

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

М.Я. ХЛОПЕНКО, І.С. БЛЮК

ЗБІРНИК ЗАДАЧ ДЛЯ КОНТРОЛЬНИХ
ТА САМОСТІЙНИХ РОБІТ З ДИСЦИПЛІНИ
"ДОСЛІДЖЕННЯ ОПЕРАЦІЙ
ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ"

Рекомендовано Методичною радою НУК

Миколаїв 2008

УДК 681.5

Хлопенко М.Я., Білюк І.С. Збірник задач для контрольних та самостійних робіт з дисципліни "Дослідження операцій електромеханічних систем" – Миколаїв: НУК, 2008. – 24 с.

Кафедра автоматики

Містить задачі з базових положень сучасної теорії лінійних систем керування у просторі станів. Призначений для виконання контрольних та самостійних робіт студентами денної та заочної форм навчання зі спеціальності 8.092203 "Електромеханічні системи автоматизації та електропривод".

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

*Згідно з наказом ректора НУК № 08 від 09.01.2008
"навчально-методичні посібники, методичні вказівки
друкуються в авторській редакції" і відповідальність
за їх редагування несе автор.*

ВИБІР НОМЕРА ВАРІАНТА ЗАДАЧІ

Вибір номера варіанта задачі визначається двома останніми цифрами шифру студента (номера залікової книжки) по таблиці 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 варіанта.

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	4	5	6	7	8	9
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
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

Продовж. табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
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
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 варіанту. Для обраної схеми необхідно:

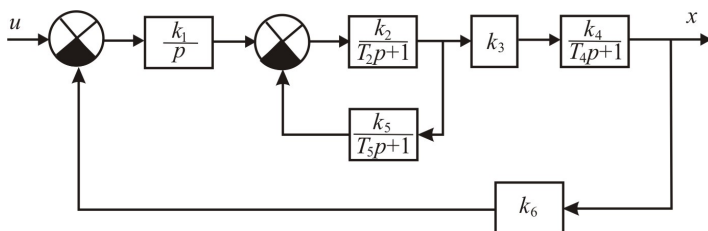
- 1) скласти диференційні рівняння автоматичної системи в нормальній формі;
- 2) записати рівняння спостереження;
- 3) отримати математичну модель автоматичної системи в матричній формі;
- 4) перетворити матричне рівняння автоматичної системи в керовану форму Луенбергера (керований канонічний вид).

Таблиця 3. Варіанти структурних схем та їх параметрів

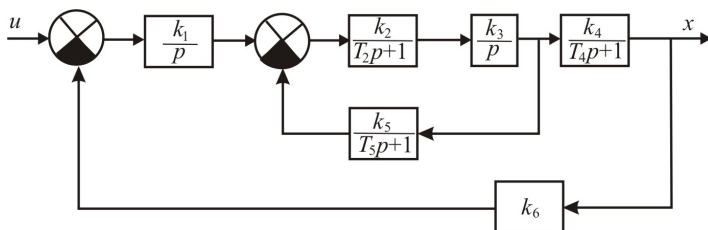
№ варіанта	№ структурної схеми	Варіант параметрів структурної схеми	№ варіанта	№ структурної схеми	Варіант параметрів структурної схеми
<i>1</i>	2	3	<i>1</i>	2	3
<i>1</i>	3	4	<i>2</i>	4	3
<i>3</i>	1	1	<i>4</i>	2	10
<i>5</i>	5	2	<i>6</i>	6	1
<i>7</i>	8	2	<i>8</i>	9	8
<i>9</i>	10	6	<i>10</i>	2	7
<i>11</i>	9	4	<i>12</i>	7	5
<i>13</i>	8	9	<i>14</i>	6	10
<i>15</i>	5	3	<i>16</i>	4	1
<i>17</i>	3	5	<i>18</i>	1	6
<i>19</i>	10	2	<i>20</i>	2	5
<i>21</i>	1	4	<i>22</i>	2	8
<i>23</i>	8	3	<i>24</i>	6	4
<i>25</i>	7	2	<i>26</i>	4	9
<i>27</i>	5	7	<i>28</i>	9	2
<i>29</i>	10	7	<i>30</i>	6	3
<i>31</i>	1	9	<i>32</i>	3	7
<i>33</i>	2	7	<i>34</i>	7	3
<i>35</i>	9	1	<i>36</i>	10	2
<i>37</i>	8	8	<i>38</i>	6	6
<i>39</i>	4	2	<i>40</i>	2	4
<i>41</i>	10	1	<i>42</i>	9	2
<i>43</i>	8	3	<i>44</i>	7	4
<i>45</i>	6	5	<i>46</i>	5	6
<i>47</i>	4	7	<i>48</i>	3	8
<i>49</i>	2	9	<i>50</i>	1	10
<i>51</i>	2	4	<i>52</i>	3	6
<i>53</i>	4	8	<i>54</i>	6	10
<i>55</i>	5	7	<i>56</i>	3	5
<i>57</i>	4	3	<i>58</i>	2	7
<i>59</i>	7	5	<i>60</i>	10	4

Структурні схеми автоматичних систем

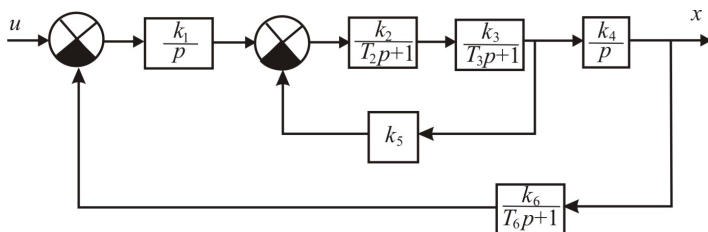
№1



№2



№3



№4

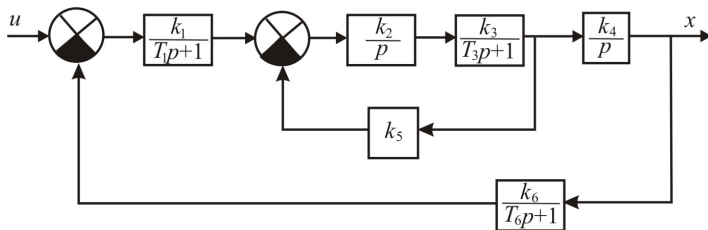
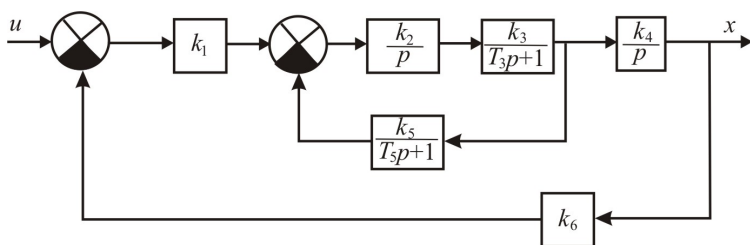
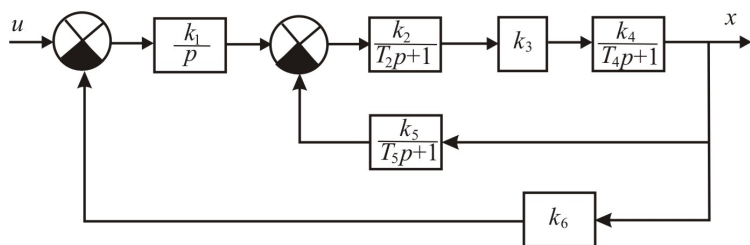


Рис. 2.1

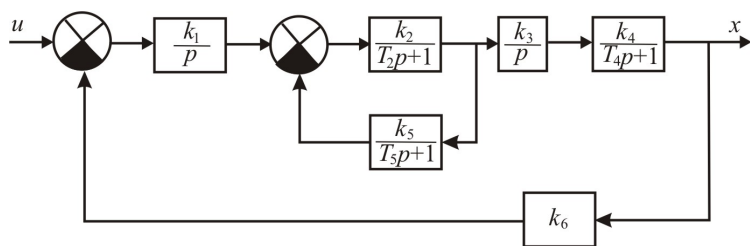
№5



№6



№7



№8

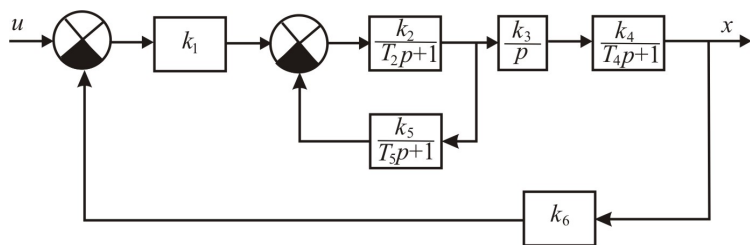
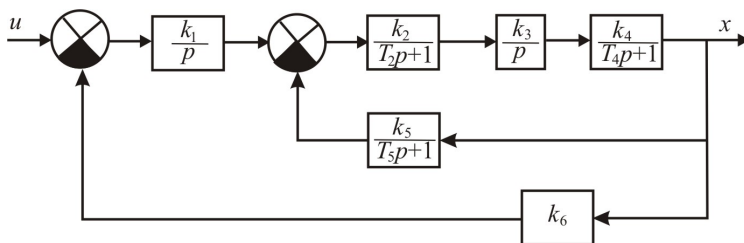


Рис. 2.2

№9



№10

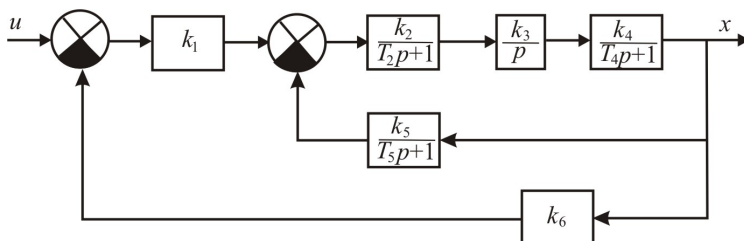


Рис. 2.3

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 варіанту.

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
<i>1</i>	2	3	4	5	<i>1</i>	2	3	4	5
<i>1</i>	3	1	2	4	<i>2</i>	4	1	1	2
<i>3</i>	1	2	3	3	<i>4</i>	2	1	3	1
<i>5</i>	1	5	3	5	<i>6</i>	1	6	7	2
<i>7</i>	3	8	1	1	<i>8</i>	1	4	1	2
<i>9</i>	5	4	3	7	<i>10</i>	2	3	4	6
<i>11</i>	2	3	4	5	<i>12</i>	7	6	5	4
<i>13</i>	5	6	1	1	<i>14</i>	4	1	2	4
<i>15</i>	2	6	2	3	<i>16</i>	5	2	6	4
<i>17</i>	2	4	8	2	<i>18</i>	2	1	4	1
<i>19</i>	1	3	6	2	<i>20</i>	2	4	4	4
<i>21</i>	1	3	7	2	<i>22</i>	2	6	6	2
<i>23</i>	8	2	4	3	<i>24</i>	1	2	5	7
<i>25</i>	3	2	6	4	<i>26</i>	8	4	8	2
<i>27</i>	1	1	4	1	<i>28</i>	1	3	6	2
<i>29</i>	8	4	4	4	<i>30</i>	1	3	7	2
<i>31</i>	1	2	9	10	<i>32</i>	3	4	7	8
<i>33</i>	5	6	5	6	<i>34</i>	7	8	3	4
<i>35</i>	9	10	1	2	<i>36</i>	2	1	10	9

Продовж. табл. 5

1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
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.

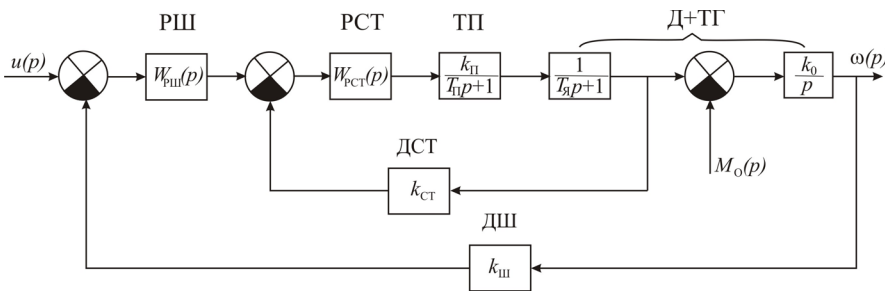


Рис. 3.1. Структурна схема системи підпорядкованого регулювання швидкості двигуна постійного струму комплектного електроприводу:

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

Паспортні данні 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 варіанту.

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

Таблиця 6

№ варіанту	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	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
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
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

Продовж. табл. 6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
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
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, в 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^{*)}:

– стандартної лінійної формі Баттерворта – з 1 по 10, с 41 по 50 варіанти;

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

– стандартної лінійної формі Бесселя-Томпсона – з 21 по 30 варіанти;

– стандартної лінійної формі Еллерта – з 31 по 40 варіанти.

Середньгеометричний корінь характеристичного поліному системи автоматичного керування прийняти рівним $q_0 = \frac{1}{T_1}, c^{-1}$.

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

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

та навести його структурну схему.

У якості вимірюваної координати вектора стану прийняти:

– для непарних варіантів – x_1 ;

– для парних варіантів – x_2 .

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

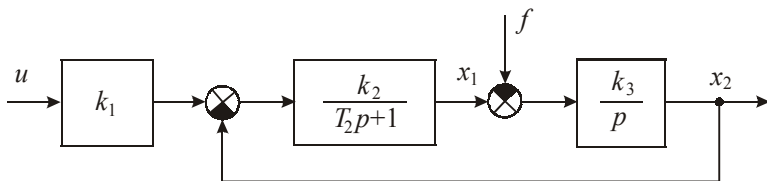
Структурну схему (рис. 4.1 – 4.3) та параметри об'єкта керування (табл. 8) обрати з таблиці 7 згідно варіанту.

^{*)} Бажані перехідні характеристики та відповідні їм характеристичні поліноми замкнених систем наведено у додатку.

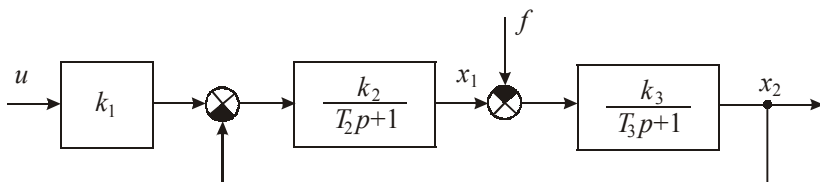
Таблиця 7. Варіанти структурних схем і параметрів об'єктів керування

№ варіанту	№ структурної схеми	Варіант параметрів структурної схеми	№ варіанту	№ структурної схеми	Варіант параметрів структурної схеми
<i>1</i>	2	3	<i>1</i>	2	3
<i>1</i>	3	4	<i>2</i>	4	3
<i>3</i>	1	1	<i>4</i>	2	10
<i>5</i>	5	2	<i>6</i>	6	1
<i>7</i>	8	2	<i>8</i>	9	8
<i>9</i>	10	6	<i>10</i>	2	7
<i>11</i>	9	4	<i>12</i>	7	5
<i>13</i>	8	9	<i>14</i>	6	10
<i>15</i>	5	3	<i>16</i>	4	1
<i>17</i>	3	5	<i>18</i>	1	6
<i>19</i>	10	2	<i>20</i>	2	5
<i>21</i>	1	4	<i>22</i>	2	8
<i>23</i>	8	3	<i>24</i>	6	4
<i>25</i>	7	2	<i>26</i>	4	9
<i>27</i>	5	7	<i>28</i>	9	2
<i>29</i>	10	7	<i>30</i>	6	3
<i>31</i>	1	9	<i>32</i>	3	7
<i>33</i>	2	7	<i>34</i>	7	3
<i>35</i>	9	1	<i>36</i>	10	2
<i>37</i>	8	8	<i>38</i>	6	6
<i>39</i>	4	2	<i>40</i>	2	4
<i>41</i>	10	1	<i>42</i>	9	2
<i>43</i>	8	3	<i>44</i>	7	4
<i>45</i>	6	5	<i>46</i>	5	6
<i>47</i>	4	7	<i>48</i>	3	8
<i>49</i>	2	9	<i>50</i>	1	10
<i>51</i>	2	4	<i>52</i>	3	6
<i>53</i>	4	8	<i>54</i>	6	10
<i>55</i>	5	7	<i>56</i>	3	5
<i>57</i>	4	3	<i>58</i>	2	7
<i>59</i>	7	5	<i>60</i>	10	4

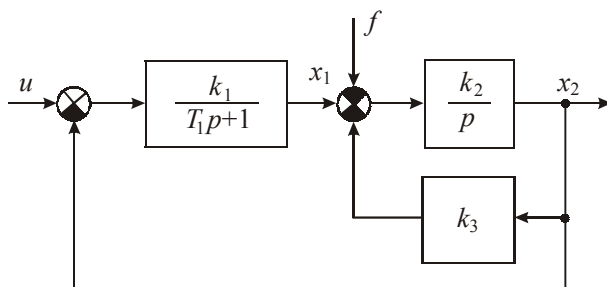
Структурні схеми об'єктів керування №1



№2



№3



№4

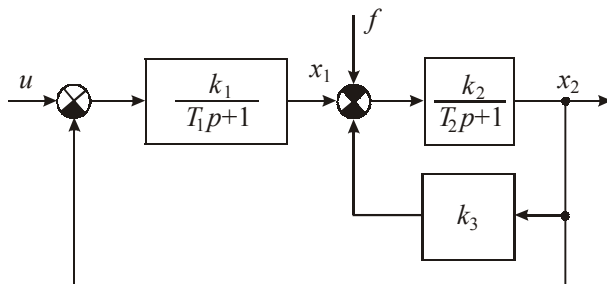
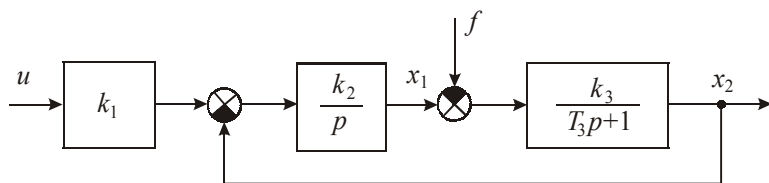
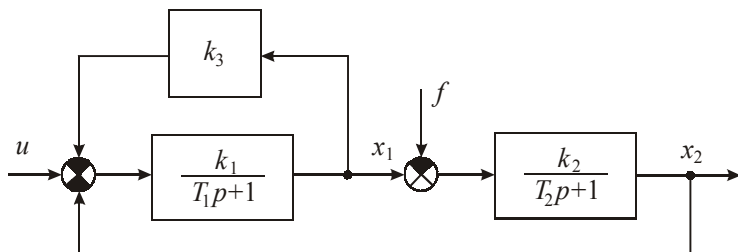


Рис. 4.1

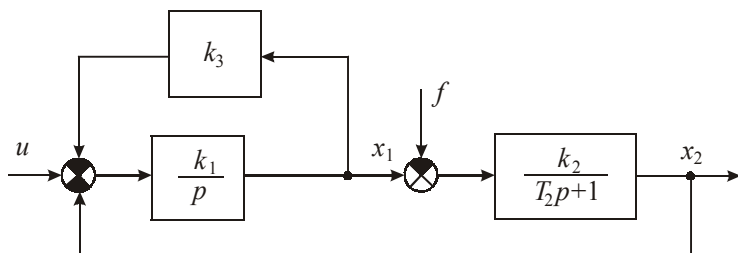
№5



№6



№7



№8

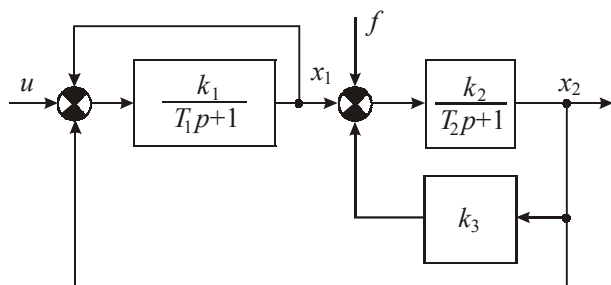
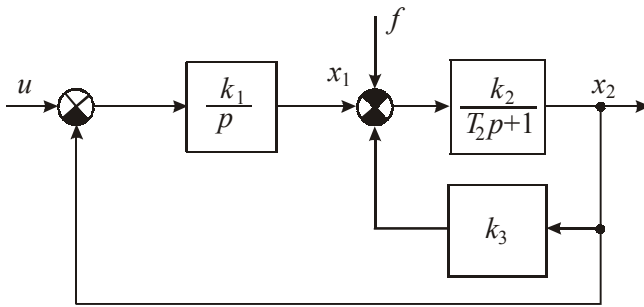


Рис. 4.2

№9



№10

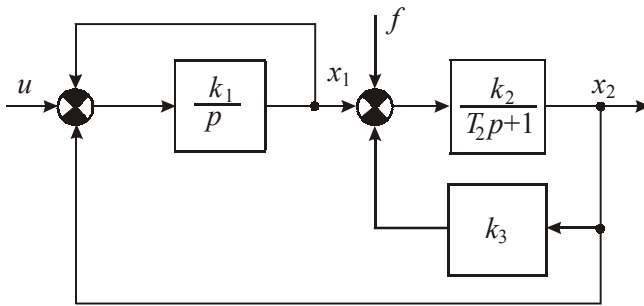


Рис. 4.3

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
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

СТАНДАРТНІ ХАРАКТЕРИСТИЧНІ ПОЛІНОМИ ТА ПЕРЕХІДНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

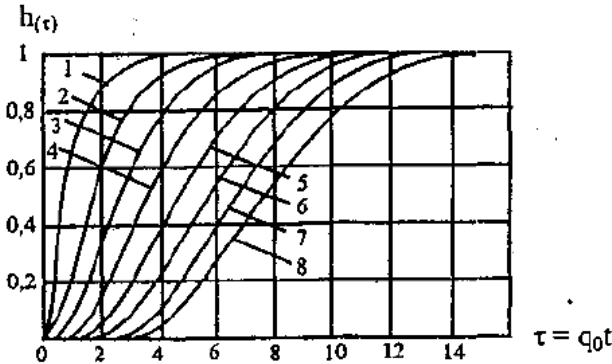


Рис. 1Д. Перехідні характеристики систем з біноміальними коефіцієнтами характеристичного полінома

Таблиця 1Д. Характеристичні поліноми біноміальної моделі

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

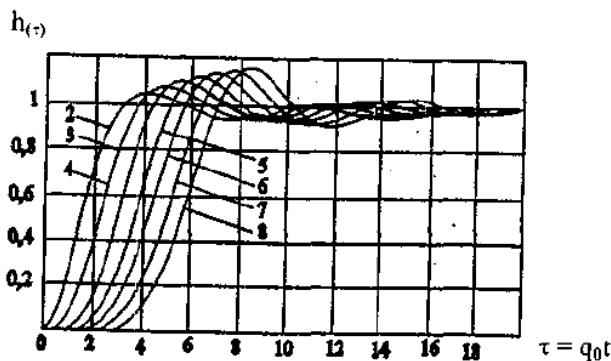


Рис. 2Д. Перехідні характеристики систем Баттерворта

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	$\Pi_8(p) = p^8 + 5,12 q_0 p^7 + 13,14 q_0^2 p^6 + 21,84 q_0^3 p^5 + 25,69 q_0^4 p^4 + 21,84 q_0^5 p^3 + 13,14 q_0^6 p^2 + 5,12 q_0^7 p + q_0^8$

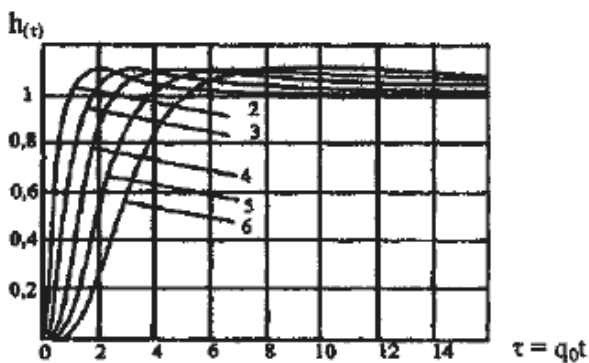


Рис. 3Д. Перехідні характеристики систем Еллерта

Таблиця 3Д. Характеристичні поліноми моделі Еллерта

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

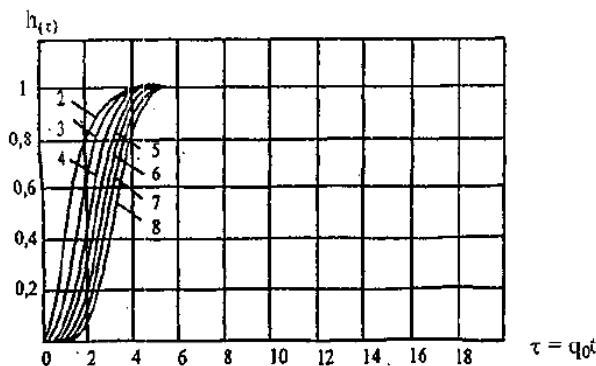


Рис. 4Д. Перехідні характеристики систем Бесселя-Томсона

Таблиця 4Д. Характеристичні поліноми моделі Бесселя-Томсона

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

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. *Ким Д.П.* Теория автоматического управления: В 2 т. – Т.2. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 464 с.
2. *Кузовков Н.Т.* Модальное управление и наблюдающие устройства. – М.: Машиностроение, 1976. – 184 с.
3. *Мирошник Н.В.* Теория автоматического управления: В 2 т. – Т.1. Линейные системы. – Спб.: Питер, 2005. – 336 с.
4. *Шаруда В.Г.* Практикум з теорії автоматичного управління: Навчальний посібник. – Дніпропетровськ: Національна гірнична академія України, 2002. – 414 с.

ЗМІСТ

Вибір номера варіанта задачі.....	3
1. Керованість та спостережність автоматичних систем.....	3
2. Математичний опис автоматичних систем.....	5
3. Розрахунок систем підпорядкованого регулювання.....	11
4. Синтез і дослідження системи модального керування та спостерігачів Луенбергера.....	14
Додаток. Стандартні характеристичні поліноми та перехідні характеристики.....	19
Рекомендована література.....	23

Навчальне видання

ХЛОПЕНКО Микола Якович
БІЛЮК Іван Сергійович

**ЗБІРНИК ЗАДАЧ ДЛЯ КОНТРОЛЬНИХ
ТА САМОСТІЙНИХ РОБІТ З ДИСЦИПЛІНИ
"ДОСЛІДЖЕННЯ ОПЕРАЦІЙ
ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ"**

(українською мовою)

Комп'ютерна верстка *В.Г. Мазанко*

Свідectво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру видавців,
виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції
ДК № 2506 від 25.05.2006 р.

Підписано до друку 17.06.08. Папір офсетний. Формат 60×84/16.
Друк офсетний. Гарнітура "Таймс". Ум. друк. арк. 1,4. Обл.-вид. арк. 1,5.
Тираж 100 прим. Зам. № 212. Ціна договірна

Видавець і виготівник Національний університет кораблебудування,
54002, м. Миколаїв, вул. Скороходова, 5