

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Степанов Павел Иванович

Должность: Руководитель НТИ НИЯУ МИФИ

Дата подписания: 27.02.2026 08:27:23

Уникальный программный ключ:

8c65c591e26b2d8e460927740cf752622aa3b295

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение

высшего профессионального образования

Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ"

НОВОУРАЛЬСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

УТВЕРЖДЕНА

Ученым советом НТИ НИЯУ МИФИ

Протокол № 1 от 03.02.2025 г.

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

по учебной дисциплине

«Теория автоматического управления»

Направление подготовки 15.03.05 – Конструкторско-технологическое
обеспечение машиностроительных производств

Профиль подготовки Технология машиностроения

Квалификация (степень) выпускника Академический бакалавр

Форма обучения очно-заочная

г. Новоуральск, 2025

СОДЕРЖАНИЕ

ПАСПОРТ ФОНДА ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ	3
1 Модели контролируемых компетенций	3
1.1 Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины	3
2 Программа оценивания контролируемых компетенций	4
2.1 Оценочные средства результатов обучения	4
2.2 Характеристика оценочных средств	5
3 Материалы, необходимые для оценки результатов обучения	7
3.1 Варианты практических работ	7
3.2 Варианты домашних контрольных заданий	21
3.3 Примерные вопросы компьютерных тестов	22
3.4 Перечень вопросов для подготовки к зачету	25
4 Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций	27

ПАСПОРТ ФОНДА ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

по дисциплине

" Теория автоматического управления "

Фонд оценочных средств (ФОС) – является неотъемлемой частью учебно-методического комплекса учебной дисциплины «Теория автоматического управления» и предназначен для контроля и оценки образовательных достижений обучающихся, освоивших программу данной дисциплины.

ФОС включает контрольные материалы для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации в форме зачета, методические материалы, характеризующие показатели и критерии оценивания результатов обучения.

ФОС разработан на основе положений:

- основной образовательной программы по направлению подготовки

15.03.05 – Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств;

- рабочей программы учебной дисциплины «Теория автоматического управления».

1 Модели контролируемых компетенций

1.1 Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

В соответствии с образовательной программой подготовки бакалавров по направлению 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» в результате изучения дисциплины обучающийся должен овладеть следующими результатами освоения ООП:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
УКЕ-1 Способен использовать знания естественнонаучных дисциплин, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в поставленных задачах	З-УКЕ-1 знать: основные законы естественнонаучных дисциплин, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования У-УКЕ-1 уметь: использовать математические методы в технических приложениях, рассчитывать основные числовые характеристики случайных величин, решать основные задачи математической статистики; решать типовые расчетные задачи В-УКЕ-1 владеть: методами математического анализа и моделирования; методами решения задач анализа и расчета характеристик физических систем, основными приемами обработки экспериментальных данных, методами работы с прикладными программными продуктами

Профессиональные компетенции (ПК) в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

Код и наименование профессиональной компетенции;	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
ПК-1 Способен участвовать в разработке технологических процессов изготовления типовых деталей машин	З-ПК-1 Знать: основные принципы проектирования технологических процессов изготовления типовых деталей машин; способы совершенствования технологий на основе эффективного использования материалов, оборудования, инструментов, технологической оснастки, средств диагностики, автоматизации У-ПК-1 Уметь: разрабатывать технологические схемы распространенных технологических операций; выбрать метод получения заготовок деталей машин; производить качественную и количественную оценку технологичности конструкции изделий машиностроения; применять технологическое оборудование, средства технологического оснащения и технологического сопровождения для изготовления деталей заданной формы и качества, средства диагностики и автоматизации В-ПК-1 Владеть: навыками выбора современных конструкционных материалов; оптимальных способов получения из них заготовок; эффективного использования материалов, машиностроительного оборудования, средств технологического оснащения и технологического сопровождения, автоматизации и диагностики; навыками выбора оптимальных технологий

2 Программа оценивания контролируемых компетенций

2.1 Оценочные средства результатов обучения

№ п.п.	Контролируемые модули, разделы (темы) дисциплины	Результаты освоения ООП		Виды аттестации		Наименование оценочного средства
		Код контролируемой компетенции	Индикаторы освоения компетенции	Текущий контроль	Промежуточная аттестация	
1	Введение в теорию управления Классификация систем автоматического управления	УКЕ-1 ПК-1	З-УКЕ-1 У-УКЕ-1 В-УКЕ-1 З-ПК-1 У-ПК-1 В-ПК-1	КТ ДЗ	По итогам текущего контроля	Компьютерное тестирование Домашнее задание
2	Статика систем автоматического управления					

№ п.п.	Контролируемые модули, разделы (темы) дисциплины	Результаты освоения ООП		Виды аттестации		Наименование оценочного средства
		Код контролируемой компетенции	Индикаторы освоения компетенции	Текущий контроль	Промежуточная аттестация	
3	Преобразования структурных схем			ПР1	По итогам текущего контроля	Практическая работа 1
4	Динамика систем автоматического управления			ПР2 ПР3	По итогам текущего контроля По итогам текущего контроля	Практическая работа 2 Практическая работа 3
5	Типовые динамические звенья			ПР4	По итогам текущего контроля	Практическая работа 4
6	Анализ устойчивости			ПР5	По итогам текущего контроля	Практическая работа 5

2.2 Характеристика оценочных средств

Для оценки достижений студента используется рейтинговая система оценок.

Распределение баллов рейтинга по видам деятельности "Теория автоматического управления"

№ п/п	Наименование раздела	Аттестация	Максимальный балл
1	Введение в теорию управления Классификация систем автоматического управления	КТ ДЗ	23
2	Статика систем автоматического управления		
3	Преобразования структурных схем	ПР1	8
4	Динамика систем автоматического управления	ПР2 ПР3	13
5	Типовые динамические звенья	ПР4	8
6	Анализ устойчивости	ПР5	8
	Зачет	Зач.билет	40
ИТОГО			100

Оценка за дисциплину выставляется по фактическому количеству баллов, полученных студентом в течение семестра и на экзамене.

Полученные баллы переводятся в 5-балльную систему и систему ECST по следующей шкале.

Оценка по 5 балльной шкале	Зачет	Сумма баллов по дисциплине	Оценка (ECTS)	Градация
5 (отлично)	Зачтено	90-100	A	Отлично
4 (хорошо)		85-89	B	Очень хорошо
		75-84	C	Хорошо
		70-74	D	Удовлетворительно
65-69				
3 (удовлетворительно)		60-64	E	Посредственно
2 (неудовлетворительно)	Не зачтено	Ниже 60	F	Неудовлетворительно

3 Материалы, необходимые для оценки результатов обучения

3.1 Варианты практических работ

Практическая работа №1-2 Преобразования структурных схем в статике. Определение полной ошибки, передаточных функций системы.

Пример

Пусть задана структура одноконтурной САР в виде, представленном на рисунке 1.1. Определить передаточные функции по управлению, по возмущению, для ошибки по управлению, для ошибки по возмущению.

Исходные данные:

Значения коэффициентов передач и постоянных времени:

$$K_0 = 10$$

$$K_1 = 5$$

$$T_1 = 0,01$$

$$K_2 = 2$$

$$T_2 = 0,1$$

$$W0(p) = K_0 = 10$$

$$W1(p) = \frac{K_1}{T_1 \cdot p + 1} = \frac{5}{0,01 \cdot p + 1}$$

$$W2(p) = \frac{2}{(0,1 \cdot p + 1) \cdot p}$$

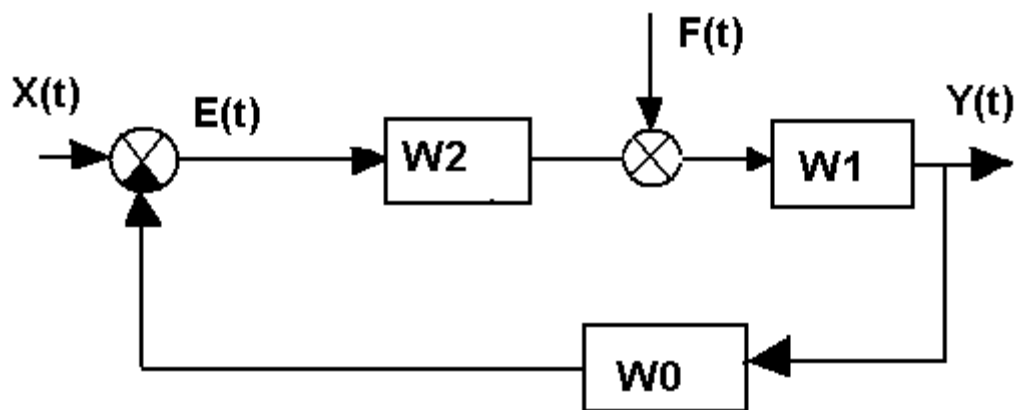


Рисунок 1.1–Структурная схема одноконтурной САР.

Решение:

- 1) Определение передаточной функции разомкнутой системы $W_p(p)$.
Разомкнем исходную систему в точках А и Б, как указано на рисунке 1.2.

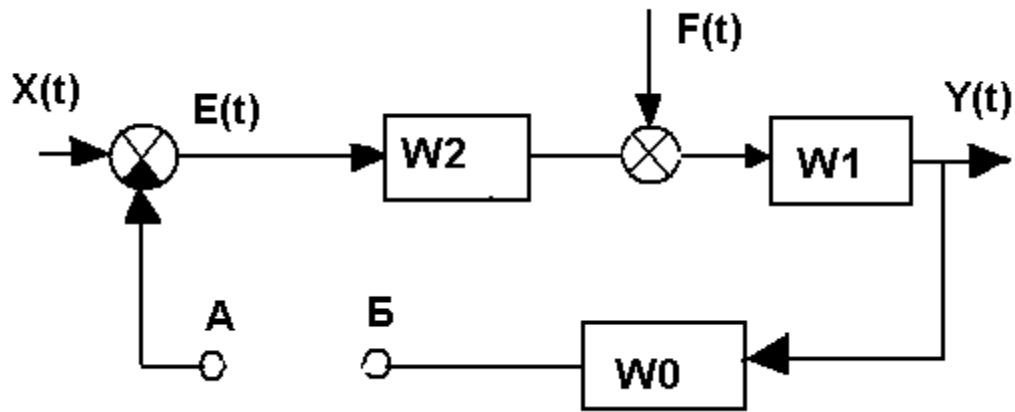


Рисунок 1.2–Структурная схема разомкнутой одноконтурной САР. Передаточная функция разомкнутой системы $W_p(p)$ определяется выражением:

$$W_p(p) = W_0(p) \cdot W_1(p) \cdot W_2(p) = 10 \cdot \frac{5}{0,01 \cdot p + 1} \cdot \frac{2}{(0,1 \cdot p + 1) \cdot p} =$$

$$= \frac{100}{(0,001 \cdot p^2 + 0,11 \cdot p + 1) \cdot p}$$

2) Определение передаточной функции по управлению $W_y(p)$.

Для определения передаточной функции по управлению приравняем все возмущения к нулю, и систему трансформируем таким образом, чтобы $X(t)$ был входным сигналом, $Y(t)$ – выходным (рисунок 1.3).

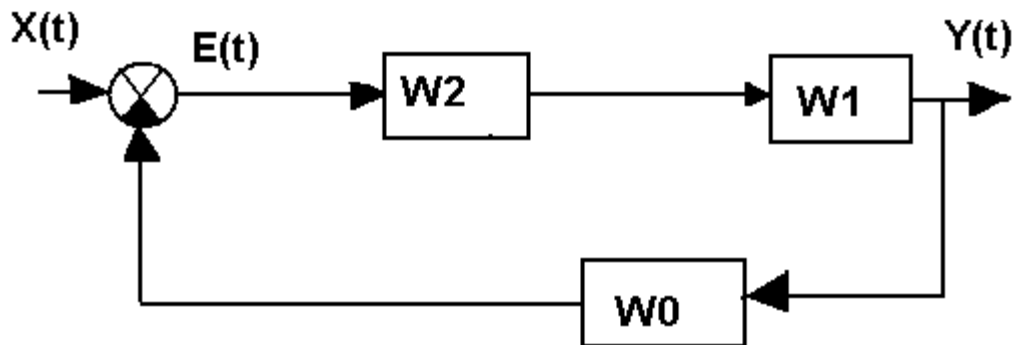


Рисунок 1.3–Структурная схема одноконтурной САР для определения передаточной функции по управлению.

Передаточная функция замкнутой САР по управлению $W_y(p)$ имеет следующий вид:

$$W_y(p) = \frac{Y(p)}{X(p)} = \frac{W_1(p) \cdot W_2(p)}{1 + W_0(p) \cdot W_1(p) \cdot W_2(p)} =$$

$$= \frac{\frac{5}{(0,01 \cdot p + 1)} \cdot \frac{2}{(0,1 \cdot p + 1) \cdot p}}{1 + 10 \cdot \frac{5}{(0,01 \cdot p + 1)} \cdot \frac{2}{(0,1 \cdot p + 1) \cdot p}} = \frac{10}{(0,01 \cdot p + 1) \cdot (0,1 \cdot p + 1) \cdot p + 100} =$$

$$= \frac{10}{(0,001 \cdot p^2 + 0,11 \cdot p + 1) \cdot p + 100} = \frac{10}{0,001 \cdot p^3 + 0,11 \cdot p^2 + p + 100}$$

4) Определение передаточной функции по возмущению $W_F(p)$.

Для определения передаточной функции по возмущению приравняем все еуправления к нулю, и систему трансформируем таким образом, чтобы $F(t)$ был входным сигналом, $Y(t)$ – выходным (рисунок 1.4).

Передаточная функция замкнутой САР по возмущению определяется выражением:

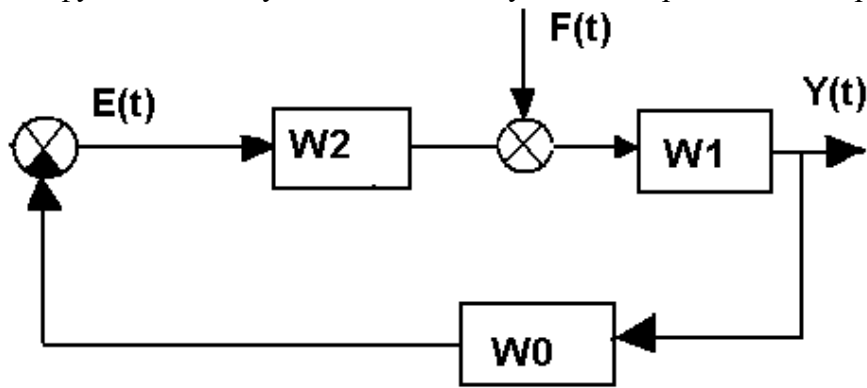


Рисунок 1.4—Структурная схема одноконтурной САР для определения передаточной функции по возмущению.

$$\begin{aligned}
 W_F(p) &= \frac{Y(p)}{F(p)} = \frac{W_1(p)}{1 + W_0(p) \cdot W_1(p) \cdot W_2(p)} = \\
 &= \frac{5}{1 + 10 \cdot \frac{5}{(0,01 \cdot p + 1)} \cdot \frac{2}{(0,1 \cdot p + 1) \cdot p}} = \frac{5}{(0,01 \cdot p + 1) + \frac{100}{(0,1 \cdot p + 1) \cdot p}} = \\
 &= \frac{5 \cdot (0,1 \cdot p + 1) \cdot p}{(0,01 \cdot p + 1) \cdot (0,1 \cdot p + 1) \cdot p + 100} = \frac{5 \cdot (0,1 \cdot p + 1) \cdot p}{0,001 \cdot p^3 + 0,11 \cdot p^2 + p + 100}
 \end{aligned}$$

5) Определение передаточной функции для ошибки по управлению $W_{XE}(p)$.

Для определения передаточной функции для ошибки по управлению приравняем все возмущения к нулю, и систему трансформируем таким образом, чтобы $X(t)$ был входным сигналом, $E(t)$ – выходным (рисунок 1.5).

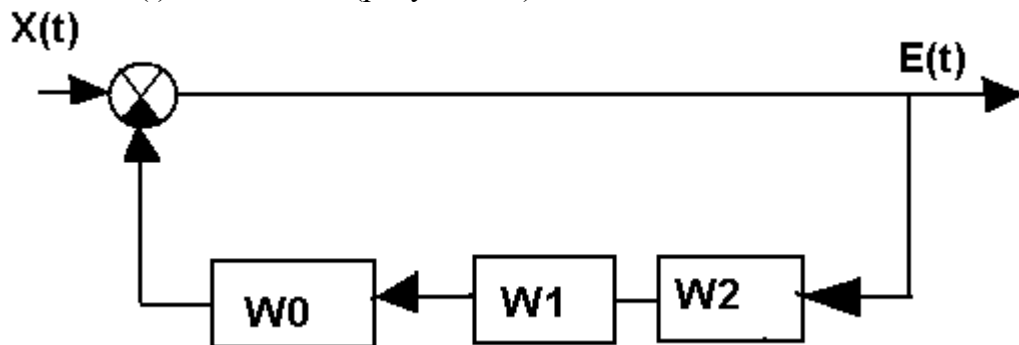


Рисунок 1.5—Структурная схема одноконтурной САР для определения передаточной функции ошибки по управлению.

Передаточная функция замкнутой САР для ошибки по управлению имеет следующий вид.

$$\begin{aligned}
 W_{EX}(p) &= \frac{E(p)}{X(p)} = \frac{1}{1 + W_0(p) \cdot W_1(p) \cdot W_2(p)} = \\
 &= \frac{1}{1 + 10 \cdot \frac{5}{(0,01 \cdot p + 1)} \cdot \frac{2}{(0,1 \cdot p + 1) \cdot p}} = \frac{(0,01 \cdot p + 1) \cdot (0,1 \cdot p + 1) \cdot p}{(0,01 \cdot p + 1) \cdot (0,1 \cdot p + 1) \cdot p + 100} = \\
 &= \frac{(0,01 \cdot p + 1) \cdot (0,1 \cdot p + 1) \cdot p}{(0,01 \cdot p + 1) \cdot (0,1 \cdot p + 1) \cdot p + 100} = \frac{(0,01 \cdot p + 1) \cdot (0,1 \cdot p + 1) \cdot p}{0,001 \cdot p^3 + 0,11 \cdot p^2 + p + 100}
 \end{aligned}$$

6) Определение передаточной функции для ошибки по возмущению $W_{FE}(p)$.

Для определения передаточной функции для ошибки по возмущению приравняем все управления к нулю, и систему трансформируем таким образом, чтобы $F(t)$ был входным сигналом, $E(t)$ – выходным (рисунок 1.6).

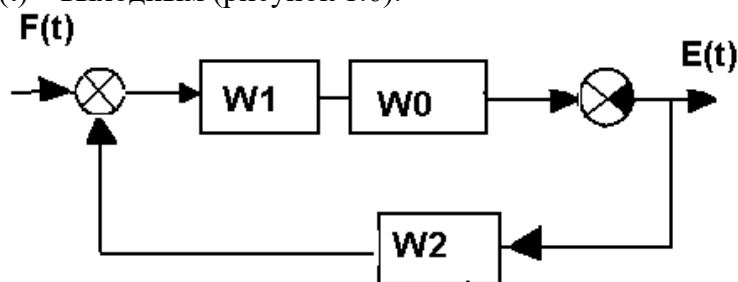


Рисунок 1.6–Структурная схема одноконтурной САР для определения передаточной функции ошибки по возмущению.

Передаточная функция замкнутой САР для ошибки по возмущению имеет следующий вид.

$$W_{EF}(p) = \frac{E(p)}{F(p)} = \frac{W_0(p) \cdot W_1(p) \cdot (-1)}{1 + W_0(p) \cdot W_1(p) \cdot W_2(p)} =$$

$$= \frac{-10 \cdot \frac{5}{(0,01 \cdot p + 1)}}{1 + 10 \cdot \frac{5}{(0,01 \cdot p + 1)} \cdot \frac{2}{(0,1 \cdot p + 1)} \cdot p} = \frac{-5 \cdot p \cdot (p + 10)}{0,001 \cdot p^3 + 0,11 \cdot p^2 + p + 100}$$

Пусть задана структура одноконтурной САР. Определить передаточные функции по управлению, по возмущению, для ошибки по управлению, для ошибки по возмущению. Типы звеньев указаны в таблице 1.1, значения коэффициентов усиления и постоянных времени и номер рисунка со структурной схемой указаны в таблице 1.2

Таблица 1.1

№ варианта	Передаточные функции								
	$k_1(T_1 p + 1)$	$\frac{k_2}{T_2 p + 1}$	$\frac{k_3}{T_3^2 p^2 + 2T_3 r \cdot p + 1}$	$k_4(T_4^2 p^2 + 2T_4 r \cdot p + 1)$	$\frac{k_5}{p}$	$k_6 p$	k_7	k_8	k_9
1	W ₁ (p)	W ₂ (p)	W ₃ (p)	W ₄ (p)	W ₅ (p)	W ₆ (p)	W ₇ (p)	W ₈ (p)	W ₉ (p)
2	W ₈ (p)	W ₁ (p)	W ₂ (p)	W ₃ (p)	W ₄ (p)	W ₅ (p)	W ₆ (p)	W ₇ (p)	W ₉ (p)
3	W ₇ (p)	W ₈ (p)	W ₁ (p)	W ₂ (p)	W ₃ (p)	W ₄ (p)	W ₅ (p)	W ₆ (p)	W ₉ (p)
4	W ₆ (p)	W ₇ (p)	W ₈ (p)	W ₁ (p)	W ₂ (p)	W ₃ (p)	W ₄ (p)	W ₅ (p)	W ₉ (p)
5	W ₅ (p)	W ₆ (p)	W ₇ (p)	W ₈ (p)	W ₁ (p)	W ₂ (p)	W ₃ (p)	W ₄ (p)	W ₉ (p)
6	W ₄ (p)	W ₅ (p)	W ₆ (p)	W ₇ (p)	W ₈ (p)	W ₁ (p)	W ₂ (p)	W ₃ (p)	W ₉ (p)
7	W ₃ (p)	W ₄ (p)	W ₅ (p)	W ₆ (p)	W ₇ (p)	W ₈ (p)	W ₁ (p)	W ₂ (p)	W ₉ (p)
8	W ₂ (p)	W ₃ (p)	W ₄ (p)	W ₅ (p)	W ₆ (p)	W ₇ (p)	W ₈ (p)	W ₁ (p)	W ₉ (p)
9	W ₈ (p)	W ₁ (p)	W ₂ (p)	W ₃ (p)	W ₄ (p)	W ₅ (p)	W ₆ (p)	W ₇ (p)	W ₉ (p)
10	W ₇ (p)	W ₈ (p)	W ₁ (p)	W ₂ (p)	W ₃ (p)	W ₄ (p)	W ₅ (p)	W ₆ (p)	W ₉ (p)
11	W ₆ (p)	W ₇ (p)	W ₈ (p)	W ₁ (p)	W ₂ (p)	W ₃ (p)	W ₄ (p)	W ₅ (p)	W ₉ (p)
12	W ₅ (p)	W ₆ (p)	W ₇ (p)	W ₈ (p)	W ₁ (p)	W ₂ (p)	W ₃ (p)	W ₄ (p)	W ₉ (p)
13	W ₄ (p)	W ₅ (p)	W ₆ (p)	W ₇ (p)	W ₈ (p)	W ₁ (p)	W ₂ (p)	W ₃ (p)	W ₉ (p)
14	W ₃ (p)	W ₄ (p)	W ₅ (p)	W ₆ (p)	W ₇ (p)	W ₈ (p)	W ₁ (p)	W ₂ (p)	W ₉ (p)
15	W ₂ (p)	W ₃ (p)	W ₄ (p)	W ₅ (p)	W ₆ (p)	W ₇ (p)	W ₈ (p)	W ₁ (p)	W ₉ (p)
16	W ₁ (p)	W ₂ (p)	W ₃ (p)	W ₄ (p)	W ₅ (p)	W ₆ (p)	W ₇ (p)	W ₈ (p)	W ₉ (p)
17	W ₃ (p)	W ₁ (p)	W ₂ (p)	W ₄ (p)	W ₅ (p)	W ₆ (p)	W ₇ (p)	W ₈ (p)	W ₉ (p)
18	W ₂ (p)	W ₈ (p)	W ₁ (p)	W ₃ (p)	W ₄ (p)	W ₅ (p)	W ₆ (p)	W ₇ (p)	W ₉ (p)

Таблица 1.2

вариант	рисунок	T ₁	K ₁	T ₂	K ₂	T ₃	K ₃	T ₄	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇	K ₈	K ₉
1	рис.1.1.1	0,01	5	0,02	10	0,001	2	0,0003	6	2	3,8	3,3	8	5
2	рис.1.1.2	0,003	8	0,04	8	0,0015	2,5	0,00033	5,5	2,1	4,3	2	7,8	3
3	рис.1.1.3	0,005	11	0,06	6	0,002	3	0,00036	5	2,2	6	2,6	7,6	4
4	рис.1.1.4	0,007	14	0,08	4	0,0025	3,5	0,00039	4,5	2,3	7,7	3,2	7,4	6
5	рис.1.1.5	0,009	17	0,1	2	0,003	4	0,00042	4	2,4	9,4	3,8	7,2	8
6	рис.1.1.6	0,011	20	0,12	1	0,0035	4,5	0,00045	3,5	2,5	11,1	4,4	7	7
7	рис.1.1.1	0,013	23	0,14	3	0,004	5	0,00048	3	2,6	12,8	5	6,8	3
8	рис.1.1.2	0,015	26	0,16	6	0,0045	5,5	0,00051	2,5	2,7	14,5	5,6	6,6	2
9	рис.1.1.3	0,017	29	0,18	9	0,005	6	0,00054	2	2,8	16,2	6,2	6,4	5
10	рис.1.1.4	0,019	32	0,2	12	0,0055	6,5	0,00057	1,5	2,9	17,9	6,8	6,2	6
11	рис.1.1.5	0,021	35	0,22	15	0,006	7	0,0006	3	3	19,6	7,4	6	2
12	рис.1.1.6	0,023	38	0,24	18	0,0065	7,5	0,00063	4,5	3,1	21,3	8	5,8	10
13	рис.1.1.1	0,025	41	0,26	21	0,007	8	0,00066	6	3,2	23	8,6	5,6	8
14	рис.1.1.2	0,027	44	0,28	24	0,0075	8,5	0,00069	7,5	3,3	24,7	9,2	5,4	5
15	рис.1.1.3	0,029	47	0,3	27	0,008	9	0,00072	9	3,4	26,4	9,8	5,2	4
16	рис.1.1.4	0,031	50	0,32	30	0,0085	9,5	0,00075	10,5	3,5	28,1	10,4	5	3
17	рис.1.1.5	0,033	53	0,34	33	0,009	10	0,00078	12	3,6	29,8	11	4,8	2
18	рис.1.1.6	0,035	56	0,36	36	0,0095	10,5	0,00081	13,5	3,7	31,5	11,6	4,6	10

Для всех вариантов $r = 1$

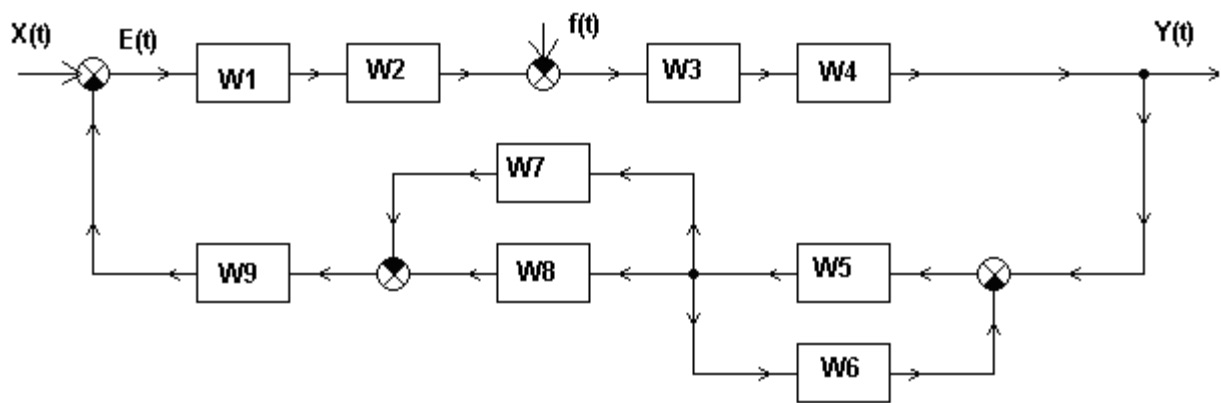


Рисунок 1.1.1.

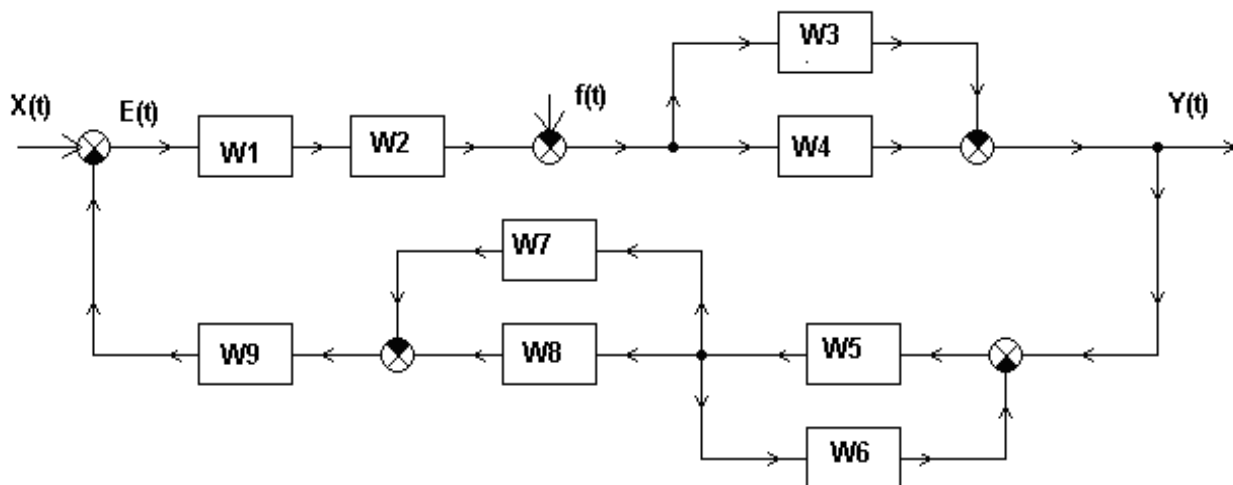


Рисунок 1.1.2.

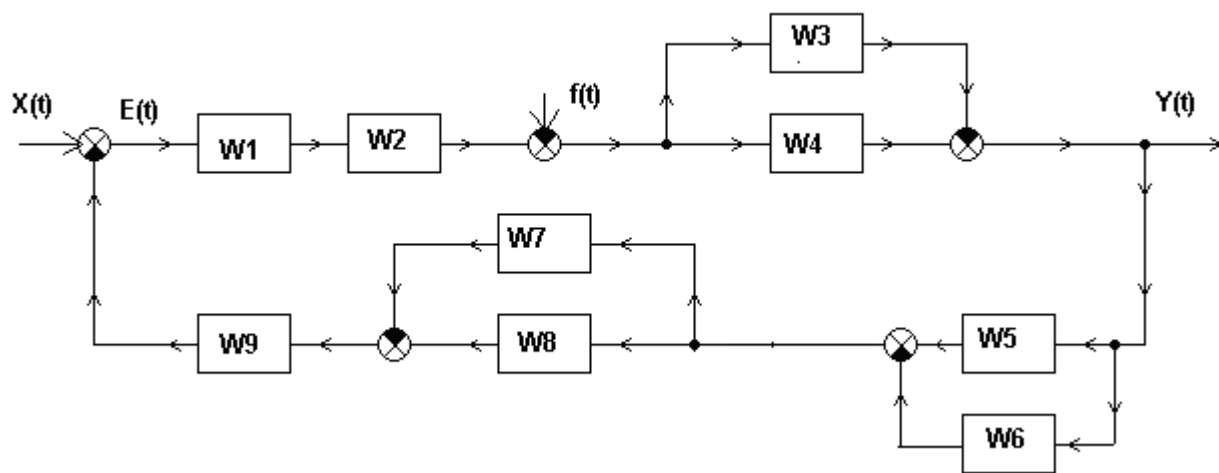


Рисунок 1.1.3.

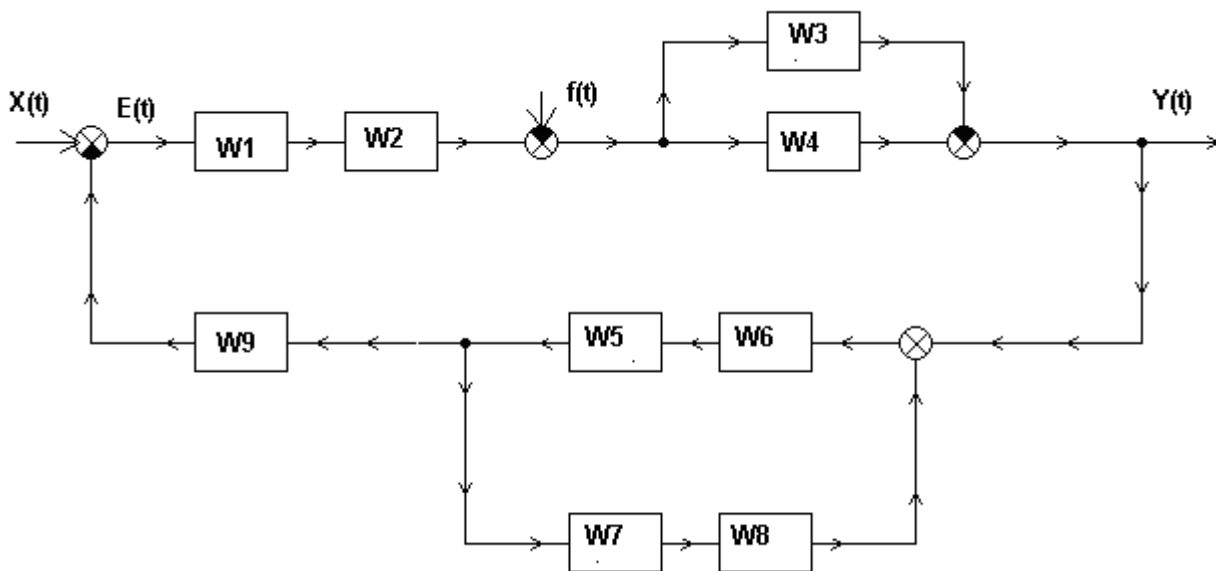


Рисунок 1.1.4.

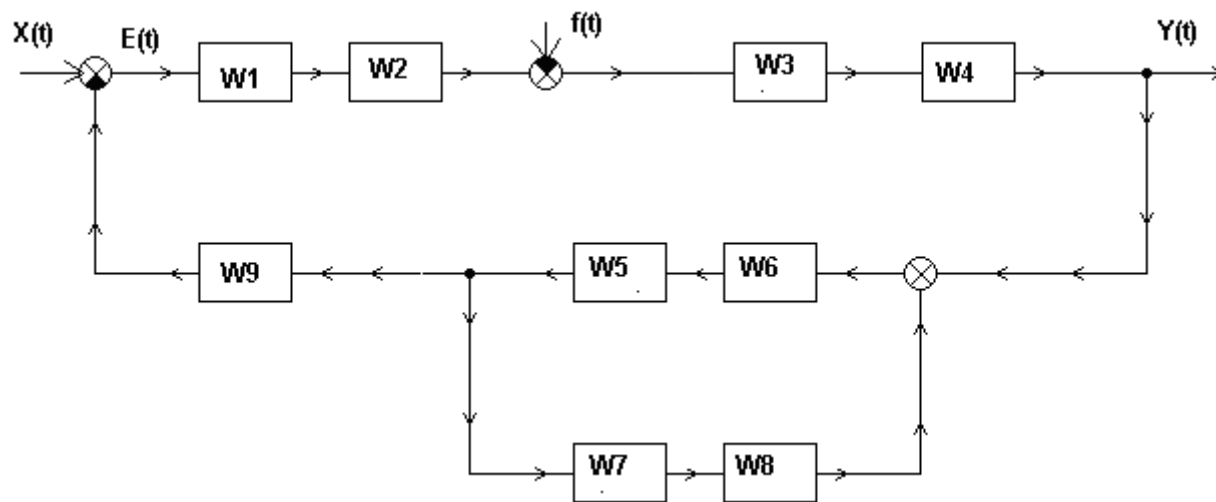


Рисунок 1.1.5.

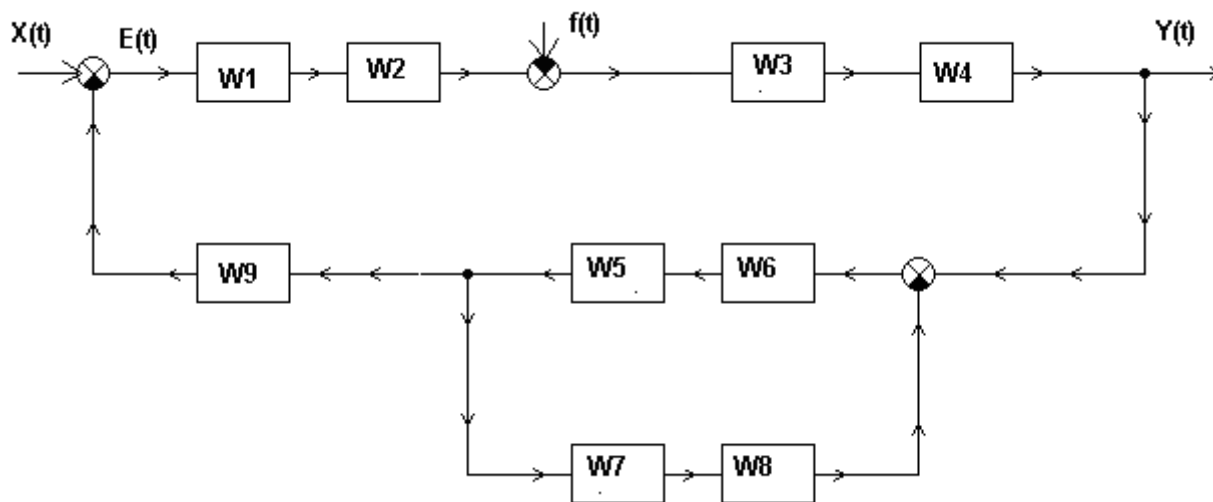


Рисунок 1.1.6.

Практическая работа №4 Построение частотных характеристик по заданной передаточной функции.

Построить Частотные характеристики по заранее известной передаточной функции. Функция выбирается в таблице 4 в соответствии с вариантом.

Для построения ЛАЧХ и ЛФЧХ рекомендуется следующий порядок:

- 1) раскладывают сложную передаточную функцию на множители, являющиеся передаточными функциями типовых динамических звеньев (порядок полиномов числителя и знаменателя не выше второго);
- 2) вычисляют сопрягающие частоты отдельных звеньев и строят асимптотические ЛАЧХ и ЛФЧХ каждого элементарного звена;
- 3) путем графического суммирования ЛАЧХ и ЛФЧХ звеньев строят результирующие ЧХ.

Пример

Построить частотные характеристики по заранее известной передаточной функции.

$$W(p) = \frac{100 \cdot (p+1)}{p \cdot (0,1 \cdot p+1)} = W1 \cdot W2 \cdot W3 \cdot W4$$

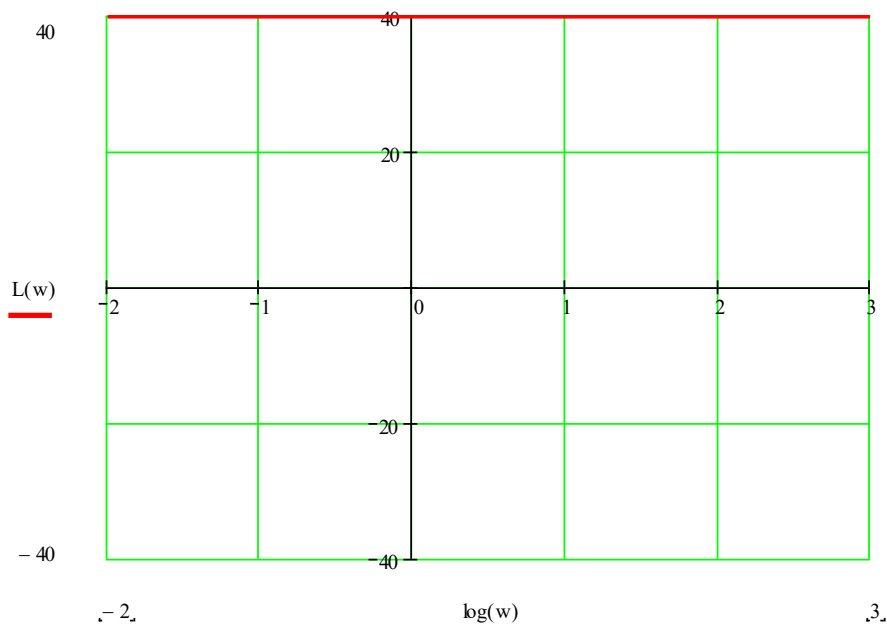
Решение:

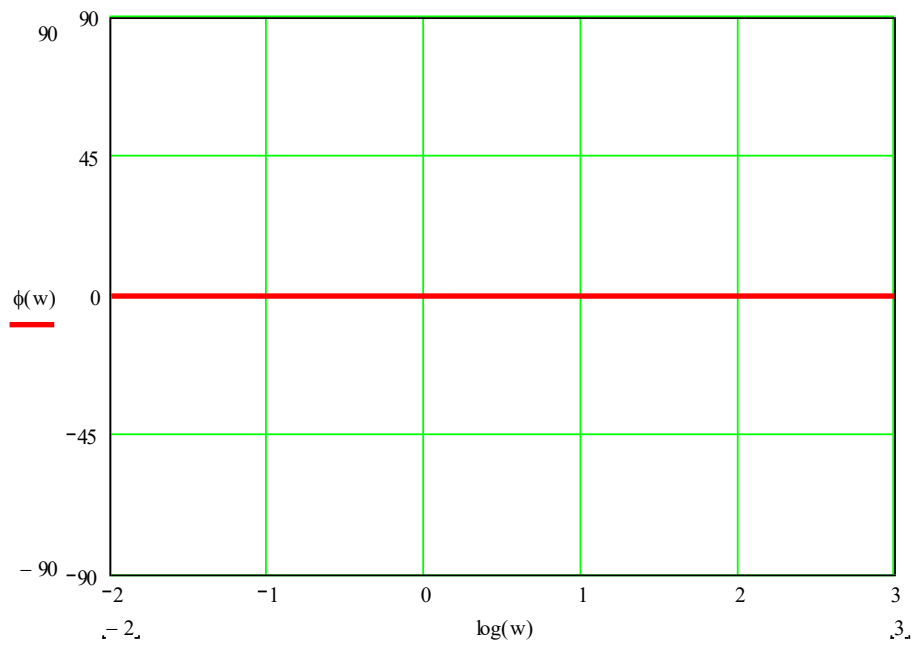
Раскладываем данную передаточную функцию на передаточные функции элементарных звеньев:

- 1) Безынерционное звено.

$$W1 = K1 = 100$$

$$L(\omega) = 20 \cdot \lg 100 = 40$$





2) Форсирующее звено.

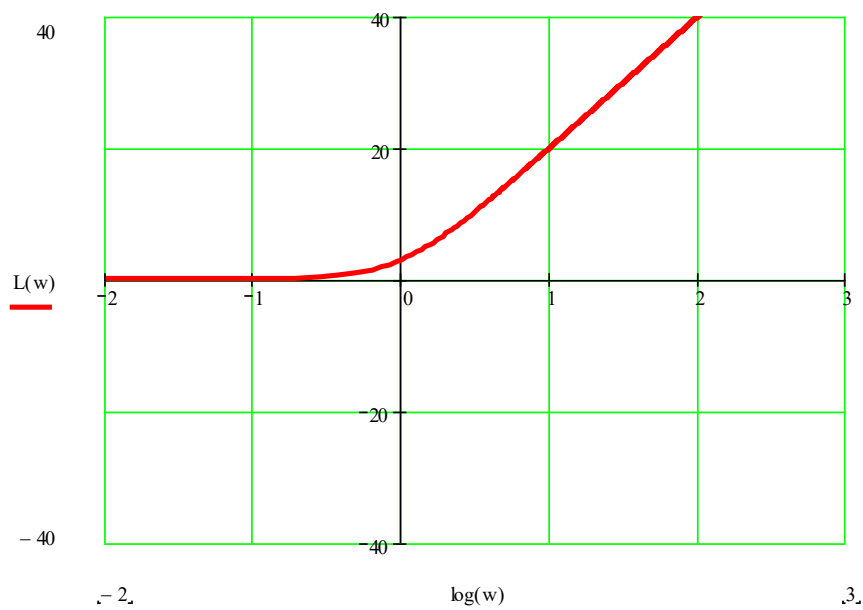
$$W_2 = p + 1$$

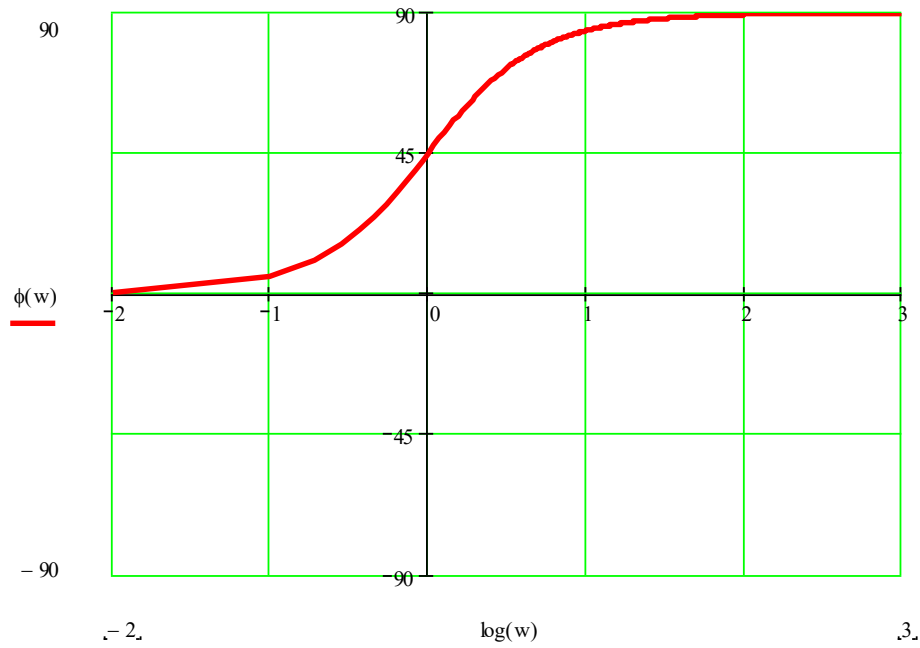
Параметры звена:

$$K_2 = 1$$

$$T_2 = 1$$

$$\omega_2 = \frac{1}{T_2} = 1$$

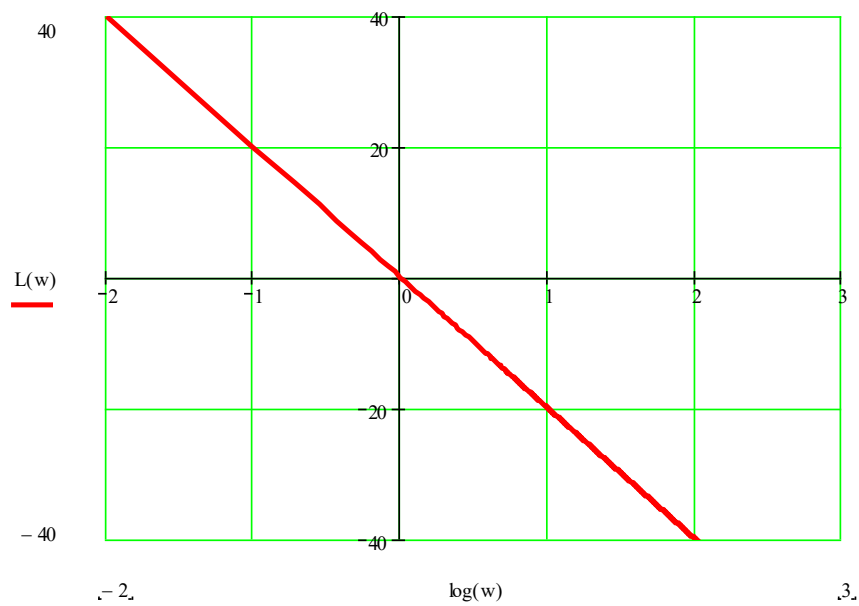


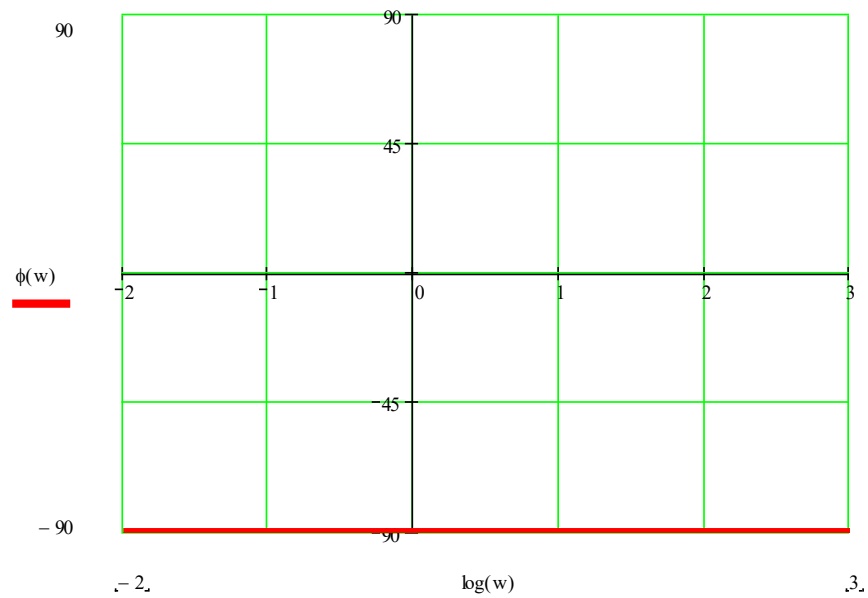


3) Интегрирующее звено.

$$W_3 = \frac{1}{p}$$

ЛАЧХ проходит через точку $L(\omega) = 0$ при частоте $\omega = 1$.





4) Аperiodическое звено.

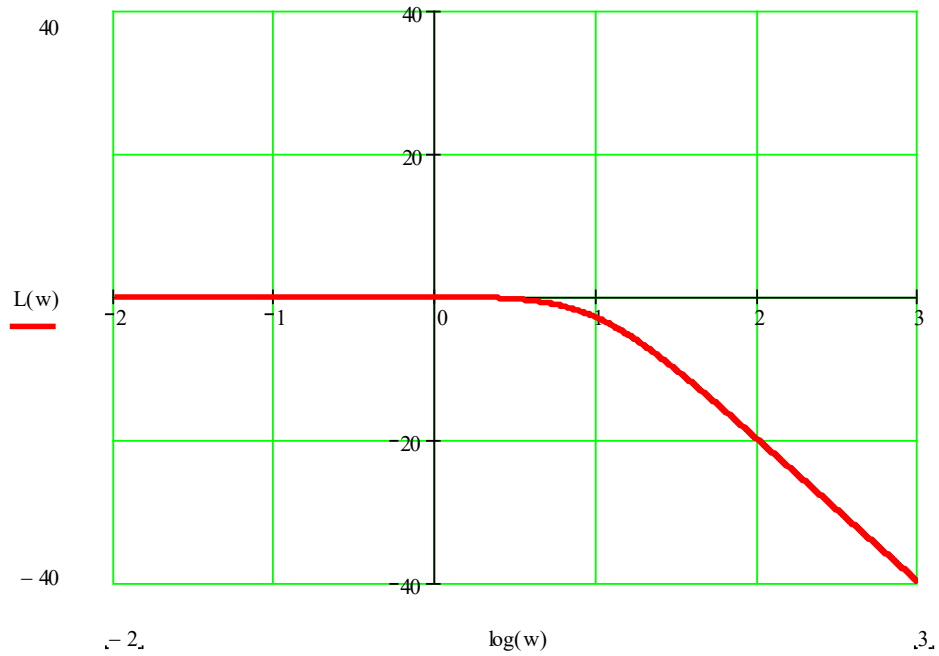
$$W_4 = \frac{1}{0,1 \cdot p + 1}$$

Параметры звена:

$$K_4 = 1$$

$$T_4 = 0,1$$

$$\omega_4 = \frac{1}{T_4} = 10$$



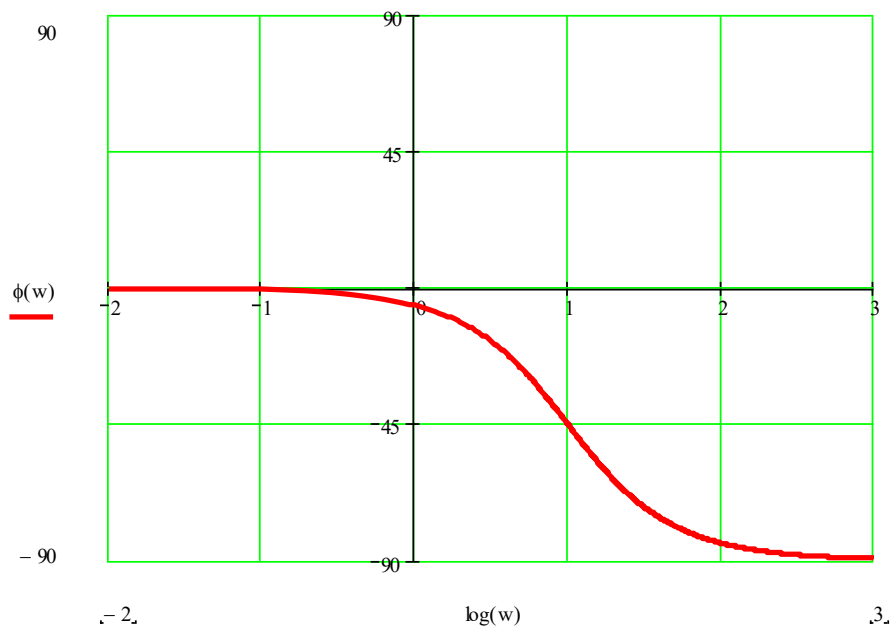


Таблица 4

№ варианта	Передаточная функция	№ варианта	Передаточная функция
1	$\frac{10 \cdot (p+1)}{(10 \cdot p+1) \cdot (0,01 \cdot p+1)}$	10	$\frac{100 \cdot p}{(p+1) \cdot (0,01 \cdot p+1)}$
2	$\frac{10 \cdot (p^2 + 2 \cdot p + 1)}{(100 \cdot p^2 + 20 \cdot p + 1) \cdot (0,1 \cdot p + 1)}$	11	$\frac{10 \cdot p}{(p^2 + 2 \cdot p + 1) \cdot (0,1 \cdot p + 1)}$
3	$\frac{100 \cdot (10 \cdot p + 1)}{(100 \cdot p + 1) \cdot (0,01 \cdot p + 1)}$	12	$\frac{100 \cdot (p+1)}{(10 \cdot p+1) \cdot (0,01 \cdot p+1)}$
4	$\frac{10 \cdot (10 \cdot p + 1)}{(p+1) \cdot (0,01 \cdot p + 1)}$	13	$\frac{10 \cdot (10 \cdot p + 1)}{(p+1) \cdot (0,01 \cdot p + 1)}$
5	$\frac{10 \cdot (p^2 + 2 \cdot p + 1)}{(0,01 \cdot p^2 + 0,2 \cdot p + 1) \cdot (0,1 \cdot p + 1)}$	14	$\frac{10 \cdot (p^2 + 2 \cdot p + 1)}{(0,01 \cdot p^2 + 0,2 \cdot p + 1) \cdot (p+1)}$
6	$\frac{100 \cdot p}{(10 \cdot p+1) \cdot (0,01 \cdot p+1)}$	15	$\frac{10 \cdot (p+1)}{(10 \cdot p+1) \cdot (0,01 \cdot p+1)}$
7	$\frac{10}{(0,01 \cdot p^2 + 0,2 \cdot p + 1) \cdot (0,1 \cdot p + 1) \cdot p}$	16	$\frac{10}{(0,01 \cdot p^2 + 0,2 \cdot p + 1) \cdot (0,01 \cdot p + 1) \cdot p}$
8	$\frac{10 \cdot (p+1)}{(10 \cdot p+1) \cdot (0,01 \cdot p+1)}$	17	$\frac{10 \cdot (p+1)}{(10 \cdot p+1) \cdot (0,01 \cdot p+1)}$
9	$\frac{10 \cdot p}{(100 \cdot p^2 + 20 \cdot p + 1) \cdot (0,1 \cdot p + 1)}$	18	$\frac{10 \cdot p}{(100 \cdot p^2 + 20 \cdot p + 1) \cdot (0,01 \cdot p + 1)}$

Практическая работа №5 Оценка устойчивости систем по алгебраическим и частотным критериям, определение запасов устойчивости и границ устойчивости.

Пример

С помощью критериев Гурвица, Рауса, Михайлова определить устойчивость системы, если характеристическое уравнение имеет вид:

$$D(p) = 100p^4 + 20p^3 + 5p^2 + 8p + 9$$

Решение:

1) Выпишем коэффициенты характеристического уравнения:

$$a_0 = 100$$

$$a_1 = 20$$

$$a_2 = 5$$

$$a_3 = 8$$

$$a_4 = 9$$

2) Определим устойчивость системы по критерию Гурвица, для этого необходимо рассчитать определители Гурвица. В случае устойчивой системы все определители должны быть положительными.

$$\Delta_4 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & 0 & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 & 0 \\ 0 & a_0 & a_2 & a_4 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 20 & 8 & 0 & 0 \\ 100 & 5 & 9 & 0 \\ 0 & 20 & 8 & 0 \\ 0 & 100 & 5 & 9 \end{vmatrix} = 9 \cdot \begin{vmatrix} 20 & 8 & 0 \\ 100 & 5 & 9 \\ 0 & 20 & 8 \end{vmatrix} = 9(20 \cdot 5 \cdot 8 + 0 \cdot 8 \cdot 9 + 0 \cdot 100 \cdot 20) -$$

$$-9(0 \cdot 5 \cdot 0 + 20 \cdot 20 \cdot 9 + 8 \cdot 8 \cdot 10) = 7200 - 38160 = -30960$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} 20 & 8 & 0 \\ 100 & 5 & 9 \\ 0 & 20 & 8 \end{vmatrix} = (20 \cdot 5 \cdot 8 + 0 \cdot 8 \cdot 9 + 0 \cdot 100 \cdot 20) - (0 \cdot 5 \cdot 0 + 20 \cdot 20 \cdot 9 + 8 \cdot 8 \cdot 10) = 800 - 4240 = -3440$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 20 & 8 \\ 100 & 5 \end{vmatrix} = 100 - 800 = -700$$

Т.к. все определители Гурвица меньше нуля, значит система не устойчива.

3) Определим устойчивость системы по критерию Рауса, для этого необходимо составить и рассчитать таблицу Рауса.

$$c_{11} = 100;$$

$$c_{21} = 5;$$

$$c_{31} = 9;$$

$$c_{12} = 20;$$

$$c_{22} = 8;$$

$$c_{32} = 0;$$

$$c_{13} = \frac{20 \cdot 5 - 100 \cdot 8}{20} = -35;$$

$$c_{23} = \frac{20 \cdot 9 - 100 \cdot 0}{20} = 9; \quad c_{33} = 0;$$

$$c_{14} = \frac{8 \cdot (-35) - 20 \cdot 9}{-35} = 13,14; \quad c_{24} = 0;$$

$$c_{34} = 0;$$

$$c_{15} = \frac{13,14 \cdot 9 - (-35) \cdot 0}{13,14} = 9; \quad c_{25} = 0;$$

$$c_{35} = 0$$

Поскольку не все коэффициенты 1-го столбца положительны, то система по критерию Рауса не устойчива.

4) Определим устойчивость системы по критерию Михайлова. Для этого в характеристическом уравнении заменим оператор p на комплексную переменную $j\omega$.

$$D(\omega) = 100(j \cdot \omega)^4 + 20(j \cdot \omega)^3 + 5(j \cdot \omega)^2 + 8(j \cdot \omega) + 9 = 100 \cdot \omega^4 - j20 \cdot \omega^3 - 5 \cdot \omega^2 + j8 \cdot \omega + 9 = \\ = (100 \cdot \omega^4 - 5 \cdot \omega^2 + 9) + j(-20 \cdot \omega^3 + 8 \cdot \omega) = \operatorname{Re}(D(\omega)) + j \operatorname{Im}(D(\omega))$$

На рисунке 5.1 изображен годограф Михайлова, по которому можно судить об устойчивости замкнутой системы. Поскольку чередование квадрантов нарушено, то система не устойчива по критерию Михайлова.

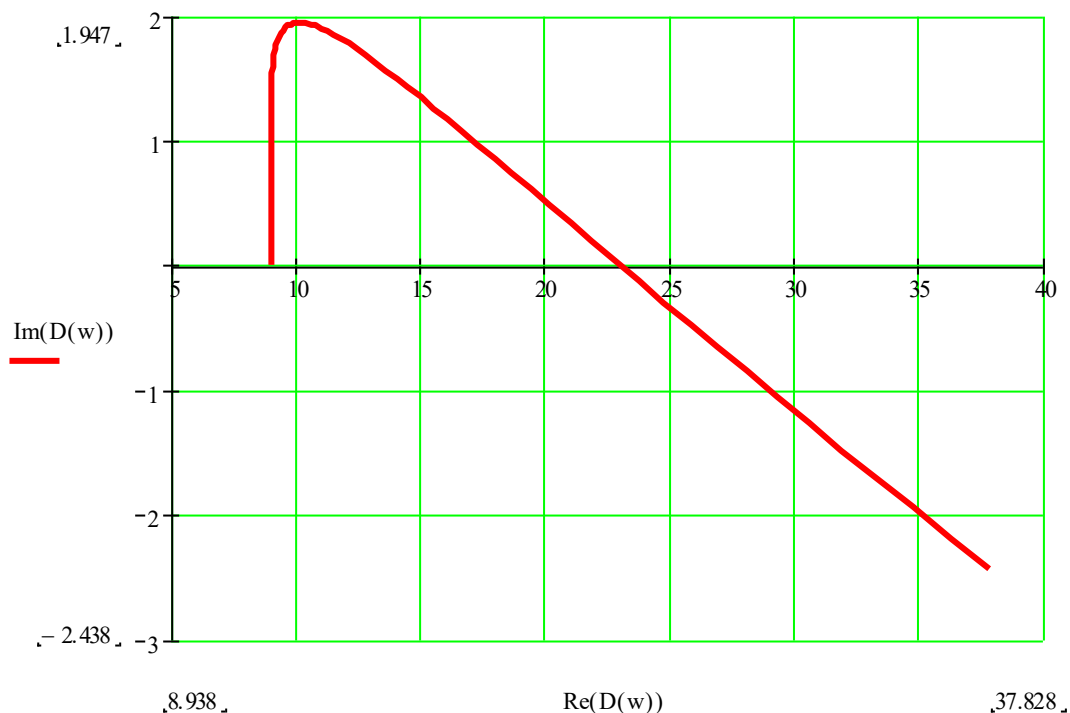


Рисунок 5.1– Годограф Михайлова для примера 3.

С помощью критерия Гурвица определить устойчивость системы, если характеристическое уравнение имеет вид:

$$D(p) = a_0 p^4 + a_1 p^3 + a_2 p^2 + a_3 p + a_4, \text{ коэффициенты уравнения приведены в таблице 5.1}$$

Таблица 5.1

№	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4
1	0,05	0,08	1	4,5	2,3
2	0,1	3,2	5,4	8,7	0,15
3	0,7	1,1	2,2	6,7	1,9
4	0,9	0,5	3,3	4,2	9,9
5	2	4,3	1	0,6	7,3
6	3,5	2,2	1,1	2,3	3,5
7	8	7,6	8,4	3,6	8,7
8	16	5,5	1,2	11	13
9	2	9,1	18,2	2,6	4,8
10	6	3,3	1,4	3,3	9,4
11	4	5	8	10	1
12	13	6	8	1,1	3
13	1,5	8,4	3,6	5,6	7,9
14	2,5	0,5	1,6	5,4	8,7
15	9,8	0,88	4,5	25	1,7
16	0,5	2,5	4,1	3,5	0,1
17	5,2	4,1	3,3	9,8	4,7
18	1,2	5,4	3,3	1,8	5,4

С помощью критерия Рауса определить устойчивость системы, если характеристическое уравнение имеет вид:

$D(p) = a_0 p^4 + a_1 p^3 + a_2 p^2 + a_3 p + a_4$, коэффициенты уравнения приведены в таблице 5.1.

С помощью критерия Михайлова определить устойчивость системы, если характеристическое уравнение имеет вид:

$D(p) = a_0 p^4 + a_1 p^3 + a_2 p^2 + a_3 p + a_4$, коэффициенты уравнения приведены в таблице 5.1.

3.2 Варианты домашних контрольных заданий

Типовой вариант домашнего контрольного задания (ДЗ)

Составление линейных дифференциальных уравнений звеньев, определение передаточных функций линейных систем.

Пример

Дано в общей форме дифференциальное уравнение звена с постоянными параметрами:

$$a_0 \dot{y} + y = b_1 \dot{x} + x.$$

Задание:

Записать заданное уравнение в операторной форме.

Определить размерность коэффициентов при производных.

Записать передаточную функцию.

Решение:

1) Запишем заданное уравнение через дифференциалы: $a_0 \frac{dy}{dt} + y = b_1 \frac{dx}{dt} + x$

2) Произведем замену дифференциала на оператор: $\frac{d}{dt} \rightarrow p$

3) Заданное уравнение в операторном виде будет: $a_0 p y + y = b_1 p x + x$

4) Упростим полученное уравнение: $y(a_0 p + 1) = (b_1 p + 1)x$

5) Поскольку дифференциал $\frac{d}{dt}$ имеет размерность $[1/c]$, то и оператор p будет той же раз-

мерности. Значения в скобках должны быть безразмерной величины, поэтому произведения:

– $a_0 p$ – безразмерная величина, поэтому размерность коэффициента $a_0 = [c]$;

– $b_1 p$ – безразмерная величина, поэтому размерность коэффициента $b_1 = [c]$

6) Передаточная функция будет определяться отношением:

$$W(p) = \frac{y(t)}{x(t)} = \frac{b_1 p + 1}{a_0 p + 1}$$

1.1 Дифференциальное уравнение для системы управления в классической форме записи имеет вид:

$$a_0 \cdot y^{(n)}(t) + a_1 \cdot y^{(n-1)}(t) + \dots + a_n \cdot y(t) = b_0 \cdot x^{(m)}(t) + b_1 \cdot x^{(m-1)}(t) + \dots + b_m \cdot x(t)$$

Записать данное уравнение в операторной форме при нулевых начальных условиях.

1.2 Определить размерность коэффициентов при производных в следующих уравнениях системы управления в различных формах:

а) $(T_2 p + 1) \cdot U_y(p) = (T_1 p + 1) \cdot U_x(p)$

б) $(a_2 p^2 + a_1 p + 1) \cdot U_y(p) = (b_1 p + 1) \cdot U_x(p)$

в) $c_1 \dot{y}(t) + y(t) = d_2 \ddot{x}(t) + d_1 \dot{x}(t) + x(t)$

1.3 Даны в общей форме дифференциальные уравнения следующих звеньев с постоянными параметрами:

- а) $a_0 \dot{y} + a_1 y = b_0 x$ – апериодическое звено;
 б) $a_0 y = b_1 \dot{x} + b_0 x$ – форсирующее звено первого порядка;
 в) $a_0 \ddot{y} + a_1 \dot{y} + a_2 y = b_0 x$ – колебательное звено;
 г) $a_0 \ddot{y} + a_2 y = b_0 x$ – резонансное звено;
 д) $a_0 y = b_0 \ddot{x} + b_1 \dot{x} + b_2 x$ – форсирующее второго порядка;
 е) $a_0 y = b_1 \dot{x}$ – дифференцирующее звено;
 ж) $a_0 \dot{y} = b_0 x$ – интегрирующее звено.

Записать заданные уравнения в операторной форме.

1.4 Модель объекта управления (ОУ) имеет вид $4\ddot{y} + 2\dot{y} + 3y = 3u$

Записать это уравнение в операторной форме .

1.5 Дифференциальное уравнение ОУ имеет вид $\ddot{y} + 5\dot{y} + y = 3u$

Записать дифференциальные уравнения в операторной форме.

1.6 Модель объекта управления имеет вид $2\ddot{y} + 4\dot{y} + 5y = 4\ddot{u} + 3\dot{u} + 2u$ Записать уравнение ОУ в операторной форме.

1.7 Модель объекта управления имеет вид $2\ddot{y} + 5\dot{y} + 3y = 4\ddot{u} + 5\dot{u} + u$ Записать уравнение ОУ в операторной форме.

1.8 По дифференциальному уравнению объекта $\ddot{y} + 6\dot{y} + y = 5u$ определить передаточную функцию объекта $W(p) = y(p)/u(p)$.

1.9 По дифференциальному уравнению объекта $\ddot{y} + 7\dot{y} - 5y = \dot{u} + 5u$ определить передаточную функцию объекта $W(p) = y(p)/u(p)$

1.10 Дифференциальное уравнение объекта имеет вид $\ddot{y} + 6\dot{y} + 3y = 5u$. Определить передаточную функцию объекта $W(p) = y(p)/u(p)$

1.11 Для объекта, модель которого задана дифференциальным уравнением $\ddot{y} + 0.4\dot{y} + 0.6y = 2\dot{u} + 0.8u$, записать передаточную функцию, определить полюса и нули.

1.12 Дана математическая модель объекта $0.4\ddot{y} + 7\dot{y} + 2y = 0.8u$, записать характеристическое уравнение, определить полюса.

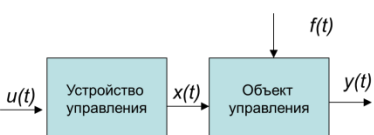
1.13 Найти передаточную функцию ОУ, математическая модель которого имеет вид $2\ddot{y} + 4\dot{y} + 2y + 4y = u$.

1.14 Найти передаточную функцию ОУ, математическая модель которого имеет вид $3\ddot{y} + 6\dot{y} + 2y + 4y = 2\ddot{u} + 3\dot{u} + u$.

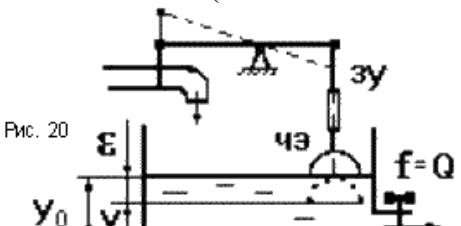
1.15 Известна передаточная функция объекта $W(p) = (10p + 1)/(p^2 + 3p - 1)$. Записать его дифференциальное уравнение.

3.3 Примерные вопросы компьютерных тестов

Введение в теорию управления.

№	Вопрос	Варианты ответов
1	Данная структурная схема реализует принцип управления: 	А) Разомкнутое управление Б) Принцип компенсации В) Управление с обратной связью Г) Свой вариант
2	Данная структурная схема реализует принцип управления:	А) Разомкнутое управление Б) Принцип компенсации В) Управление с обратной связью

		Г) Свой вариант
3	Данная структурная схема реализует принцип управления:	А) Разомкнутое управление Б) Принцип компенсации В) Управление с обратной связью Г) Свой вариант
4	Какой принцип управления реализуется указанной функциональной схемой? НЭ- нагревательный элемент; ЧЭ- чувствительный элемент; УО- управляющий орган; ИП- измерительный прибор; ОУ- объект управления	А) Управление с обратной связью Б) Принцип компенсации В) Разомкнутое регулирование Г) Свой вариант
5	Какой принцип управления реализуется указанной функциональной схемой? НЭ- нагревательный элемент; ЧЭ- чувствительный элемент; УО- управляющий орган; ИП- измерительный прибор; ОУ- объект управления; Rt –термосопротивление (устройство компенсации) ис. 6	А) Управление с обратной связью Б) Принцип компенсации В) Разомкнутое регулирование Г) Свой вариант
6	Какой принцип управления реализуется указанной функциональной схемой? НЭ- нагревательный элемент; ЧЭ- чувствительный элемент; УО- управляющий орган; ИП- измерительный прибор; ОУ- объект управления; ИД- исполнительный двигатель	А) Управление с обратной связью Б) Принцип компенсации В) Разомкнутое регулирование Г) Свой вариант
7	Какой принцип управления реализуется указанной функциональной схемой?	А) Управление с обратной связью Б) Принцип компенсации

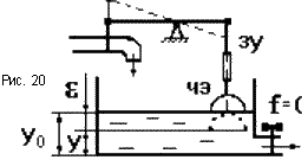
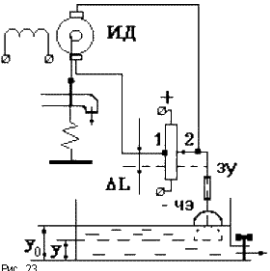
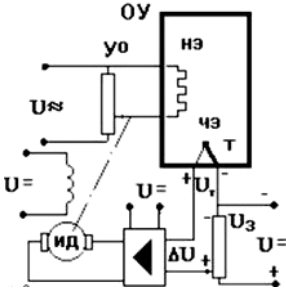
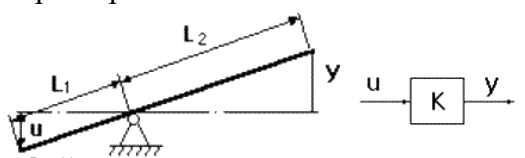
ЗУ – задающее устройство; ЧЭ – чувствительный элемент; У – регулируемая величина; $f=Q$ – возмущение; ε – отклонение (статическая ошибка)  Рис. 20	В) Разомкнутое регулирование Г) Свой вариант
---	---

Классификация систем автоматического управления.

№	Вопрос	Варианты ответов
1	Системы, удовлетворяющие данному условию: $y_{зад} = const$, являются	А) Системы программного регулирования Б) Системы автоматической стабилизации В) Следящие системы Г) Свой вариант
2	Системы, удовлетворяющие данному условию: $y_{зад}(t)$ - является функцией времени и заранее известна, являются	А) Системы программного регулирования Б) Системы автоматической стабилизации В) Следящие системы Г) Свой вариант
3	Системы, удовлетворяющие данному условию: $y_{зад}(t)$ - заранее неизвестно, являются	А) Системы программного регулирования Б) Системы автоматической стабилизации В) Следящие системы Г) Свой вариант
4	Для какого вида систем характерно следующее: Задающее устройство ищет такое значение управляемой величины, которое в каком-то смысле является оптимальным.	А) Самонастраивающаяся система Б) Экстремальная система В) Следящая система Г) Свой вариант
5	Для какого вида систем характерно следующее: Выходная величина всегда принимает экстремальное значение из всех возможных, которое заранее не определено и может непредсказуемо изменяться.	А) Самонастраивающаяся система Б) Экстремальная система В) Следящая система Г) Свой вариант
6	Для какого вида систем характерно следующее: Предусмотрена возможность автоматической перенастройки параметров САУ с целью приспособления к изменяющимся внешним условиям	А) Самонастраивающаяся система Б) Самоорганизующаяся система В) Следящая система Г) Свой вариант
7	Для какого вида систем характерно следующее: Предусмотрена возможность автоматического изменения принципиальной схемы САУ с целью приспособления к изменяющимся внешним условиям	А) Самонастраивающаяся система Б) Самоорганизующаяся система В) Следящая система Г) Свой вариант

Статика систем автоматического управления.

№	Вопрос	Варианты ответов
1	Как определить коэффициент передачи звена?	А) Это отношение выходного сигнала к входному Б) Это отношение входного сигнала к выходному В) Это значение передаточной функции в установившемся режиме Г) Свой вариант
2	ЗУ- задающее устройство;	А) Статическое Б) Астатическое В) Разомкнутое

	ЧЭ- чувствительный элемент;  Рис. 20 В данном случае регулирование:	Г) Свой вариант
3	 Рис. 23 ЗУ- задающее устройство; ЧЭ- чувствительный элемент; ИД- исполнительный двигатель В данном случае регулирование	А) Статическое Б) Астатическое В) Разомкнутое Г) Свой вариант
4	 НЭ- нагревательный элемент; ЧЭ- чувствительный элемент; УО- управляющий орган; ИП- измерительный прибор; ОУ- объект управления; ИД- исполнительный двигатель В данном случае регулирование:	А) Статическое Б) Астатическое В) Разомкнутое Г) Свой вариант
5	Как сделать статическую САР астатической?	А) В регулятор включить линейное звено Б) В регулятор включить астатическое звено В) В регулятор включить безынерционное звено Г) Никак
6	Как уменьшить статическую ошибку?	А) Увеличить постоянную времени регулятора Б) Увеличить коэффициент передачи регулятора В) Уменьшить коэффициент передачи регулятора Г) Уменьшить постоянную времени регулятора
7	Данное звено обладает статической характеристикой  Рис. 14	А) Линейного звена Б) Нелинейного звена В) Астатического звена Г) Свой вариант

3.4 Перечень вопросов для подготовки к зачету

1. Основные принципы управления.
2. Классификация систем управления.
3. Статическое и астатическое регулирование.
4. Преобразования структурных схем в статике.
5. Динамический режим. Уравнение динамики.

6. Динамический режим. Линеаризация уравнения динамики (геометрическое и математическое обоснование).
7. Передаточная функция. (основные соотношения и определения).
8. Понятие временных характеристик.
9. Переходные характеристики безынерционного, интегрирующего, дифференцирующего, апериодического звеньев.
10. Переходные характеристики форсирующего, апериодического звеньев.
11. Переходные характеристики инерционного звена 2-го порядка.
12. Переходные характеристики дифференциальных звеньев (идеального и реального).
13. Понятие частотных характеристик.
14. Частотные характеристики безынерционного, интегрирующего, дифференцирующего звеньев.
15. Частотные характеристики форсирующего, апериодического звеньев.
16. Частотные характеристики инерционного звена 2-го порядка и форсирующего звена 2-го порядка.
17. Правила построения частотных характеристик по заданной передаточной функции.
18. Правила определения передаточной функции по известным частотным характеристикам.
19. Устойчивость систем. Основные понятия. Теоремы Ляпунова.
20. Алгебраические критерии устойчивости. Критерий Рауса.
21. Алгебраические критерии устойчивости. Критерий Гурвица.
22. Частотные критерии устойчивости. Критерий Михайлова.
23. Частотные критерии устойчивости. Критерий Найквиста.
24. Понятие запаса устойчивости.
25. Анализ устойчивости по ЛЧХ. Логарифмический критерий устойчивости Найквиста.

4 Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Компетенции по дисциплине «Информационные технологии» формируются последовательно в ходе проведения лекционных и практических занятий, а также в процессе подготовки и выполнения контрольных работ и домашних заданий.

С целью определения уровня овладения компетенциями, закрепленными за дисциплиной, в заданные преподавателем сроки проводится текущий и промежуточный контроль знаний, умений и навыков каждого обучающегося. Все виды текущего контроля осуществляются на практических занятиях.

Фонд оценочных средств сформирован на основе ключевых принципов оценивания:

- валидность - объекты оценки соответствуют поставленным целям обучения;
- надежность - используются единообразные стандарты и критерии для оценивания достижений;
- справедливость - студенты имеют равные возможности добиться успеха;
- эффективность - соответствие результатов деятельности поставленным задачам.

Процедура оценивания компетенций обучающихся основана на принципах единства используемой технологии для всех обучающихся, выполнения условий сопоставимости результатов оценивания.

Краткая характеристика процедуры реализации текущего и промежуточного контроля для оценки компетенций обучающихся представлена в таблице.

Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Представление оценочного средства в фонде
1 Домашнее задание (ДЗ)	Индивидуальная домашняя работа студента по определенной теме. Предполагает активную работу с материалом лекций и практических занятий.	Варианты заданий
2 Компьютерный тест (КТ)	Система стандартизированных заданий для измерения уровня знаний и умений обучающихся	Банк тестовых заданий
3 Зачет (З)	Набор вопросов, позволяющий в полной мере измерить уровень теоретических и практических знаний и умений обучающегося.	Комплект вопросов