

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
 Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
 высшего образования
 «Забайкальский государственный университет»
 (ФГБОУ ВО «ЗабГУ»)

Факультет энергетический

Кафедра информатики, вычислительной техники и прикладной математики

УЧЕБНЫЕ МАТЕРИАЛЫ для студентов заочной формы обучения

по Основы теории автоматического управления
наименование дисциплины (модуля)

для направления подготовки (специальности) 09.04.01 Информатика и
 вычислительная техника

Общая трудоемкость дисциплины (модуля)

Виды занятий	Распределение по семестрам в часах			Всего часов
	--1-- семестр	---- семестр	---- семестр	
1	2	3	4	5
Общая трудоемкость	180			180
Аудиторные занятия, в т.ч.:	20			20
лекционные (ЛК)	12			12
практические (семинарские) (ПЗ, СЗ)				
лабораторные (ЛР)	8			8
Самостоятельная работа студентов (СРС)	160			160
Форма промежуточного контроля в семестре*	зачет			зачет
Курсовая работа (курсовой проект) (КР, КП)				

Краткое содержание курса

Перечень изучаемых тем, разделов дисциплины (модуля).

1. Основные понятия теории автоматического управления.
2. Классификация систем управления. Классификация элементов систем управления.
3. Статические свойства элементов и систем. Описание динамики элементов систем управления.
4. Передаточные функции. Соединения элементов и преобразование структурных схем. Типовые
5. временные характеристики. Частотно-временные свойства систем. Оценка качества
6. переходных процессов в системах управления. Понятие устойчивости системы управления.
7. Условия устойчивости линеаризованных систем

Форма текущего контроля

Контрольная работа № 1

Контрольная работа состоит из двух задач. Рекомендации по определению варианта, задание для выполнения контрольной работы, методические рекомендации по выполнению контрольной работы приведены ниже в приложении 1.

Форма промежуточного контроля

Зачет

Перечень вопросов для подготовки к зачету.

1. Принципы построения и классификация систем автоматического управления. Понятие управления. Основные определения.

Задачи управления. Пример функциональной схемы преобразователя постоянного напряжения и управляющего устройства.

2. Принцип управления по отклонению и возмущению. Функциональная схема и элементы системы автоматического регулирования. Пример функциональной схемы управляемого однофазного выпрямителя и управляющего устройства.

3. Системы стабилизации, программного регулирования и следящие системы. Статические и астатические системы автоматического регулирования. Непрерывные, релейные и импульсные САР.

4. Статические характеристики звеньев системы автоматического управления и их линеаризация. Звенья один вход – один выход и два входа – один выход. Пример линеаризации уравнений понижающего преобразователя постоянного напряжения.

5. Линеаризация уравнений динамики. Ряд Тейлора. Пример линеаризации уравнений управляемого однофазного выпрямителя с выходным фильтром.

6. Составление уравнений динамик. Составление и преобразование операторно-структурной схемы САР. Пример на основе RC-цепи.

7. Передаточные функции САР по задающему воздействию, возмущению и передаточная функция разомкнутой САР. Дифференциальное уравнение САР.

8. Частотные характеристики САР. Построение АФЧХ, ЛАЧХ и ЛФЧХ разомкнутой САР. Пример.

9. Понятие устойчивости САР. Определение устойчивости САУ по Ляпунову. Условие устойчивости линеаризованных (линейных) систем.

10. Критерий устойчивости Гурвица.

11. Частотные критерии устойчивости Михайлова и Найквиста.

12. Анализ устойчивости САР по ЛФЧХ разомкнутой передаточной функции.

13. Качество процессов управления в линейных САР. Статическая ошибка в статической и астатической САР.

14. Качество процессов управления в линейных САР. Устранение статической ошибки введением связи по возмущению. Пример САР на основе понижающего преобразователя постоянного напряжения.

15. Оценки качества переходных процессов. Операторный метод построения переходных процессов. Пример на основе расчета переходного процесса RC-цепи.

16. Типовые регуляторы и корректирующие устройства.

Экзамен

Согласно учебному плану экзамен не предусмотрен.

Оформление письменной работы согласно МИ 4.2-5/47-01-2013
[Общие требования к построению и оформлению учебной текстовой документации](#)

Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Основная литература

Печатные издания:

- 1 Смоленцев В.П. Управление системами и процессами: учебник / В.П. Смоленцев Владислав, В.П. Мельников, А.Г. Схиртладзе; под ред. В.П. Мельникова. – Москва: Академия, 2010. – 336 с.
- 2 Мезенцев К.Н. Автоматизированные информационные системы: учебник / К.Н. Мезенцев. – 2-е изд., стер. – Москва: Академия, 2011. – 176 с.

Издания из ЭБС:

- 3 Антимиров В.М. Системы **автоматического** управления [Электронный ресурс]: учеб. пособие для вузов / В.М. Антимиров; под науч. ред. В.В. Телицина. – Москва: Издательство Юрайт, 2017. – 91 с. – (Университеты России). – Режим доступа: <https://biblio-online.ru/book/253B6B79-9C39-4058-958D-BA8AB8E82C26>.

Дополнительная литература

Печатные издания:

- 1 Волчкевич Л.И. **Автоматизация** производственных процессов: учеб. пособие / Л.И. Волчкевич. – 2-е изд., стер. – Москва: Машиностроение, 2007. – 380 с.: ил.

Издания из ЭБС:

- 2 Андык В.С. **Автоматизированные** системы управления технологическими процессами на ТЭС [Электронный ресурс]: учебник / В.С. Андык. – Москва: Издательство Юрайт, 2017. – 407 с. – (Университеты России). – Режим доступа: <https://www.biblio-online.ru/book/B08CB469-AA05-4BA2-B8AA-307DDB29963B>.
- 3 Троценко В.В. Системы управления технологическими процессами и информационные технологии [Электронный ресурс]: учеб. пособие / В.В. Троценко, В.К. Федоров, А.И. Забудский, В.В. Комендантов. – 2-е изд. – Москва: Издательство Юрайт, 2017. – 136 с. – Режим доступа: <https://www.biblio-online.ru/book/A89DB52E-E19A-4BFE-BFF4-58A829F5994A>.
- 4 Рачков М.Ю. Технические средства **автоматизации** [Электронный ресурс]: учебник / М.Ю. Рачков. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва: Издательство Юрайт, 2017. – 180 с. – Режим доступа: <https://biblio-online.ru/book/8BF68DB1-1C5B-4FA1-8214-13B762A15A5F>.

Собственные учебные пособия

Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы*

1. Учебное пособие по курсу «Техника высоких напряжений»
[Электронный ресурс window.edu.ru/resource/452/52452]
2. Учебное пособие по курсу «Техника высоких напряжений»
[Электронный ресурс window.edu.ru/resource/234/75234]

Ведущий преподаватель:

доцент, канд.техн.наук Дейс Д.А.

Заведующий кафедрой:

доцент, канд.техн.наук Валова О.В.

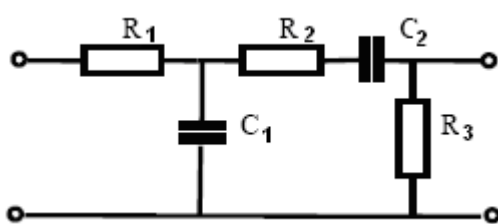
Задача 1. Получение передаточной функции объекта на примере RLC цепи

Записать уравнения математической модели, определить передаточную функцию для схемы замещения, приведенной на рисунке 1, при $R_1 = R_2$, R_3 , $C_1 = C_2$, L_1 :

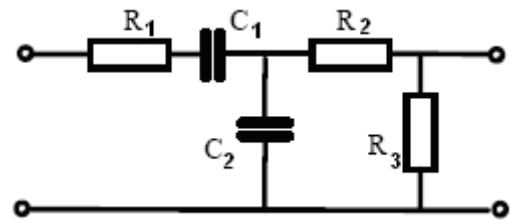
Варианты заданий представлены в таблице 1 и на рисунке 1. Из таблицы 1 необходимо выбрать численные значения параметров схемы замещения по предпоследней цифре зачетки. Последняя цифра зачетки подскажет номер схемы.

Таблица 1 – Исходные данные к задаче 1

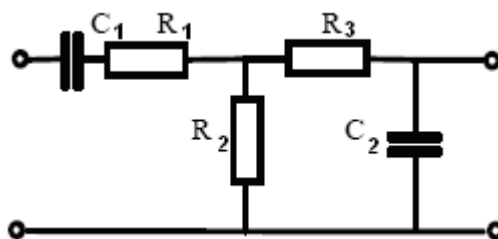
Параметр схемы замещения	Ед. измер	Предпоследняя цифра зачетки									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
R_1	кОм	1	2	1	3	2	3	10	1	2	3
R_2	кОм	1	2	1	3	2	3	10	1	2	3
R_3	кОм	1	1	2	2	4	2	3	5	2	3
C_1	мкФ	1	2	1	3	5	5	2	3	2	3
C_2	мкФ	1	2	1	3	5	5	2	3	2	3
L_1	мГн	1	1	2	1	3	2	4	2	2	5
		Последняя цифра зачетки									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Номер схемы на рис. 1		а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к



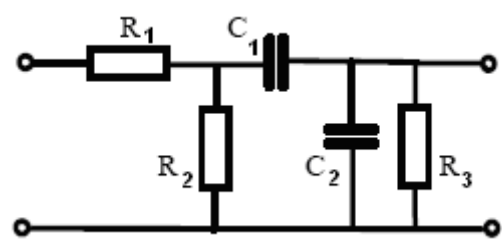
а)



б)



в)



г)

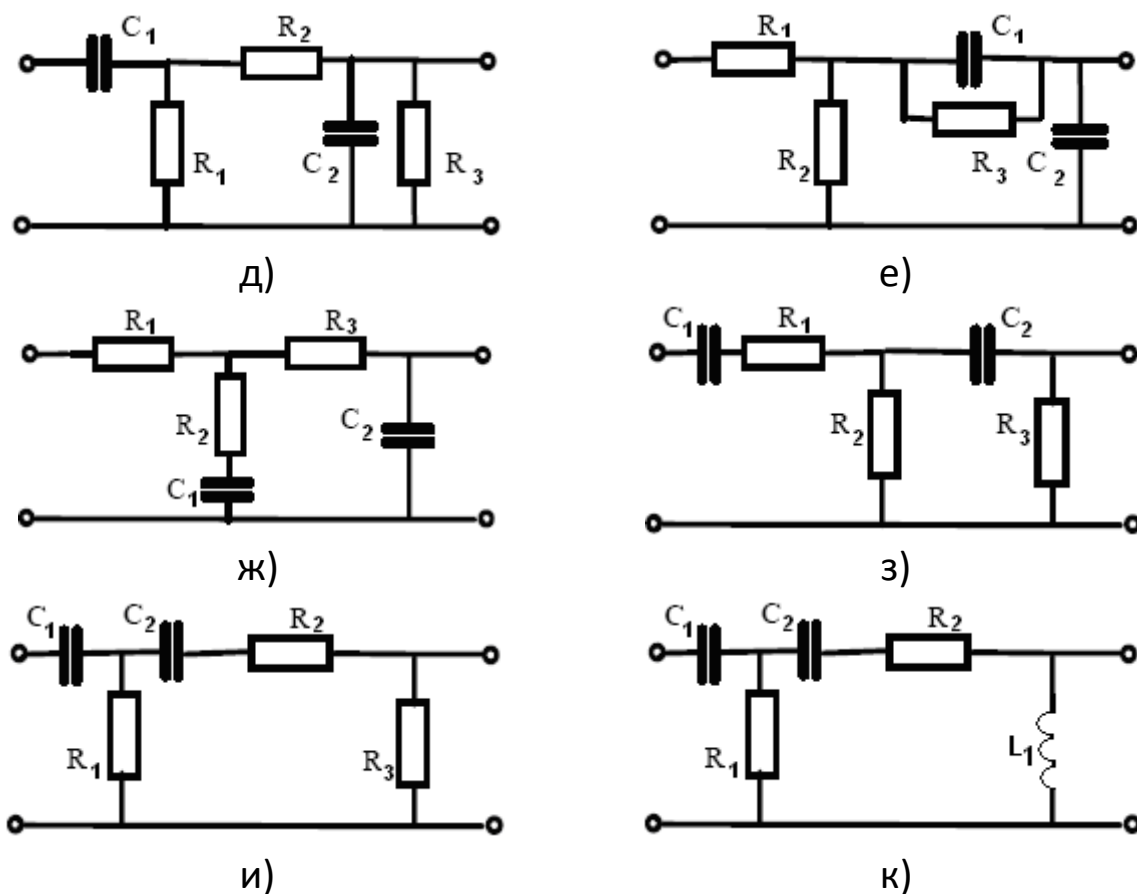


Рисунок 1 - Эквивалентные схемы замещения объекта




Теоретические сведения:

Получение передаточных функций наглядно представляется на примере электрической цепи. Для решения такого типа задач необходимо знать электрический импеданс элементов цепи, который приведен в таблице 2.

Процедуру получения передаточной функции объекта можно разбить на следующие этапы:

1. получение дифференциальных уравнений системы;
2. запись уравнений в операторной форме;
3. запись передаточной функции.

Таблица 2 - Связь мгновенных значений напряжений и токов на элементах

<p style="text-align: center;">Резистор</p>  <p style="text-align: center;">i_R</p>	$u_R = Ri_R$	$i_g = Ru_R$
<p style="text-align: center;">Катушка индуктивности</p>  <p style="text-align: center;">i_L</p>	$u_L = L \frac{di_L}{dt}$	$i_L = \frac{1}{L} \int u_L dt$
<p style="text-align: center;">Конденсатор</p>  <p style="text-align: center;">i_C</p>	$u_C = \frac{1}{C} \int i_C dt$	$i_C = C \frac{du_C}{dt}$

Пример:

Опредить передаточную функцию $W(p)$, если известны дифференциальные уравнения состояния объекта:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2, \\ \dot{x}_2 = x_3, \\ \dot{x}_3 = -4x_1 - x_2 - x_3 + bu, \\ y = x_1 + x_2 - x_3. \end{cases}$$

Решение:

Запишем уравнения состояния в операторной форме:

$$\begin{cases} px_1 = x_2, \\ px_2 = x_3, \\ px_3 = -4x_1 - x_2 - x_3 + bu, \\ y = x_1 + x_2 - x_3. \end{cases}$$

Из третьего уравнения системы выразим x_3 :

$$x_3 = \frac{-4x_1 - x_2 + bu}{p+1}.$$

Из второго уравнения системы запишем $x_3 = px_2$, тогда

$$px_2 = \frac{-4x_1 - x_2 + 6u}{p+1}$$

Из второго уравнения системы запишем $x_2 = px_1$, тогда

$$p^2x_1 = \frac{-4x_1 - px_1 + 6u}{p+1},$$

или

$$x_1 = \frac{6u}{p^3 + p^2 + p + 4}$$

Поставив x_1 в первое уравнение системы, получим:

$$x_2 = \frac{6pu}{p^3 + p^2 + p + 4}$$

Поставив x_2 во второе уравнение системы, получим:

$$x_3 = \frac{6p^2u}{p^3 + p^2 + p + 4}$$

Из выражения $y = x_1 - 2x_2 - x_3$ найдем

$$y = x_1 - 2x_2 - x_3 = \frac{6u}{p^3 + p^2 + p + 4} - \frac{12pu}{p^3 + p^2 + p + 4} - \frac{6p^2u}{p^3 + p^2 + p + 4}.$$

Таким образом, искомая передаточная функция равна:

$$W(p) = \frac{y}{u} = \frac{-6p^2 + 12p + 6}{p^3 + p^2 + p + 4}$$

Задача 2. Получение матричной передаточной функции

Определить матричную передаточную функцию системы, описываемой дифференциальными уравнениями.

Варианты заданий представлены в таблице 3. Из таблицы 3 необходимо выбрать систему дифференциальных уравнений по последней цифре зачетки.

Таблица 3 – Исходные данные к задаче 2

Вариант (последняя цифра зачетки)	Система дифференциальных уравнений
0	$\begin{cases} \ddot{y}_1 + \ddot{y}_1 + \dot{y}_1 + y_1 = 2\ddot{u}_1 + 2\dot{u}_1 + 4\dot{u}_2 + 4u_2, \\ y_2 = 5u_1 + \dot{u}_2 + 5u_2. \end{cases}$
1	$\begin{cases} \dot{y}_1 + 2y_1 = 3\dot{u}_1 + 6u_1 + \dot{u}_2 + 3u_2, \\ \ddot{y}_2 + \ddot{y}_2 = \ddot{u}_1 + \dot{u}_1 + \ddot{u}_2. \end{cases}$
2	$\begin{cases} y_1 = \ddot{u}_1 + 8\dot{u}_1 + 4u_2, \\ y_2 = \dot{u}_1 + 3u_1 + 6u_2. \end{cases}$
3	$\begin{cases} \dot{y}_1 + 3y_1 = 3\dot{u}_1 + 8\dot{u}_2 + 24\dot{u}_2, \\ y_2 = \dot{u}_1 + 6u_1 + \dot{u}_2 + 2u_2. \end{cases}$
4	$\begin{cases} \dot{y}_1 + y_1 = 7\dot{u}_1 + 7u_1 + u_2, \\ \dot{y}_2 + 3y_2 = \dot{u}_1 + \ddot{u}_2 + 7\dot{u}_2 + 12u_2. \end{cases}$
5	$\begin{cases} y_1 = 3\dot{u}_1 + 4\dot{u}_2, \\ \dot{y}_2 + 10y_2 = \ddot{u}_1 + 10\ddot{u}_1 + 8\dot{u}_1 + 80u_1 + \dot{u}_2. \end{cases}$
6	$\begin{cases} \dot{y}_1 + 2y_1 = 6\dot{u}_1 + 12u_1 + \dot{u}_2, \\ \dot{y}_2 + 2y_2 = u_1 + \dot{u}_2 + 3u_2. \end{cases}$
7	$\begin{cases} 2\ddot{y}_1 + 8\ddot{y}_1 + 2\dot{y}_1 + 8y_1 = 6\ddot{u}_1 + 24\dot{u}_1 + 2\ddot{u}_2 + 2\dot{u}_2, \\ y_2 = 3u_1 + \dot{u}_2 + u_2. \end{cases}$
8	$\begin{cases} \dot{y}_1 + 3y_1 = 5\ddot{u}_1 + 15\dot{u}_1 + u_2, \\ \dot{y}_2 + 3y_2 = \dot{u}_1 + 7\dot{u}_2 + 21u_2. \end{cases}$
9	$\begin{cases} \ddot{y}_1 + 7\dot{y}_1 + 12y_1 = \dot{u}_1 + 4u_1 + \dot{u}_2 + 3u_2, \\ \dot{y}_2 + 5y_2 = u_1 + \ddot{u}_2 + 5u_2. \end{cases}$

Примеры решения задачи:

Задачи на получение матричной передаточной функции часто сводятся к получению матрицы передаточных функций объекта из дифференциальных уравнений, передаточной функции, либо матриц объекта.

Пример 1.

Определить матричную передаточную функцию системы, описываемой следующими дифференциальными уравнениями:

$$\begin{cases} \ddot{y}_1 + 5\dot{y}_1 + 6y_1 = \ddot{u}_1 + 3\dot{u}_1 + 4\dot{u}_2 + 8u_2, \\ \dot{y}_2 + y_2 = \dot{u}_1 + 2\dot{u}_2 + 2u_2. \end{cases}$$

Запишем уравнения в операторной форме:

$$\begin{cases} (p^2 + 5p + 6)y_1 = (p^2 + p)u_1 + (4p + 2)u_2, \\ (p + 1)y_2 = pu_1 + 2(p + 1)u_2. \end{cases}$$

Или

$$\begin{cases} y_1 = \frac{p}{p+2}u_1 + \frac{4}{p+3}u_2, \\ y_2 = \frac{p}{p+1}u_1 + 2u_2. \end{cases}$$

Тогда матричная передаточная функция будет иметь вид:

$$W(p) = \begin{bmatrix} W_{11}(p) & W_{12}(p) \\ W_{21}(p) & W_{22}(p) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{p}{p+2} & \frac{4}{p+3} \\ \frac{p}{p+1} & 2 \end{bmatrix}.$$

Пример 2

Определить матричную передаточную функцию, если известны матрицы A, B и C:

$$A = \begin{bmatrix} -1 & 2 \\ -3 & -5 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 2 & 0 \end{bmatrix}, \quad C = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Решение:

Исходя из матриц, запишем дифференциальные уравнения состояния объекта:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = -x_1 + 2x_2 + u_2, \\ \dot{x}_2 = -3x_1 - 5x_2 + 2u_1, \\ y_1 = x_1, \\ y_2 = x_2. \end{cases}$$

Запишем уравнения в операторной форме:

$$\begin{cases} px_1 = -x_1 + 2x_2 + u_2, \\ px_2 = -3x_1 - 5x_2 + 2u_1, \\ y_1 = x_1, \\ y_2 = x_2. \end{cases}$$

Из первого уравнения системы выразим x_1 :

$$x_1 = \frac{2x_2 + u_2}{p+1}. \quad (1)$$

Из второго уравнения системы выразим x_2 :

$$x_2 = \frac{-3x_1 + 2u_1}{p+5}. \quad (2)$$

Для того, чтобы выразить x_1 через u_1 и u_2 , подставим выражение (2) в выражение (1), получим:

$$x_1 = \frac{4u_1 + u_2(p+5)}{p^2 + 6p + 5}.$$

Таким же образом подставляем (2) в (1) и получаем x_2 через u_1 и u_2 :

$$x_2 = \frac{u_1(2p^2 + 12p + 10) + u_2(p+5)}{(p^2 + 6p + 5)(p+5)}.$$

Так как $y_1=x_1$ и $y_2=x_2$ получим системы уравнений, в которой при переменных управления находятся искомые матрицы:

$$\begin{cases} y_1 = \frac{4}{p^2 + 6p + 5}u_1 + \frac{p+5}{p^2 + 6p + 5}u_2, \\ y_2 = \frac{2(p+1)}{p^2 + 6p + 5}u_1 + \frac{1}{p^2 + 6p + 5}u_2. \end{cases}$$

Матричная передаточная функция имеет вид:

$$\begin{bmatrix} \frac{4}{p^2 + 6p + 5} & \frac{p+5}{p^2 + 6p + 5} \\ \frac{2(p+1)}{p^2 + 6p + 5} & \frac{1}{p^2 + 6p + 5} \end{bmatrix}.$$