далі складаємо умову Гурвіця, яку вирішуємо відносно $K_{роз}$.

Критерій Найквіста. Треба по перше знайти передавальну функцію розімкненої системи. Для цього багатоконтурну схему замінюють одноконтурною за допомогою еквівалентних перетворень. Далі в виразі для $W_{роз}(p)$ замінюється p на $j\omega$ і складаються вирази для визначення амплітудної $W_{роз}(\omega)$ і фазової $f(\omega)$ частотних характеристик. Після цього виконується розрахунок, який необхідний для побудови ЛАЧХ і ЛФЧХ. Креслимо на одному і тому ж рисунку зверху ЛАЧХ, а знизу ЛФЧХ. З графіків знаходимо стійкість системи згідно критерію Найквіста. Треба також визначити запас стійкості по фазі і амплітуді. Рішення завершується висновком.

Таблиця 3 - Вихідні дані до виконання завдання № 2

Варіант	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>1</i>	<i>11</i>
1	4	6	3	-	-	0,2	0,15	0,5	-	-
2	2,5	5	8	-	-	-	0,4	0,2	-	-
3	2	6	1,5	7	-	0,17	-	0,5	0,2	-
4	10	1	4	3	-	-	-	0,2	0,25	-
5	8	3	5	-	-	0,35	0,2	-	-	-
6	2	3	4	-	-	-	0,55	0,18	-	-
7	3	6	2,5	2	-	-	0,3	-	-	-
8	1,5	2,5	10	12	-	-	0,1	0,6	-	-
9	11	6	5	14	-	-	-	0,3	0,4	-
10	3	2,5	4	3,5	5	-	0,25	-	-	0,16
11	10	2	8	5	4,5	0,5	0,25	-	-	-
12	8	11	3	6	-	-	-	-	0,45	-

Продовження табл.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	11
13	12	9	2,5	6	-	0,23	-	0,35	-	-
14	2	1,5	4	6	-	0,3	0,2	0,1	-	-
15	8	2	4	6	-	0,15	-	0,4	-	-

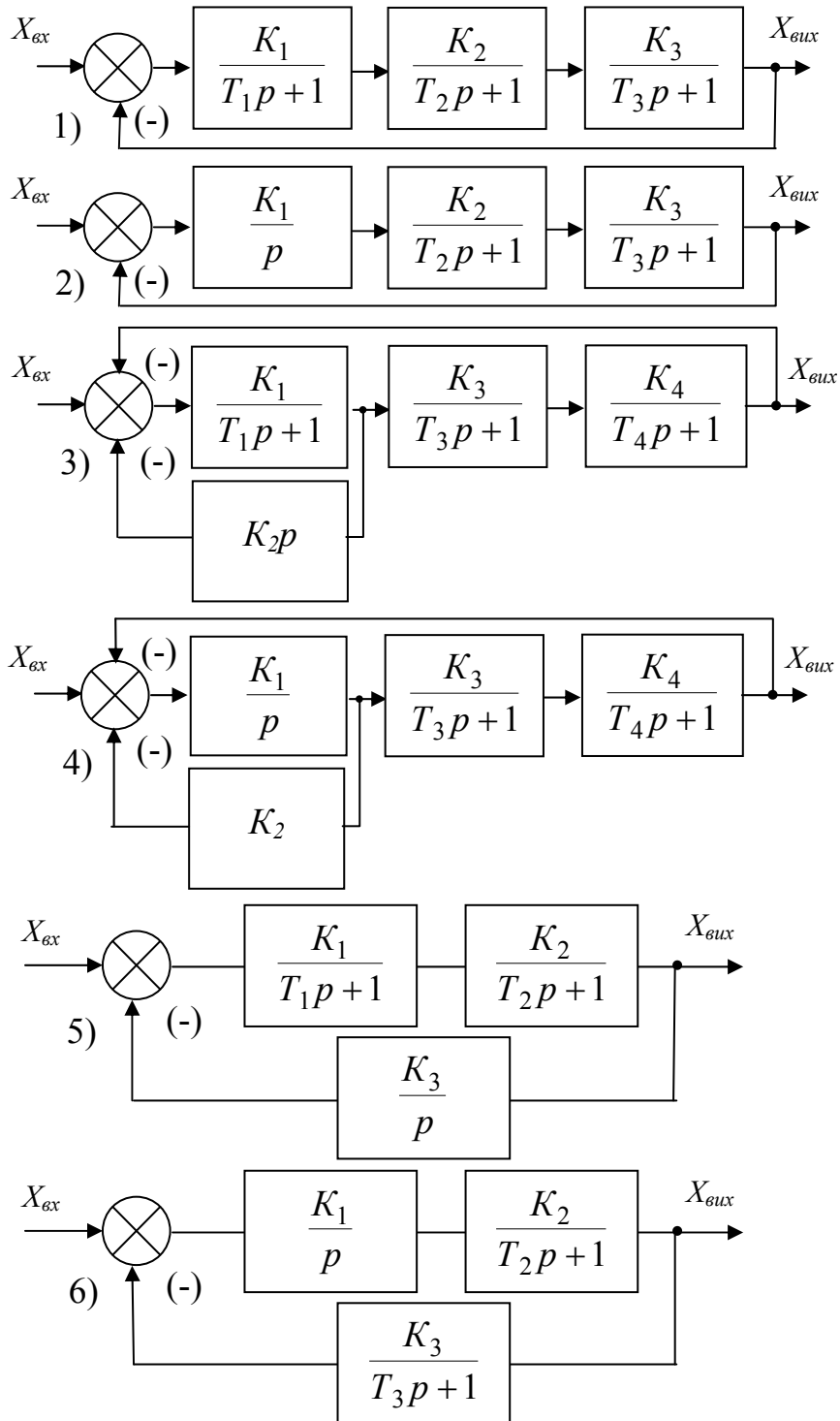
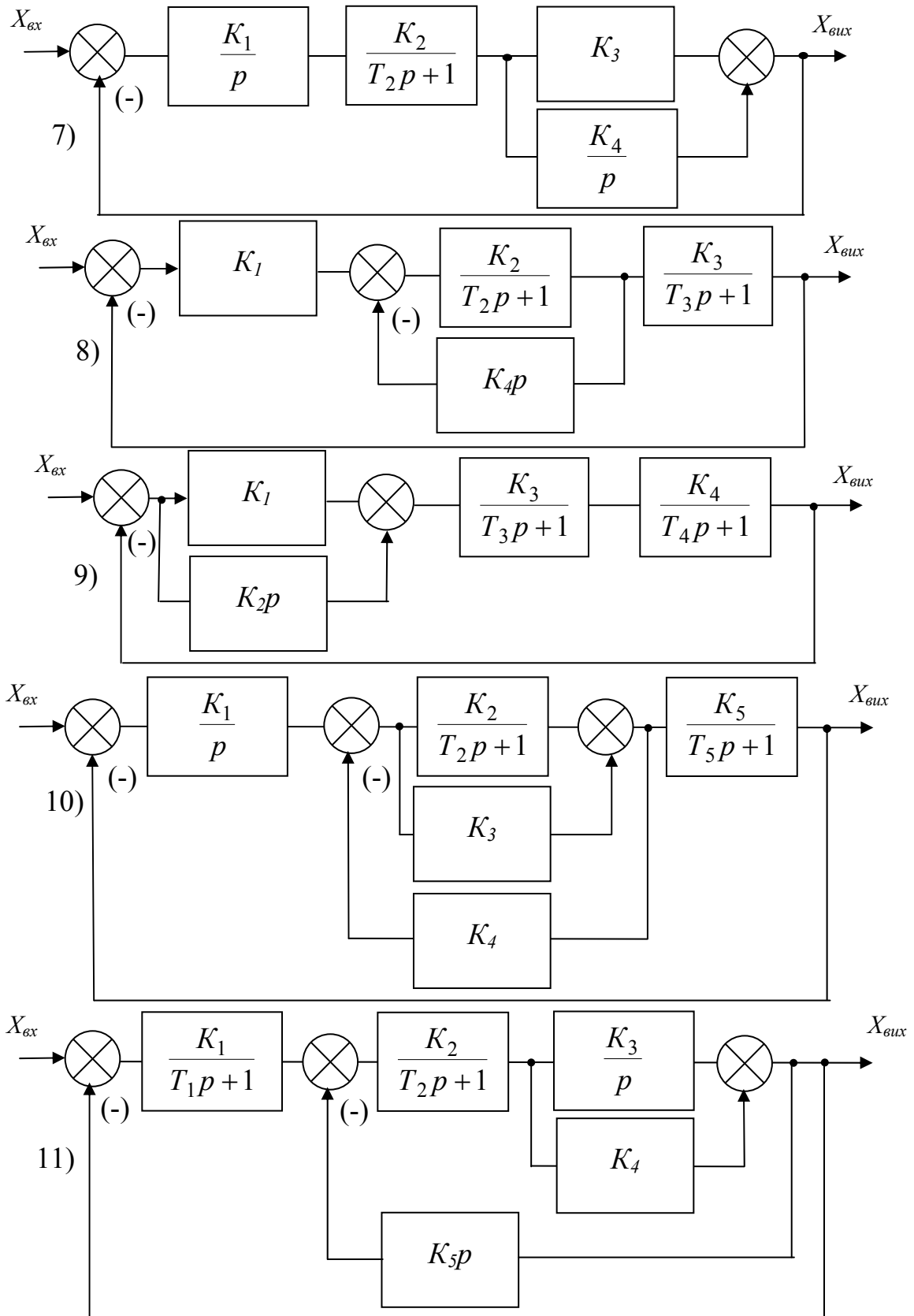
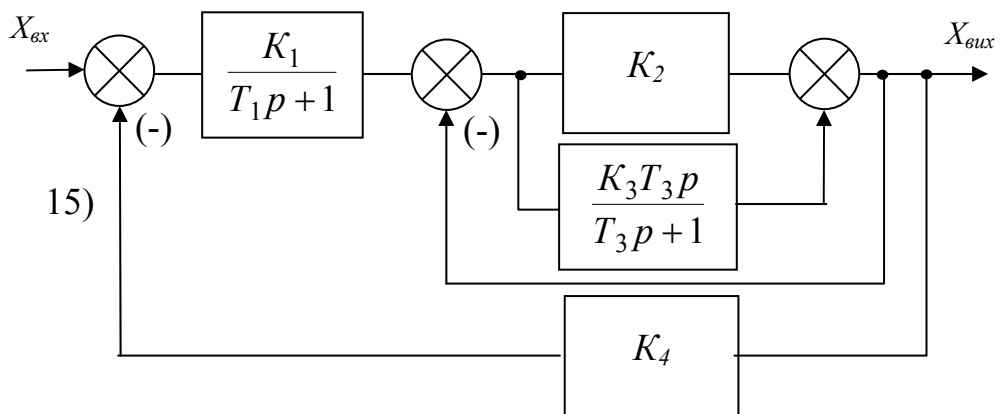
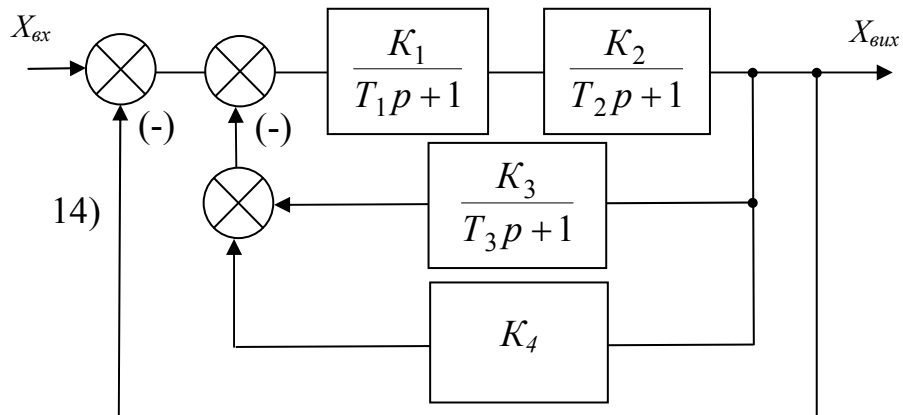
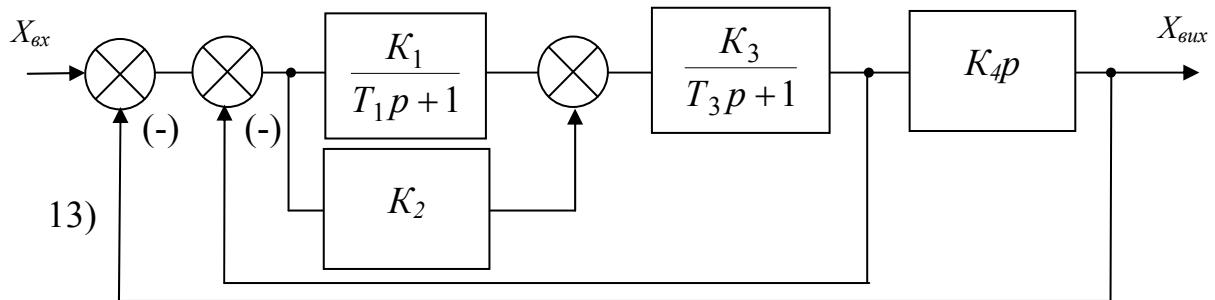
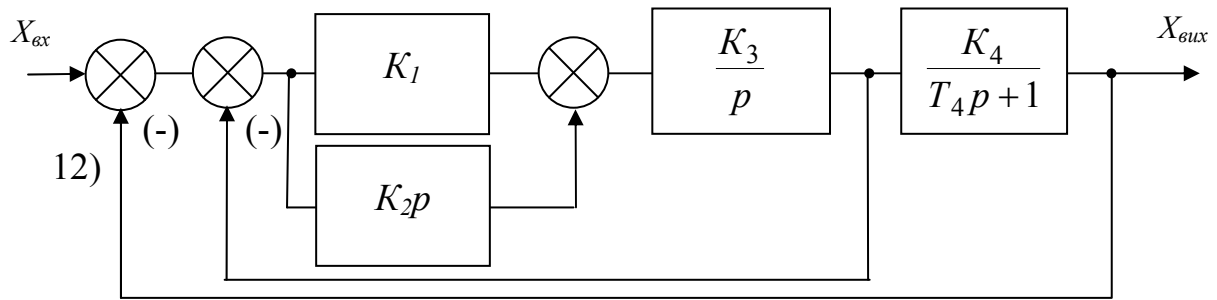


Рисунок 4 – Алгоритмічна схема САК до завдання № 4



Продовження рис.4



Продовження рис.4

ЗАВДАННЯ № 5. КРИТЕРІЙ СТІЙКОСТІ МИХАЙЛОВА

Система автоматичного керування описується характеристичним рівнянням n -го порядку. Використовуючи вид кривої Михайлова (рис.5), зробити висновок щодо стійкості системи. Номер варіанта (кривої) визначається згідно табл.А.1-А.5.

Методичні вказівки до виконання завдання

Критерій Михайлова. Він дозволяє судити про стійкість системи по кривій, яка будується по характеристичному поліному замкнутої системи. Критерій Михайлова формулюється наступним образом. Лінійна система n - порядку стійка, якщо при зміні від 0 до ω годограф Михайлова послідовно обходить n квадрантів комплексної площини проти годинної стрілки починаючи від позитивної півосі речовинних чисел і ніде не проходить через початок координат.

Використовуючи критерій Михайлова, необхідно по кривій, що відповідає номеру варіанта, визначити стійкість системи.

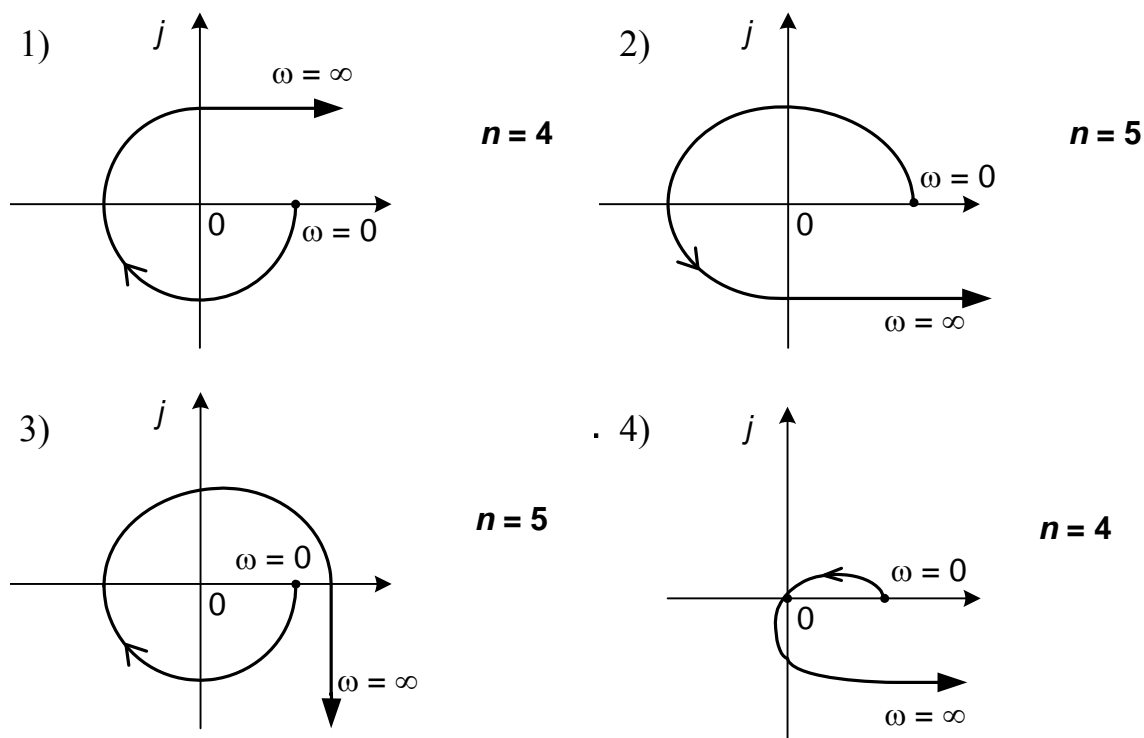
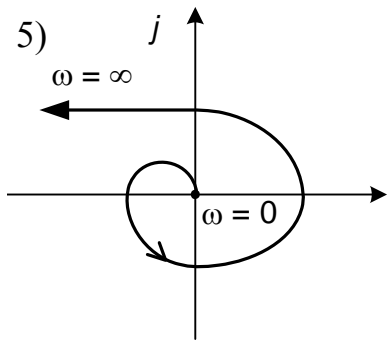
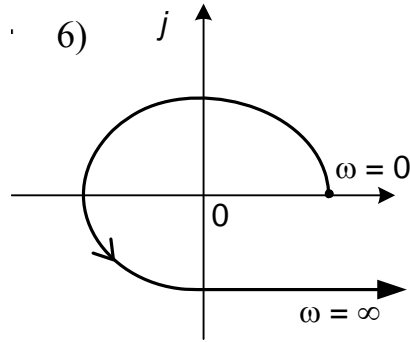


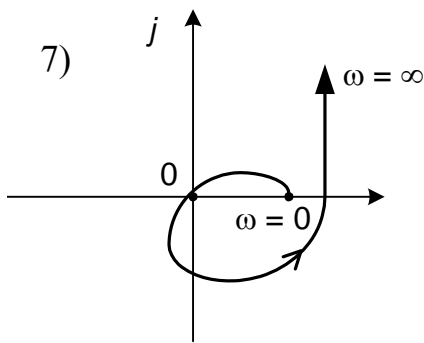
Рисунок 5 – Криві Михайлова до завдання № 5



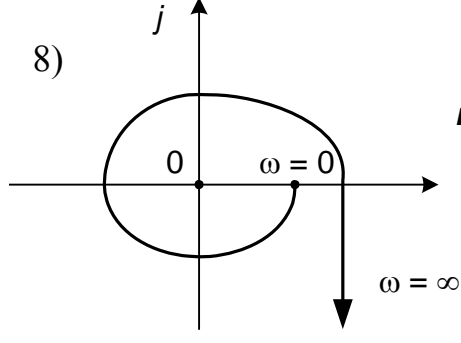
$n = 6$



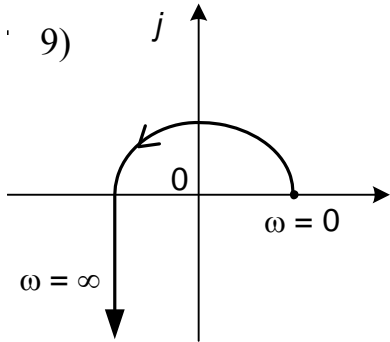
$n = 5$



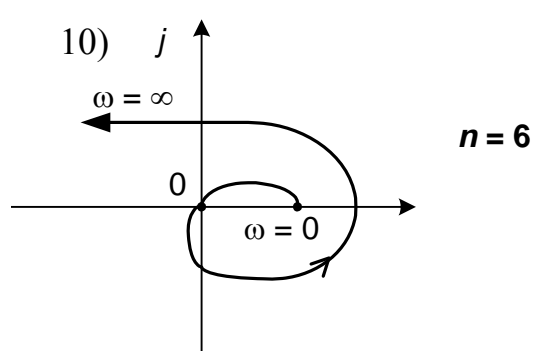
$n = 5$



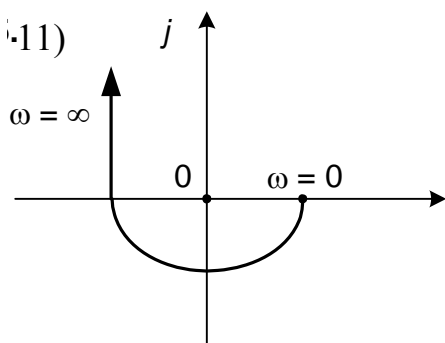
$n = 4$



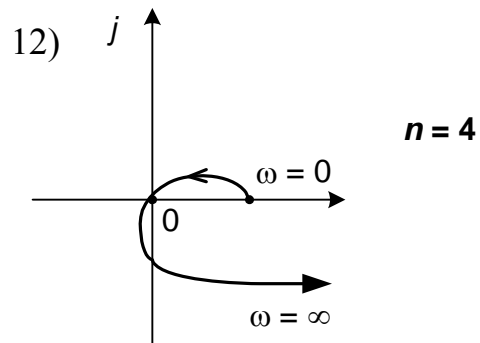
$n = 4$



$n = 6$

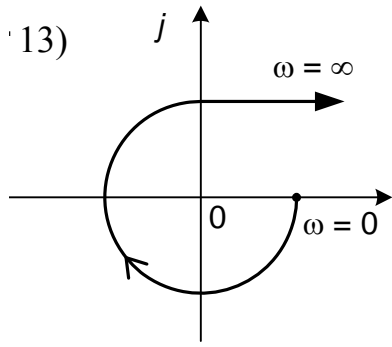


$n = 3$

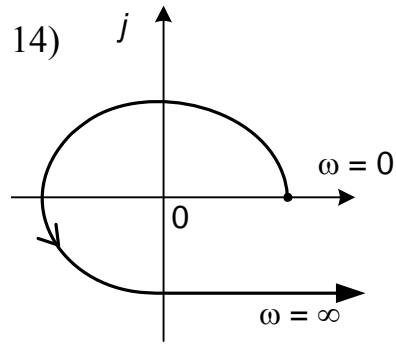


$n = 4$

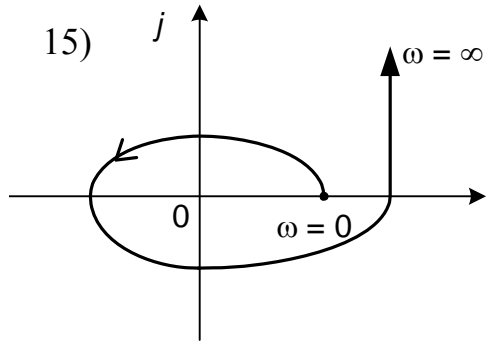
Продовження рис.5



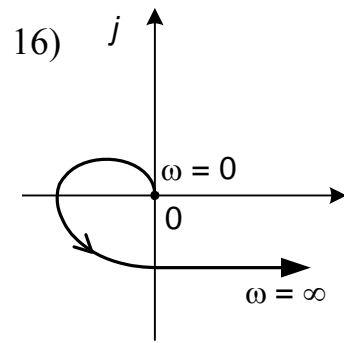
$n = 4$



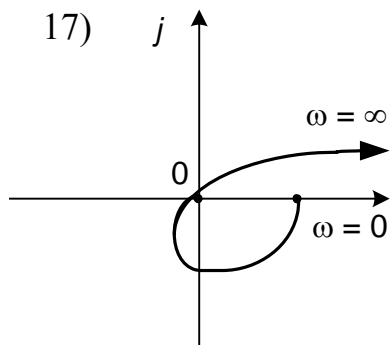
$n = 5$



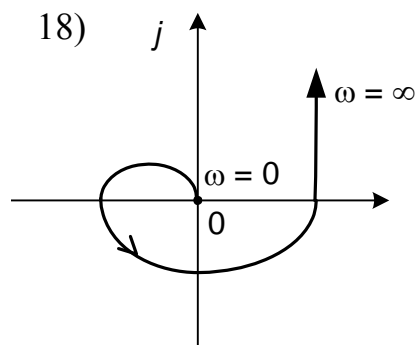
$n = 6$



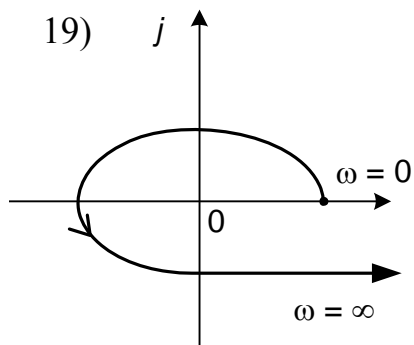
$n = 4$



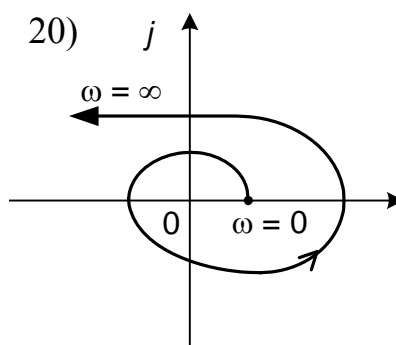
$n = 4$



$n = 5$

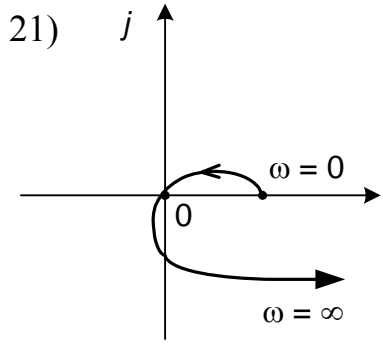


$n = 5$

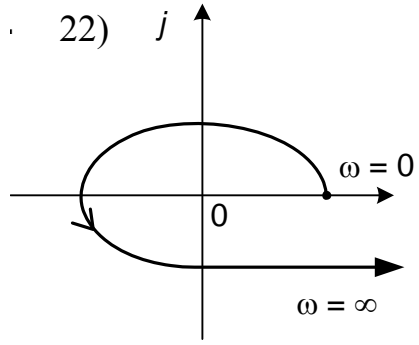


$n = 6$

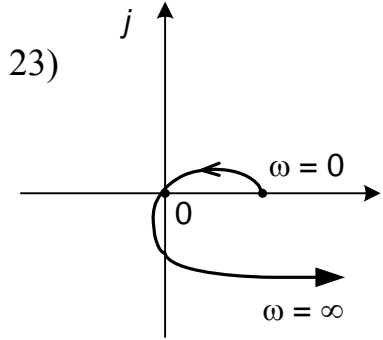
Продовження рис.5



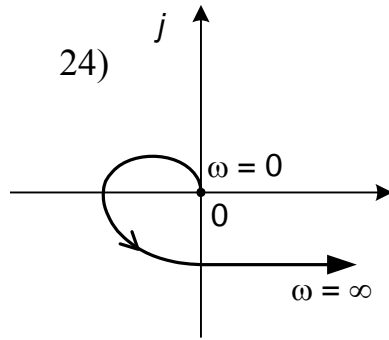
$n = 4$



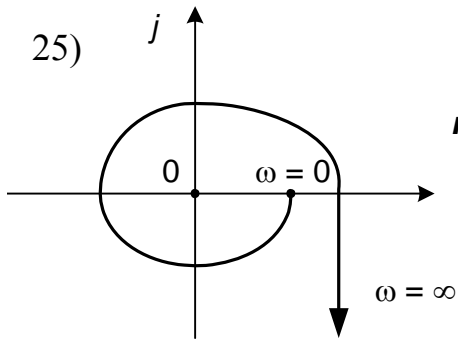
$n = 4$



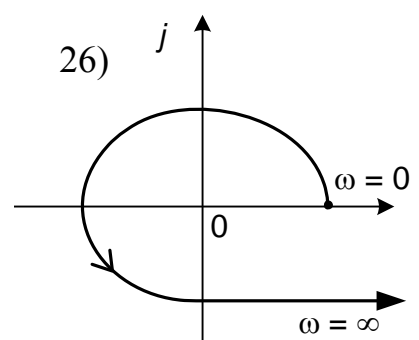
$n = 4$



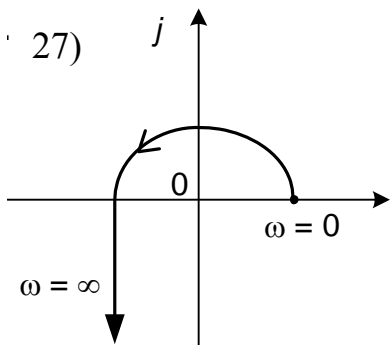
$n = 4$



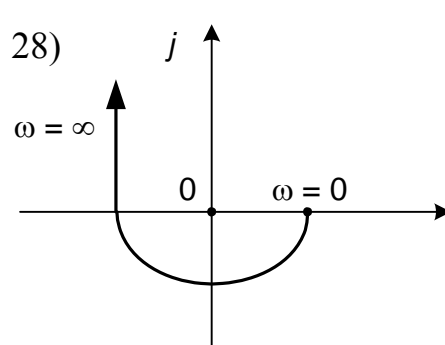
$n = 5$



$n = 5$

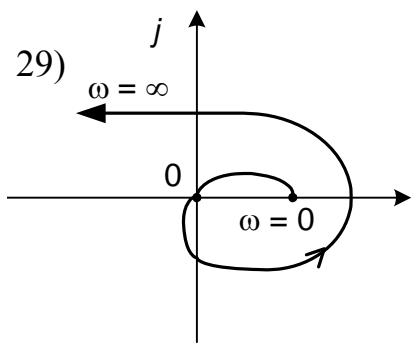


$n = 4$

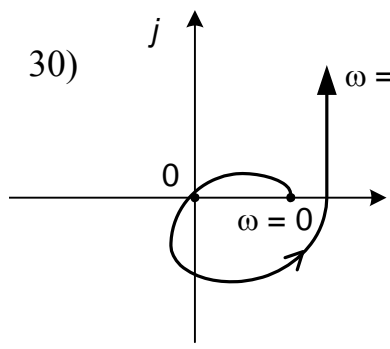


$n = 3$

Продовження рис.5



$n = 6$



$n = 5$

Продовження рис.5

ЛИТЕРАТУРА

1. Зайцев Г.Ф. Теория автоматического управления и регулирования. – К.: Вища школа, 1975. – 424 с.
2. Автоматика энергетических систем / О.П. Алексеев, В.Е. Казанский, В.Л. Козис и др. – М.: Энергоиздат, 1981. – 480 с.
3. Ключев А.С. Автоматическое регулирование. – М.: Энергия, 1973. – 399 с.
4. Сборник задач по теории автоматического управления и регулирования // Под ред. В.А. Бесекерского. – М.: Наука, 1978. – 512 с.
5. Васильев Д.В., Чуич В.Г. Системы автоматического управления (примеры расчета). – М.: Высшая школа, 1967. – 419 с.
6. Танатар А.И. Элементы автоматики и их динамические свойства. – К.: Техника, 1975. – 232 с.

ДОДАТОК А

ТАБЛИЦІ ДЛЯ ВИБОРУ ВАРІАНТІВ ЗАВДАНЬ

Номер таблиці, згідно якої проводиться вибір варіантів завдань, задається викладачем.

Таблиця А.1

Варіант	Завдання 1	Завдання 2	Завдання 3	Завдання 4	Завдання 5
1	15	3	1	11,н	4
2	5	16	20	5,г	1
3	16	28	4	8,г	17
4	18	30	29	2,н	22
5	21	1	16	12,н	2
6	24	15	2	9,г	18
7	22	17	28	1,г	3
8	2	24	6	10,н	30
9	9	5	13	1,н	7
10	19	2	21	12,г	15
11	20	25	3	9,н	29
12	26	13	15	2,г	5
13	1	22	17	6,г	14
14	11	4	26	15,г	19
15	6	18	5	7,н	25
16	14	26	30	3,г	13
17	27	12	7	3,н	6
18	4	27	24	14,н	20
19	17	6	11	4,г	23
20	7	10	18	6,н	12
21	23	29	8	7,г	26
22	28	19	22	13,н	8
23	8	7	19	13,г	24
24	3	11	14	10,г	9
25	30	20	9	4,н	28
26	25	8	27	11,г	21
27	29	21	10	8,н	11
28	13	9	23	15,н	27
29	12	14	25	5,н	10
30	10	23	12	14,г	16

Таблиця А.2

Варіант	Завдання 1	Завдання 2	Завдання 3	Завдання 4	Завдання 5
1	30	5	1	14,Г	12
2	20	14	12	8,Н	28
3	14	30	24	13,Г	1
4	27	25	14	15,Н	11
5	15	1	11	5,Г	19
6	4	13	2	7,Н	9
7	21	24	23	12,Г	27
8	6	12	15	9,Н	2
9	11	15	4	6,Г	18
10	29	2	10	6,Н	8
11	13	23	27	3,Г	20
12	19	16	7	5,Н	10
13	2	6	13	13,Н	26
14	7	22	29	15,Г	3
15	26	3	16	1,Г	17
16	12	17	3	10,Н	21
17	1	10	25	7,Г	13
18	28	26	9	4,Н	30
19	3	18	20	14,Н	7
20	18	4	26	8,Г	22
21	10	28	17	2,Г	14
22	25	11	5	12,Н	29
23	9	29	21	9,Г	4
24	22	19	30	1,Н	23
25	17	7	28	11,Г	16
26	24	27	6	3,Н	25
27	8	20	18	11,Н	5
28	5	8	22	10,Г	24
29	16	21	8	4,Г	15
30	23	9	19	2,Н	6

Таблиця А.3

Варіант	Завдання 1	Завдання 2	Завдання 3	Завдання 4	Завдання 5
1	10	22	15	2,н	12
2	1	25	24	9,г	22
3	22	4	13	10,н	3
4	16	14	28	4,г	9
5	8	21	1	1,н	26
6	21	30	25	3,г	29
7	2	13	9	3,н	7
8	17	23	3	8,г	20
9	14	19	22	15,г	13
10	27	3	14	14,н	1
11	6	12	2	13,г	8
12	23	26	16	2,г	19
13	29	5	10	9,н	21
14	15	17	26	4,н	2
15	26	7	21	10,г	23
16	3	24	7	11,н	10
17	24	9	12	5,г	18
18	13	20	29	7,г	4
19	30	6	17	5,н	14
20	7	15	4	12,н	11
21	18	29	27	11,г	6
22	4	10	18	1,г	27
23	25	1	8	8,н	5
24	11	27	30	12,г	16
25	28	16	11	6,н	24
26	9	11	19	6,г	28
27	19	2	5	13,н	30
28	5	28	20	15,н	15
29	20	8	23	14,г	25
30	12	18	6	7,н	17

Таблиця А.4

Варіант	Завдання 1	Завдання 2	Завдання 3	Завдання 4	Завдання 5
1	20	25	11	10,Г	12
2	13	3	17	10,Н	6
3	3	13	21	9,Г	19
4	23	7	25	4,Г	26
5	15	29	8	9,Н	9
6	10	9	16	14,Г	1
7	19	20	3	11,Г	18
8	7	12	18	3,Г	5
9	26	2	12	7,Н	10
10	1	14	4	3,Н	17
11	28	21	24	8,Г	7
12	14	17	1	6,Н	24
13	21	15	19	2,Г	20
14	11	4	7	12,Н	2
15	17	24	27	12,Г	25
16	25	30	9	11,Н	16
17	4	11	13	5,Г	28
18	30	28	5	1,Н	13
19	2	16	26	15,Н	22
20	27	1	20	13,Г	11
21	6	26	10	1,Г	29
22	22	18	2	13,Н	27
23	29	5	14	8,Н	21
24	12	27	22	4,Н	3
25	8	22	29	15,Г	30
26	16	6	30	14,Н	23
27	5	8	28	6,Г	14
28	24	19	6	5,Н	8
29	18	23	15	2,Н	4
30	9	10	23	7,Г	15

Таблиця А.5

Варіант	Завдання 1	Завдання 2	Завдання 3	Завдання 4	Завдання 5
1	5	13	10	8,н	30
2	12	6	21	15,г	26
3	21	24	27	15,н	5
4	17	11	1	7,г	15
5	1	23	9	14,г	25
6	25	5	26	13,г	6
7	8	22	16	3,г	14
8	27	14	2	12,н	24
9	11	3	20	1,г	4
10	29	30	8	6,г	16
11	24	12	5	7,н	7
12	3	15	25	12,г	27
13	28	10	18	5,н	13
14	13	21	30	2,г	23
15	19	1	15	11,г	3
16	7	16	22	2,н	21
17	22	25	3	9,н	29
18	15	7	28	1,г	12
19	2	30	14	8,г	17
20	26	17	11	13,н	8
21	14	26	19	3,н	19
22	30	28	4	11,н	2
23	9	20	17	4,г	20
24	16	18	6	14,н	9
25	20	2	23	10,н	11
26	4	8	12	4,н	28
27	18	27	29	9,г	1
28	23	19	7	6,н	18
29	10	9	24	5,г	10
30	6	4	13	10,г	22

ДОДАТОК Б

ПРИКЛАДИ ВИКОНАННЯ ЗАВДАНЬ

Приклад № 1.

Для схеми електричного кола (рис.Б.1) визначити передатну функцію і побудувати перехідну характеристику для наступних даних: $U_{\text{вх}}=10$ В; $R_1=5$ кОм; $R_2=5$ кОм; $C=100$ мкФ.

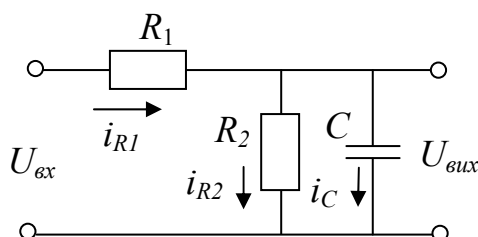


Рисунок Б.1 – Схема електричного кола до прикладу № 1

Рішення:

По другому закону Кірхгофа можна скласти наступну систему рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} U_{\text{вх}} &= i_1 + U_{\text{вих}}, & (1) \\ U_{\text{вих}} &= \frac{1}{C} \int i_c dt, & (2) \\ U_{\text{вих}} &= i_2 \cdot R_2. & (3) \end{aligned} \right\}$$

З (2) знайдемо струм i_c шляхом диференціювання обох частин рівняння:

$$\frac{dU_{\text{вих}}}{dt} = \frac{i_c}{C}, \text{ звідки } i_c = C \frac{dU_{\text{вих}}}{dt}.$$

З (3) визначимо струм через резистор R_2 :

$$i_{R2} = \frac{U_{\text{вих}}}{R_2}.$$

Згідно першого закону Кірхгофа маємо:

$$i = i_c + i_{R2} = C \frac{dU_{\text{вих}}}{dt} + \frac{U_{\text{вих}}}{R_2}.$$

Отримане вираження підставимо замість i в (1):

$$U_{\text{ex}} = R_1 C \frac{dU_{\text{вих}}}{dt} + R_1 \frac{U_{\text{вих}}}{R_2} + U_{\text{вих}}$$

чи

$$U_{\text{ex}} = R_1 C \cdot \frac{dU_{\text{вих}}}{dt} + \left(\frac{R_1}{R_2} + 1 \right) U_{\text{вих}} .$$

Ціль досягнута - отримане диференціальне рівняння, що зв'язує $U_{\text{ex}}(t)$ і $U_{\text{вих}}(t)$.

Винесемо за дужки в правій частині рівняння $\left(\frac{R_1}{R_2} + 1 \right)$ і запишемо рівняння в операторній формі:

$$U_{\text{ex}}(p) = \left(\frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} p + 1 \right) \cdot \left(\frac{R_1}{R_2} + 1 \right) \cdot U_{\text{вих}}(p).$$

Відповідно до визначення передатної функції маємо:

$$W(p) = \frac{U_{\text{вих}}(p)}{U_{\text{ex}}(p)} = \frac{1}{\left(\frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} p + 1 \right) \cdot \left(\frac{R_1}{R_2} + 1 \right)} .$$

Позначимо: $K = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$ - коефіцієнт передачі дільника з резисторів R_1 і R_2 , тоді $\frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{1}{K}$.

Таким чином, остаточно одержимо:

$$W(p) = \frac{K}{K \cdot R_1 \cdot C \cdot p + 1} = \frac{K}{T \cdot p + 1},$$

де $T = K \cdot R_1 \cdot C$.

Для побудови перехідної характеристики виконаємо ряд обчислень:

$$K = \frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{5}{5 + 5} = 0,5,$$

$$T = K \cdot R_1 \cdot C = 0,5 \cdot 5 \cdot 10^3 \cdot 100 \cdot 10^{-6} = 0,25 \text{ сек.}$$

$$U_{\text{вих}}(t=0) = 0; U_{\text{вих}}(t=\infty) = K \cdot U_{\text{ex}} = 0,5 \cdot 10 = 5 \text{ В.}$$

Перехідна характеристика схеми приведена на рис.Б.2.

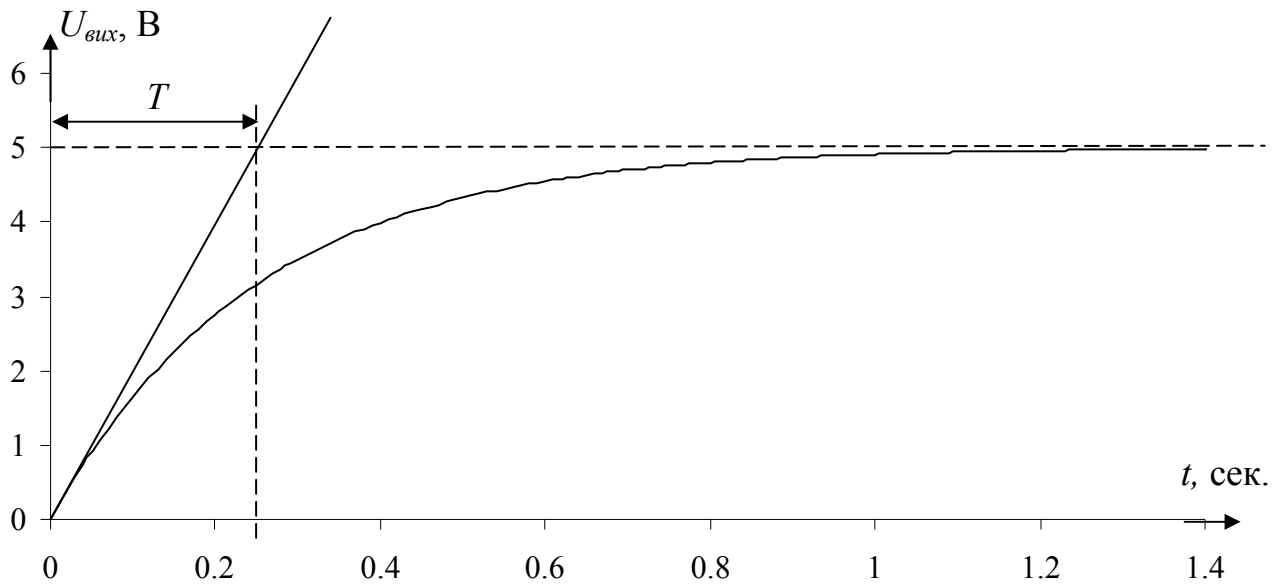


Рисунок Б.2 - Перехідна характеристика схеми

Приклад № 2.

Визначити $W_{зам}(p)$ і $W_{роз}(p)$ схеми системи автоматичного керування, яка приведена на рис.Б.3.

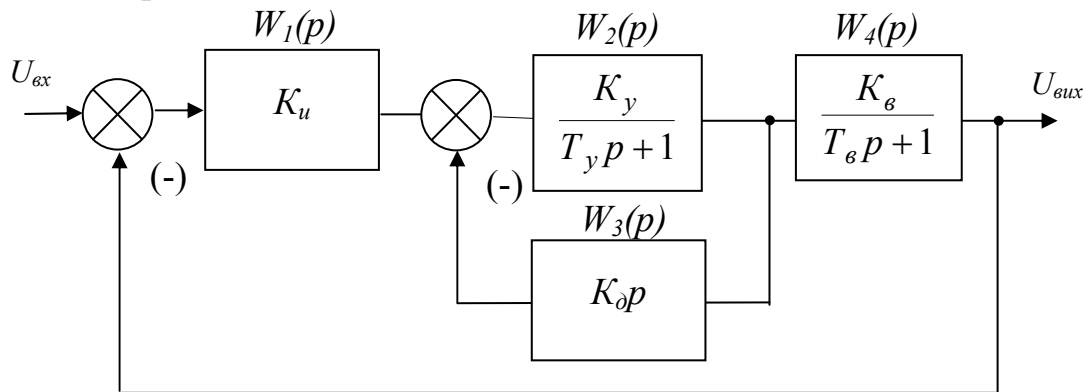


Рисунок Б.3 – Схема САК до прикладу № 2

Рішення:

Визначимо передатну функції двох паралельно включених ланок $W_2(p)$, $W_3(p)$.

$$W_{ек}(p) = \frac{W_2(p)}{1 + W_2(p) \cdot W_3(p)} = \frac{\frac{K_y}{T_y \cdot p + 1}}{1 + \frac{K_y}{T_y \cdot p + 1} \cdot K_d \cdot p} = \frac{K_y}{T_y \cdot p + 1 + K_y \cdot K_d \cdot p}$$

У знаменнику отриманого вираження виконаємо угруповання однорідних членів:

$$W_{ек}(p) = \frac{K_y}{(T_y + K_y \cdot K_\delta) \cdot p + 1}.$$

Після заміни ланок $W_2(p)$ і $W_3(p)$ однією, можна визначити передатну функцію розімкнутої САК:

$$W_{роз}(p) = K_u \cdot \frac{K_y}{(T_y + K_y \cdot K_\delta) \cdot p + 1} \cdot \frac{K_\epsilon}{T_\epsilon \cdot p + 1}.$$

Передатна функція замкнутої САК відповідно до отриманого співвідношення $W_{роз}(p)$ дорівнює:

$$W_{зам}(p) = \frac{W_{роз}(p)}{1 + W_{роз}(p)} = \frac{K_u \cdot \frac{K_y}{(T_y + K_y \cdot K_\delta) \cdot p + 1} \cdot \frac{K_\epsilon}{T_\epsilon \cdot p + 1}}{1 + K_u \cdot \frac{K_y}{(T_y + K_y \cdot K_\delta) \cdot p + 1} \cdot \frac{K_\epsilon}{T_\epsilon \cdot p + 1}}.$$

Після приведення до загального знаменника маємо:

$$W_{зам}(p) = \frac{K_u \cdot K_y \cdot K_\epsilon}{((T_y + K_y \cdot K_\delta) \cdot p + 1) \cdot (T_\epsilon \cdot p + 1) + K_u \cdot K_\epsilon \cdot K_y}.$$

Приклад № 3.

Для замкнутої системи автоматичного керування з передатною функцією:

$$W_{зам}(p) = \frac{K_{роз}}{(T_{ур} + 1)(T_{ер} + 1)(T_{d0}p + 1) + K_{роз}}$$

визначити граничне значення $K_{роз.пр}$.

Рішення:

Характеристичне рівняння системи:

$$(T_y p + 1)(T_e p + 1)(T_{d0} p + 1) + K_{poz} = 0$$

перетворимо до виду

$$\begin{aligned} a_0 &= T_y \cdot T_e \cdot T_{d0}; \\ a_1 &= T_y \cdot T_e + T_e \cdot T_{d0} + T_e \cdot T_{d0}; \\ a_2 &= T_y + T_e + T_{d0}; \\ a_3 &= 1 + K_{poz}. \end{aligned}$$

Вирішуючи Δ_{n-1} визначник Гурвіця

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ a_0 & a_2 \end{vmatrix} = a_1 \cdot a_2 - a_0 \cdot a_3 > 0$$

відносно K_{poz} одержуємо умову стійкості:

$$K_{poz} < \left(\frac{1}{T_y} + \frac{1}{T_e} + \frac{1}{T_{d0}} \right) \cdot (T_y + T_e + T_{d0}) - 1.$$

Приклад № 4.

Передатна функція електромеханічної системи, що стежить, у розімкненому стані:

$$W_{poz}(p) = \frac{K_{poz}}{p(T_y p + 1) \cdot (T_m p + 1)},$$

де $K_{poz} = 58 \text{ с}^{-1}$; $T_m = 0,57 \text{ с}$ – постійна часу двигуна;
 $T_y = 0,01 \text{ сек.}$ – постійна часу підсилювача.

Використовуючи критерій Михайлова, зробити висновок щодо стійкості системи.

Рішення:

Характеристичний поліном замкнутої САК дорівнює сумі поліномів у чисельнику і знаменнику передатної функції розімкненої системи:

$$F(p) = p(T_y p + 1)(T_m p + 1) + K_{poz} = T_y T_m p^3 + (T_y + T_m)p^2 + p + K_{poz}.$$

Для побудови кривої Михайлова визначимо дійсну і мниму частину функції $F(j\omega)$:

$$U_{F(\omega)} = K_{\text{роз}} - (T_y + T_M)\omega^2 = 58 - 0,58 \cdot \omega^2,$$

$$V_{F(\omega)} = \omega - T_y \cdot T_M \cdot \omega^3 = \omega - 5,7 \cdot 10^{-3} \cdot \omega^3.$$

Обчислимо значення $U_{F(\omega)}$ і $V_{F(\omega)}$ для ряду значень частоти ω .
Результати обчислень зведемо в табл. Б.1.

Таблиця Б.1

$\omega, \text{сік}^{-1}$	0	5	10	13	15	∞
$U_{F(\omega)}$	58	44	0	-40	-70	
$V_{F(\omega)}$	0	4	4,5	0	-5	

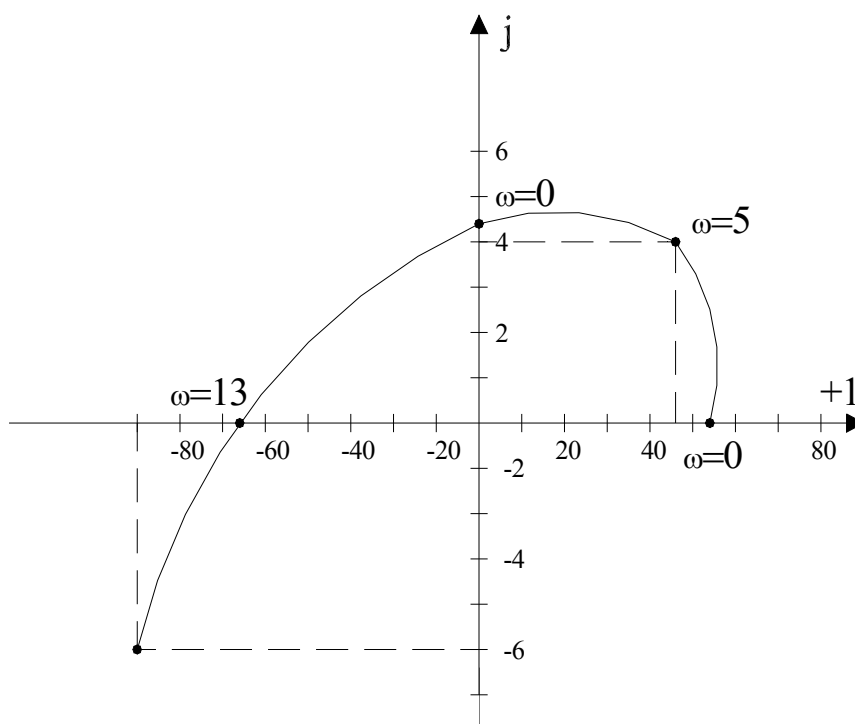


Рисунок Б.4 - Годограф Михайлова

З рис.Б.4 випливає, що крива Михайлова послідовно обходить три квадранти. Отже, система стійка.

Приклад № 5.

Визначити стійкість САК за допомогою логарифмічного критерію Найквіста. Схема САК приведена на рис.Б.5. Вихідні дані: $K_1=2$; $K_2=1$; $K_3=10$; $T_3=0,05 \text{ с.}$; $K_4=5$.

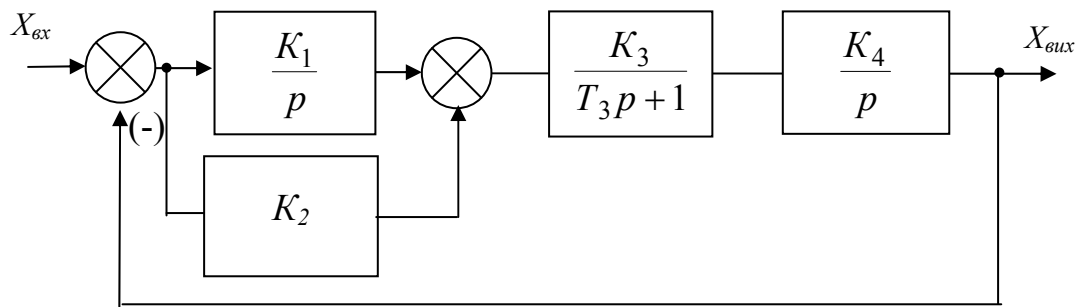


Рисунок Б.5 – Схема системи автоматичного керування до прикладу № 5

Рішення:

Критерій Найквіста дозволяє судити про стійкість замкненої системи по амплітудно-частотній характеристиці розімкненої системи. Для знаходження передавальної функції розімкнутої системи $W_{ек}(p)$ паралельно з'єднаних ланок 1 і 2:

$$W_{ек}(p) = W_1(p) + W_2(p) = \frac{K_1}{p} + K_2 = \frac{K_1 + K_2 p}{p}.$$

Еквівалентна ланка і інші ланки САК з'єднані послідовно, тому маємо:

$$W_{роз}(p) = W_{ек}(p) \cdot W_3(p) \cdot W_4(p) = \frac{(K_1 + K_2 p) \cdot K_3 \cdot K_4}{p^2 \cdot (T_3 p + 1)}.$$

В чисельнику винесемо за скобки K_1 :

$$W_{роз}(p) = \frac{K_1 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot \left(\frac{K_2}{K_1} p + 1\right)}{p^2 \cdot (T_3 p + 1)}.$$

Об означимо $T = \frac{K_2}{K_1}$.

Для побудови ЛАЧХ і ЛФЧХ замінимо p на $j\omega$, тоді комплексна передавальна функція розімкненої САК буде така:

$$W_{роз}(j\omega) = \frac{K_1 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot (Tj\omega + 1)}{(j\omega)^2 \cdot (T_3 j\omega + 1)}.$$

Враховуючи, що модуль добутку комплексних чисел дорівнює добутку модулів цих чисел і аргумент дорівнює сумі аргументів співмножників:

$$W_{роз}(j\omega) = \frac{K_{роз} \sqrt{T^2 \omega^2 + 1}}{\omega^2 \cdot \sqrt{T_3^2 \omega^2 + 1}},$$

де $K_{роз} = K_1 \cdot K_3 \cdot K_4$;

$$\phi(\omega) = \text{arctg}(\omega T) - \text{arctg}(\omega T_3) - \pi.$$

Для побудови ЛАЧХ виконуємо слідуючи дії.

Визначаємо сполучені частоти:

$$\omega_1 = \frac{1}{T} = \frac{K_1}{K_2} = \frac{2}{1} = 2 \text{ Гц};$$

$$\omega_2 \frac{1}{T_3} = \frac{1}{0,05} = 20 \text{ Гц}.$$

На частоті $\omega=1$ відкладаємо ординату $20\lg(K_{роз}) = 20\lg(2 \cdot 10 \cdot 5) = 40$ - точка А.

Через точку А проводимо пряму з нахилом $-v \cdot 20 = -2 \cdot 20 = -40$ дБ/декаду.

Після частоти $\omega_1=2$ Гц змінюємо нахил на $+20$ дБ/декаду, так як маємо співмножником $(Tj\omega+1)$ в чисельнику передавальної функції. Нахил ЛАЧХ стане рівним -20 дБ/декаду.

Після частоти сполучення $\omega_2=20$ Гц нахил ЛАЧХ стане рівним -40 дБ/декаду.

Прийmemo відрізок, що зображує декаду, рівним 20 мм. Визначимо по осі точку з частотою 2 Гц: $20 + 20 \cdot (1 - \log \frac{10}{\omega_1}) = 20 + 20 \cdot (1 - \log \frac{10}{2}) = 26$ мм, і

точку з частотою 20 Гц: $40 + 20 \cdot (1 - \log \frac{100}{\omega_2}) = 40 + 20 \cdot (1 - \log \frac{100}{20}) = 46$ мм.

Розрахунок ЛФЧХ виконуємо по співвідношенню:

$$\phi(\omega) = \text{arctg}(\omega T) - \text{arctg}(\omega T_3) - \pi.$$

Результати розрахунку наведено в таблиці Б.2.

Таблиця Б.2 – Розрахунок ЛФЧХ

ω	ωT	$\phi_1(\omega)$, град.	ωT_3	$\phi_2(\omega)$, град.	$\phi_3(\omega)$, град.	$\phi(\omega) = \phi_1(\omega) + \phi_2(\omega) + \phi_3(\omega)$, град.
0	0	0	0	0	-180	-180
2	1	45	0,1	-5,7	-180	-140,7
10	5	78,6	0,5	-26,6	-180	-128
15	7,5	82,4	0,75	-36,87	-180	-134,5
20	10	84,3	1	-45	-180	-140,7
30	15	86,2	1,5	-56,31	-180	-150,1
35	17,5	86,7	1,75	-60,3	-180	-153,6
40	20	87,1	2	-63,4	-180	-156,3
50	25	87,7	2,5	-68,2	-180	-160,5

Частотні характеристики САК наведено на рис.Б.6. З рис.Б.6 слідує, що $\phi(\omega_{cp}) = 140^0 < 180^0$. Тому, згідно критерію Найквіста, система стійка.

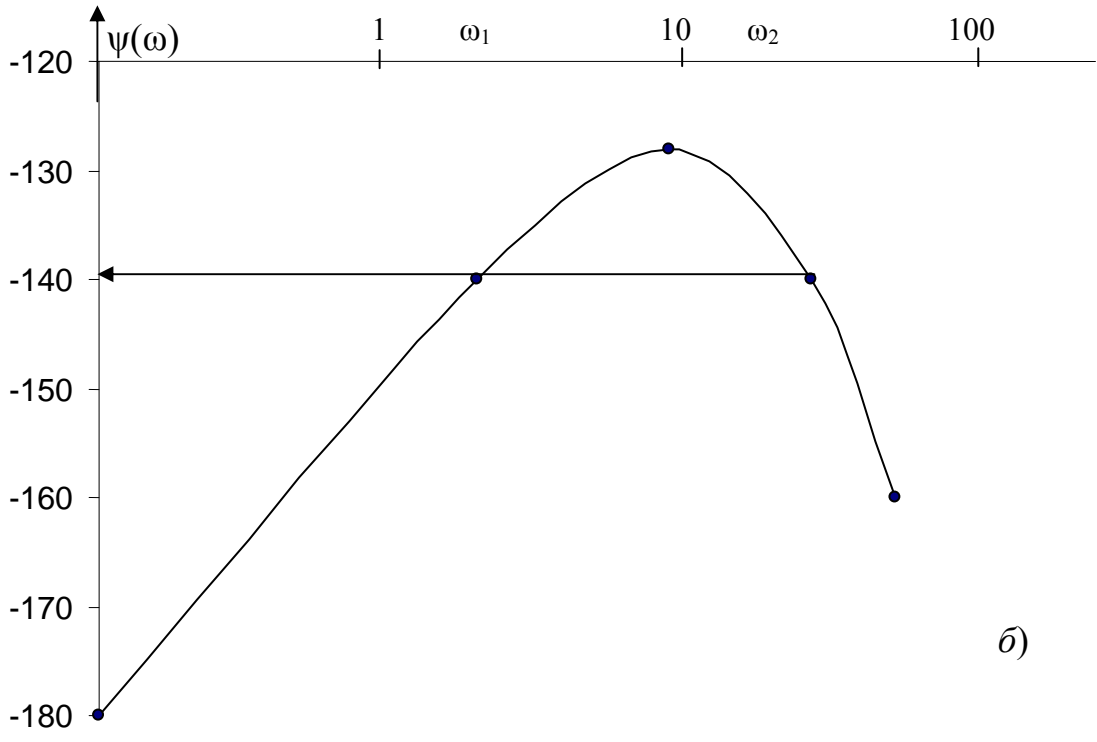
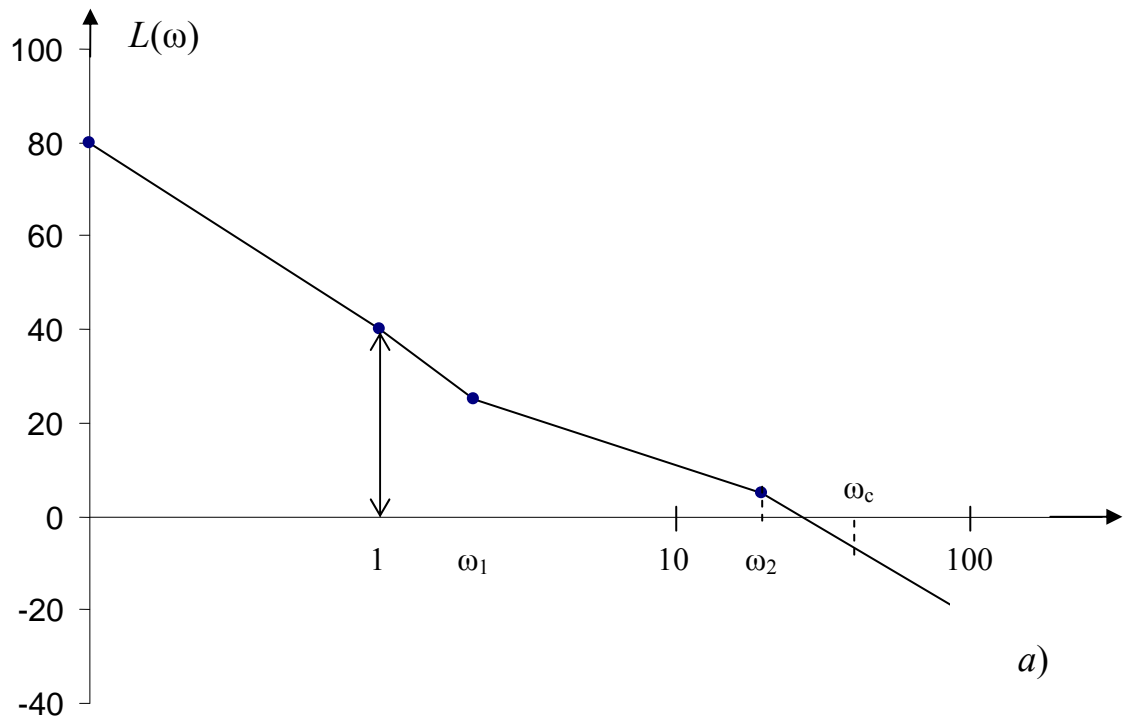


Рисунок Б.6 – Частотні характеристики: а – ЛАЧХ; б - ЛФЧХ

Приклад № 6.

Для схеми на рис.Б.7 визначити еквівалентну передавальну функцію.

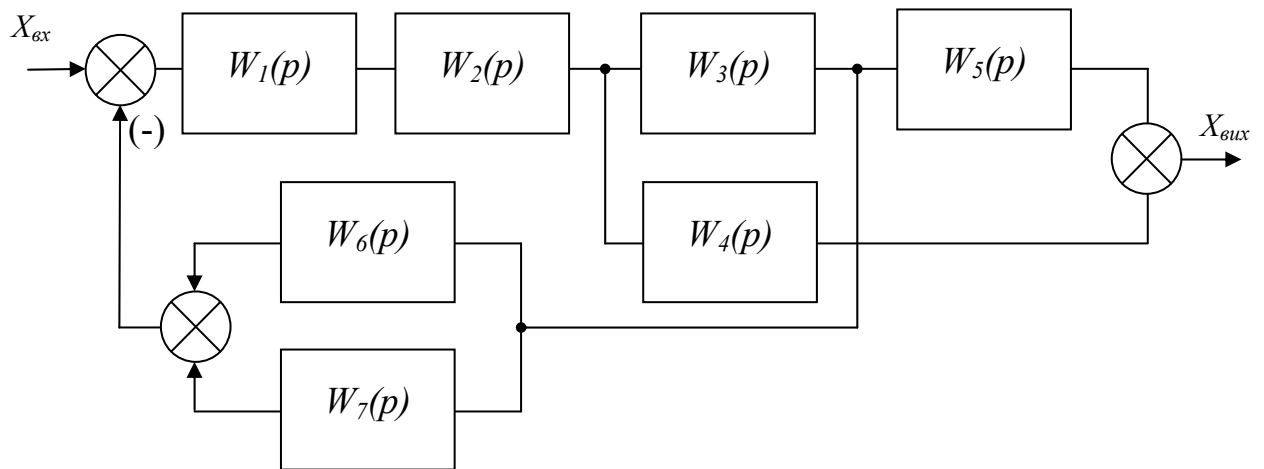


Рисунок Б.7 – Схема з'єднання ланок до прикладу № 6

Рішення:

Виключимо в схемі на рис.Б.7 перехресні зв'язки. Для цього точку приєднання ланки 4 перенесемо із входу ланки 3 на її вихід. При цьому схема мережі буде мати вигляд, наведений на рис.Б.8.

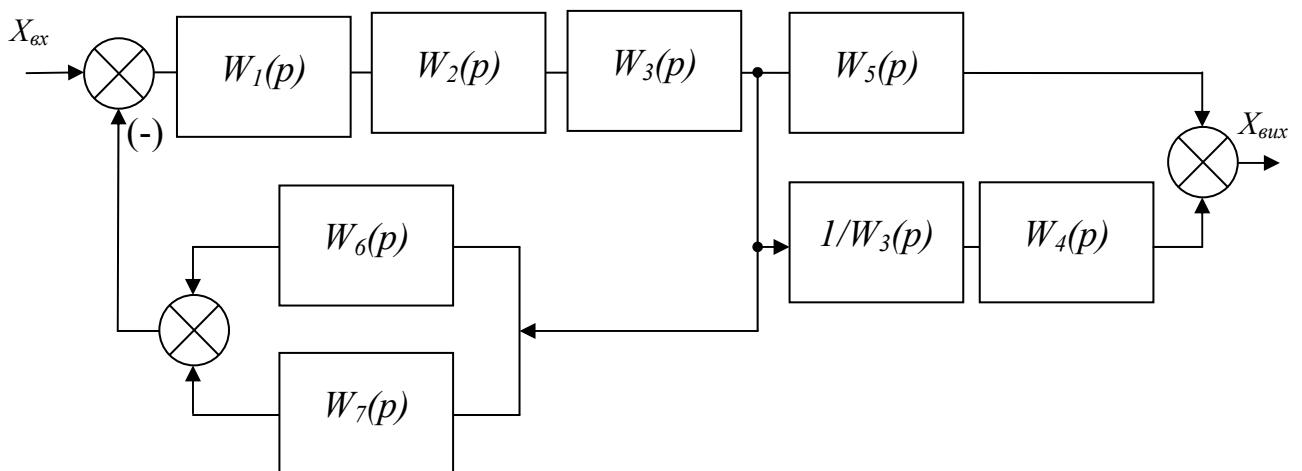


Рисунок Б.8 – Схема САК без перехресних зв'язків

Визначимо еквівалент передач ділянок схеми.

Ланки 1, 2 й 3 з'єднані послідовно:

$$W_{1-2-3}(p) = W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot W_3(p).$$

Ланки 6 і 7 з'єднані паралельно:

$$W_{6+7}(p) = W_6(p) + W_7(p).$$

Ланки 4, 8 й 5 включені паралельно:

$$W_{4-5-8}(p) = W_5(p) + W_4(p) \cdot W_8(p),$$

де $W_8(p) = \frac{1}{W_3(p)}$.

Після заміни на рис.Б.8 ділянок схеми получимо більш просту схему (рис.Б.9).

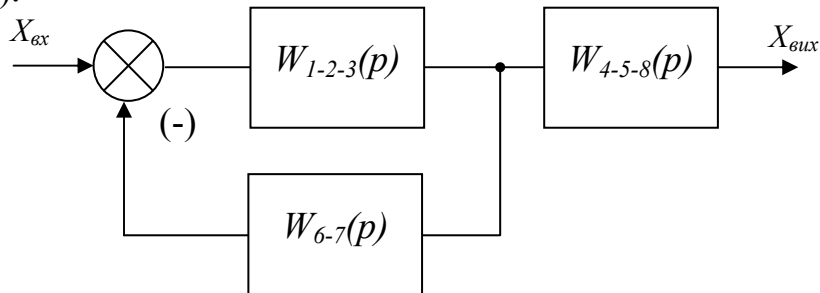


Рисунок Б.9 – Вихідна схема після перетворення

Для схеми на рис. визначимо $W_{ек}(p)$:

$$W_{ек}(p) = \frac{W_{1-2-3}(p)}{1 + W_{1-2-3}(p) \cdot W_{6-7}(p)} + W_{4-5-8}(p).$$

Після перетворення маємо:

$$\begin{aligned} W_{ек}(p) &= \frac{W_{1-2-3}(p) + W_{4-5-8}(p) \cdot (1 + W_{1-2-3}(p) \cdot W_{6-7}(p))}{1 + W_{1-2-3}(p) \cdot W_{6-7}(p)} = \\ &= \frac{W_{1-2-3}(p) + W_{4-5-8}(p) + W_{4-5-8}(p) \cdot W_{1-2-3}(p) \cdot W_{6-7}(p)}{1 + W_{1-2-3}(p) \cdot W_{6-7}(p)}. \end{aligned}$$