

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ВИТЕБСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»**

**ЭЛЕКТРОТЕХНИКА, ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОНИКИ
И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

**и контрольные задания
для студентов специальности
1-50 01 01 «Технология пряжи, тканей, трикотажа и нетканых материалов»
заочной формы обучения**

**ВИТЕБСК
2012**

УДК 681.5
ББК 32.965

Электротехника, основы электроники и автоматизация производственных процессов: методические указания и контрольные задания для студентов специальности 1-50 01 01 «Технология пряжи, тканей, трикотажа и нетканых материалов» заочной формы обучения.

Витебск: Министерство образования Республики Беларусь, УО «ВГТУ», 2011.

Составители: ст. преп. Ринейский К.Н.,
ст. преп. Клименкова С.А.
ст. преп. Куксевич В.Ф.

Методические указания составлены в соответствии с программой курса «Электротехника, основы электроники и автоматизация производственных процессов», содержат задания и методические указания по решению задач и перечень используемой литературы.

Методические указания составлены в соответствии с требованиями, предъявляемыми к выполнению контрольных работ.

Одобрено кафедрой «Автоматизация технологических процессов и производств» УО «ВГТУ» «5» октября 2011 г, протокол № 2.

Рецензент: доцент Ильющенко А.В.
Редактор: доцент Смелков Д.В.

Рекомендовано к опубликованию редакционно-издательским советом УО «ВГТУ» “___” _____ 2011 г., протокол № ____.

Ответственный за выпуск: Букин Ю.А.

Подписано к печати _____ Формат _____ Уч.-изд. лист. _____

Печать ризографическая. Тираж _____ экз. Заказ № _____ Цена _____ руб.

Отпечатано на ризографе учреждения образования «Витебский государственный технологический университет».

Лицензия № 02330/0494384 от 16 марта 2009 г.

210035, Витебск, Московский пр., 72.

СОДЕРЖАНИЕ

1 СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА	4
2 КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА №1	7
3 КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА №2	16
4 КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА №3	20
5 КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА №4	23
6 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ	28
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	45
ПРИЛОЖЕНИЕ А	47
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	50

1 СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

ВВЕДЕНИЕ

Цель, задачи, структура и объем дисциплины. Значение и роль электротехники и электроники в развитии автоматизированных систем управления производственными процессами текстильной промышленности.

ТЕМА 1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Структура электрической цепи. Основные соотношения в линейных цепях постоянного тока. Режимы работы электрической цепи. Расчет простых и сложных электрических цепей постоянного тока. Понятие о цепях с нелинейными элементами.

ТЕМА 2. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Получение переменного синусоидального тока. Основные соотношения в цепях переменного синусоидального тока. Векторные диаграммы. Представление электрических величин в комплексной форме. Простейшие электрические фильтры. Основные понятия и схемы трехфазных цепей. Соотношения между токами и напряжениями в трехфазных цепях при соединении звездой и треугольником. Симметричный и несимметричный режимы работы трехфазной цепи.

ТЕМА 4. ТРАНСФОРМАТОРЫ

Основные понятия и законы магнитных цепей. Назначение, устройство, принцип действия и области применения трансформаторов. Режимы работы. Понятие о трехфазных и измерительных трансформаторах. КПД трансформатора.

ТЕМА 5. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

Устройство и принцип действия трехфазного асинхронного двигателя (АД). Механическая характеристика АД. Пуск, торможение и регулирование частоты вращения двигателя. Устройство и принцип действия машин постоянного тока. Способы возбуждения машин постоянного тока. Механические характеристики двигателя постоянного тока. Пуск, торможение и регулирование частоты вращения двигателя постоянного тока.

ТЕМА 6. ЭЛЕКТРОПРИВОД ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

Определение понятия электропривода. Типовые режимы работы электропривода. Методы выбора электродвигателя.

ТЕМА 7. АППАРАТУРА УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

Контакторы, конечные выключатели и реле. Условные графические обозначения аппаратуры на схемах. Общие принципы релейно-контакторного и бесконтакторного управления электротехническими устройствами. Типовые схемы управления.

ТЕМА 8. ОСНОВЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

Полупроводники, их проводимость и вольтамперные характеристики. Полупроводниковые приборы: диоды, транзисторы и интегральные микросхемы. Управляемые и неуправляемые выпрямители, усилители, логические элементы, мультивибраторы, триггеры, микропроцессоры.

ТЕМА 9. АВТОМАТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

Задачи автоматического регулирования технологическими процессами. Основные понятия теории автоматического управления и регулирования системами автоматического управления легкой промышленности. Принципы построения системы автоматического регулирования по отклонению. Структура, область применения в швейной промышленности (следящие системы регулирования, системы с программным управлением, сигнализирующие системы). Принципы построения САР по отклонению, по возмущению. Комбинированные системы регулирования. Статический и динамический анализ систем автоматического регулирования, важнейшие характеристики автоматической системы регулирования (временные и частотные). Типы переходных процессов. Понятие устойчивости систем автоматического регулирования, критерии устойчивости, качество систем регулирования управления.

ТЕМА 10. АВТОМАТИЧЕСКИЕ И АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ПРОЦЕССАМИ

Особенности автоматизации производственных процессов в швейном и обувном производстве. Анализ производственных процессов как объектов управления. Задачи и алгоритмы оптимального автоматизированного управления про-

изводственными процессами. Примеры автоматизированных систем управления производственных процессов легкой промышленности. Типовые схемы автоматизации производственных процессов (функциональные, структурные и принципиальные). Основные законы регулирования. Линейные и нелинейные системы автоматического регулирования, регуляторы дискретного и непрерывного действия, их применение в швейном производстве.

ТЕМА 11. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОНТРОЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ

Основные методы автоматизированного контроля технологических параметров. Основы метрологии технологических средств автоматизации. Классификация и принцип работы измерительных приборов и устройств производственных процессов легкой промышленности. Технические средства автоматизации. Использование в системах автоматизации производственных процессов микропроцессорной техники, микроЭВМ, дискретной и аналоговой аппаратуры.

2 КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 1

Контрольная содержит 3 задачи.

ЗАДАЧА № 1

Для электрической цепи, соответствующей номеру варианта (табл. 1, рис. 1...6), выполнить следующее:

- начертить схему без нанесения источников питания с нулевыми значениями ЭДС и токов;
- преобразовать источники тока в источники ЭДС;
- составить систему уравнений на основании законов Кирхгофа для расчета токов во всех ветвях схемы;
- определить методом контурных токов токи во всех ветвях электрической цепи.

Таблица 1

Номер варианта	Номер рисунка	Параметры элементов схемы $-R, \text{ Ом}; I, \text{ А}; E, \text{ В}$											
		R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	E_1	E_2	E_3	I_{k1}	I_{k2}	I_{k3}
1	1	10	5	4	12	8	15	0	10	12	0	0	2
2	2	22	15	17	10	8	5	0	20	30	0	0,5	0
3	3	32	20	15	10	14	28	0	25	17	0	1,0	0
4	4	4	15	12	30	6	10	14	0	16	8	0	0,3
5	5	16	3	6	5	10	8	15	5	0	0	0,4	0
6	6	18	10	10	10	10	10	0	12	12	0	0	1,5
7	1	21	12	5	6	12	20	15	15	0	0	0,6	0
8	2	50	100	70	60	40	120	0	45	30	0	0	0,1
9	3	12	20	15	10	5	8	0	10	15	0	1,2	0
10	4	8	9	10	11	12	7	0	5	7	0	0,5	0
11	5	9	10	12	5	4	6	0	20	12	0	0	0,25
12	6	20	15	25	30	10	15	20	15	0	0	0,6	0
13	1	40	50	60	70	80	100	0	2	10	0	0	0,8
14	2	15	5	3	2	10	12	18	16	0	0	1,0	0
15	3	30	50	25	35	60	150	0	25	30	0	0	0,2
16	4	15	8	5	10	15	20	0	12	20	0	1,0	0
17	5	12	10	6	20	25	30	0	25	20	0	0,5	0
18	6	40	20	15	20	20	20	0	20	20	0	0,2	0
19	1	17	10	13	14	18	19	0	16	16	0	0	0,8
20	2	10	9	8	7	6	5	25	15	0	0	0,5	0
21	3	10	11	12	13	14	15	0	15	10	0	0	1,0
22	4	4	10	5	12	8	6	5	15	0	0	0,1	0
23	5	2	3	4	5	6	7	0	2	4	0	0	0,2
24	6	16	4	5	10	12	14	0	10	8	0	0	1,0
25	1	15	5	25	10	5	15	0	10	10	0	0	0,5
26	2	12	12	12	20	20	20	0	30	32	0	1,0	0
27	3	14	16	18	20	22	24	0	15	20	0	0,2	0
28	4	20	14	15	10	8	15	15	10	0	0,5	0	0
29	5	5	6	7	5	6	7	10	0	6	0	2,0	0
30	6	10	12	14	14	12	10	0	5	10	0	0	1,0

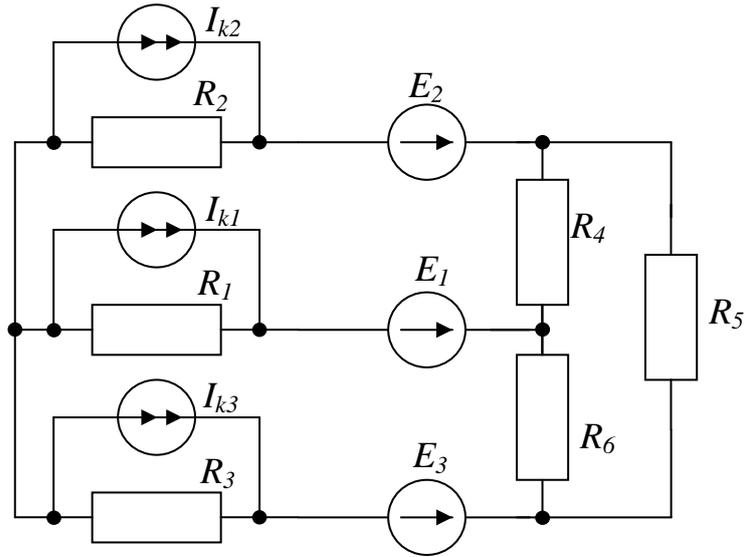


Рис. 1

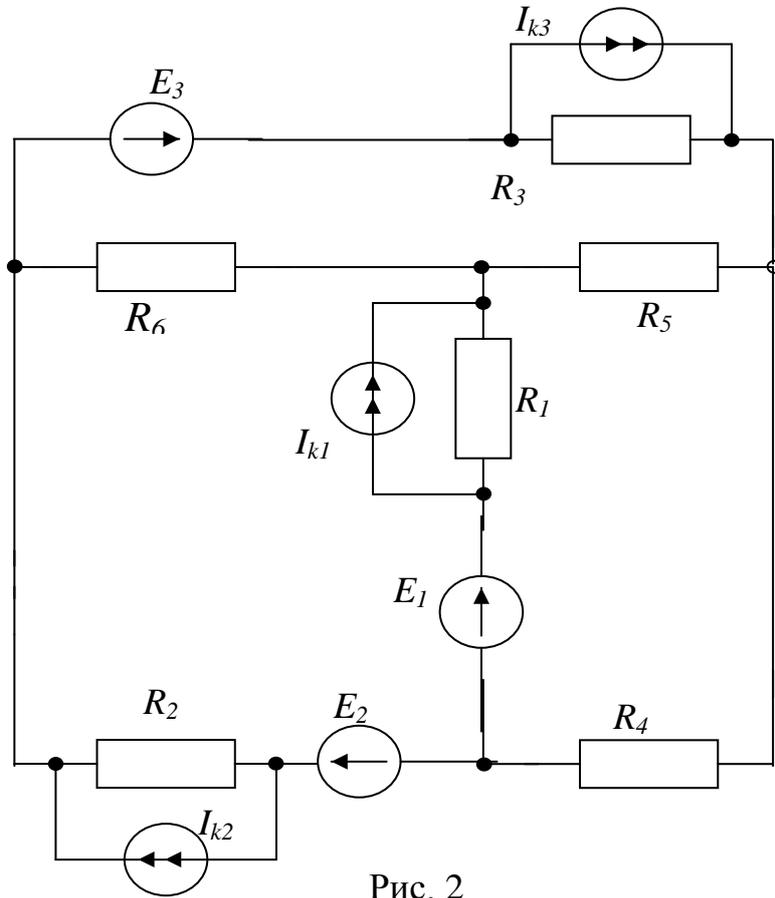


Рис. 2

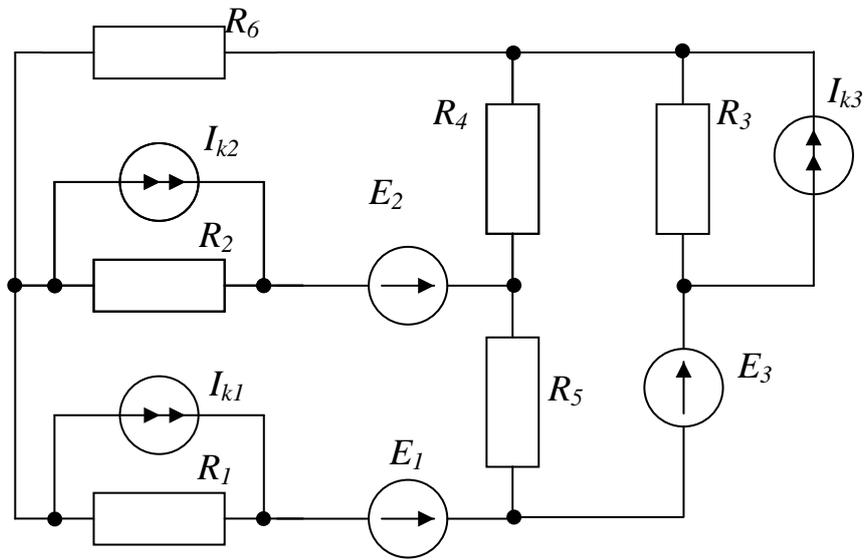


Рис. 3

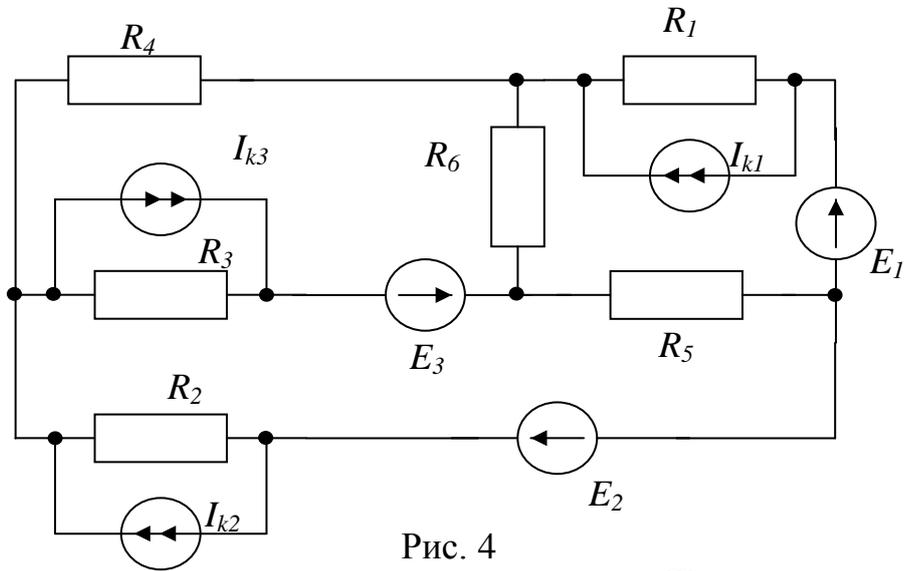


Рис. 4

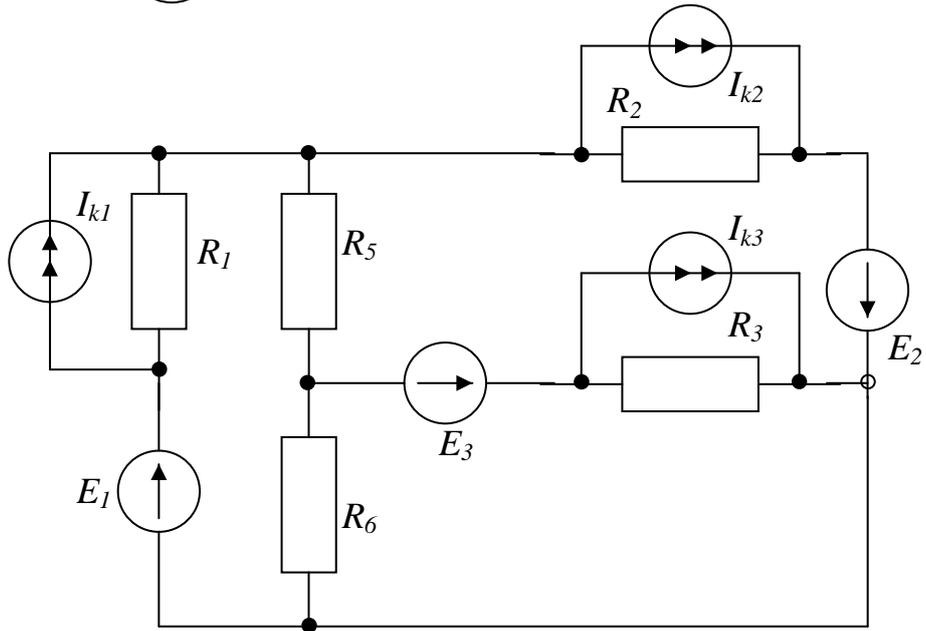


Рис. 5

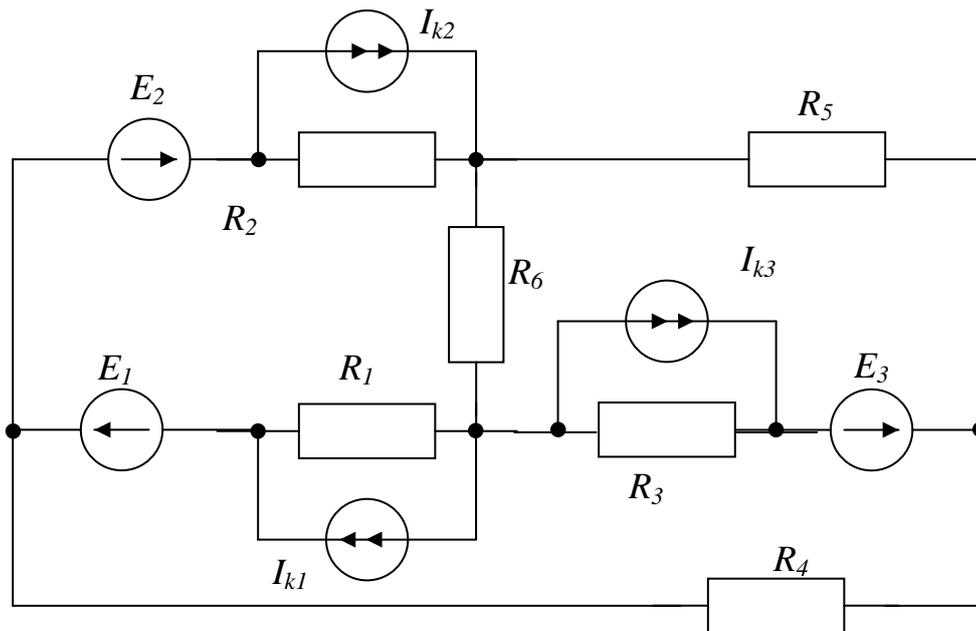


Рис. 6

ЗАДАЧА № 2

Для цепи (рис. 7, табл. 2) выполнить следующее:

- начертить схему цепи в соответствии с условиями варианта;
- определить показания приборов (амперметры – электромагнитной системы, ваттметр активной мощности – электродинамический);
- построить в комплексной плоскости векторную диаграмму токов и напряжений;
- определить активную, реактивную, полную мощности и коэффициент мощности. Построить треугольник мощностей.

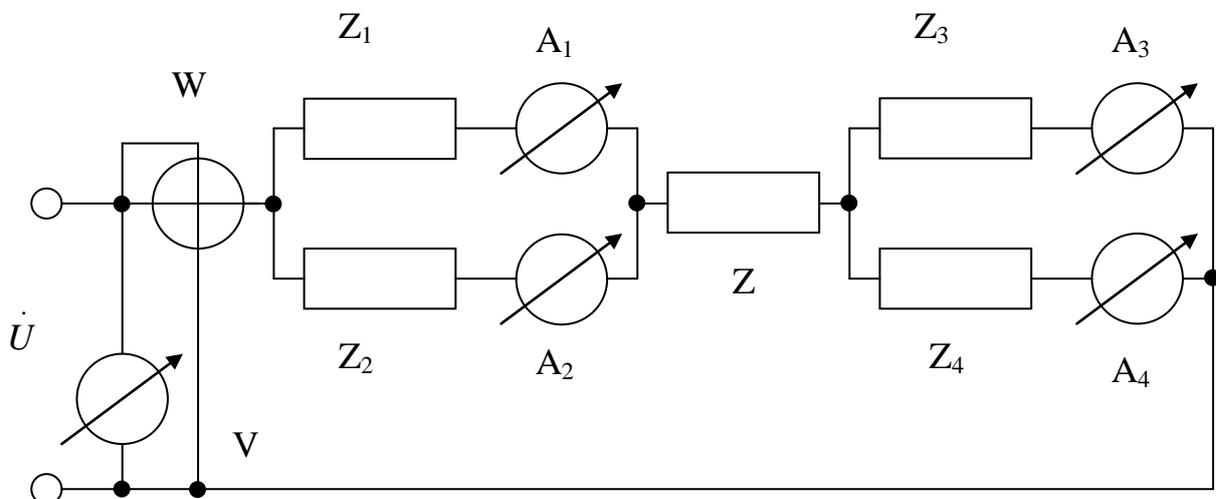


Рис. 7

Таблица 2

Номер варианта	U, В	Z ₁ , Ом	Z ₂ , Ом	Z ₃ , Ом	Z ₄ , Ом	Z, Ом
1	2	3	4	5	6	7
1	220sin(314t+25°)	3+j4	5-j8			5-j2
2	300sin(314t+45°)			3-j2	2-j3	1+j2
3	282sin(314t-25°)	2+j	3+j3			5-j2
4	141sin(314t-45°)	2-j	3-j3			5+j4
5	150sin(314t-10°)	8+j6	4-j3			2-j2
6	100sin(314t+10°)			10+j5	5+j10	5-j10
7	40sin(314t-15°)			4-j2	2-j4	3+j3
8	80sin(314t+15°)	j2	-j3	-j5	j6	2+j2
9	120sin(314t+30°)	-j4	j6	2+j2	2-j2	2+j
10	90sin(314t-30°)	8+j3	4+j			1+j
11	180sin(628t+25°)			1+j	2-j2	j10
12	220sin(628t-25°)			j10	2+j5	5-j2
13	127sin(628t-25°)	25+j10	10+j25			10
14	110sin(628t+45°)	40	-j5	20	j10	j5
15	220sin314t	3+j2	4+j3			-j10
16	127sin314t	-j5	10	-j8	5	j15
17	110sin314t	5	10	-j10	j5	2+j2
18	320sin314t			10+j10	10-j20	20+j10
19	160sin314t			5-j5	10-j10	20+j10
20	220sin628t	3+j2	1-j	1+j	3-j2	
21	110sin628t	4-j	5+j2			4-j5
22	127sin628t	1+j4	2-j5			5+j4
23	210sin(628t+45°)	40+j10	10-j40	10	20	j50
24	240sin(314t-60°)	10	10	-j10	20+j20	5-j5
25	120sin(314t+60°)	15-j5	5+j15			40
26	141sin(628t-60°)			30-j10	5+j10	-j10
27	268sin(628t-50°)	40	20+j20	10-j10	20	
28	268sin(314t-50°)	j10	1+j	-j20	2+j2	
29	141sin314y		3+j3	4-j4	5+j5	6-j6
30	141sin628t	4+j4		3-j3	5+j5	6-j6

ЗАДАЧА № 3

Для трехфазной схемы в соответствии с заданием (табл. 3) рассчитать:

- значения фазных и линейных напряжений в комплексной форме;
- значения токов (линейных и фазных);
- мощность, потребляемую нагрузкой.

Построить векторную диаграмму.

Таблица 3

Номера		U _л , В	R _a , Ом	R _b , Ом	R _c , Ом	X _a , Ом	X _b , Ом	X _c , Ом	R _{ab} , Ом	R _{bc} , Ом	R _{ca} , Ом	X _{ab} , Ом	X _{bc} , Ом	X _{ca} , Ом
Варианта	Рисунка													
0	8	27	8	8	8	6	6	6	---	---	---	---	---	---
1	8	220	8	8	8	6	6	6	---	---	---	---	---	---
2	9	127	3	4	6	4	3	8	---	---	---	---	---	---
3	10	127	4	8	6	3	4	8	---	---	---	---	---	---
4	11	220	4	8	6	3	4	9	---	---	---	---	---	---
5	11	127	16	8	8	14	6	4	---	---	---	---	---	---
6	11	220	16	8	8	14	6	4	---	---	---	---	---	---
7	12	127	10	---	---	---	10	10	---	---	---	---	---	---
8	12	220	10	---	---	---	10	10	---	---	---	---	---	---
9	13	127	---	---	---	---	---	---	8	8	8	6	6	6
10	14	127	---	---	---	---	---	---	8	4	6	4	3	8
11	14	220	---	---	---	---	---	---	8	4	6	4	3	8
12	15	27	---	---	---	---	---	---	4	8	6	3	4	8
13	16	127	---	---	---	---	---	---	16	8	3	14.2	6	4
14	16	220	---	---	---	---	---	---	16.8	8	3	14.2	6	4
15	17	127	---	---	---	---	---	---	10	---	---	---	10	10
16	17	220	---	---	---	---	---	---	10	---	---	---	10	10
17	18	127	10	---	---	---	10	10	---	---	---	---	---	---
18	18	220	10	---	---	---	10	10	---	---	---	---	---	---
19	19	127	15	---	---	---	5	5	---	---	---	---	---	---
20	19	220	15	---	---	---	5	5	---	---	---	---	---	---
21	20	127	---	---	---	---	---	---	---	3	8	4	6	8
22	20	220	---	---	---	---	---	---	---	3	8	4	6	8
23	21	127	---	---	---	---	---	---	8	4	8	---	6	10
24	21	220	---	---	---	---	---	---	8	4	8	---	6	10
25	22	127	---	---	---	---	---	---	---	5	6	5	8	4
26	22	220	---	---	---	---	---	---	---	5	6	5	8	4
27	23	127	---	---	---	---	---	---	5	---	6	10	8	4
28	23	220	---	---	---	---	---	---	5	---	6	10	8	4
29	24	127	---	3	---	15	---	10	---	---	---	---	---	---
30	24	220	---	3	---	15	---	10	---	---	---	---	---	---

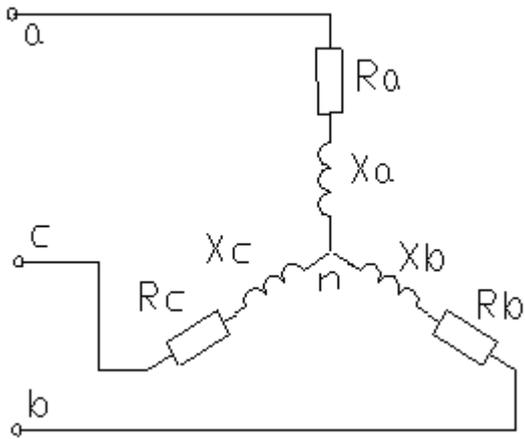


Рис. 8

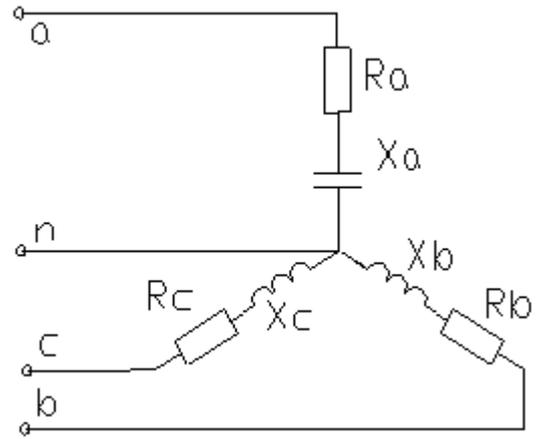


Рис. 9

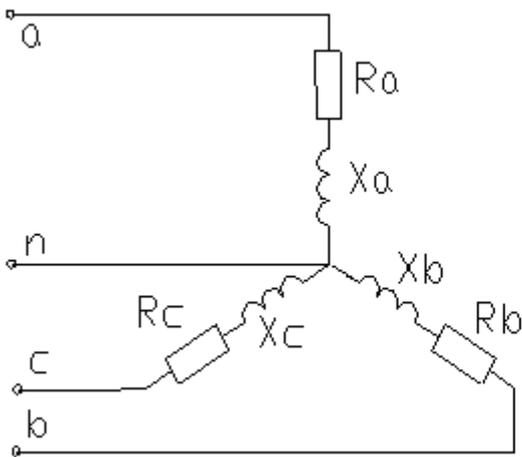


Рис. 10

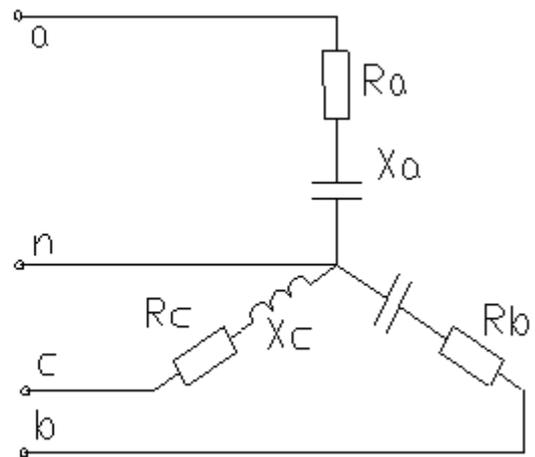


Рис. 11

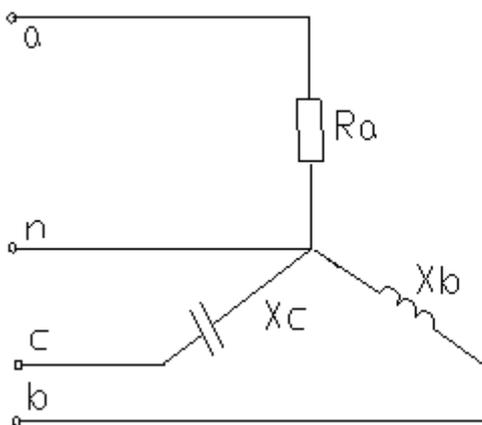


Рис. 12

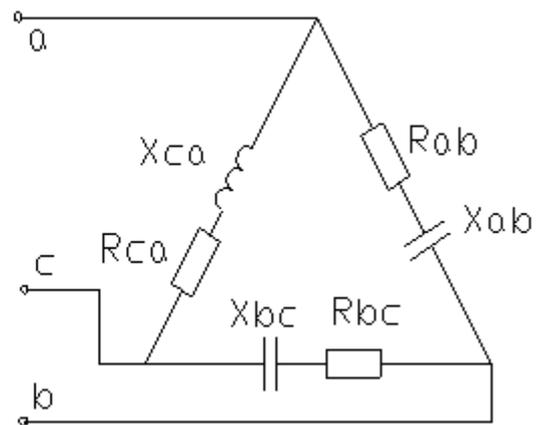


Рис. 13

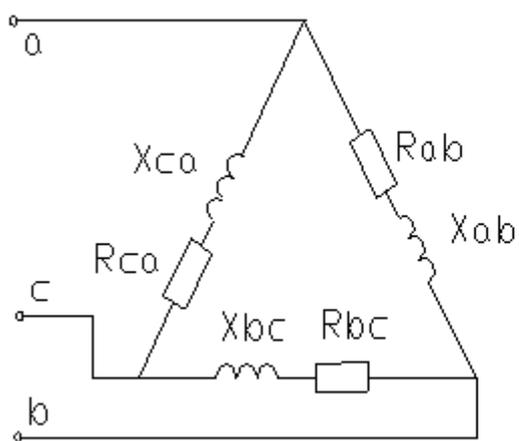


Рис. 14

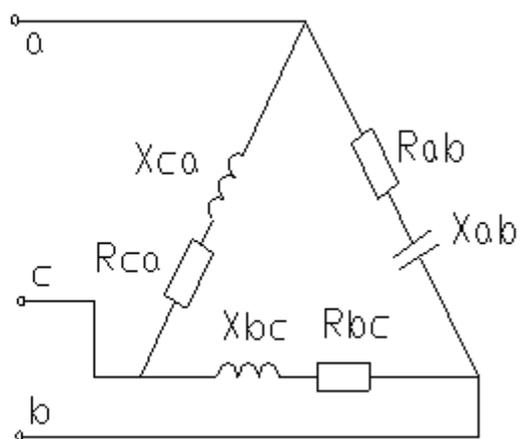


Рис. 15

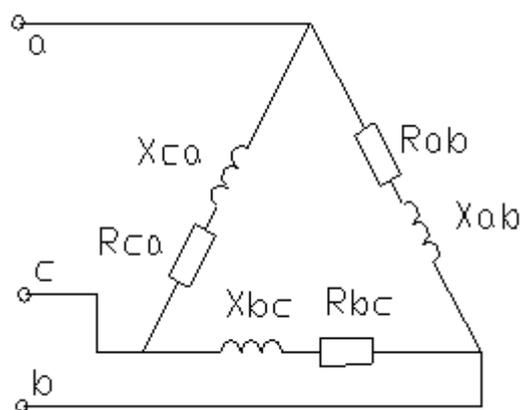


Рис. 16

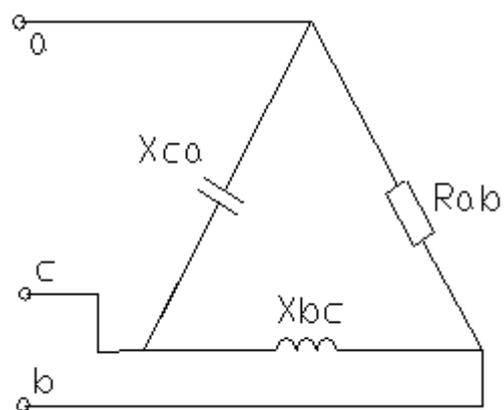


Рис. 17

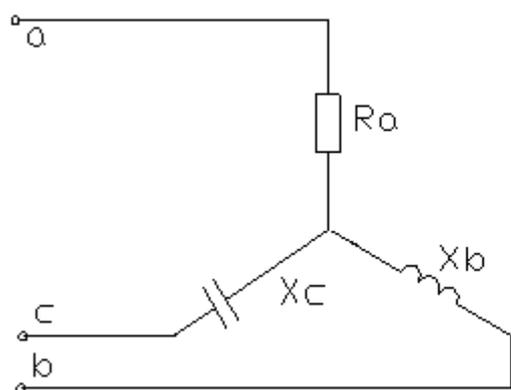


Рис. 18

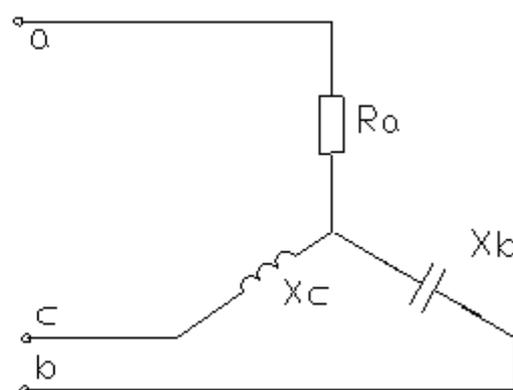


Рис. 19

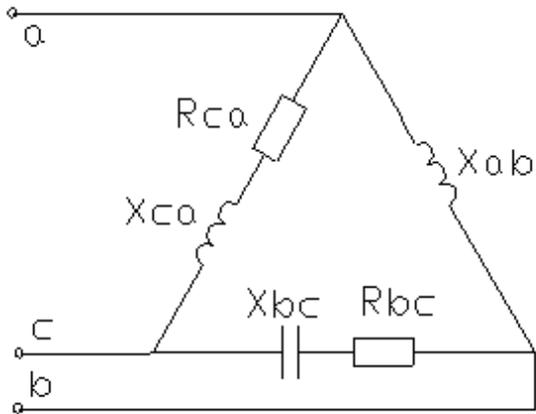


Рис. 20

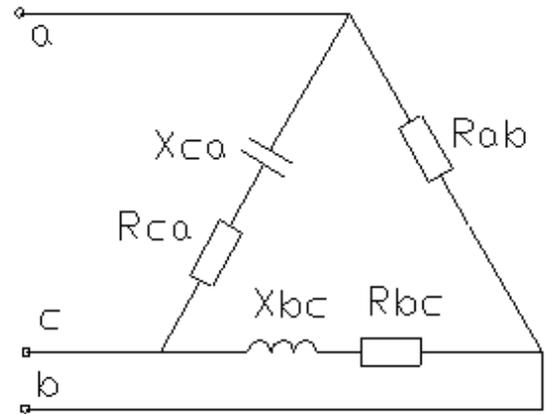


Рис. 21

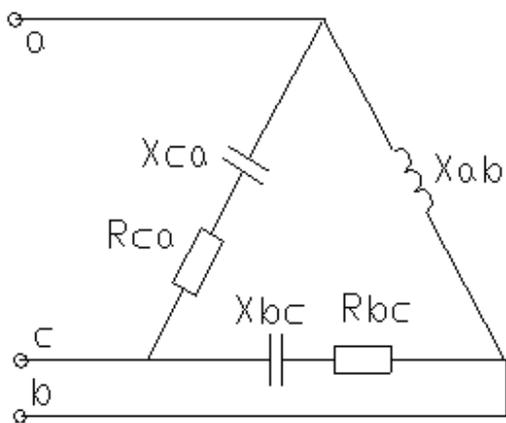


Рис. 22

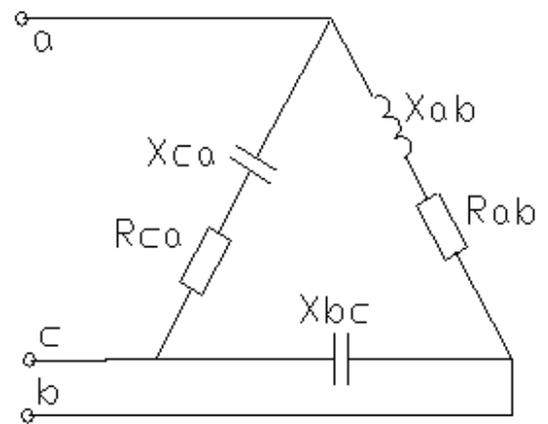


Рис. 23

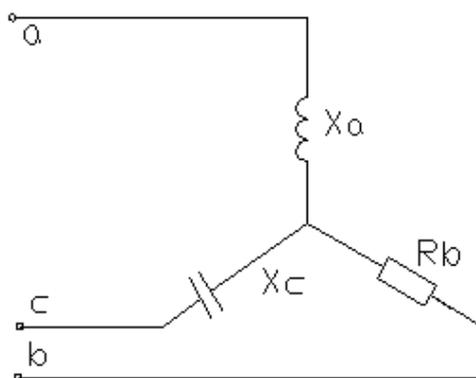


Рис. 24

3 КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 2

Контрольная содержит 3 задачи

ЗАДАЧА № 4

Для заданного в табл. 4 режима нагрузки производственного механизма выполнить следующее:

- построить нагрузочную диаграмму $P = f(t)$;
- определить мощность асинхронного электродвигателя, приводящего в действие заданный производственный механизм;
- произвести выбор электродвигателя;
- построить естественную механическую характеристику выбранного электродвигателя при номинальном значении питающего напряжения.

Таблица 4

Частота вращения магнитного поля, об/мин	3000	1500	1000	750	600	500
--	------	------	------	-----	-----	-----

ЗАДАЧА № 5

Для усилительного каскада с общим эмиттером (рис. 25, табл. 6) определить коэффициент усиления по напряжению, току и мощности, выходное напряжение, входное и выходное сопротивления.

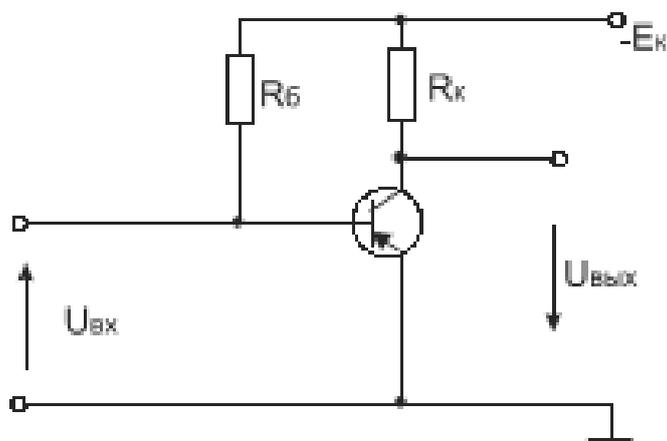


Рисунок 25

Таблица 5

№№ п.п.	<i>t, с</i>						<i>P, кВт</i>						<i>n₀</i> <i>об/мин</i>
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	
1	10	15	20	10	20	50	13	8	0	25	10	0	3000
2	45	30	5	60	100	10	10	25	50	8	4	15	3000
3	60	10	20	30	15	60	18	30	0	25	10	0	3000
4	20	23	8	18	30	10	25	10	35	8	5	0	3000
5	45	15	10	50	20	40	5	20	30	0	4	8	3000
6	30	40	10	15	25	10	10	8	25	15	4	30	3000
7	50	10	30	10	75	60	15	25	0	30	5	0	3000
8	1,5	1,5	1	1,5	2,5	1,5	4	3	0	8	6	0	3000
9	3	1,5	2,5	1	4	2,5	5	8	6	20	10	6	3000
10	10	15	20	20	10	50	8	4	6	20	10	6	3000
11	20	23	8	18	30	10	4	3	0	8	6	0	3000
12	45	30	5	60	100	10	10	25	50	8	4	15	3000
13	60	10	20	30	15	60	15	30	4	6	20	3	3000
14	45	15	10	50	20	40	15	25	0	30	5	0	3000
15	30	40	10	15	25	10	4	3	0	8	6	0	3000
16	50	10	30	10	75	60	10	8	25	16	4	30	3000
17	4	2	40	7	3	15	5	20	30	0	4	8	1500
18	2	2	1	1	3	1	10	25	50	7	3	12	1500
19	10	15	20	10	50	10	4	3	0	8	6	0	1500
20	20	23	4	8	18	30	8	4	6	20	10	6	1500
21	45	30	5	60	100	10	15	30	4	6	20	3	1500
22	60	10	20	30	15	60	15	25	0	30	5	0	1500
23	45	15	10	50	20	40	10	8	25	15	4	30	1500
24	30	40	10	15	25	10	5	20	30	0	8	0	1500
25	50	10	30	10	75	60	15	25	0	30	5	0	1500
26	4	2	40	7	3	15	13	8	0	25	10	0	1500
27	1	2	3	4	5	6	25	20	15	10	0	4	1500
28	3	1	2	4	2	3	5	20	30	0	4	0	1500
29	10	15	20	20	15	10	20	30	20	30	0	10	1500
30	20	10	30	30	45	30	25	10	35	8	4	0	1500

Таблица 6

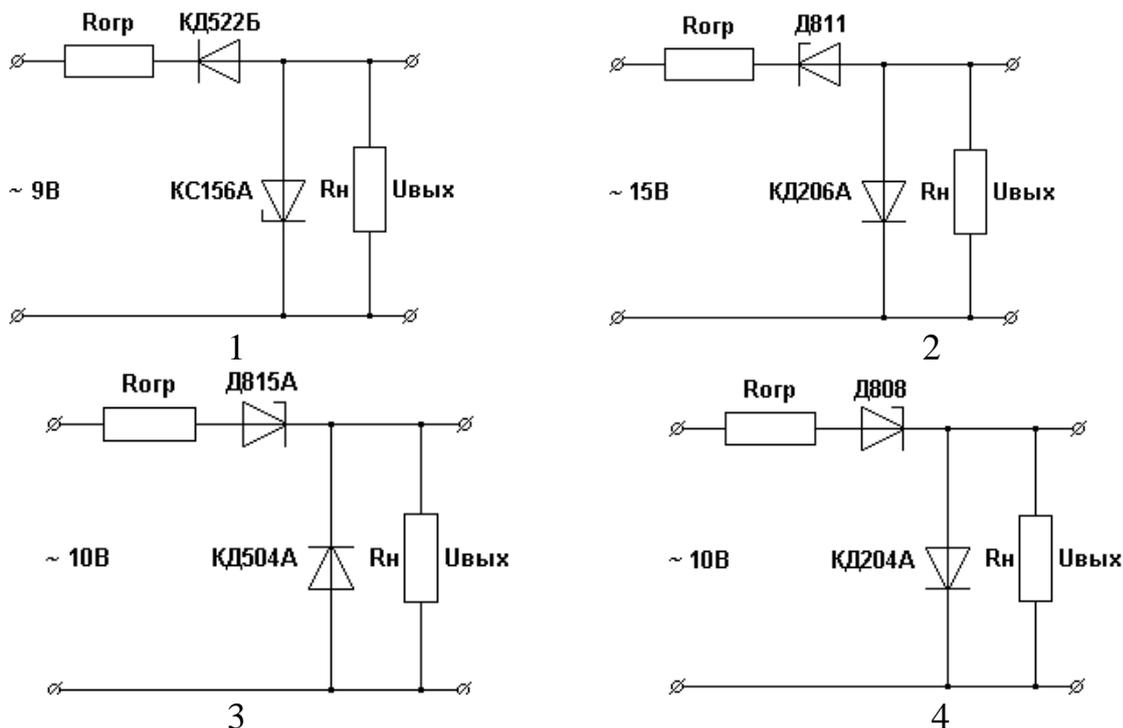
№	$h_{11}, \text{ Ом}$	h_{21}	$h_{22}, \text{ Ом}^{-1}$	$R_k, \text{ кОм}$	$R_6, \text{ кОм}$	$U_{вх}, \text{ мВ}$
1	2	3	4	5	6	7
1	800	30	$4 \cdot 10^{-5}$	1,5	50	5
2	900	40	$5 \cdot 10^{-5}$	2	80	4
3	950	45	$6 \cdot 10^{-5}$	3,5	70	3
4	750	50	$7 \cdot 10^{-5}$	4	60	10
5	1000	100	$8 \cdot 10^{-5}$	4,5	90	11
6	1050	135	$9 \cdot 10^{-5}$	5	100	2
7	1100	110	$10 \cdot 10^{-5}$	5,5	120	0,8
8	720	120	$11 \cdot 10^{-5}$	6	110	1
9	830	145	$12 \cdot 10^{-5}$	7,5	115	3
10	920	90	$5,5 \cdot 10^{-5}$	1,2	108	4
11	650	85	$6,5 \cdot 10^{-5}$	1,8	116	6
12	730	80	$7,5 \cdot 10^{-5}$	2,6	123	5
13	910	75	$8,5 \cdot 10^{-5}$	3,2	112	10

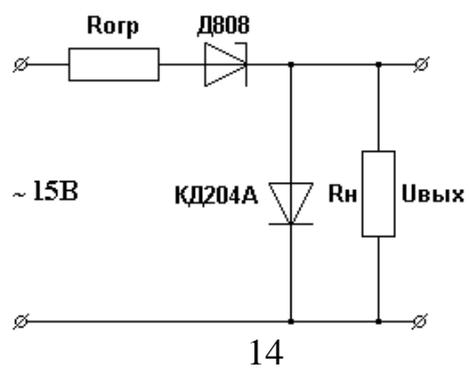
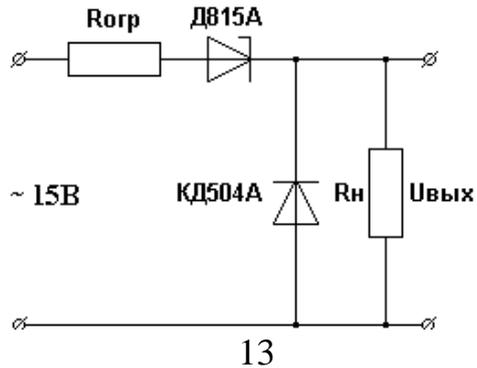
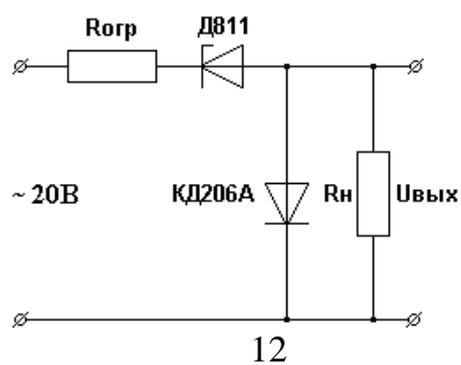
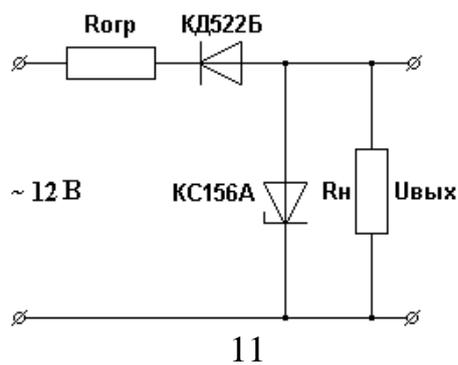
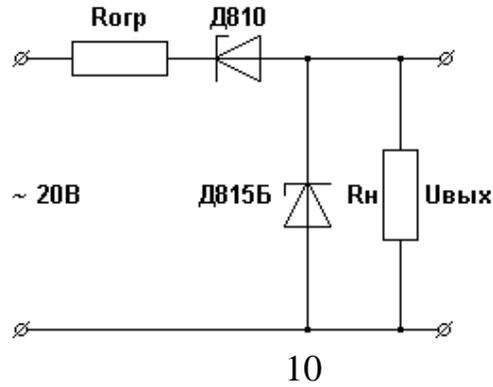
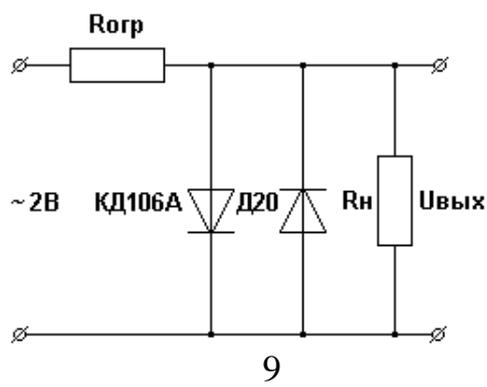
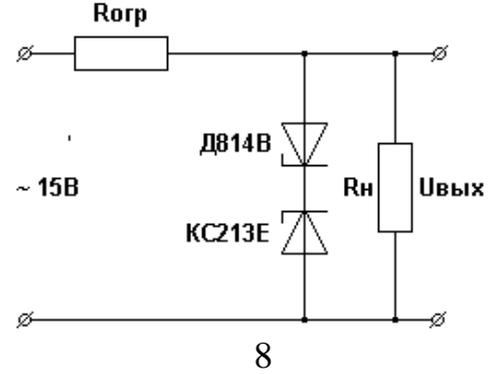
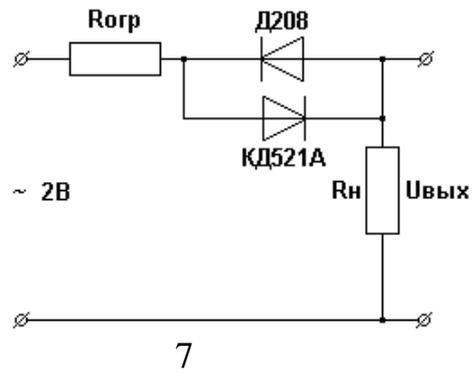
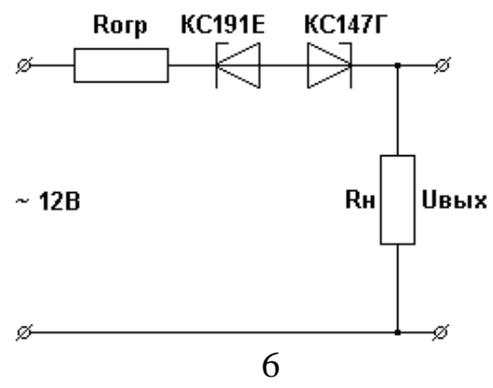
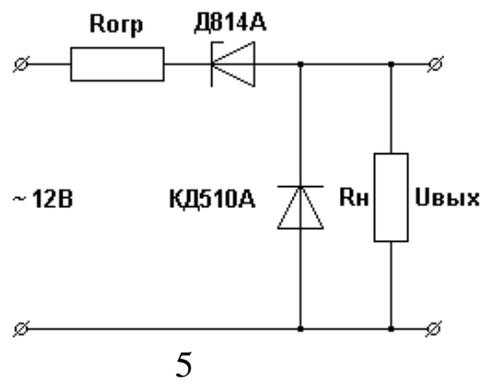
Продолжение таблицы 6.

1	2	3	4	5	6	7
14	860	45	$9,5 \cdot 10^{-5}$	3,8	58	12
15	795	50	$10,5 \cdot 10^{-5}$	4,2	93	20
16	740	90	$11,5 \cdot 10^{-5}$	4,8	54	33
17	830	80	$5 \cdot 10^{-5}$	1,7	69	15
18	825	75	$6 \cdot 10^{-5}$	3	47	31
19	890	150	$6,5 \cdot 10^{-5}$	5,1	83	22
20	940	120	$7,5 \cdot 10^{-5}$	7	100	26
21	1080	110	$11 \cdot 10^{-5}$	8,2	83	24
22	920	130	$12 \cdot 10^{-5}$	7,2	87	26
23	980	125	$12 \cdot 10^{-5}$	9,1	112	5,9
24	755	135	$5,5 \cdot 10^{-5}$	3,3	103	8,3
25	865	135	$5 \cdot 10^{-5}$	2,2	108	7,2
26	760	150	$6 \cdot 10^{-5}$	4,1	118	9,3
27	810	200	$7 \cdot 10^{-5}$	5,2	96	9,5
28	690	190	$8,5 \cdot 10^{-5}$	7,8	92	14
29	970	150	$9,5 \cdot 10^{-5}$	6,4	50	3
30	835	140	$10,5 \cdot 10^{-5}$	8	60	10

ЗАДАЧА №6

На вход заданной схемы подается напряжение синусоидальной формы амплитудой $U_{вх\ m}$. Изобразить форму выходного напряжения. Вид схемы, амплитуда входного напряжения, типы диодов и стабилитронов выбираются из рис. 26 в соответствии со своим вариантом. Для всех схем действительно соотношение $R_H \gg R_{огр}$.





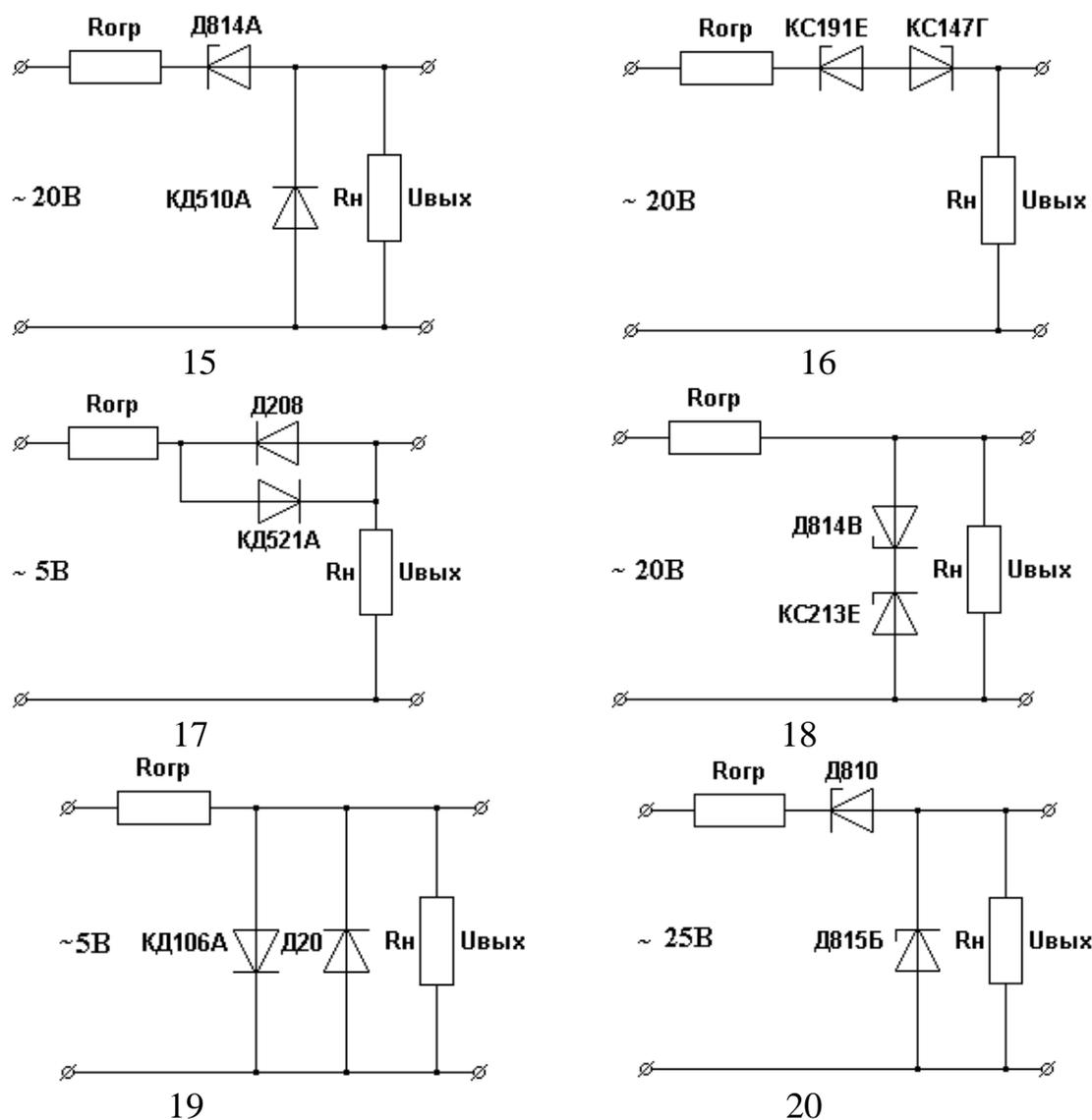


Рисунок 26

4 КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 3

Контрольная содержит 3 задачи.

ЗАДАЧА № 7

На одном операционном усилителе (ОУ) реализовать функцию

$$U_{\text{вых}} = a_{11} \cdot U_{11} + a_{12} \cdot U_{12} + a_{N1} \cdot U_{N1} + a_{N2} \cdot U_{N2}.$$

Значения коэффициентов выбрать из таблицы № 7 в соответствии со своим вариантом. Принять $R_{\text{min}} = 10 \text{ кОм}$.

Требуется выбрать схему включения ОУ и рассчитать номиналы резисторов обрaмления

Таблица 7

№	a_{I1}	a_{I2}	a_{N1}	a_{N2}
1	- 4	2	5	-3
2	- 6,5	5	3	-1
3	0,5	3	5	-9
4	2	3	-2	-3,5
5	- 2,5	3	- 0,5	- 1
6	- 7	- 5	8	- 6
7	1	2,5	- 3,5	2
8	4,5	5,5	5,5	- 8,5
9	- 4,5	3,5	- 2	- 0,5
10	- 6,5	- 7	5,5	8
11	0,5	1	- 1,5	2,5
12	- 3	5	- 7,5	6
13	7	-5	3	-8
14	-2	-3	-1	9
15	2	3	-2,5	-3,5
16	0	5	-3	-1
17	-6	0	-1	8
18	3	2	0	-5,5
19	6	-5	-3,5	0
20	1	1	1	-5
21	2,5	3,5	-6	1
22	10	5	-9	-5
23	2	-6	-3	5
1	2	3	4	5
24	3	3,5	4,5	-10
25	1	-2	-5	8
26	2	3	-6	3
27	-8	2	4	-1
28	2,5	3,5	-5	-3
29	-3	-6	2	4
30	2	3	-8	3

ЗАДАЧА № 8

Подъемный электромагнит имеет магнитопровод и якорь прямоугольного сечения, выполненные из листовой электротехнической стали I2I2. Катушка электромагнита имеет W витков. Воздушный зазор между стержнями и якорем электромагнита имеет длину $L_0=0,5$ мм. Определить величину тока в катушке для создания подъемной силы F .

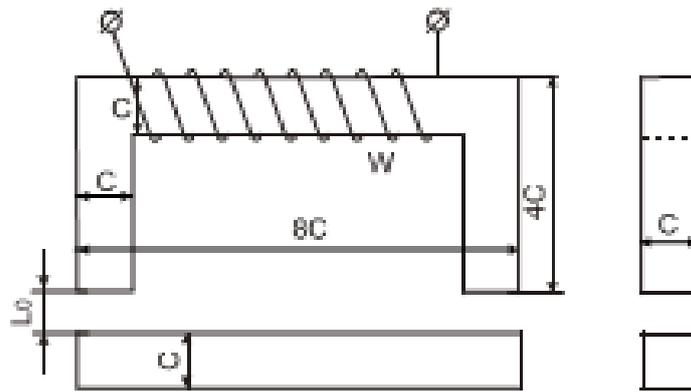


Рис. 27

Таблица 8

№	C, см	W	F, кН
1	2	200	1
2	2,5	250	1,2
3	3	300	1,5
4	3,5	350	1,7
5	4	400	1,9
6	4,5	450	2,1
7	5	500	2,4
8	5,5	550	2,8
9	6	600	3,2
10	6,5	650	2
11	7	700	3
1	2	3	4
12	7,5	750	4
13	8	800	5
14	8,5	850	2,5
15	9	900	3,5
16	9,5	950	4,5
17	10	1000	5,5
18	4	1050	6
19	4,5	1100	7
20	5	1150	8
21	5,5	1200	9
22	6	1250	10
23	6,5	1300	11
24	7	1350	12
25	7,5	1400	7,5
26	8	1500	8,5
5	6	7	8
27	8,5	1600	9,5
28	9	1700	10,5
29	9,5	1800	11,5
30	10	1900	12,5

ЗАДАЧА № 9

Разработать логическую схему управления по таблице истинности. Записать логическую функцию, минимизировать с помощью законов алгебры логики. Реализовать на релейно-контактной аппаратуре и бесконтактных логических элементах.

Данные для выполнения задачи приведены в табл. 9.

Таблица 9

Входы			Варианты									
X ₁	X ₂	X ₃	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅	Y ₆	Y ₇	Y ₈	Y ₉	Y ₁₀
0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1
0	0	1	-	0	0	1	-	1	0	0	1	1
0	1	0	1	-	1	0	1	0	1	1	-	-
0	1	1	0	1	-	0	0	1	0	0	1	1
1	0	0	1	0	1	1	1	-	-	0	1	0
1	0	1	1	1	1	-	0	1	1	1	1	0
1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	0	0
1	1	1	0	-	1	1	1	0	1	-	0	1
Входы			Варианты									
X ₁	X ₂	X ₃	Y ₁₁	Y ₁₂	Y ₁₃	Y ₁₄	Y ₁₅	Y ₁₆	Y ₁₇	Y ₁₈	Y ₁₉	Y ₂₀
0	0	0	0	1	1	-	1	1	0	0	0	1
0	0	1	1	1	-	1	1	1	-	0	1	1
0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	-
0	1	1	1	0	-	1	1	0	0	0	1	1
1	0	0	0	0	1	-	-	1	1	0	1	1
1	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	0
1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0
1	1	1	1	-	1	0	1	0	1	-	1	0
Входы			Варианты									
X ₁	X ₂	X ₃	Y ₂₁	Y ₂₂	Y ₂₃	Y ₂₄	Y ₂₅	Y ₂₆	Y ₂₇	Y ₂₈	Y ₂₉	Y ₃₀
0	0	0	1	0	-	1	1	0	0	1	0	1
0	0	1	-	1	0	1	-	1	0	0	1	1
0	1	0	-	1	0	0	1	0	1	1	1	-
0	1	1	1	1	-	0	0	1	0	0	1	1
1	0	0	1	1	1	1	1	-	-	0	0	0
1	0	1	0	1	1	-	0	0	1	1	1	0
1	1	0	1	-	0	1	0	1	0	1	-	1
1	1	1	1	0	1	1	1	0	-	-	0	1

5 КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 4

Контрольная содержит 2 задачи и 4 теоретических вопроса.

ЗАДАЧА № 10

Имеется три манометра различного класса точности “а” и с разными верхними пределами измерения P_{lim} [Н/м²]. Вычислить для каждого из трех манометров относительную погрешность измерения давления в котле с номинальным давлением P [Н/м²]. Определить, какой из трех манометров обеспечит большую точность измерения. Данные приведены в табл. 10

Таблица 10

Вариант	Класс точности “а”			Верхний предел измерения P_{lim} , Н/м ² .			Давление P , Н/м ²
	1 приб.	2 приб.	3 приб.	1 приб.	2 приб.	3 приб.	
0	1	1	0,5	3	3,2	6	2
1	1,5	2	2	4	3	3,2	3
2	0,5	1	0,5	7	5	10	4
3	0,1	0,5	0,5	10	5,2	5,5	5
4	1	1	1	3	3,5	4	2,5
5	0,5	1	1,5	6	5	4	3,5
6	2	3	4	4,8	6,3	5	4,5
7	1	2	2,5	10	6,3	5,5	5,5
8	1	1,5	0,5	5	4	10	1,5
9	0,1	0,1	0,5	6	5	1	1
10	0,2	0,1	0,2	0,5	5	8	2
11	1	0,1	3	2,5	5	6	3
12	2	0,5	0,5	3	5	3	4
13	0,5	1	2	1,5	5	8	2
14	0,6	0,2	1,5	2	3	4,2	3
15	1	0,5	0,5	1,5	3	3	4,5
16	1	0,5	0,2	2	3	5,5	1,5
17	2	0,1	1	4	4	6	2
18	3	2	1,5	1,5	4	8	1
19	1	2	1,5	2,5	5	2	2
20	1,5	0,5	2	2,5	5	1,5	2
21	1,5	1	2	0,5	3	0,5	4
22	2	1	0,5	0,5	3	2,5	6
23	0,5	1	2	1,5	3	3,5	8
24	2	1	0,5	2,5	8	2,5	10
25	1	2	0,5	2,5	8	5	6
26	1,5	1	2,5	2	8	4	4
27	2	3	1	3	2,5	2	2
28	1,5	2,5	1	4	6	5	6
29	0,5	1,5	2	6	4	3	5
30	1	2	1,5	3	2	6	10

ЗАДАЧА № 11

Автоматическая система регулирования состоит из трех последовательно соединенных звеньев, охваченных отрицательной обратной связью (четвертое звено). Определить устойчивость системы, используя критерии: Гурвица, Михайлова и Найквиста. Устойчивость по критерию Найквиста определить по амплитудно-частотным характеристикам. Значения T и K звеньев выбираются из табл. 11, в соответствии с номером варианта. Структурная схема системы представлена на рис.27.

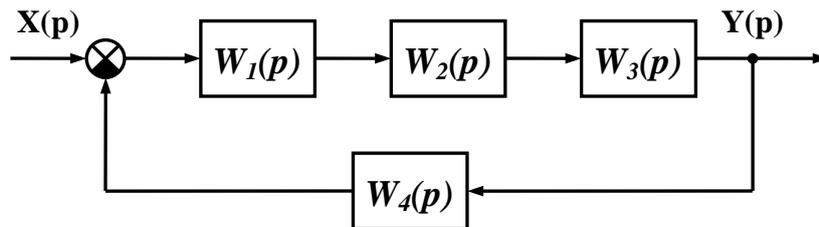


Рис. 28

Передаточные функции звеньев:

$$W_1(p) = \frac{K_1}{T_1 p + 1}; \quad W_2(p) = K_2 (T_2 p + 1); \quad W_3(p) = \frac{K_3}{p(T_3 p + 1)};$$

$$W_4(p) = K_4 .$$

Таблица 11

Вариант	Значения параметров звеньев						
	K_1	K_2	K_3	K_4	T_1	T_2	T_3
1	2	3	4	5	6	7	8
0.	15	1,2	0,5	1,1	0,25	2	1,5
1.	42	1,5	2	1	0,1	2,5	1,3
2.	20	2,5	0,1	1,5	0,75	1,5	1,25
3.	10	4	0,8	0,9	0,5	8	2,5
4.	25	2,5	0,5	1,2	1	5	0,1
5.	12	8	0,8	0,8	0,2	3	1
6.	14	5	0,4	10	0,5	5	2
7.	8	6,5	1,2	0,1	0,3	10	0,75
8.	7	10	2,5	0,9	0,5	5,0	1,6
9.	10	8	4,5	1,2	0,8	10	2,5
10.	2	2	0,4	1,1	0,7	10	0.6
11.	8	6	0,6	1,8	0,6	5	2,5
12.	6	1	0,2	1,2	0,5	7	4
13.	4	7	0,8	1,2	0,3	2,5	0,2
14.	8	2	0,1	1,5	0,8	3,5	1,25
15.	10	9	0,3	0,5	1,5	1,5	2,5

Окончание таблицы 11

1	2	3	4	5	6	7	8
16.	15	2	2,1	0,8	2,5	2,5	1
17.	25	10	5,5	0,4	3	10	1,5
18.	35	8,5	1,1	0,25	4	2	1,5
19.	40	2,5	0,4	0,5	2	10	1,5
20.	50	10	1,5	0,6	4	5	2
21.	6	6,5	2,5	1,2	8	2,5	2,5
22.	15	0,5	1,5	2,3	2,5	2	4
23.	20	3,5	0,5	1	2,8	4	2
24.	10	8	2,5	1	4,5	10	6
25.	10	2	0,5	1	6,5	2,5	1,5
26.	15	4	2	2	2	4,5	2,5
27.	25	15	2,5	2,5	5,5	0,5	4
28.	7	4	2,5	4	1,5	1,5	2,5
29.	5	1,5	1,5	4	1,4	0,5	1
30.	8	2,5	1,5	6	2	2,5	1

Таблица 12

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Вопросы	1,12 23,51	2,41 70,12	3,41 33,71	4,42 34,72	5,43 35,74	6,44 36,75	7,45 37,77	8,45 38,78	9,47 39,79	10,48 40,80
Вариант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Вопросы	11,49 21,53	12,50 22,75	13,52 23,77	14,53 24,78	15,54 25,79	16,55 26,80	17,56 27,62	18,57 28,63	19,58 29,66	20,59 30,3
Вариант	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Вопросы	12,60 31,1	13,61 32,42	14,62 33,45	15,63 34,46	16,64 47,35	17,65 6,36	18,66 5,44	19,67 7,35	20,68 8,36	21,69 9,48

Теоретические вопросы

1. Автоматизация технологических процессов (ТП). Основные понятия. Цели и задачи.
2. Понятия управления, объектов управления. Факторы, влияющие на автоматизацию ТП.
3. Автоматическое управление, регулирование и контроль.
4. Технические средства автоматизации.
5. Автоматизированные системы управления (АСУ) и их виды.
6. Автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУТП), выполняемые функции.
7. Классификация АСУТП.
8. Виды управления в АСУТП.
9. Состав АСУТП.
10. Математическое и программное обеспечение АСУТП.
11. Математическая модель объекта управления. Способы ее получения.

12. Системы автоматического управления (САУ). Основные понятия и определения. Классификация.
13. Структура САУ. Понятие обратной связи.
14. Системы с регулированием по отклонению. Пример, применение.
15. Системы с комбинированным регулированием. Пример, применение.
16. Следящие САУ. Пример, применение.
17. Типовые сигналы, используемые для САУ. Математическое описание элементов САУ.
18. Преобразование Лапласа. Понятие передаточной функции.
19. Важнейшие характеристики САУ (временные и частотные).
20. Структурные схемы САУ и их преобразование. Эквивалентные передаточные функции.
21. Типовые динамические звенья. Понятие, пример.
22. Простейшие звенья, их характеристики. Пример.
23. Аperiodическое звено 1-го порядка, его характеристики. Пример.
24. Понятие переходного процесса в автоматических системах регулирования (АСР). Виды переходных процессов.
25. Понятие устойчивости САУ. Теорема Ляпунова.
26. Критерии устойчивости. Алгебраический критерий.
27. Частотные критерии устойчивости.
28. Оценка устойчивости по ЛАЧХ.
29. Качество процесса регулирования.
30. Прямые показатели качества.
31. Косвенная оценка качества.
32. Влияние параметров системы на качество и устойчивость.
33. Виды автоматических регуляторов. Законы регулирования.
34. Линейные регуляторы. П-, И-, ПД-регуляторы.
35. Линейные регуляторы. ПИ-, ПИД-регуляторы.
36. Нелинейные регуляторы. Двухпозиционное регулирование.
37. Элементы систем автоматики.
38. Задатчики и элементы сравнения.
39. Функциональные преобразователи и усилители.
40. Исполнительные механизмы и регулирующие органы.
41. Автоматизированный электропривод (АЭП) технологического оборудования. Понятие и определение.
42. Системы управления АЭП. Принципы управления.
43. Элементы систем управления АЭП.
44. Автоматизация тепловых процессов. Примеры систем регулирования.
45. Автоматизация процессов жидкостной обработки. Примеры систем регулирования.
46. Автоматизация раскроя. Примеры систем регулирования.
47. Автоматизация вентиляции и кондиционирования. Примеры систем регулирования.
48. Автоматизация складов и транспорта. Конвейеры автоматического адресования.

49. Принципиальные схемы систем автоматической сигнализации. Примеры.
50. Принципиальные схемы систем автоматической защиты и блокировки на технологическом оборудовании. Примеры.
51. Функциональные схемы автоматизации. Обозначения. ГОСТ.
52. Функциональные схемы технологических процессов изучаемого производства. Пример.
53. Логические системы управления. Логические устройства. Логические функции. Примеры, применение.
54. Законы алгебры логики. Логические функции одной и двух переменных.
55. Синтез логических операторов по таблицам истинности. Минимизация логических функций.
56. Разработка логических схем управления на релейно-контактной аппаратуре и бесконтактных логических элементах.
57. Измерения. Методы измерений. Структура измерительных устройств. Измерительные схемы. Погрешности измерений.
58. Датчики САР. Измерительные приборы и измерительные преобразователи. Требования к измерительным устройствам. Класс точности.
59. Измерение температуры. Термометры расширения, жидкостные термометры. Принцип действия, области применения.
60. Термоэлектрические термометры, схемы включения. Принцип действия, области применения.
61. Термометры сопротивления. Принцип действия, области применения.
62. Измерение давления и разрежения. Жидкостные манометры. Пружинные и электрические манометры. Принцип действия, области применения.
63. Измерение расхода и количества вещества. Расходомеры. Принцип действия, области применения.
64. Счетчики. Принцип действия, виды, области применения.
65. Измерение уровня. Принципы действия устройств, виды, области применения.
66. Измерение плотности и вязкости вещества.
67. Контроль химического состава вещества.
68. Измерение механических параметров. Потенциметрические и тензометрические датчики. Принцип действия, области применения.
69. Измерение перемещений. Датчики положения, контактные и бесконтактные. Применение в отрасли.
70. Фотоэлектрические датчики количества штучных изделий. Автоматический учет штучной продукции, в том числе в отрасли.
71. Измерение влажности текстильных материалов.
72. СВЧ-влажномеры.
73. Определение параметров нити.
74. Контроль натяжения нитей.
75. Датчики обрыва нитей.
76. Контроль плотности ткани по утку.
77. Контроль скорости перемещения и длины материалов. Датчики, схемы, применение.

78. Измерение ширины материалов. Контроль кромки.
 79. Контроль электростатических свойств материалов.
 80. Контроль дефектов тканей и нитей.

6 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЗАДАЧ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЗАДАЧИ № 1

Все методы расчета линейных электрических цепей основаны на использовании законов Ома и Кирхгофа. Закон Ома $U=RI$ устанавливает связь между током неразветвленной цепи и напряжением, приложенным к ней. Законы Кирхгофа формулируются и записываются следующим образом:

-первый закон: алгебраическая сумма токов, сходящихся в узле, равна нулю:

$$\sum_{n=1}^{\infty} I_n = 0;$$

-второй закон: в замкнутой электрической цепи алгебраическая сумма падений напряжений равна алгебраической сумме ЭДС:

$$\sum_{n=1}^{\infty} I_n R_n = \sum_{n=1}^{\infty} E_n.$$

При расчете цепи методом непосредственного применения законов Кирхгофа по первому закону составляют $K_1=M-1$, а по второму закону $K_2=N-M+1$ уравнений, где M – количество узлов, а N – количество ветвей рассчитываемой цепи.

Метод контурных токов заключается в следующем: в рассчитываемой цепи выделяют $K_1=N-M+1$ замкнутых контуров, по которым направляют условные контурные токи, удовлетворяющие следующим требованиям: контурные токи непрерывны, независимы и не изменяют своей величины при переходе через узел. Поскольку при указанных условиях первый закон Кирхгофа выполняется автоматически, то для выбранных контуров составляют систему уравнений, составленных с помощью второго закона Кирхгофа:

$$\begin{aligned} I_{11}R_{11}+I_{22}R_{22}+\dots+I_{nn}R_{1n}&=E_{11}; \\ I_{11}R_{21}+I_{22}R_{22}+\dots+I_{nn}R_{2n}&=E_{22}; \\ \dots & \dots \\ I_{11}R_{n1}+I_{22}R_{n2}+\dots+I_{nn}R_{nn}&=E_{nn}, \end{aligned}$$

где $I_{11}, I_{22} \dots I_{mm}$ – контурные токи; $R_{11}, R_{22} \dots R_{mm}$ – собственные сопротивления контуров; $R_{12}, R_{13} \dots R_{kn}$ ($k \neq n$) – сопротивления, общие для смежных контуров; $E_{11}, E_{22} \dots E_{mm}$ – алгебраические суммы ЭДС соответствующих контуров.

Если соседние контурные токи протекают через общее для смежных контуров сопротивление в одном направлении, то перед слагаемым, в которое это сопротивление входит сомножителем, ставится знак плюс, а если в противоположных – то знак минус.

Решая полученную систему уравнений любым известным методом, определяют контурные токи, а затем, используя первый закон Кирхгофа, реальные токи ветвей.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЗАДАЧИ № 2

Перед выполнением работы необходимо начертить схему цепи в соответствии с условиями варианта. Линейные электрические цепи синусоидального тока при смешанном соединении элементов целесообразно рассчитывать символическим методом (методом комплексных чисел). При этом возможно прямое использование всех методов расчета линейных электрических цепей, изученных при выполнении предыдущего задания.

Гармоническое напряжение $u = U_m \sin(\omega t + \varphi_u)$ и ток $i = I_m \sin(\omega t + \varphi_i)$ могут быть отображены комплексными числами:

$$u_k = U_m e^{j(\omega t + \varphi_u)} = \dot{U}_m e^{j\omega t}; i_k = I_m e^{j(\omega t + \varphi_i)} = \dot{I}_m e^{j\omega t},$$

где $\dot{U}_m = U_m e^{j\omega t}$, $\dot{I}_m = I_m e^{j\omega t}$ – комплексные амплитуды напряжения и тока.

В некоторых случаях удобнее выполнять расчет с помощью комплексных действующих (эффективных) значений напряжения и тока:

$$\dot{U} = \frac{\dot{U}_m}{\sqrt{2}} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} e^{j\varphi_u} = U e^{j\varphi_u}, \dot{I} = \frac{\dot{I}_m}{\sqrt{2}} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} e^{j\varphi_i} = I e^{j\varphi_i}.$$

Комплексное сопротивление определяют по выражениям

$$Z = \frac{\dot{U}_m}{\dot{I}_m} = \frac{\dot{U}}{\dot{I}} = z e^{j\varphi} = R + jX,$$

где R – активное сопротивление; X – реактивное сопротивление;
 $Z = \sqrt{R^2 + X^2}$ – модуль комплексного сопротивления; $\varphi = \varphi_u - \varphi_i = \operatorname{arctg} \frac{X}{R}$
 – угол сдвига фаз (разность начальных фаз) напряжения и тока.

Величина, обратная комплексному сопротивлению, называется комплексной проводимостью и равна

$$Y = \frac{1}{Z} = \frac{1}{R + jX} = \frac{R}{R^2 + X^2} - j \frac{X}{R^2 + X^2} = g - jb = ye^{-j\varphi},$$

где g – активная проводимость; b – реактивная проводимость;
 $y = \sqrt{g^2 + b^2}$ – модуль комплексной проводимости; $\varphi = \operatorname{arctg} \frac{b}{g}$ – угол сдвига фаз напряжения и тока.

Следует помнить, что запись $Z=R+jX$ предполагает последовательное соединение элементов R и X , а запись $Y=g-jb$ предполагает параллельное соединение элементов g и b .

Законы Ома и Кирхгофа для цепей переменного тока записываются в той же форме что и для цепей постоянного тока, при использовании комплексных амплитуд или комплексных действующих значений напряжений, ЭДС и токов.

Комплексное значение мощности определяют по выражению

$$\dot{S} = \dot{U} \dot{I}^* = UI \cos \varphi + jUI \sin \varphi = P + jQ = Se^{j\varphi},$$

где $P = UI \cos \varphi$ – активная мощность; $Q = UI \sin \varphi$ – реактивная мощность; $S = \sqrt{P^2 + Q^2} = UI$ – полная мощность; \dot{I}^* – комплекс, сопряженный комплексу тока.

Коэффициент мощности определяют по выражению

$$k_M = \cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}.$$

При выполнении задания вначале определяют токи в ветвях и напряжения на участках цепи, после чего строят в комплексной плоскости векторную диаграмму напряжений и токов.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЗАДАЧИ № 3

Комплексы фазных напряжений при симметричном источнике питания:

$$\dot{U}_A = U, \dot{U}_B = U e^{-j120^\circ}, \dot{U}_C = U e^{-j240^\circ}$$

Линейные напряжения:

$$\dot{U}_{AB} = \dot{U}_A - \dot{U}_B, \dot{U}_{BC} = \dot{U}_B - \dot{U}_C, \dot{U}_{CA} = \dot{U}_C - \dot{U}_A$$

Для симметричной трехфазной системы при соединении звездой, соотношение между линейными и фазными напряжениями:

$$U_{Л} = \sqrt{3}U_{\Phi}, I_{Л} = I_{\Phi}$$

Для симметричной трехфазной системы при соединении треугольником, соотношение между линейными и фазными напряжениями:

$$U_{Л} = U_{\Phi}, I_{Л} = \sqrt{3}I_{\Phi}$$

Мощность для симметричной трехфазной системы:

$$P = \sqrt{3}U_{Л}I_{Л}\cos\varphi_{\Phi} = 3U_{\Phi}I_{\Phi}\cos\varphi_{\Phi}$$

Токи в цепи при подключении:

1) треугольником

- линейные токи

$$I_{ab} = U_{ab} / Z_{ab}, I_{bc} = U_{bc} / Z_{bc}, I_{ca} = U_{ca} / Z_{ca},$$

- фазные токи

$$I_A = I_{ab} - I_{ca}, I_B = I_{bc} - I_{ab}, I_C = I_{ca} - I_{bc};$$

2) звездой

Напряжение между нейтральными точками приемника и генератора:

$$U_{nN} = \frac{Y_A U_A + Y_B U_B + Y_C U_C}{Y_A + Y_B + Y_C + Y_N},$$

где Y_A, Y_B, Y_C, Y_N - проводимости фаз и нейтрального провода.

- фазные токи

$$I_A = (U_A - U_{nN})Y_A, I_B = (U_B - U_{nN})Y_B, I_C = (U_C - U_{nN})Y_C,$$

ток в нейтрали $I_N = I_A + I_B + I_C$.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЗАДАЧИ № 4

Повторно – кратковременным называют режим, при котором нагрузка электродвигателя периодически изменяется. Пример такого режима (нагрузочная диаграмма) показан на рис. 29, где приняты следующие обозначения:

$P_1; P_2 \dots P_n$ – мощность нагрузки электродвигателя в течение интервалов времени $t_{p1}, t_{p2} \dots t_{pn}$; $P_{\text{экв.д.}}$ – эквивалентная мощность электродвигателя.

При выборе мощности электродвигателя для производственного механизма, работающего в указанном режиме, пользуются выражением

$$P_{\text{экв.д.}} = \sqrt{\frac{P_1^2 t_{p1} + P_2^2 t_{p2} + \dots + P_n^2 t_{pn}}{t_{p1} + t_{p2} + \dots + t_{pn}}}.$$

Величина $P_{э.д.}$, определенная по указанному выражению, используется непосредственно для выбора мощности электродвигателя в случае, когда действительный режим работы механизма, характеризующийся продолжительностью включения (ПВ%), совпадает со стандартными значениями ПВ_{ст}: 15 %; 20 %; 40 %; 60 %. Под продолжительностью включения понимают отношение суммы рабочих интервалов времени ко времени продолжительности цикла

$$ПВ\% = \frac{t_{p1} + t_{p2} + \dots + t_{pn}}{t_{пц}} 100\%.$$

В случае несовпадения ПВ со стандартным значением пользуются формулой для пересчета эквивалентной мощности на ее значение $P_{э.д.ст.}$, отнесенное к ближайшему стандартному значению продолжительности включения

$$P_{э.д.ст.} = P_{э.д.} \sqrt{\frac{ПВ}{ПВ_{ст}}}$$

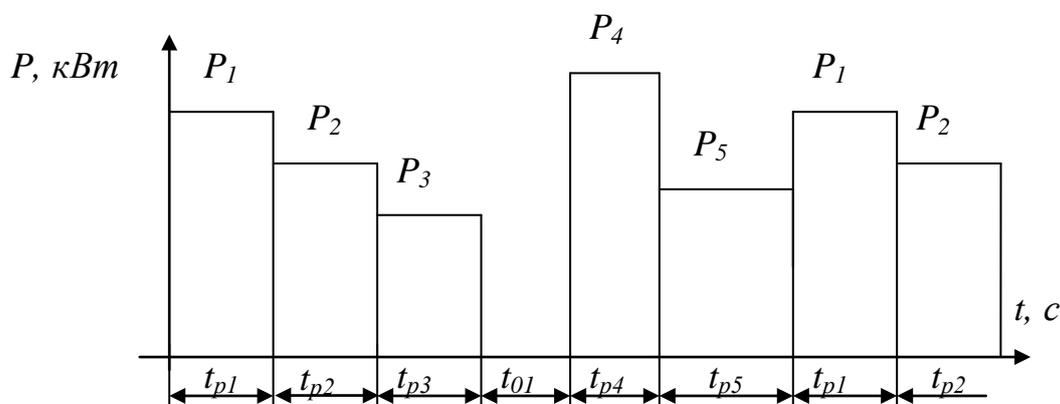


Рис. 29

По величине $P_{э.д.ст.}$ выбирают электродвигатель с номинальной мощностью $P_n \geq P_{э.д.ст.}$.

Используя каталожные данные ($P_n; n_n; \frac{M_k}{M_n}$) выбранного электродвигателя, строят его механическую характеристику $M = f(s)$.

Известно, что

$$M = \frac{2M_k}{\frac{s_k}{s} + \frac{s}{s_k}}$$

где M_k – критический вращающий момент электродвигателя; s_k – скольжение, при котором двигатель развивает критический момент; s – текущее значение скольжения.

Зная отношение критического момента к номинальному

$$\frac{M_k}{M_n} = \lambda$$

и определив номинальный момент как

$$M_H = 9550 \frac{P_H}{n_H},$$

где P_H – номинальная мощность электродвигателя, кВт; n_H – номинальная частота вращения ротора, об/мин., получим выражение для определения критического скольжения $s_k = s_H (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1})$.

Номинальное скольжение s_H определяют по выражению

$$s_H = \frac{n_0 - n_H}{n_0},$$

где n_0 – частота вращения магнитного поля статора электродвигателя.

Величину n_0 выбирают по табл.3.1 как ближайшее к n_H стандартное значение.

Зная M_k и s_k и задавая значения s в пределах от 0 до 1, строят механическую характеристику $M = f(s)$.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЗАДАЧИ № 5

Для указанного на рис. 30 усилительного каскада с общим эмиттером определить коэффициенты усиления по напряжению, току и мощности, выходное напряжение, входное и выходное сопротивление по заданным величинам $U_{вх}$, R_K , R_B , h_{11} , h_{21} , h_{22} .

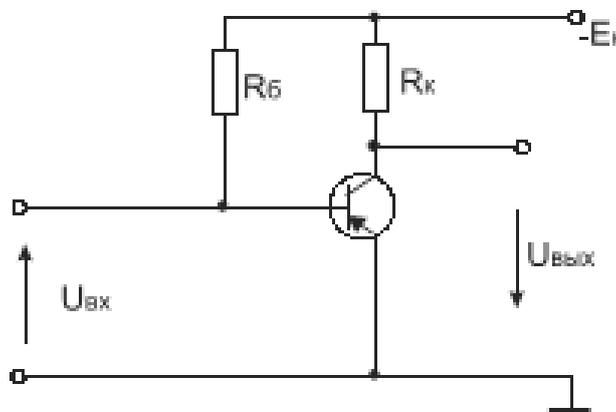
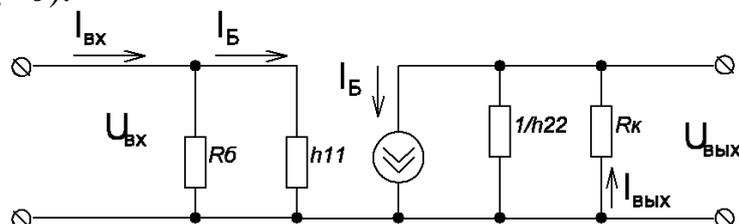


Рис. 30

Дано: $h_{11}=1200\text{Ом}$, $h_{21}=125$, $h_{22}=5 \cdot 10^{-5}\text{Ом}^{-1}$, $R_K=8,5\text{кОм}$, $R_B=106\text{кОм}$, $U_{вх}=24\text{мВ}$.

1. Составляем упрощенную схему замещения усилительного каскада (при $h_{12}=0$):



2. Определяем входное сопротивление:

$$R_{\hat{a}\hat{o}} = \frac{R_{\hat{A}} \cdot h_{11}}{R_{\hat{A}} + h_{11}} = \frac{106 \cdot 10^3 \cdot 1200}{106 \cdot 10^3 + 1200} = 1187 \hat{\Omega}$$

3. Определяем выходное сопротивление:

$$R_{\hat{a}\hat{a}\hat{o}} = \frac{R_{\hat{E}} / h_{22}}{R_{\hat{E}} + 1 / h_{22}} = \frac{R_{\hat{E}}}{1 + R_{\hat{E}} \cdot h_{22}} = \frac{8,5 \cdot 10^3}{1 + 8,5 \cdot 10^3 \cdot 5 \cdot 10^{-5}} = 5,96 \hat{\Omega}$$

4. Определяем коэффициент усиления по напряжению:

$$\hat{E}_U = \frac{U_{\hat{a}\hat{a}\hat{o}}}{U_{\hat{a}\hat{o}}} = \frac{h_{21} \cdot I_{\hat{A}} \cdot R_{\hat{a}\hat{a}\hat{o}}}{h_{11} \cdot I_{\hat{A}}} = \frac{h_{21} \cdot R_{\hat{E}}}{h_{11} \cdot (1 + R_{\hat{E}} \cdot h_{22})} \approx 621.$$

5. Определяем коэффициент усиления по току:

$$\hat{E}_I = \frac{I_{\hat{a}\hat{a}\hat{o}}}{I_{\hat{a}\hat{o}}} = \frac{U_{\hat{a}\hat{a}\hat{o}} \cdot R_{\hat{A}} \cdot h_{11}}{R_{\hat{K}} \cdot U_{\hat{a}\hat{o}} (R_{\hat{A}} + h_{11})} = \frac{h_{21} \cdot R_{\hat{A}}}{(R_{\hat{A}} + h_{11}) \cdot (1 + R_{\hat{E}} \cdot h_{22})} \approx 86,74.$$

6. Определяем коэффициент усиления по мощности:

$$\hat{E}_P = \hat{E}_I \cdot \hat{E}_U = 621 \cdot 86,74 = 53900.$$

7. Определяем выходное напряжение:

$$U_{\hat{a}\hat{a}\hat{o}} = K_U \cdot U_{\hat{a}\hat{o}} = 621 \cdot 24 \cdot 10^{-3} = 14,9 \hat{A}.$$

$$\hat{E}_U = 621, \quad U_{\hat{a}\hat{a}\hat{o}} = 14,9 \hat{A},$$

Ответ: $\hat{E}_I = 86,74$, $R_{\hat{a}\hat{a}\hat{o}} = 5,96 \hat{\Omega}$,

$$\hat{E}_P = 53900, \quad R_{\hat{a}\hat{o}} = 1187 \hat{\Omega}.$$

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЗАДАЧИ № 6

При решении задачи № 6 используется кусочно-линейная аппроксимация вольт - амперной характеристики (ВАХ) диодов и стабилитронов. На рис. 31, 32 показаны участки ВАХ (I, II, III), где сопротивления r_d , $r_{ст}$ и эквивалентные схемы замещения диода (рис. 31) и стабилитрона (рис. 32) остаются постоянными.

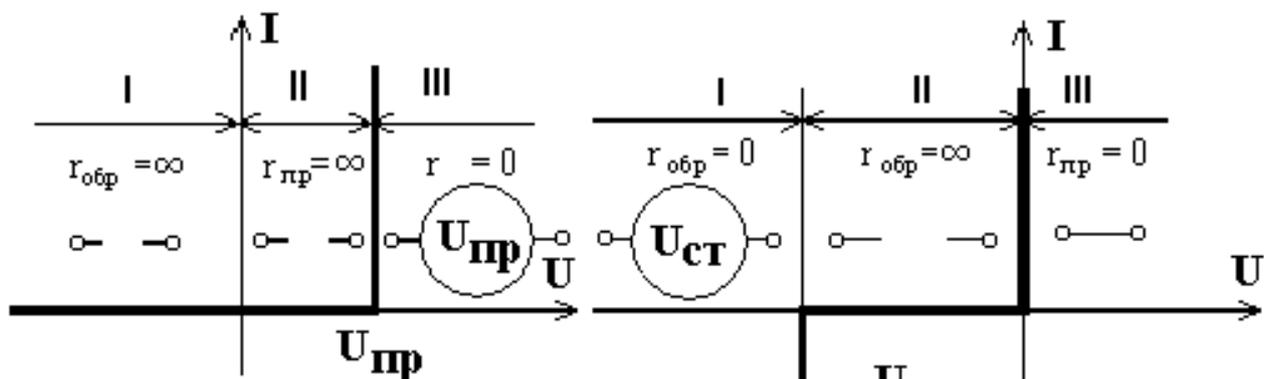


Рис. 31

Рис. 32

Для решения задачи необходимо весь диапазон изменения величины $U_{ex}(t)$ разбить на участки, где r_{δ} и r_{cm} остаются неизменными. Для каждого из этих участков эквивалентные схемы ограничителей имеют свой вид:

- эквивалентные схемы диодов и стабилитронов не содержат источников напряжения,

- источник напряжения включён последовательно с $U_{ex}(t)$,

- источник напряжения включён параллельно с R_H .

В первом случае решение задачи сводится к анализу схемы, изображённой на рис. 33. Выходное напряжение для неё описывается выражением (1):

$$U_{вых}(t) = U_{ex}(t) * R_2 / (R_1 + R_2) \quad (1).$$

При решении следует учитывать, что если $R_1 = \infty$ или $R_2 = 0$, то $U_{вых}(t) = 0$, а если $R_1 < R_2$, то $U_{вых}(t) = U_{ex}(t)$. Во втором случае решение задачи отличается только тем, что в выражении (1) вместо $U_{ex}(t)$ подставляется значение $[U_{ex}(t) - E]$, где E равно U_{np} или U_{cm} в зависимости от вида схемы. Тогда

$$U_{вых}(t) = [U_{ex}(t) - E] * R_2 / (R_1 + R_2) \quad (2).$$

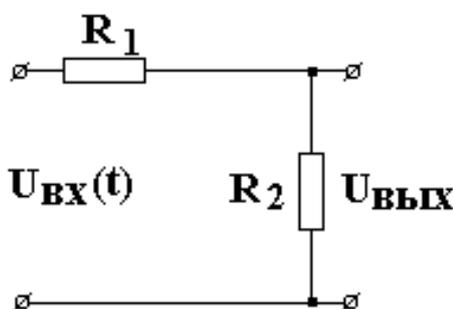


Рис. 33

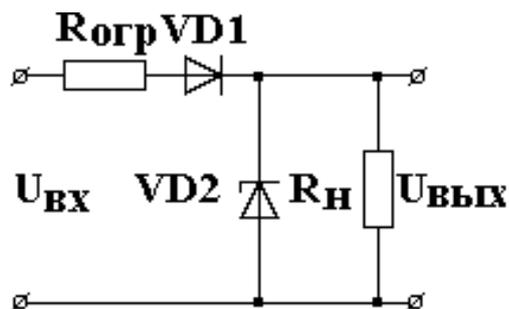


Рис. 34

В третьем случае $U_{вых}(t)$ определяется только источником напряжения в соответствии с эквивалентной схемой и не зависит от остальных элементов схемы.

В качестве примера рассмотрим решение задачи для схемы, изображённой на рис. 34.

Для этой схемы $R_1 = R_{огр} + r_{\delta}$, а $R_2 = r_{cm} * R_H / (r_{cm} + R_H)$. На рис. 35 приведены временные диаграммы $U_{ex}(t)$ и $U_{вых}(t)$ с указанием временных интервалов, на которых параметры диода и стабилитрона (r_{δ} и r_{cm}) и их схемы замещения остаются постоянными.

При положительной полуволне $U_{ex}(t)$ диод включён в прямом направлении (участки II, III на рис. 31), а стабилитрон – в обратном (участки I, II на рис. 32). В этом случае положительная полуволна $U_{ex}(t)$ может быть разбита на 5 временных интервалов: $(0 \div t_1)$, $(t_1 \div t_2)$, $(t_2 \div t_3)$, $(t_3 \div t_4)$ и $(t_4 \div t_5)$. На интервалах $(0 \div t_1)$ и $(t_4 \div t_5)$ диод и стабилитрон находятся на II участке ВАХ (рис. 31, 32) и характеризуются внутренними сопротивлениями $r_{\delta} = r_{np} = \infty$, $r_{cm} = r_{обп} = \infty$.

В результате $R_1 = \infty$, а $R_2 = R_n$, источники напряжения в схемах замещения отсутствуют и в соответствии с (1) $U_{вых}(t) = const = 0$. На интервалах $(t_1 \div t_2)$ и $(t_3 \div t_4)$ диод находится на III участке (рис. 31). В этом случае $r_d = r_{np} = 0$ и диод замещается источником напряжения U_{np} . Стабилитрон находится на II участке (рис. 32) и характеризуется $r_{cm} = r_{обр} = \infty$. Тогда схема замещения ограничителя имеет вид, показанный на рис. 36.

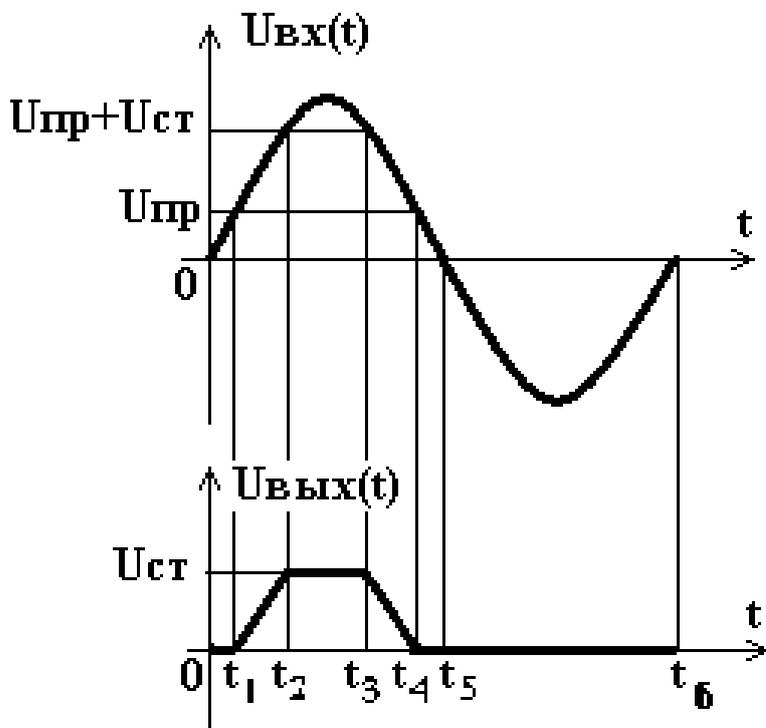


Рис. 35

В этом случае $U_{вых}(t)$ определяется по выражению (2). С учётом того, что $R_1 = R_{огр}$, $R_2 = R_n$, $R_n \gg R_{огр}$, имеем $U_{вых}(t) = [U_{вх}(t) - U_{np}]$. На интервале $(t_2 \div t_3)$ диод находится на III участке (рис. 31), а стабилитрон – на I участке (рис. 32), где $r_{cm} = r_{обр} = 0$ и стабилитрон замещается источником напряжения U_{cm} . Схема замещения ограничителя для этого случая показана на рис. 37. Из неё следует, что $U_{вых}(t) = const = U_{cm}$.

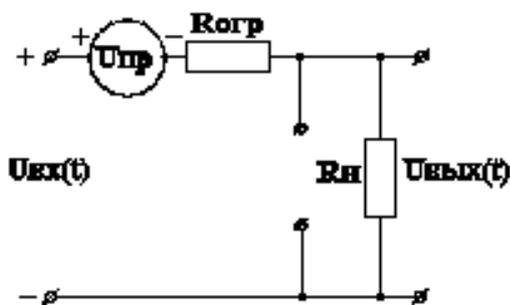


Рис. 36

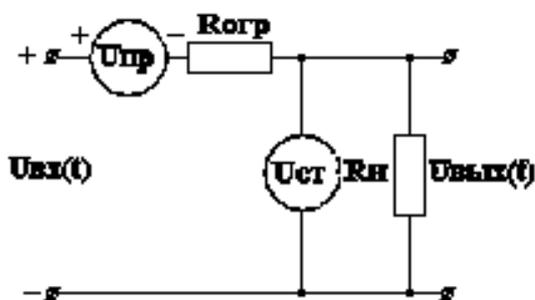


Рис. 37

При отрицательной полуволне $U_{вх}(t)$ на интервале $(t_5 \div t_6)$ диод включён в обратном направлении (участок I на рис. 32). В схемах замещения отсутст-

вуют источники напряжения и $U_{\text{вых}}(t)$ определяется выражением (1). В этом случае $R_1 = \infty$, $R_2 = 0$ и $U_{\text{вых}}(t) = \text{const} = 0$.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЗАДАЧИ № 7

В общем случае требуемая функция реализуется схемой, изображённой на рис. 38, где U_{I1} , U_{I2} – входные напряжения, соответствующие отрицательным коэффициентам, U_{N1} , U_{N2} – входные напряжения, соответствующие положительным коэффициентам.

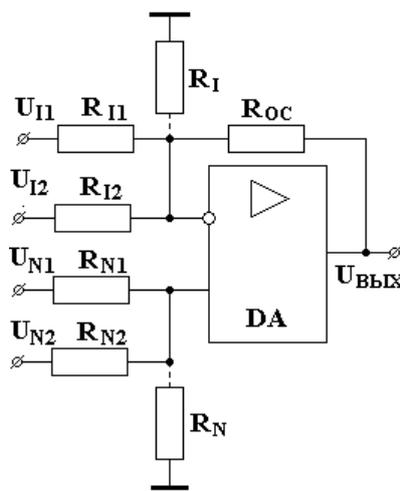


Рис. 38

Наличие или отсутствие балансирующих резисторов R_I и R_N следует из необходимости обеспечения равенства эквивалентных сопротивлений, подключённых к инвертирующему (R_{Σ}^-) и к неинвертирующему (R_{Σ}^+) входам и определяется величиной и знаком балансирующего коэффициента

$$a_R = (|a_{I1}| + |a_{I2}| + 1) - (a_{N1} + a_{N2}) :$$

$$a_R = 0, \text{ тогда } R_I, R_N = \infty;$$

$$a_R < 0, \text{ тогда } R_N = \infty, R_I = \text{const};$$

$$a_R > 0, \text{ тогда } R_I = \infty, R_N = \text{const}.$$

Если условие $R_{\Sigma}^- = R_{\Sigma}^+$ выполняется, то при $U_{I1} = U_{I2} = U_{N1} = U_{N2} = 0$ имеем $U_{\text{вых}} = 0$ и $a_i = R_{oc}/R_i$. В противном случае $U_{\text{вых}} \neq 0$ и $a_i \neq R_{oc}/R_i$.

После выбора окончательного вида схемы расчёт следует вести по следующему алгоритму :

1. Рассчитать балансирующий коэффициент :

$$a_R = (|a_{I1}| + |a_{I2}| + 1) - (a_{N1} + a_{N2}).$$

2. Включить в цепь, соответствующую максимальному коэффициенту,

$$R_{\min} = 10 \text{ кОм} .$$

$$a_{\max} = \max \{ |a_{I1}|, |a_{I2}|, a_{N1}, a_{N2}, |a_R| \}.$$

3. Рассчитать $R_{oc} = a_{\max} \cdot R_{\min}$

4. Рассчитать остальные резисторы, используя выражение $R_i = R_{oc}/|a_i|$.

5. Произвести проверку правильности выбора и расчёта схемы из условия

$$R_{\Sigma}^{-} = R_{\Sigma}^{+}, \text{ где}$$

$$R_{\Sigma}^{-} = R_{II} \parallel R_{I2} \parallel R_{oc} \text{ или } R_{\Sigma}^{-} = R_{II} \parallel R_{I2} \parallel R_{oc} \parallel R_I,$$

$$R_{\Sigma}^{+} = R_{N1} \parallel R_{N2} \parallel R_N \text{ или } R_{\Sigma}^{+} = R_{N1} \parallel R_{N2}.$$

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЗАДАЧИ № 8

Рассмотрим пример решения аналогичной задачи.

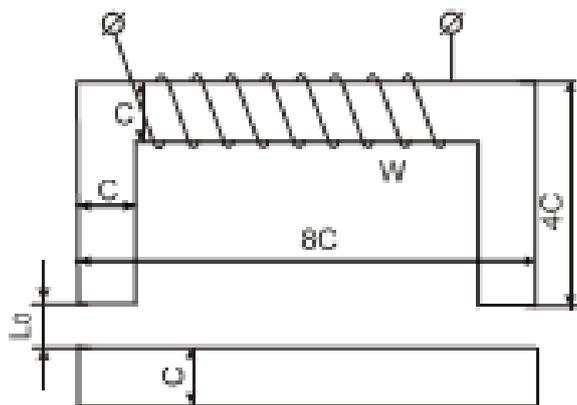


Рис. 39

Дано: Подъемный электромагнит имеет магнитопровод и якорь прямоугольного сечения, выполненные из листовой электротехнической стали I2I2. Катушка электромагнита имеет W витков. Воздушный зазор между стержнями и якорем электромагнита имеет длину $L_0=0,5$ мм. Определить величину тока в катушке для создания подъемной силы F .

$$C=4,5\text{см}, W=300 \text{ витков}, F=3 \text{ кН}, L_0=0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

1. Определяем необходимую величину индукции в зазорах, учитывая, что $B = \sqrt{\frac{F \cdot \mu_0}{2 \cdot S}}$, где $S = C^2 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$ – площадь сечения магнитопровода,

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}, B=1,36 \text{ Тл}.$$

2. Определяем магнитную напряженность в зазоре:

$$H_0 = \frac{B}{\mu_0} = 1,08 \cdot 10^6 \text{ А/м}.$$

3. Определяем величину напряженности магнитного поля в магнитопроводе для указанной стали: $H_{CT}=1540 \text{ А/м}$.

4. Определяем длину средней магнитной линии по рис. 39 и данным размерам:

$$l_{\tilde{m}} = 8\tilde{N} - \tilde{N} + 2(4\tilde{N} - \tilde{N} / 2) + 8C - C + C = 22C = 0,99 \text{ м}.$$

5. Определяем падение магнитного напряжения в стали:

$$U_{i\tilde{N}} = H_{CT} \cdot l_{cp} = 1,5 \cdot 10^3 \text{ А}.$$

6. Определяем падение магнитного напряжения на воздушных зазорах:

$$U_{i\zeta} = 2H_0 \cdot l_0 = 1,08 \cdot 10^3 \text{ А.}$$

7. По второму закону Кирхгофа для магнитных цепей записываем:

$$I \cdot W = U_{i\zeta} + U_{i\bar{N}},$$

откуда

$$I = (U_{i\zeta} + U_{i\bar{N}}) / W = 8,6 \text{ А.}$$

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЗАДАЧИ № 9

Зависимость сигнала на выходе системы логико-программного управления от состояний входных сигналов приведена в табл. 11 (таблица истинности).

Таблица 13

X ₁	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
X ₂	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1
X ₃	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
X ₄	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
Y	-	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0

Примечание: на наборах, где стоят прочерки, функция не определена, и может принимать значения 0 или 1.

Запишем логическое уравнение в соответствии с таблицей истинности

$$Y = \bar{X}_1 \cdot X_2 \cdot \bar{X}_3 \cdot \bar{X}_4 + X_1 \cdot \bar{X}_2 \cdot \bar{X}_3 \cdot \bar{X}_4 + X_1 \cdot \bar{X}_2 \cdot \bar{X}_3 \cdot X_4 + \\ + X_1 \cdot \bar{X}_2 \cdot X_3 \cdot \bar{X}_4 + X_1 \cdot X_2 \cdot \bar{X}_3 \cdot \bar{X}_4 + X_1 \cdot X_2 \cdot \bar{X}_3 \cdot X_4 + X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \cdot \bar{X}_4.$$

Для упрощения полученного выражения используем карты Карно.

		$\bar{X}_1 \bar{X}_2$	$\bar{X}_1 X_2$	$X_1 X_2$	$X_1 \bar{X}_2$
		00	01	11	10
$\bar{X}_3 \bar{X}_4$	00	-	1	1	1
$\bar{X}_3 X_4$	01			1	1
$X_3 X_4$	11				
$X_3 \bar{X}_4$	10			1	1

При упрощении вместо прочерка устанавливаем 1, т. к. это приведет к упрощению исходной функции (см. **примечание**).

В соответствии с возможными свертками (обведены) производим упрощение:

$$Y = \bar{X}_3 \cdot \bar{X}_4 + X_1 \cdot \bar{X}_3 + X_1 \cdot \bar{X}_4 = \bar{X}_3 \cdot \bar{X}_4 + X_1(\bar{X}_3 + \bar{X}_4).$$

Реализация на базовых логических элементах, изображена на рис. 40, а на релейно-контактных элементах – на рис. 41.

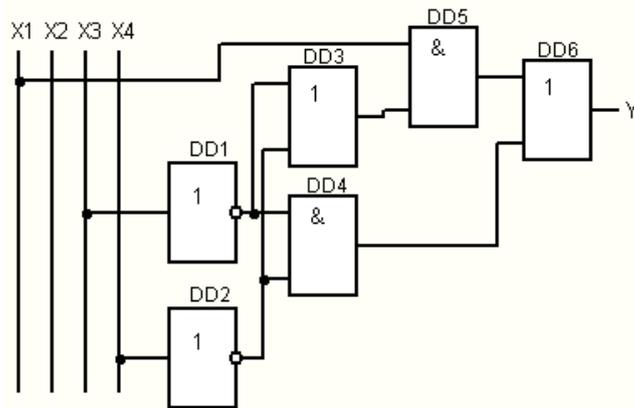


Рис. 40

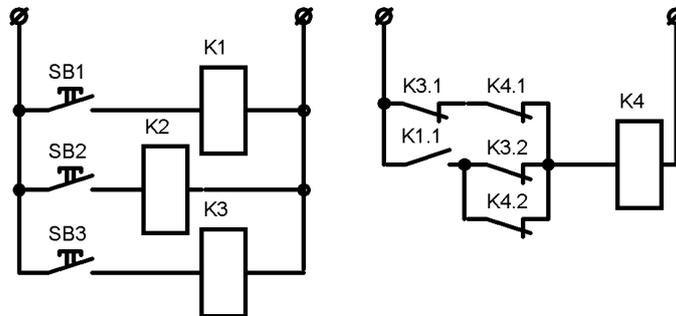


Рис. 41

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЗАДАЧИ № 10

Погрешности измерений:

1. Абсолютная погрешность

$$\Delta = A_{\hat{E}} - \dot{A}_{\hat{A}},$$

где $A_{\hat{E}}$ – измеренное значение величины, при помощи измерительного прибора;

$\dot{A}_{\hat{A}}$ – действительное значение величины.

2. Относительная погрешность

$$\delta = \frac{\Delta}{A_{\hat{A}}} * 100\% .$$

3. Относительная приведенная погрешность (класс точности)

$$\varepsilon = \frac{\Delta}{N} * 100\% ,$$

где N – диапазон шкалы измерительного прибора.

В данном случае необходимо определить значение относительной погрешности для каждого из приборов и сравнить их между собой. Прибор,

имеющий меньшую относительную погрешность, является наиболее приемлемым для выбора.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЗАДАЧИ № 11

При синтезе системы автоматического регулирования в первую очередь решается вопрос о ее устойчивости, а при анализе системы определяют область допустимых изменений ее параметров, при которых она сохраняет способность возвращаться к равновесному состоянию, т. е. является устойчивой.

Под устойчивостью понимается свойство системы приходить к новому установившемуся состоянию при действии на нее возмущения и возвращаться в исходное состояние после снятия возмущения.

Применение критериев устойчивости дает возможность судить об устойчивости АСР достаточно просто, позволяет установить причину неустойчивости, наметить пути и средства достижения устойчивости.

Анализ линейных систем на устойчивость выполняется с помощью критериев устойчивости, каждый из которых имеет свою область применения. Критерием Гурвица целесообразно пользоваться, когда характеристическое уравнение имеет степень не выше четвертой. Критерий Найквиста применяется для анализа одноконтурных систем, критерий Михайлова – для многоконтурных. Расчет устойчивости рассмотрим на примере структурной схемы, состоящей из трех звеньев (рис. 42).

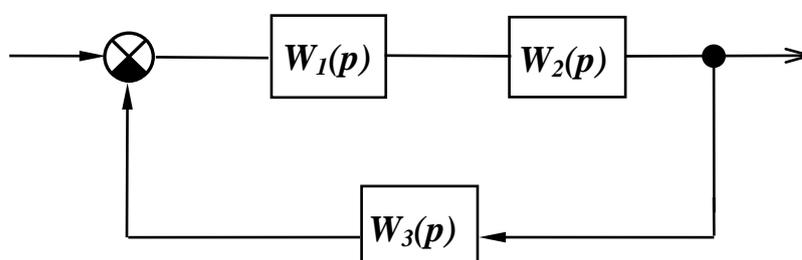


Рис. 42

Передаточные функции соответственно:

$$W_1(p) = \frac{k}{T_1 p + 1}; \quad W_2(p) = \frac{1}{T_2 p + 1}; \quad W_3(p) = \frac{1}{T_3 p + 1},$$

где числовые значения всех параметров равны $T_1 = 0,05$ сек; $T_2 = 6$ сек; $T_3 = 0,001$ сек; $K = 40$.

На основании структурной схемы запишем передаточные функции для разомкнутой системы:

$$W(p) = \frac{K}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)(T_3 p + 1)}; \quad (3)$$

для замкнутой системы:

$$W(p) = \frac{\frac{K}{T_1 p + 1} \cdot \frac{1}{T_2 p + 1}}{1 + \frac{K}{T_1 p + 1} \cdot \frac{1}{T_2 p + 1} \cdot \frac{1}{T_3 p + 1}} =$$

$$= \frac{K(T_3 p + 1)}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)(T_3 p + 1) + K}. \quad (4)$$

Характеристическое уравнение замкнутой системы имеет вид

$$(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)(T_3 p + 1) + K = 0. \quad (5)$$

Расчет устойчивости по критерию Гурвица

В данном методе используется характеристическое уравнение (5). Подставив числовые значения, получим исходное уравнение для расчета:

$$0,003p^3 + 0,306p^2 + 6,051p + 41 = 0$$

Согласно критерию Гурвица, замкнутая АСР устойчива, если коэффициенты характеристического уравнения и определители, составленные по таблице Гурвица, были положительны, то система устойчива.

В случае характеристического уравнения вида:

$$a_3 p^3 + a_2 p^2 + a_1 p + a_0 = 0.$$

Определитель находится следующим образом:

$$\Delta = \begin{vmatrix} a_2 & a_0 \\ a_3 & a_1 \end{vmatrix} = a_2 a_1 - a_3 a_0.$$

Тогда в нашем случае: $\Delta = 6,051 \cdot 0,306 - 0,003 \cdot 41 = 1,73$.

Таким образом, согласно критерию Гурвица данная система устойчива, т. к. коэффициенты характеристического уравнения системы в замкнутом состоянии положительны и главные миноры матрицы, составленной из этих коэффициентов, тоже положительны.

Расчет устойчивости по критерию Михайлова

Согласно критерию Михайлова, замкнутая САР устойчива, если годограф Михайлова, начинаясь на положительной оси действительных величин, обходит не нарушая порядка следования против часовой стрелки столько квадрантов, какова степень характеристического уравнения, и не проходит через ноль.

Годограф получается из характеристического уравнения замкнутой системы (5) путем замены в нем p на $j\omega$.

Методика вычислений при работе с комплексными числами приведена в приложении А.

$$-0.003j\omega^3 - 0.0306\omega^2 + 6.051j\omega + 41 = 0$$

Выделим действительную и мнимые части:

$$Re(\omega) = 41 - 0.0306\omega^2;$$

$$Im(\omega) = 6.051j\omega - 0.003j\omega^3.$$

Строим годограф при изменении частоты $0 < \omega < \infty$, задаваясь значениями ω , определим числовые значения $Re(\omega)$ и $Im(\omega)$.

Таблица 14

ω	0	10	15	100	∞
$Re(\omega)$	41	10,4	-27,8	-3024	$-\infty$
$Im(\omega)$	0	57,5	53,7	-239,5	$-\infty$

На основании полученных данных (табл. 14) строим на комплексной плоскости годограф Михайлова.

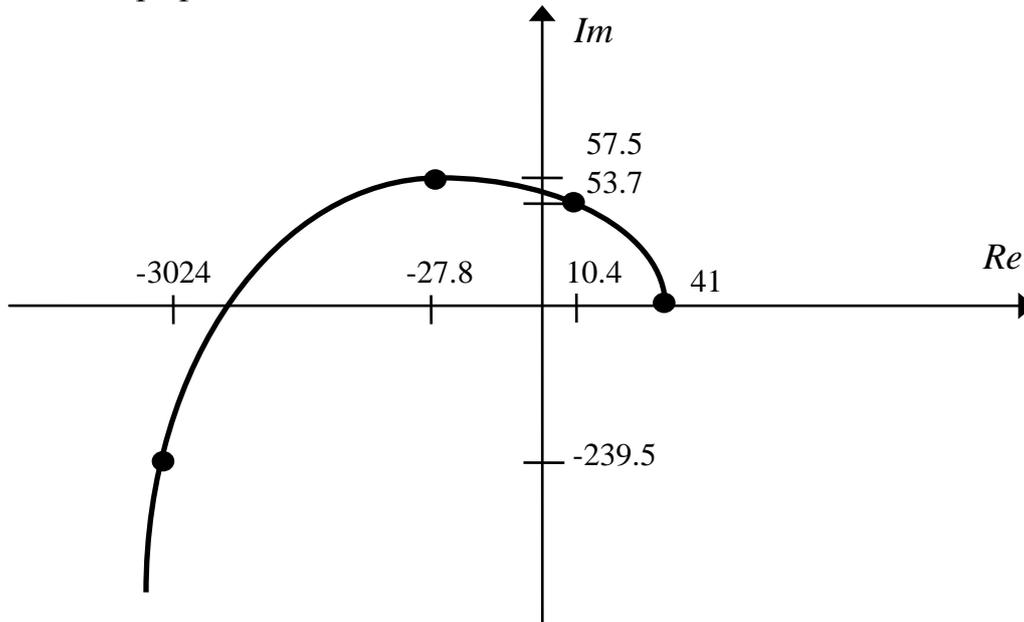


Рис. 43

Таким образом, согласно критерию Михайлова, система устойчива (рис. 43).

Т.к. годограф начинается на положительном отрезке действительной оси и проходит последовательно три квадранта комплексной плоскости, что равняется степени характеристического уравнения, не проходя через начало координат.

Расчет по критерию Найквиста

При расчете устойчивости данным методом используется передаточная функция разомкнутой системы (3), по которой строится амплитудно-фазочастотные характеристики (АФЧХ).

Передаточная функция разомкнутой системы:

$$W(p) = \frac{K}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)(T_3 p + 1)};$$

или со значениями:

$$W(p) = \frac{40}{(0,05p + 1)(6p + 1)(0,001p + 1)}$$

Комплексный коэффициент передачи $W(j\omega)$ запишется следующим образом:

$$\begin{aligned} W(j\omega) &= \frac{k}{(T_1 j\omega + 1)(T_2 j\omega + 1)(T_3 j\omega + 1)} = \frac{\hat{e}(T_1 j\omega - 1)(T_2 j\omega - 1)(T_3 j\omega - 1)}{(-T_1^2 \omega^2 - 1)(-T_2^2 \omega^2 - 1)(-T_3^2 \omega^2 - 1)} = \\ &= \frac{k(-T_1 T_2 \omega^2 - (T_1 + T_2)j\omega + 1)(T_3 j\omega - 1)}{-(T_1^2 \omega^2 + 1)(T_2^2 \omega^2 + 1)(T_3^2 \omega^2 + 1)} = \\ &= \frac{k(-T_1 T_2 T_3 j\omega^3 + (T_1 T_2 + T_3(T_1 + T_2))\omega^2 + (T_3 + T_1 + T_2)j\omega - 1)}{-(T_1^2 \omega^2 + 1)(T_2^2 \omega^2 + 1)(T_3^2 \omega^2 + 1)}. \end{aligned}$$

Выделим действительную и мнимую части:

$$\begin{aligned} \operatorname{Re}(\omega) &= \frac{k(1 - (T_1 T_2 + T_3(T_1 + T_2))\omega^2)}{(T_1^2 \omega^2 + 1)(T_2^2 \omega^2 + 1)(T_3^2 \omega^2 + 1)} = \frac{40(1 - 0,3605\omega^2)}{(0,0025\omega^2 + 1)(36\omega^2 + 1)(0,000001\omega^2 + 1)}, \\ \operatorname{Im}(\omega) &= \frac{k(T_1 T_2 T_3 \omega^3 - (T_3 + T_1 + T_2)\omega)}{(T_1^2 \omega^2 + 1)(T_2^2 \omega^2 + 1)(T_3^2 \omega^2 + 1)} = \frac{40(0,0003\omega^3 - 6,051\omega)}{(0,0025\omega^2 + 1)(36\omega^2 + 1)(0,000001\omega^2 + 1)}. \end{aligned}$$

Строим АФЧХ при изменении частоты $0 < \omega < \infty$, задаваясь значениями ω определим числовые значения $\operatorname{Re}(\omega)$ и $\operatorname{Im}(\omega)$.

Таблица 15

ω	0	0,15	1,807	5	10	100	∞
$\operatorname{Re}(\omega)$	40	21,946	0,000	-0,278	-0,263	-0,013	0
$\operatorname{Im}(\omega)$	0	-20,057	-3,659	-1,263	-0,535	-0,001	0

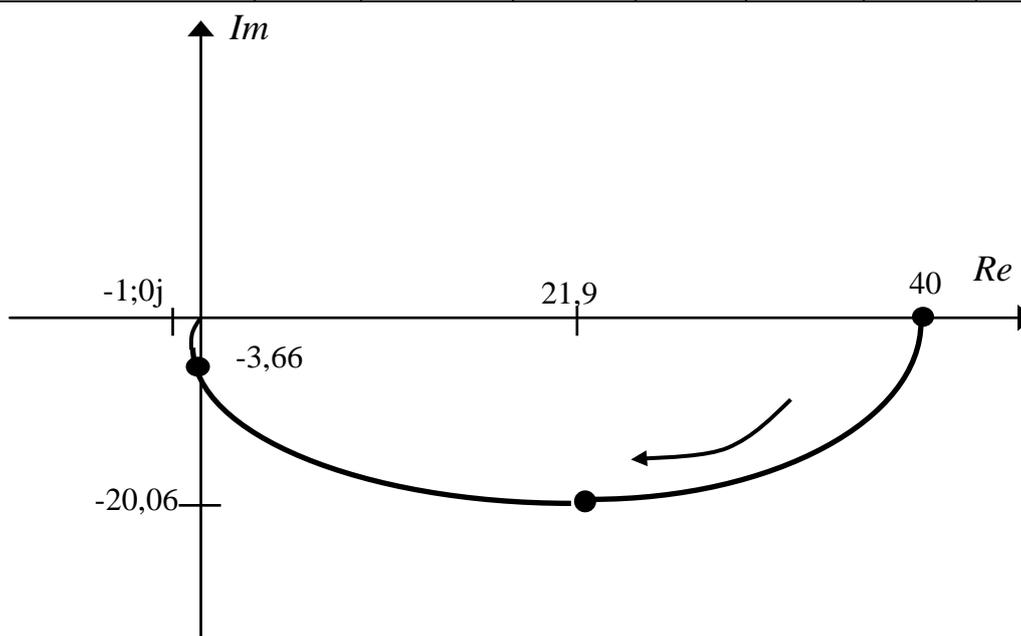


Рис. 44

Так как АФЧХ разомкнутой системы не охватывает критическую точку $(-1;0j)$, то замкнутая система при заданных параметрах устойчива.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

ОСНОВНАЯ

1. Анхимюк, В. Л. Теория автоматического регулирования / В. Л. Анхимюк, О.Ф. Олейко, Н. Н. Михеев. – Минск : Дизайн ПРО, 2000. – 352 с. : ил.
2. Анхимюк, В. Л. Теория автоматического регулирования : учеб. пособие для электротехн. спец. вузов / В. Л. Анхимюк. – 3-е изд., перераб. и доп. – Минск: Выш. школа, 1979. – 352с.: ил.
3. Клюев, А. С. Автоматическое регулирование : учебник для сред. спец. учеб. заведений / А. С. Клюев. – Москва : Высшая школа, 1986. – 351 с. : ил.
4. Автоматизация технологических процессов легкой промышленности : учебник для вузов / Л. Н. Плужников [и др.] ; под ред. Л. Н. Плужникова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Легпромбытиздат, 1993. – 368 с. : ил.
5. Автоматизация типовых технологических процессов и установок : учебник для вузов / А. М. Корытин [и др.]. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Энергоатомиздат, 1988. – 432 с. : ил.
6. Айзенберг, Л. Г. Автоматизация производственных процессов и АСУ в легкой промышленности / Л. Г. Айзенберг, А. Б. Кипнис, Ю. И. Стороженко. – Москва : Легпромбытиздат, 1990. – 304 с. : ил.
7. Орловский, Б. В. Основы автоматизации швейного производства : учебник для сред. спец. учеб. заведений / Б. В. Орловский. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Легпромбытиздат, 1988. – 248 с. : ил.
8. Автоматические системы управления обувных производств / Я. Ф. Чередниченко [и др.]. – Киев : Техника, 1983. – 191 с. : ил.
9. Наумов, В. Н. Автоматика и автоматизация производственных процессов легкой промышленности : учеб. пособие для вузов легкой пром-сти / В. Н. Наумов, Л. И. Пятов. – Москва : Легкая и пищ. пром-сть, 1981. – 255 с. : ил.
10. Средства автоматического контроля параметров технологических процессов текстильной промышленности / В. И. Киселев [и др.] ; под ред. В. И. Киселева. – Москва : Легпромбытиздат, 1990. – 224 с. : ил.
11. Курсовое и дипломное проектирование по автоматизации производственных процессов : учеб. пособие для студентов вузов, обуч. по спец. «Автоматизация и комплексная механизация химико-технол. процессов» / И. К. Петров [и др.] ; под ред. И. К. Петрова. – Москва : Высшая школа, 1986. – 352 с. : ил.
12. Морозов, А. Г. Электротехника, электроника и импульсная техника : учеб. пособие для инж.-экон. спец. вузов / А. Г. Морозов – Москва : Высшая школа, 1987. – 448 с. : ил.
13. Электротехника : учебное пособие для студентов неэлектрических специальностей вузов / М. Ю. Анвельт [и др.] ; под ред. В. С. Пантюшина. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Высшая школа, 1976. – 560 с. : ил.

14. Сборник задач по теоретическим основам электротехники : учеб. пособие для вузов / под ред. Л. А. Бессонова. – 4-е изд., перераб. – Москва : Высш. школа, 2000. – 528 с. : ил.
15. Касаткин, А. С. Основы электротехники : учебное пособие для СПТУ / А. С. Касаткин ; под ред. В. Г. Герасимова и В. В. Коген-Далина. – 3-е изд., стер. – Москва : Высшая школа, 1986. – 288 с.: ил.
16. Шебес, М. Р. Теория линейных электрических цепей в упражнениях и задачах : учебное пособие для студентов электротехнических и радиотехнических специальностей вузов / М. Р. Шебес. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Высшая школа, 1973. – 656 с.: ил.
17. Гусев, В. Г. Электроника: учебное пособие для вузов / В. Г. Гусев, Ю. М. Гусев. – Москва : Высшая школа, 1982. – 495 с.: ил.
18. Забродин, Ю. С. Промышленная электроника : учебник для вузов / Ю. С. Забродин. – Москва : Высшая школа, 1982. - 495 с. : ил.
19. Основы промышленной электроники : учебник для вузов / В. Г. Герасимов [и др.] ; под ред. В. Г. Герасимова. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : Высшая школа, 1986. – 336 с. : ил.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ

20. Автоматизация измерений и контроля электрических и неэлектрических величин : учеб. пособие для вузов / Н. Д. Дуборовой [и др.] ; под ред. д-ра техн. наук А. А. Сазонова. – Москва : Изд-во стандартов, 1987. – 328 с. : ил.
21. Карташова, А. Н. Технологические измерения в текстильной и легкой промышленности : учебник для студ. вузов, обуч. по спец. «Автоматизация и комплексная механизация химико-технол. процессов» / А. Н. Карташова, В. С. Дунин-Барковский. – Москва : Легкая и пищ. пром-сть, 1984. – 312 с.: ил.
22. Иващенко, Н. Н. Автоматическое регулирование. Теория и элементы систем : учебник для вузов / Н. Н. Иващенко. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва : Машиностроение, 1978. – 736 с. : ил.

Приложение А

Комплексные числа

$\dot{Z} = a + jb$ - комплексное число, где a и b – числа (1, 2, -5, 1.2, 3.4);

j – или i - мнимая единица – равна $\sqrt{-1}$ отображена на комплексной плоскости.

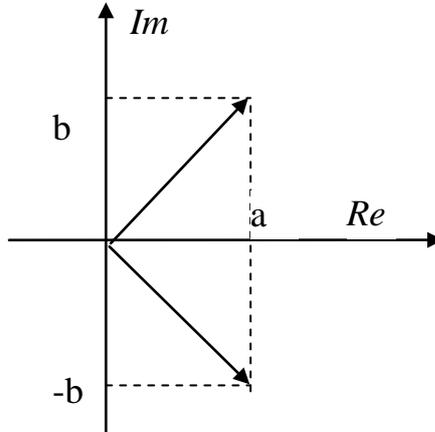


Рис. 45

Действительная часть $a \rightarrow Re$

Мнимая часть $b \rightarrow Im$

Модуль $|\dot{Z}| = \sqrt{a^2 + b^2}$

аргумент $\alpha = \arctg \frac{a}{b}$ угол между Re и Im

Формы записи комплексного числа:

- алгебраическая - $\dot{Z} = a + jb$,
- показательная - $\dot{Z} = |Z| e^{j\alpha}$,
- геометрическая - $\dot{Z} = |Z| \cdot (\cos\alpha + j\sin\alpha)$.

Комплексно сопряженное число \dot{Z}' для числа $\dot{Z} = a + jb$, является число $\dot{Z}' = a - jb$ (изменяется знак мнимой части).

Действия с комплексными числами

$$\dot{Z}_1 = a + jb \text{ и } \dot{Z}_2 = c + jd$$

1) сложение

$$\dot{Z} = \dot{Z}_1 + \dot{Z}_2 = (a + jb) + (c + jd) = a + jb + c + jd = \underbrace{(a+c)}_{Re} + \underbrace{j(b+d)}_{Im}$$

2) вычитание

$$\dot{Z} = \dot{Z}_1 - \dot{Z}_2 = (a + jb) - (c + jd) = a + jb - c - jd = \underbrace{(a-c)}_{Re} + \underbrace{j(b-d)}_{Im}$$

3) умножение

а) двух комплексных чисел в алгебраической форме

$$\begin{aligned}\dot{Z} &= \dot{Z}_1 \cdot \dot{Z}_2 = (a + jb) \cdot (c + jd) = ac + jad + jbc + j^2bd = \\ &= \underbrace{(ac - bd)}_{\text{Re}} + \underbrace{j(ad + bc)}_{\text{Im}}\end{aligned}$$

степени мнимой единицы $j \rightarrow j^n$

$$j^2 = (\sqrt{-1})^2 = -1;$$

$$j^3 = j^2 \cdot j = -j;$$

$$j^4 = j^2 \cdot j^2 = (-1) \cdot (-1) = 1$$

$$j^5 = j^2 \cdot j^2 \cdot j = (-1) \cdot (-1) \cdot j = j$$

б) двух комплексных чисел в показательной форме

$$\dot{Z} = \dot{Z}_1 \cdot \dot{Z}_2 = |Z_1| \cdot \ell^{j\alpha_1} \cdot |Z_2| \cdot \ell^{j\alpha_2} = |Z_1| \cdot |Z_2| \cdot \ell^{j(\alpha_1 + \alpha_2)}$$

4) деление

а) двух комплексных чисел в алгебраической форме

$$\begin{aligned}\dot{Z} &= \frac{\dot{Z}_1}{\dot{Z}_2} = \frac{a + jb}{c + jd} = \frac{(a + jb) \cdot (c - jd)}{(c + jd) \cdot (c - jd)} = \frac{ac + jbc - jad - j^2bd}{c^2 - jcd + jcd - j^2d^2} = \\ &= \frac{ac + bd + j(bc - ad)}{c^2 + d^2} = \frac{ac + bd}{c^2 + d^2} + j \frac{bc - ad}{c^2 + d^2}\end{aligned}$$

б) двух комплексных чисел в показательной форме

$$\dot{Z} = \frac{\dot{Z}_1}{\dot{Z}_2} = \frac{|Z_1| \ell^{j\alpha_1}}{|Z_2| \ell^{j\alpha_2}} = \frac{|Z_1|}{|Z_2|} \ell^{j(\alpha_1 - \alpha_2)}$$

5) деление на Z

$$\begin{aligned}\frac{1}{\dot{Z}_1} &= \frac{1}{a_1 + jb_1} = \frac{1 \cdot (a_1 - jb_1)}{(a_1 + jb_1)(a_1 - jb_1)} = \frac{a_1 - jb_1}{a_1^2 + b_1^2} \\ \frac{1}{\dot{Z}_1 \cdot \dot{Z}_2} &= \frac{1}{(a_1 + jb_1)(a_2 + jb_2)} = \frac{(a_1 - jb_1)(a_2 - jb_2)}{(a_1^2 + b_1^2)(a_2^2 + b_2^2)}\end{aligned}$$

числитель по правилу умножения

$$\frac{(a_1 a_2 - b_1 b_2) - j(a_1 b_2 - a_2 b_1)}{(a_1^2 + b_1^2)(a_2^2 + b_2^2)}$$

Приложение Б

ЛОГИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ

При автоматическом управлении технологическими процессами, рабочими инструментами широко применяют логические элементы (ЛЭ). Они вырабатывают сигнал на выходе в зависимости от определенных сочетаний сигналов на входе и реализует логические функции, которые, как и их аргументы, имеют значения 0 или 1. Символ "0" означает минимальный уровень (сигнала нет), а "1" – максимальный уровень (сигнал есть).

Используются электрические и пневматические логические элементы. Электрические ЛЭ в зависимости от наличия или отсутствия контактов подразделяют на контактные и бесконтактные. Электромеханические реле являются контактными ЛЭ. В качестве бесконтактных ЛЭ используют полупроводниковые (диодные, транзисторные, диодно-транзисторные, транзисторно-транзисторные и т. д.), магнитные, магнитополупроводниковые элементы и т. п. Бесконтактные ЛЭ обладают высокой надежностью, имеют малые габариты, пыле- и влагонепроницаемы.

Логические функции (ЛФ) представляют собой зависимость выходных переменных от набора входных переменных и подчиняются законам алгебры, логики. ЛФ может быть реализована с помощью контактных и бесконтактных ЛЭ. Основными элементарными логическими функциями (ЛФ) являются:

1) ЛФ "НЕ" реализуется логическим элементом-инвертором (рис. 46).

$$Y = \bar{X}$$

Y – выходная переменная, X – входная переменная.

Y = 0, если X = 1; Y = 1, если X = 0

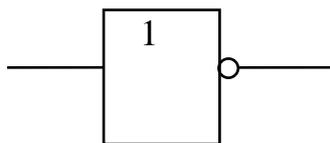


Рис. 46

2) конъюнкция – логическое умножение (ЛФ "И").

$$Y = X_1 \& X_2 = X_1 * X_2 = X_1 \cap X_2$$
$$X * 0 = 0, X * 1 = X, X * X = X, \bar{X} * X = 0.$$

Таблица 16

N	X ₁	X ₂	Y
1	0	0	0
2	0	1	0
3	1	0	0
4	1	1	1

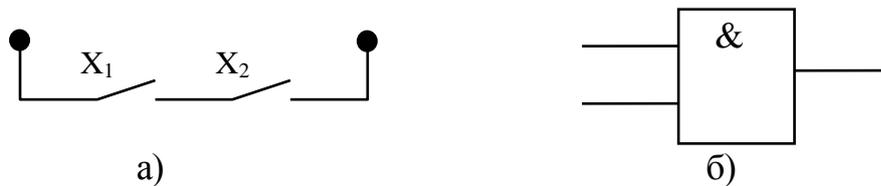


Рис. 47

3) дизъюнкция - логическое сложение (ЛФ "ИЛИ").

$$Y = X_1 + X_2 = X_1 \cup X_2; X + 1 = 1, X + 0 = X, X + \bar{X} = 1, X + X = X$$

Таблица 17

N	X_1	X_2	Y
1	0	0	0
2	0	1	1
3	1	0	1
4	1	1	1

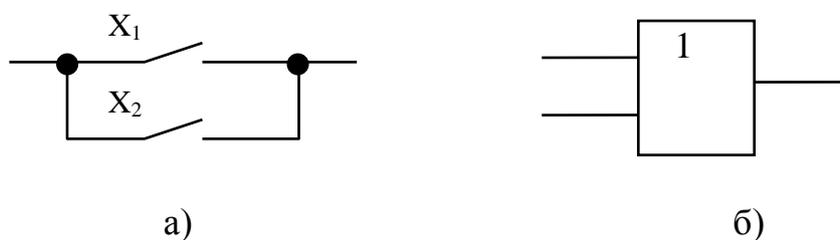


Рис. 48

4) стрелка Пирса, инверсия суммы, логическая функция "ИЛИ-НЕ".

$$Y = \overline{X_1 + X_2} = \overline{X_1 \cup X_2}$$

ЛФ равна 1 тогда, когда оба аргумента равны нулю.

Таблица 18

N	X_1	X_2	Y
1	0	0	1
2	0	1	0
3	1	0	0
4	1	1	0



Рис. 49

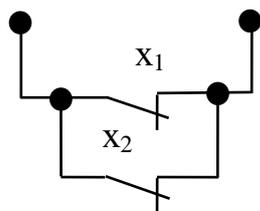
5) штрих Шеффера, инверсия произведения, ЛФ "И-НЕ".

$$Y = \overline{X_1 * X_2} = \overline{X_1 \cap X_2}$$

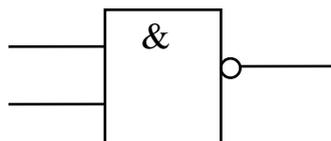
ЛФ равна 0, тогда и только тогда, когда оба аргумента равны единице.

Таблица 19

N	X_1	X_2	Y
1	0	0	1
2	0	1	1
3	1	0	1
4	1	1	0



а)



б)

Рис. 50