

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
Херсонський навчально-науковий інститут

В. С. Блінцов, А. П. Бурунін

ЗБІРНИК ЗАДАЧ ДЛЯ КОНТРОЛЬНИХ ТА САМОСТІЙНИХ РОБІТ

**З ДИСЦИПЛІНИ
«ДОСЛІДЖЕННЯ ОПЕРАЦІЙ
ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ»**

Рекомендовано Методичною радою НУК



2026

УДК 681.5(076)

Б69

Укладачі:

В. С. Блінцов, д-р техн. наук, професор;

А. П. Бурунін, PhD, доцент без вченого звання

Рецензент:

П. Є. Михаліченко, д-р техн. наук, професор кафедри автоматизації та електроустаткування Херсонського навчально-наукового інституту Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова

Рекомендовано Методичною радою НУК

Блінцов В. С.

Б69 Збірник задач для контрольних та самостійних робіт з дисципліни «Дослідження операцій електромеханічних систем» / В. С. Блінцов, А. П. Бурунін. – Миколаїв : НУК, 2026. – 36 с.

Збірник містить індивідуальні завдання для контрольних та самостійних робіт, які охоплюють основні розділи дисципліни та відповідають сучасним вимогам до підготовки магістрів у галузі електричної інженерії. Запропоновані задачі орієнтовані на формування фахових компетентностей, необхідних для науково-дослідної, проєктної, виробничо-технологічної та педагогічної діяльності майбутніх магістрів.

Призначено для здобувачів освіти під час аудиторної та самостійної роботи, виконання індивідуальних завдань, курсового і кваліфікаційного проєктування з дисципліни «Дослідження операцій електромеханічних систем».

УДК 681.5(076)

© В. С. Блінцов, А. П. Бурунін, 2026

© Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, 2026

ВСТУП

Дисципліна «Дослідження операцій електромеханічних систем» є однією з ключових складових професійної підготовки здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності G3 «Електрична інженерія». Вивчення дисципліни спрямоване на формування у здобувачів поглиблених знань та практичних навичок щодо аналізу, математичного моделювання, синтезу та дослідження складних електромеханічних систем керування на основі сучасного апарату теорії автоматичного керування та методів простору станів.

Сучасний розвиток електротехнічних комплексів, автоматизованих електроприводів, робототехнічних систем, інтелектуальних виробничих комплексів та енергетичних установок потребує від фахівців здатності ефективно застосовувати математичні методи для дослідження динамічних процесів, оцінювання якості функціонування систем, синтезу регуляторів і спостерігачів стану, а також розроблення нових технічних рішень в умовах багатофакторності та невизначеності.

Метою даного збірника є закріплення теоретичних знань та набуття практичних компетентностей щодо дослідження керованості та спостережності автоматичних систем, побудови математичних моделей у просторі станів, синтезу систем підпорядкованого регулювання електроприводів, модального керування та спостерігачів Луенбергера. Виконання запропонованих завдань сприяє розвитку навичок самостійного аналізу технічних систем, математичного обґрунтування інженерних рішень та використання сучасних підходів до проєктування систем автоматичного керування.

Збірник містить індивідуальні завдання для контрольних та самостійних робіт, які охоплюють основні розділи дисципліни та відповідають сучасним вимогам до підготовки магістрів у галузі електричної інженерії. Запропоновані задачі орієнтовані на формування фахових компетентностей, необхідних для науково-дослідної, проєктної, виробничо-технологічної та педагогічної діяльності майбутніх магістрів.

Матеріали збірника можуть бути використані здобувачами освіти під час аудиторної та самостійної роботи, виконання індивідуальних завдань, курсового і кваліфікаційного проєкування, а також підготовки до підсумкового контролю з дисципліни «Дослідження операцій електромеханічних систем».

ВИБІР НОМЕРА ВАРІАНТА ЗАДАЧІ

Вибір номера варіанта задачі визначається двома останніми цифрами шифру студента (номера індивідуального плану) за таблицею 1.

Таблиця 1 – Вибір номера варіанта задачі

Передостання цифра шифру студента	Остання цифра шифру студента									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	52	1	11	30	31	50	51	1	20	21
1	40	2	12	29	32	49	52	3	18	23
2	42	3	13	28	33	48	53	5	16	25
3	44	4	14	27	34	47	54	7	14	27
4	46	5	15	26	35	46	55	9	12	29
5	48	6	16	25	36	45	56	11	10	31
6	50	7	17	24	37	44	57	13	8	33
7	52	8	18	23	38	43	58	15	6	35
8	54	9	19	22	39	42	59	17	4	37
9	56	10	20	21	40	41	60	19	2	39

1. КЕРОВАНІСТЬ ТА СПОСТЕРЕЖНІСТЬ АВТОМАТИЧНИХ СИСТЕМ

Задача 1

Дослідити на керованість та спостережність автоматичну систему, яка задана рівняннями:

$$\dot{x}_1 = a_1x_1 + a_2x_2 + c_1u_1;$$

$$\dot{x}_2 = b_1x_1 + b_2x_2 + c_2u_2;$$

$$y = d_1x_1 + d_2x_2.$$

Значення коефіцієнтів вибрати з таблиці 2 згідно з варіантом.

Таблиця 2 – Значення коефіцієнтів рівнянь автоматичної системи

№ варіанта	a_1	a_2	c_1	b_1	b_2	c_2	d_1	d_2
1	2	3	1	-2	4	1	1	5
2	3	4	1	1	-2	3	2	2
3	1	1	-2	3	-3	1	4	-2
4	4	-2	1	-3	1	2	1	1
5	-2	1	5	3	-5	2	2	2
6	1	1	6	7	-2	8	1	1
7	2	-3	8	1	1	-1	3	2
8	-3	1	4	-1	2	6	1	8
9	-2	5	4	-3	7	8	1	-1

Продовження таблиці 2

№ варіанта	a_1	a_2	c_1	b_1	b_2	c_2	d_1	d_2
10	1	2	-3	4	6	2	-5	3
11	1	2	3	4	5	6	7	8
12	8	7	6	5	4	3	2	1
13	-2	5	-6	1	-1	2	-2	1
14	3	4	1	-2	4	6	2	-8
15	1	2	-6	2	3	4	-4	1
16	4	-5	1	2	-3	2	9	1
17	5	1	4	-3	2	8	1	1
18	-7	1	2	9	1	2	3	-1
19	1	5	4	2	-1	2	-3	4
20	2	5	-7	8	3	-4	1	2
21	1	-2	3	-4	5	2	6	7
22	4	6	5	3	-1	-2	4	7
23	2	3	1	-2	4	1	1	5
24	3	4	1	1	-2	3	2	2
25	1	1	-2	3	-3	1	4	-2
26	4	-2	1	-3	1	2	1	1
27	-2	1	5	3	-5	2	2	2
28	1	1	6	7	-2	8	1	1
29	2	-3	8	1	1	-1	3	2
30	-3	1	4	-1	2	6	1	8
31	-2	5	4	-3	7	8	1	-1
32	1	2	-3	4	6	2	-5	3
33	2	3	1	-2	4	1	1	5
34	5	-1	2	-6	1	4	-8	1
35	-2	5	-6	1	-1	2	-2	1
36	3	4	1	-2	4	6	2	-8
37	1	2	-6	2	3	4	-4	1

Продовження таблиці 2

№ варіанта	a_1	a_2	c_1	b_1	b_2	c_2	d_1	d_2
38	4	-5	1	2	-3	2	9	1
39	5	1	4	-3	2	8	1	1
40	-7	1	2	9	1	2	3	-1
41	1	5	4	2	-1	2	-3	4
42	2	4	-5	1	7	9	-1	-1
43	3	4	-7	5	2	2	1	1
44	-7	4	-2	1	3	6	-5	4
45	8	4	3	-4	-2	1	1	5
46	1	2	-3	4	6	2	-5	3
47	2	3	1	-2	4	1	1	5
48	1	1	6	7	-2	8	1	1
49	2	-3	8	1	1	-1	3	2
50	2	3	1	-2	4	1	1	5
51	3	4	1	1	-2	3	2	2
52	1	1	-2	3	-3	1	4	-2
54	-2	1	5	3	-5	2	2	2
55	1	1	6	7	-2	8	1	1
56	2	-3	8	1	1	-1	3	2
57	-3	1	4	-1	2	6	1	8
58	-2	5	4	-3	7	8	1	-1
59	1	2	-3	4	6	2	-5	3
60	2	3	1	-2	4	1	1	5

2. МАТЕМАТИЧНИЙ ОПИС АВТОМАТИЧНИХ СИСТЕМ

Задача 2.1

Обрати структурну схему (рис. 2.1–2.3) та параметри (табл. 4) системи автоматичного керування з таблиці 3 згідно з варіантом. Для обраної схеми необхідно:

- 1) скласти диференційні рівняння автоматичної системи в нормальній формі;
- 2) записати рівняння спостереження;
- 3) отримати математичну модель автоматичної системи в матричній формі;
- 4) перетворити матричне рівняння автоматичної системи в керовану форму Луенбергера (керований канонічний вид).

Таблиця 3 – Варіанти структурних схем та їх параметрів

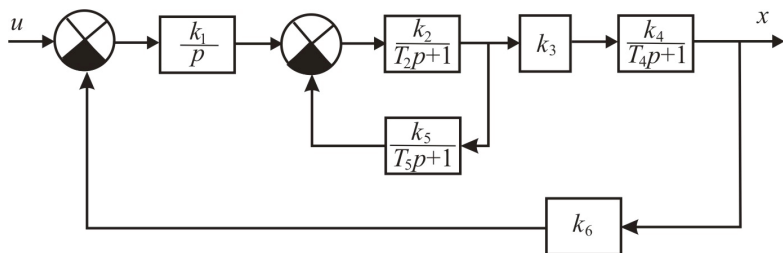
№ варіанта	№ структурної схеми	Варіант параметрів структурної схеми	№ варіанта	№ структурної схеми	Варіант параметрів структурної схеми
1	3	4	2	4	3
3	1	1	4	2	10
5	5	2	6	6	1
7	8	2	8	9	8
9	10	6	10	2	7
11	9	4	12	7	5
13	8	9	14	6	10

Продовження таблиці 3

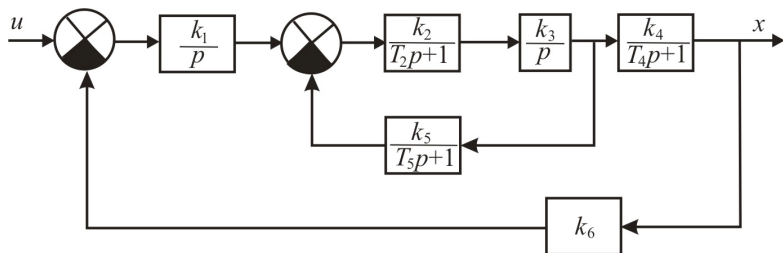
№ варіанта	№ струк- турної схеми	Варіант параметрів структур- ної схеми	№ варіанта	№ струк- турної схеми	Варіант параметрів структур- ної схеми
15	5	3	16	4	1
17	3	5	18	1	6
19	10	2	20	2	5
21	1	4	22	2	8
23	8	3	24	6	4
25	7	2	26	4	9
27	5	7	28	9	2
29	10	7	30	6	3
31	1	9	32	3	7
33	2	7	34	7	3
35	9	1	36	10	2
37	8	8	38	6	6
39	4	2	40	2	4
41	10	1	42	9	2
43	8	3	44	7	4
45	6	5	46	5	6
47	4	7	48	3	8
49	2	9	50	1	10
51	2	4	52	3	6
53	4	8	54	6	10
55	5	7	56	3	5
57	4	3	58	2	7
59	7	5	60	10	4

Структурні схеми автоматичних систем

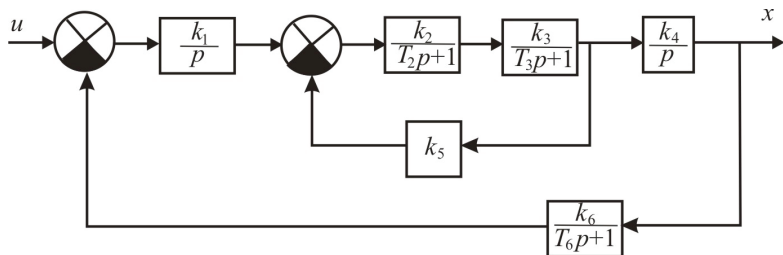
№ 1



№ 2



№ 3



№ 4

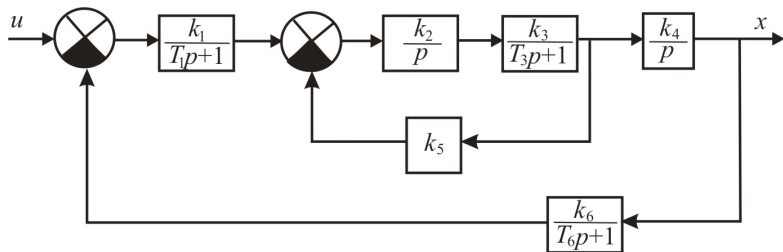
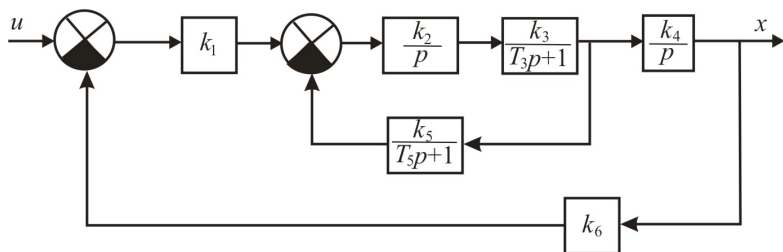
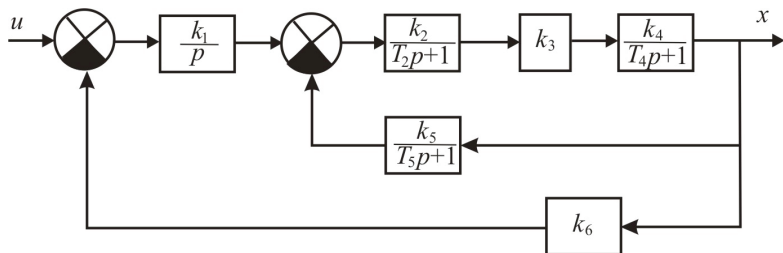


Рис. 2.1

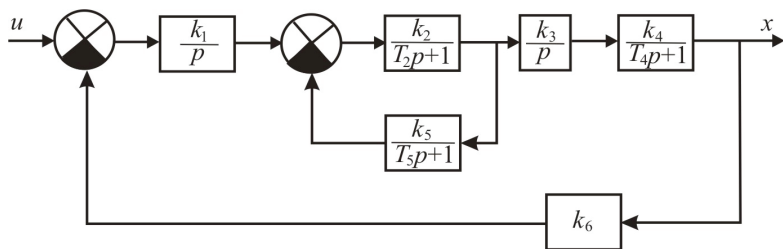
№ 5



№ 6



№ 7



№ 8

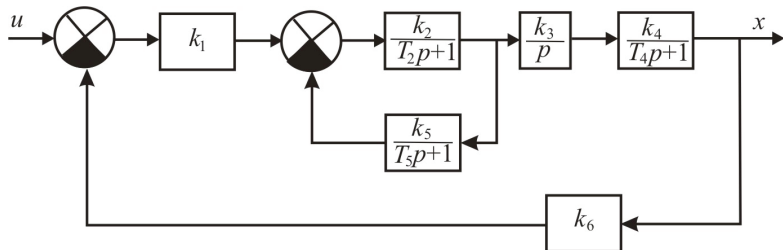
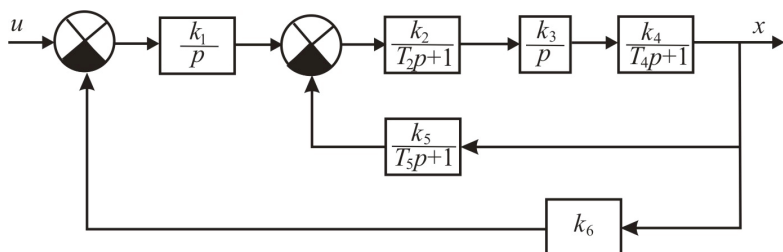


Рис. 2.2

№ 9



№ 10

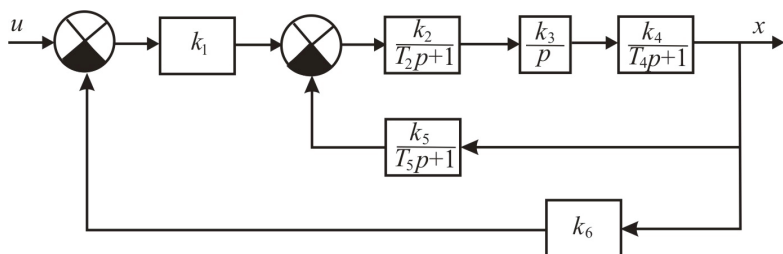


Рис. 2.3

Таблиця 4 – Параметри структурних схем

№ варіанта параметрів	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6
1	1	3	1	2	1,5	1	4	1	2	1,5	1	2
2	1,5	4	1	2,5	2,5	2	2	1,5	2,5	2,5	2	2,5
3	2	1	2	3	3,5	1	3	2	3	3,5	1	3
4	2,5	2	1	3,5	4,5	1	1	2,5	3,5	4,5	1	3
5	3	1	5	4	5,5	2	5	3	4	5,5	2	4
6	3,5	1	6	2	5	1	2	3,5	2	5	1	2
7	4	3	8	2,5	4	2	4	4	2,5	4	2	2,5
8	4,5	1	4	3	3	1	2	4,5	3	3	1	3
9	5	5	4	3,5	2	1	3	5	3,5	2	1	3,5
10	1,5	2	3	4	1	2	1	1,5	4	1	2	4

Задача 2.2

Система автоматичного керування задана диференціальним рівнянням

$$\frac{d^3 y}{dt^3} + a_1 \frac{d^2 y}{dt^2} + a_2 \frac{dy}{dt} + a_3 y = b_0 u .$$

Необхідно:

- 1) скласти диференціальні рівняння автоматичної системи в нормальній формі;
- 2) отримати математичну модель автоматичної системи в керованій формі Луенбергера;
- 3) скласти структурну схему автоматичної системи у просторі сигналів.

Коефіцієнти диференціального рівняння системи вибрати з таблиці 5 згідно з варіантом.

Таблиця 5 – Коефіцієнти диференціального рівняння системи автоматичного керування

№ варіанта	a_1	a_2	a_3	b_0	№ варіанта	a_1	a_2	a_3	b_0
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	3	1	2	4	2	4	1	1	2
3	1	2	3	3	4	2	1	3	1
5	1	5	3	5	6	1	6	7	2
7	3	8	1	1	8	1	4	1	2
9	5	4	3	7	10	2	3	4	6
11	2	3	4	5	12	7	6	5	4
13	5	6	1	1	14	4	1	2	4
15	2	6	2	3	16	5	2	6	4
17	2	4	8	2	18	2	1	4	1
19	1	3	6	2	20	2	4	4	4

Продовження таблиці 5

№ варіанта	a_1	a_2	a_3	b_0	№ варіанта	a_1	a_2	a_3	b_0
21	1	3	7	2	22	2	6	6	2
23	8	2	4	3	24	1	2	5	7
25	3	2	6	4	26	8	4	8	2
27	1	1	4	1	28	1	3	6	2
29	8	4	4	4	30	1	3	7	2
31	1	2	9	10	32	3	4	7	8
33	5	6	5	6	34	7	8	3	4
35	9	10	1	2	36	2	1	10	9
37	4	3	8	7	38	6	5	6	5
39	8	7	4	3	40	10	9	2	1
41	4	3	5	2	42	5	6	4	7
43	1	6	10	5	44	2	10	4	4
45	2	6	3	2	46	6	2	4	5
47	8	4	2	2	48	4	10	1	2
49	6	3	2	10	50	4	4	4	2
51	7	3	2	10	52	6	6	2	2
53	4	2	3	8	54	5	2	7	10
55	6	2	4	3	56	8	4	2	8
57	4	1	5	10	58	6	3	2	1
59	4	8	4	8	60	7	3	2	10

3. РОЗРАХУНОК СИСТЕМ ПІДПОРЯДКОВАНОГО РЕГУЛЮВАННЯ

Задача 3

Синтезувати систему підпорядкованого регулювання швидкості двигуна постійного струму комплектного електроприводу, задану структурною схемою на рис. 3.1.

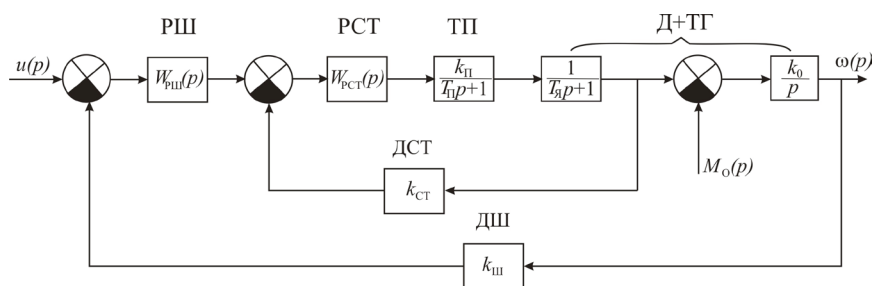


Рис. 3.1. Структурна схема системи підпорядкованого регулювання швидкості двигуна постійного струму комплектного електроприводу:

РШ – регулятор швидкості; РСТ – регулятор струму; ТП – тиристорний перетворювач; Д – двигун; ТГ – тахогенератор; ДСТ – датчик струму; ДШ – датчик швидкості

Паспортні дані двигуна: номінальна потужність P_n ; номінальне число обертів n_n ; номінальна напруга якоря u_n ; маховий момент якоря GD^2 ; число пар полюсів $2p$; опір обмотки якоря при 15°C $r_{я15}$.

Дані робочого механізму: номінальне число обертів n_m ; момент інерції J_m .

Параметри тиристорного перетворювач: коефіцієнт підсилення k_{Π} ; постійна часу T_{Π} .

Необхідні дані вибрати з таблиці 6 згідно з варіантом.

Внутрішній контур (контур струму) настроїти на технічний оптимум, зовнішній контур (контур швидкості) – на симетричний оптимум.

Таблиця 6

№ варіанта	P_n , кВт	n_n , об/хв	u_n , В	GD^2 , кгм ²	$2p$	$r_{я15}$, Ом	n_m , об/хв	J_m , кгм ²	k_{Π}	T_{Π} , с
1	1,6	750	110	0,125	4	0,472	50	5	2	0,001
2	1,6	750	220	0,125	4	1,88	50	5	2	0,001
3	2,5	1000	110	0,15	4	0,271	75	10	2	0,002
4	2,5	1000	220	0,15	4	1,08	75	10	2	0,002
5	2,5	1000	440	0,15	4	4,54	75	10	2	0,002
6	4	1500	110	0,2	4	0,14	100	12	2,5	0,003
7	4	1500	220	0,2	4	0,564	100	12	2,5	0,003
8	4	1500	440	0,2	4	2,28	100	12	2,5	0,003
9	7	2200	110	0,3	4	0,067	125	15	3	0,004
10	7	2240	220	0,3	4	0,226	125	15	3	0,004
11	7	2240	440	0,3	4	0,906	125	15	3	0,004
12	10,5	3000	220	0,5	4	0,14	150	20	3	0,006
13	10,5	3000	440	0,5	4	0,564	150	20	3	0,006
14	1,9	750	110	0,15	4	0,322	25	5	2	0,001
15	1,9	750	440	0,15	4	1,28	25	5	2	0,001
16	1,9	750	440	0,15	4	6,42	25	5	2	0,001
17	3	950	110	0,3	4	0,22	50	10	2	0,003
18	3	1000	220	0,3	4	0,88	50	10	2	0,003
19	3	1000	440	0,3	4	3,38	50	10	2	0,003

Продовження таблиці 6

№ варіанта	P_n , кВт	n_n , об/хв	u_n , В	GD^2 , кгм ²	$2p$	$r_{я15}$, Ом	n_m , об/хв	J_m , кгм ²	k_{II}	T_{II} , с
20	5,5	1500	110	0,4	4	0,08	100	15	2	0,005
21	5,5	1500	220	0,4	4	0,322	100	15	2	0,005
22	5,5	1600	440	0,4	4	1,28	100	15	2	0,005
23	8,5	2200	220	0,5	4	0,167	125	20	3	0,008
24	8,5	2240	440	0,5	4	0,67	125	20	3	0,008
25	14	3150	220	0,7	4	0,08	250	35	3	0,012
26	14	3150	440	0,7	4	0,322	250	35	3	0,012
27	1,6	750	110	0,125	4	0,472	25	5	2	0,001
28	1,6	750	220	0,125	4	1,88	25	5	2	0,001
29	2,5	1000	110	0,15	4	0,271	25	5	2	0,001
30	2,5	1000	220	0,15	4	1,08	50	10	2	0,003
31	2,4	1600	110	0,125	4	0,185	75	10	2	0,002
32	2,4	1600	220	0,125	4	0,74	75	10	2	0,002
33	2,4	1600	440	0,125	4	2,85	75	10	2	0,002
34	3,7	2200	110	0,2	4	0,104	100	12	2,5	0,003
35	3,7	2360	220	0,2	4	0,346	100	12	2,5	0,003
36	3,7	2120	440	0,2	4	1,38	100	12	2,5	0,003
37	4,5	3150	110	0,25	4	0,046	125	15	3	0,004
38	4,5	3150	220	0,275	4	0,185	125	15	3	0,004
39	4,5	3150	440	0,275	4	0,74	125	15	3	0,004
40	1,3	800	110	0,125	4	0,412	50	5	2	0,001
41	1,3	800	220	0,125	4	1,98	50	5	2	0,001
42	1,3	800	440	0,15	4	7,05	75	10	2	0,002
43	1,9	1060	110	0,15	4	0,269	25	5	2	0,001
44	1,9	1060	220	0,15	4	1,08	25	5	2	0,001
45	1,9	1120	440	0,15	4	4,05	25	5	2	0,001
46	3,2	1600	110	0,3	4	0,12	50	10	2	0,003
47	3,2	1600	220	0,3	4	0,518	50	10	2	0,003

Продовження таблиці 6

№ варіанта	P_n , кВт	n_n , об/хв	u_n , В	GD^2 , кгм ²	$2p$	$r_{я15}$, Ом	n_m , об/хв	J_m , кгм ²	k_{II}	T_{II} , с
48	3,2	1600	440	0,3	4	2,02	50	10	2	0,003
49	4,5	2360	110	0,25	4	0,055	125	15	3	0,004
50	4,5	2200	220	0,275	4	0,269	125	15	3	0,004
51	4,5	2360	440	0,275	4	0,88	125	15	3	0,004
52	5,3	3000	220	0,4	4	0,167	100	15	2	0,005
53	5,3	3150	440	0,4	4	0,562	100	15	2	0,005
54	2	750	110	0,125	4	0,435	50	5	2	0,001
55	2	750	220	0,125	4	1,693	50	5	2	0,001
56	2	800	440	0,15	4	6,28	75	10	2	0,002
57	6	2360	220	0,4	4	0,226	100	15	2	0,005
58	6	2360	440	0,4	4	0,906	100	15	2	0,005
59	7,5	3000	220	0,5	4	0,14	125	20	3	0,008
60	7,5	3150	440	0,5	4	0,546	125	20	3	0,008

4. СИНТЕЗ І ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ МОДАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ТА СПОСТЕРІГАЧІВ ЛУЕНБЕРГЕРА

1. Представити математичну модель об'єкта керування, яку задано структурною схемою, у векторно-матричній формі.

2. Синтезувати алгоритм модального керування заданим об'єктом при повних вимірах та настроюванні системи на бажаний розподіл коренів характеристичного поліному, що відповідає*:

– стандартній лінійній формі Баттерворта – з 1 по 10, з 41 по 50 варіанти;

– біноміальній стандартній лінійній формі – з 11 по 20, з 51 по 60 варіанти;

– стандартній лінійній формі Бесселя-Томпсона – з 21 по 30 варіанти;

– стандартній лінійній формі Еллерта – з 31 по 40 варіанти.

Середньогометричний корінь характеристичного поліному системи автоматичного керування прийняти рівним

$$q_0 = \frac{1}{T_1}, \text{ с}^{-1}.$$

3. Синтезувати спостерігач Луенбергера повного порядку з тим же розподілом коренів характеристичного поліному та середньогометричним коренем

$$q_n = (5 \dots 10) \cdot q_0$$

і навести його структурну схему.

* Бажані перехідні характеристики та відповідні їм характеристичні поліноми замкнених систем наведено у додатку.

За вимірювану координату вектора стану прийняти:

- для непарних варіантів – x_1 ;
- для парних варіантів – x_2 .

4. Синтезувати спостерігач Луенбергера зниженого порядку зі швидкодією, що задана у попередньому пункті, та навести його структурну схему.

Структурну схему (рис. 4.1–4.3) та параметри об'єкта керування (табл. 8) обрати з таблиці 7 згідно з варіантом.

Таблиця 7 – Варіанти структурних схем і параметрів об'єктів керування

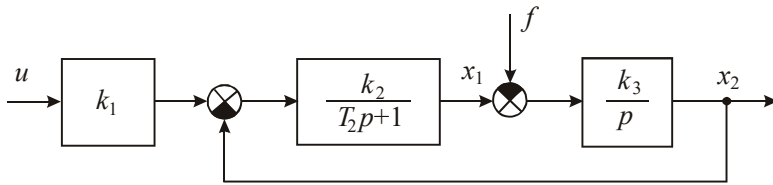
№ варіанта	№ структурної схеми	Варіант параметрів структурної схеми	№ варіанта	№ структурної схеми	Варіант параметрів структурної схеми
1	3	4	2	4	3
3	1	1	4	2	10
5	5	2	6	6	1
7	8	2	8	9	8
9	10	6	10	2	7
11	9	4	12	7	5
13	8	9	14	6	10
15	5	3	16	4	1
17	3	5	18	1	6
19	10	2	20	2	5
21	1	4	22	2	8
23	8	3	24	6	4
25	7	2	26	4	9
27	5	7	28	9	2
29	10	7	30	6	3
31	1	9	32	3	7
33	2	7	34	7	3

Продовження таблиці 7

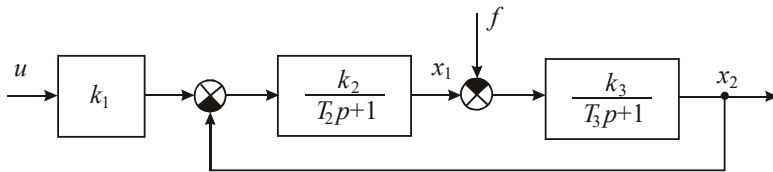
№ варіанта	№ струк- турної схеми	Варіант параметрів структур- ної схеми	№ варіанта	№ струк- турної схеми	Варіант параметрів структур- ної схеми
35	9	1	36	10	2
37	8	8	38	6	6
39	4	2	40	2	4
41	10	1	42	9	2
43	8	3	44	7	4
45	6	5	46	5	6
47	4	7	48	3	8
49	2	9	50	1	10
51	2	4	52	3	6
53	4	8	54	6	10
55	5	7	56	3	5
57	4	3	58	2	7
59	7	5	60	10	4

Структурні схеми об'єктів керування

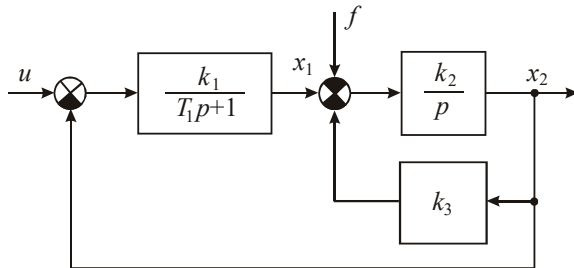
№ 1



№ 2



№ 3



№ 4

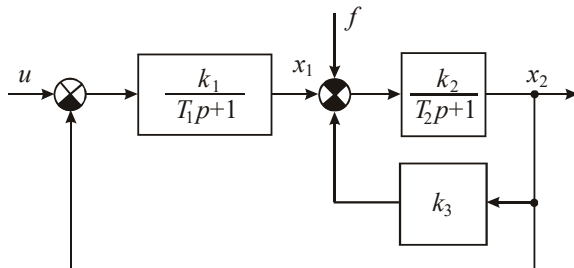
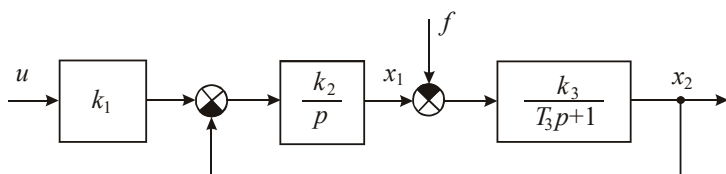
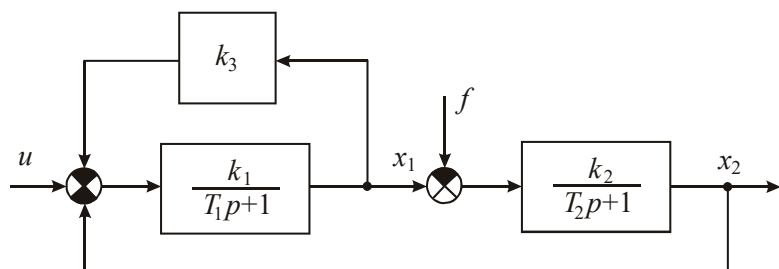


Рис. 4.1

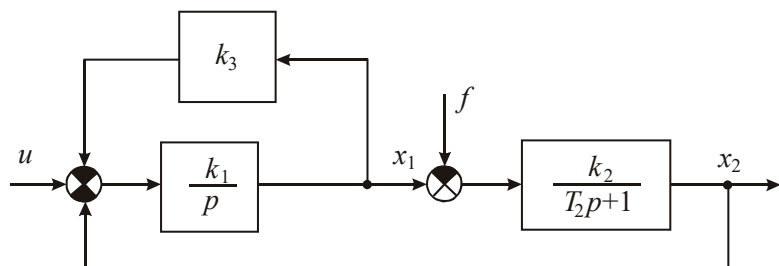
№ 5



№ 6



№ 7



№ 8

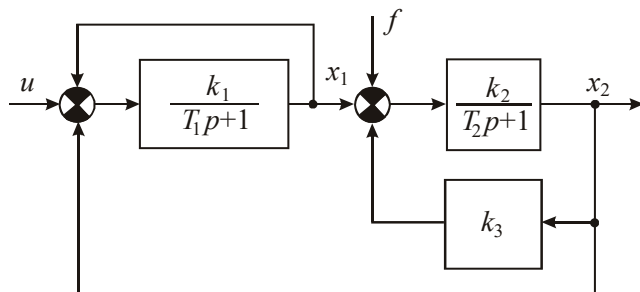
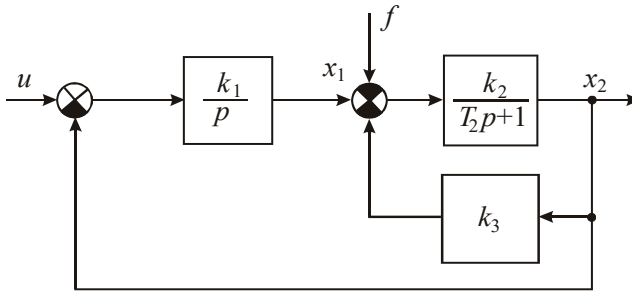


Рис. 4.2

№ 9



№ 10

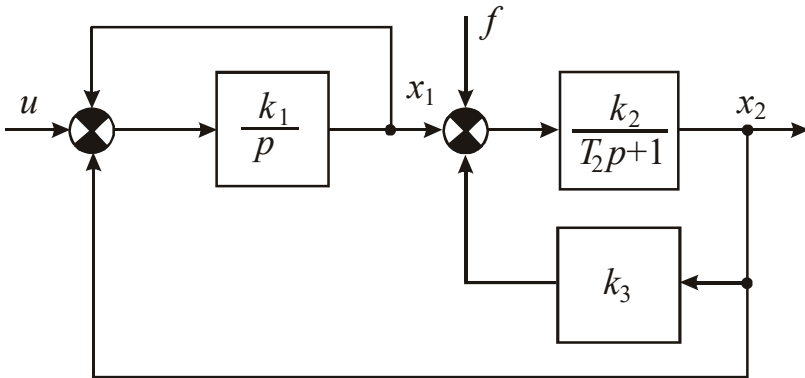


Рис. 4.3

Таблиця 8 – Параметри об'єктів керування

№ варіанта параметрів	k_1	k_2	k_3	T_1	T_2	T_3
1	2,2	1,5	2,0	1	3	5
2	1,5	1,0	1,2	0,8	3	1,7
3	2,5	1,4	0,7	1,3	2	1
4	3	0,8	1,1	0,7	1	1,6
5	2,5	0,7	1,5	1,5	2	0,8
6	3,5	1	3,5	2	0,8	1

Продовження таблиці 8

№ варіанта параметрів	k_1	k_2	k_3	T_1	T_2	T_3
7	4	3	5	2,5	1,5	2
8	4,5	1	4	3	3	1,5
9	5	2,5	4	3,5	2	1
10	1,5	2	3	0,8	1,5	2

Додаток **Стандартні характеристичні поліноми** **та перехідні характеристики**

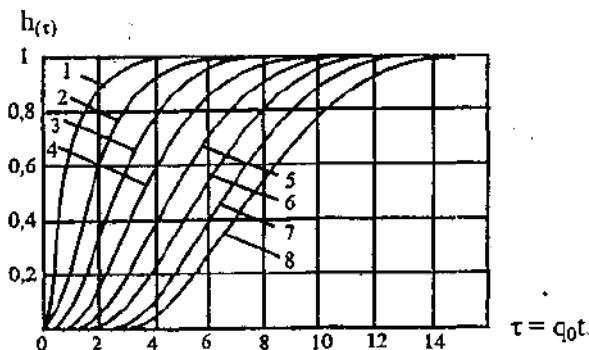


Рис. 1Д. Перехідні характеристики систем з біноміальними коефіцієнтами характеристичного полінома

Таблиця 1Д – Характеристичні поліноми біноміальної моделі

	Поліном $\Pi_n(p)$
1	$\Pi_2(p) = p^2 + 2 q_0 p + q_0^2$
2	$\Pi_3(p) = p^3 + 3 q_0 p^2 + 3 q_0^2 p + q_0^3$
3	$\Pi_4(p) = p^4 + 4 q_0 p^3 + 6 q_0^2 p^2 + 4 q_0^3 p + q_0^4$
4	$\Pi_5(p) = p^5 + 5 q_0 p^4 + 10 q_0^2 p^3 + 10 q_0^3 p^2 + 5 q_0^4 p + q_0^5$
5	$\Pi_6(p) = p^6 + 6 q_0 p^5 + 15 q_0^2 p^4 + 20 q_0^3 p^3 + 15 q_0^4 p^2 + 6 q_0^5 p + q_0^6$
6	$\Pi_7(p) = p^7 + 7 q_0 p^6 + 21 q_0^2 p^5 + 35 q_0^3 p^4 + 35 q_0^4 p^3 + 21 q_0^5 p^2 + 7 q_0^6 p + q_0^7$
7	$\Pi_8(p) = p^8 + 8 q_0 p^7 + 28 q_0^2 p^6 + 56 q_0^3 p^5 + 70 q_0^4 p^4 + 56 q_0^5 p^3 + 28 q_0^6 p^2 + 8 q_0^7 p + q_0^8$

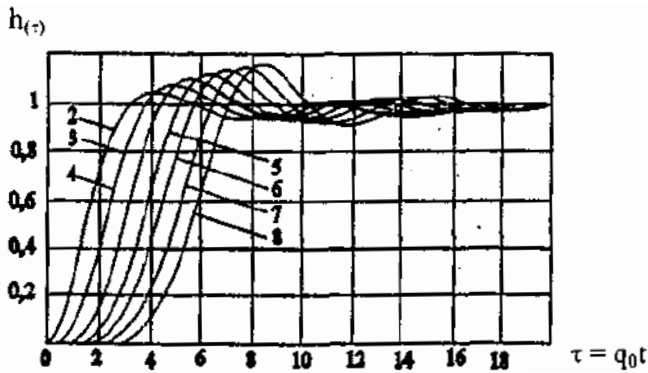


Рис. 2Д. Перехідні характеристики систем Баттерворта

Таблиця 2Д – Характеристичні поліноми моделі Баттерворта

	Поліном $\Pi_n(p)$
1	$\Pi_1(p) = p + q_0$
2	$\Pi_2(p) = p^2 + 1,41 q_0 p + q_0^2$
3	$\Pi_3(p) = p^3 + 2 q_0 p^2 + 2 q_0^2 p + q_0^3$
4	$\Pi_4(p) = p^4 + 2,6 q_0 p^3 + 3,6 q_0^2 p^2 + 2,6 q_0^3 p + q_0^4$
5	$\Pi_5(p) = p^5 + 3,24 q_0 p^4 + 5,24 q_0^2 p^3 + 5,24 q_0^3 p^2 + 3,24 q_0^4 p + q_0^5$
6	$\Pi_6(p) = p^6 + 3,86 q_0 p^5 + 7,46 q_0^2 p^4 + 9,13 q_0^3 p^3 + 7,46 q_0^4 p^2 + 3,86 q_0^5 p + q_0^6$
7	$\Pi_7(p) = p^7 + 4,5 q_0 p^6 + 10,1 q_0^2 p^5 + 14,6 q_0^3 p^4 + 14,6 q_0^4 p^3 + 10,1 q_0^5 p^2 + 4,5 q_0^6 p + q_0^7$
8	$\Pi_8(p) = p^8 + 5,12 q_0 p^7 + 13,14 q_0^2 p^6 + 21,84 q_0^3 p^5 + 25,69 q_0^4 p^4 + 21,84 q_0^5 p^3 + 13,14 q_0^6 p^2 + 5,12 q_0^7 p + q_0^8$

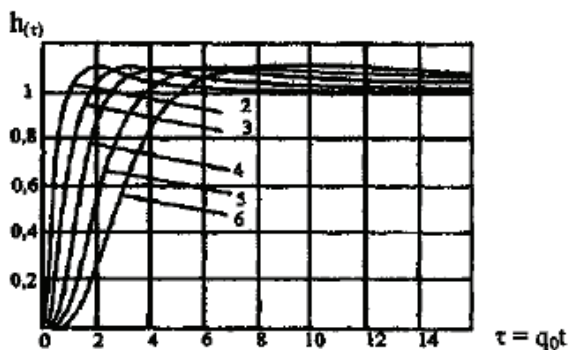


Рис. 3Д. Перехідні характеристики систем Еллерта

Таблиця 3Д – Характеристичні поліноми моделі Еллерта

	Поліном $\Pi_n(p)$
1	$\Pi_2(p) = p^2 + 2,5 q_0 p + q_0^2$
2	$\Pi_3(p) = p^3 + 5,1 q_0 p^2 + 6,3 q_0^2 p + q_0^3$
3	$\Pi_4(p) = p^4 + 7,2 q_0 p^3 + 16 q_0^2 p^2 + 12 q_0^3 p + q_0^4$
4	$\Pi_5(p) = p^5 + 9 q_0 p^4 + 29 q_0^2 p^3 + 385 q_0^3 p^2 + 18 q_0^4 p + q_0^5$
5	$\Pi_6(p) = p^6 + 11 q_0 p^5 + 43 q_0^2 p^4 + 83 q_0^3 p^3 + 73 q_0^4 p^2 + 25 q_0^5 p + q_0^6$

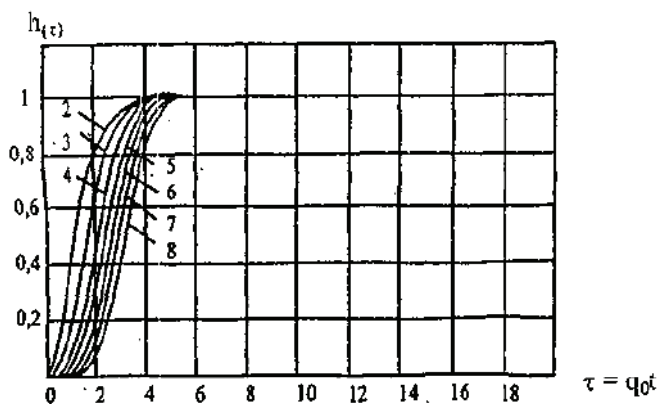


Рис. 4Д. Перехідні характеристики систем Бесселя-Томсона

Таблиця 4Д — Характеристичні поліноми моделі Бесселя-Томсона

	Поліном $\Pi_n(p)$
1	$\Pi_2(p) = p^2 + 2,2 q_0 p + 1,62 q_0^2$
2	$\Pi_3(p) = p^3 + 3,42 q_0 p^2 + 4,87 q_0^2 p + 2,77 q_0^3$
3	$\Pi_4(p) = p^4 + 4,73 q_0 p^3 + 10,1 q_0^2 p^2 + 11,1 q_0^3 p + 5,26 q_0^4$
4	$\Pi_5(p) = p^5 + 6,18 q_0 p^4 + 17,8 q_0^2 p^3 + 29,4 q_0^3 p^2 + 27,2 q_0^4 p + 11,2 q_0^5$
5	$\Pi_6(p) = p^6 + 7,77 q_0 p^5 + 28,7 q_0^2 p^4 + 63,8 q_0^3 p^3 + 88,5 q_0^4 p^2 + 72 q_0^5 p + 26,6 q_0^6$
6	$\Pi_7(p) = p^7 + 9,5 q_0 p^6 + 43,4 q_0^2 p^5 + 122 q_0^3 p^4 + 228 q_0^4 p^3 + 278 q_0^5 p^2 + 204 q_0^6 p + 69,2 q_0^7$
7	$\Pi_8(p) = p^8 + 11,3 q_0 p^7 + 62,1 q_0^2 p^6 + 215 q_0^3 p^5 + 506 q_0^4 p^4 + 828 q_0^5 p^3 + 912 q_0^6 p^2 + 615 q_0^7 p + 194 q_0^8$

ВИСНОВОК

Збірник задач для контрольних та самостійних робіт з дисципліни «Дослідження операцій електромеханічних систем» спрямований на формування у здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності G3 «Електрична інженерія» системного підходу до аналізу, моделювання та синтезу сучасних електромеханічних систем автоматичного керування.

Виконання наведених у збірнику завдань забезпечує поглиблене засвоєння теоретичних положень теорії автоматичного керування, методів математичного опису динамічних систем у просторі станів, принципів дослідження керованості та спостережності, а також методів синтезу систем підпорядкованого регулювання, модального керування та спостерігачів стану. Особлива увага приділяється розвитку практичних навичок застосування сучасного математичного апарату для розв'язання інженерних задач у сфері електромеханіки, автоматизованого електропривода та інтелектуальних систем керування.

Запропоновані індивідуальні завдання дозволяють здобувачам освіти набути компетентностей щодо побудови математичних моделей технічних об'єктів, аналізу їх динамічних властивостей, оцінювання якості процесів керування та обґрунтованого вибору параметрів систем автоматизації. Отримані знання та навички є важливою складовою підготовки висококваліфікованих фахівців, здатних здійснювати науково-дослідну, проєктну та професійну діяльність у галузі електричної інженерії.

Матеріали збірника можуть бути використані під час аудиторної та самостійної роботи, виконання індивідуальних

завдань, підготовки кваліфікаційних робіт і подальших наукових досліджень, пов'язаних із розробленням та вдосконаленням електромеханічних систем і комплексів автоматичного керування.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Modern Control Engineering. Ogata K. *Modern Control Engineering*. 6th ed. Boston : Pearson, 2020. 912 p.
2. Feedback Control of Dynamic Systems. Franklin G.F., Powell J.D., Emami-Naeini A. *Feedback Control of Dynamic Systems*. 8th ed. Hoboken : Pearson, 2019. 912 p.
3. Control Systems Engineering. Nise N.S. *Control Systems Engineering*. 8th ed. Hoboken : Wiley, 2020. 944 p.
4. Linear System Theory and Design. Chen C.-T. *Linear System Theory and Design*. 5th ed. New York : Oxford University Press, 2019. 704 p.
5. Linear State-Space Control Systems. Williams R.L., Lawrence D.A. *Linear State-Space Control Systems*. Hoboken : Wiley, 2018. 704 p.
6. Modern Electric Drive Systems. Bose B.K. *Modern Electric Drive Systems*. London : Academic Press, 2021. 1100 p.
7. Electric Motor Drives. Krishnan R. *Electric Motor Drives: Modeling, Analysis and Control*. New Delhi : PHI Learning, 2019. 640 p.
8. Advanced Control of Electrical Drives and Power Electronic Converters. Blaabjerg F., Teodorescu R. *Advanced Control of Electrical Drives and Power Electronic Converters*. London : IET, 2018. 496 p.
9. Model Predictive Control. Camacho E.F., Bordons C. *Model Predictive Control*. 3rd ed. London : Springer, 2020. 430 p.
10. Optimal Control and Estimation. Stengel R.F. *Optimal Control and Estimation*. New York : Dover Publications, 2018. 672 p.

11. Åström K.J., Murray R.M. *Feedback Systems: An Introduction for Scientists and Engineers*. Princeton : Princeton University Press, 2021. 408 p.
12. Dorf R.C., Bishop R.H. *Modern Control Systems*. 14th ed. Hoboken : Pearson, 2021. 1056 p.
13. Goodwin G.C., Graebe S.F., Salgado M.E. *Control System Design*. Cham : Springer, 2020. 920 p.
14. Khalil H.K. *Nonlinear Control*. New York : Pearson, 2018. 752 p.
15. Skogestad S., Postlethwaite I. *Multivariable Feedback Control: Analysis and Design*. 3rd ed. Hoboken : Wiley, 2022. 608 p.
16. Leonhard W. *Control of Electrical Drives*. Berlin : Springer, 2019. 460 p.
17. Pyrhonen J., Jokinen T., Hrabovcova V. *Design of Rotating Electrical Machines*. 3rd ed. Hoboken : Wiley, 2022. 664 p.
18. Krstic M., Kanellakopoulos I., Kokotovic P. *Nonlinear and Adaptive Control Design*. Mineola : Dover Publications, 2019. 592 p.
19. Бурдун О.В., Лозинський А.О. Теорія автоматичного керування : навчальний посібник. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2018. 320 с.
20. Луцький С.М., Коцур М.І. Основи автоматизованого електропривода : навчальний посібник. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 356 с.

ЗМІСТ

Вступ.....	3
Вибір номера варіанта задачі.....	5
1. Керованість та спостережність автоматичних систем.....	6
2. Математичний опис автоматичних систем.....	9
3. Розрахунок систем підпорядкованого регулювання.....	16
4. Синтез і дослідження системи модального керування та спостерігачів луенбергера.....	20
Додаток. Стандартні характеристичні поліноми та перехідні характеристики.....	27
Висновок.....	31
Рекомендована література.....	33

Навчальне видання

БЛІНЦОВ Володимир Степанович
БУРУНІН Андрій Павлович

ЗБІРНИК ЗАДАЧ ДЛЯ КОНТРОЛЬНИХ ТА САМОСТІЙНИХ РОБІТ

З ДИСЦИПЛІНИ
«ДОСЛІДЖЕННЯ ОПЕРАЦІЙ
ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ»

Комп'ютерне верстання *Н. М. Ковальчук*
Коректор *О. Є. Вакула*

Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. 2,09. Вид. № 8. Зам. № 2506-63.
Видавець і виготівник Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
просп. Героїв України, 9, м. Миколаїв, 54007
E-mail : publishing@nuos.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6402 від 19.09.2018 р.