

**Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

**Направление подготовки/специальность: 11.04.01 Радиотехника**

**Наименование образовательной программы: Радиотехнические методы и устройства формирования и обработки сигналов**

**Уровень образования: высшее образование - магистратура**

**Форма обучения: Очная**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Теория колебаний**

**Москва  
2024**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Разработчик

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Перфильев А.А.
	Идентификатор	Rac5cf7e3-PerfilyevAIA-9c6d228a

А.А.  
Перфильев

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Торина Е.М.
	Идентификатор	Rf078b9d4-DrozdovaYM-9d5fc66d

Е.М. Торина

Заведующий  
выпускающей  
кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Остапенков П.С.
	Идентификатор	R6356f55c-OstapenkovPS-854af18

П.С.  
Остапенков

## ОБЩАЯ ЧАСТЬ

Оценочные материалы по дисциплине предназначены для оценки: достижения обучающимися запланированных результатов обучения по дисциплине, этапа формирования запланированных компетенций и уровня освоения дисциплины.

Оценочные материалы по дисциплине включают оценочные средства для проведения мероприятий текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.

Формируемые у обучающегося компетенции:

1. ПК-1 Способность проводить исследования в целях совершенствования радиоэлектронных устройств

ИД-3 Разрабатывает алгоритмы и проводит исследования в целях совершенствования функциональных узлов радиоэлектронных устройств

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

Форма реализации: Выполнение задания

1. Расчетное задание №1 "Расчет переходных процессов в линейном контуре методом дифференциальных уравнений" (Расчетно-графическая работа)
2. Расчетное задание №2 "Расчет собственных частот и коэффициентов распределения свободных колебаний в системе с двумя степенями свободы" (Расчетно-графическая работа)
3. Расчетное задание №3 "Анализ устойчивости состояний равновесия линеаризованных систем" (Расчетно-графическая работа)
4. Расчетные задания №4 "Исследование системы со  $\frac{1}{2}$  степенью свободы" и №5 "Построение фазовых портретов линейных динамических систем второго порядка" (Расчетно-графическая работа)

Форма реализации: Письменная работа

1. "Составление уравнений движения. Устойчивость состояний равновесия" (Контрольная работа)

## БРС дисциплины

1 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %					
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5
	Срок КМ:	4	8	12	13	15
Составление уравнений движения колебательных систем						
Составление уравнений движения колебательных систем		+				
Колебания в линейных консервативных системах						
Колебания в линейных консервативных системах			+			
Описание движений в пространстве состояний. Устойчивость состояний равновесия						

Описание движений в пространстве состояний. Устойчивость состояний равновесия			+		
Метод фазового пространства теории нелинейных систем					
Метод фазового пространства теории нелинейных систем				+	+
Вес КМ:	15	15	25	15	30

\$Общая часть/Для промежуточной аттестации\$

## СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

### I. Оценочные средства для оценки запланированных результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Индекс компетенции	Индикатор	Запланированные результаты обучения по дисциплине	Контрольная точка
ПК-1	ИД-3ПК-1 Разрабатывает алгоритмы и проводит исследования в целях совершенствования функциональных узлов радиоэлектронных устройств	<p>Знать:</p> <p>структуру различных колебательных систем, чет-кие представления об их отличительных особенно-стях и назначении отдельных частей и элементов</p> <p>сущность и проявления различных колебательных процессов и условия их возникновения и развития</p> <p>Уметь:</p> <p>использовать фундаментальный характер основных положений теории колебаний для выработки науч-ного подхода к решению новых проблем радиоэлек-троники и разработке алгоритмов</p> <p>составлять и решать дифференциальные уравнения колебательных</p>	<p>Расчетное задание №1 "Расчет переходных процессов в линейном контуре методом дифференциальных уравнений" (Расчетно-графическая работа)</p> <p>Расчетное задание №2 "Расчет собственных частот и коэффициентов распределения свободных колебаний в системе с двумя степенями свободы" (Расчетно-графическая работа)</p> <p>"Составление уравнений движения. Устойчивость состояний равновесия" (Контрольная работа)</p> <p>Расчетное задание №3 "Анализ устойчивости состояний равновесия линеаризованных систем" (Расчетно-графическая работа)</p> <p>Расчетные задания №4 "Исследование системы со <math>\frac{1}{2}</math> степенью свободы" и №5 "Построение фазовых портретов линейных динамических систем второго порядка" (Расчетно-графическая работа)</p>

		систем, исследовать устойчивость, исследовать нелинейные динамические системы ме-тодом фазового пространства	
--	--	--	--

## II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

### КМ-1. Расчетное задание №1 "Расчет переходных процессов в линейном контуре методом дифференциальных уравнений"

**Формы реализации:** Выполнение задания

**Тип контрольного мероприятия:** Расчетно-графическая работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 15

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Выдается задание для самостоятельного выполнения в течение 2 недель

#### Краткое содержание задания:

Расчетное задание №1. Расчет переходных процессов в линейном контуре методом дифференциальных уравнений.

В схеме, показанной на рис. 1, в момент времени  $t = 0$  замыкается ключ. Найти зависимости  $q_1(t)$  и  $q_2(t)$ , если  $q_1(0) = Q_0$ ,  $q_2(0) = 0$ ,  $i(0) = 0$ . Изобразить дуальную цепь.

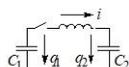


Рис.1. Схема к заданию 1

#### Контрольные вопросы/задания:

<p>Знать: сущность и проявления различных колебательных процессов и условия их возникновения и развития</p>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Как найти постоянную составляющую заряда второго конденсатора, не решая дифференциальное уравнение рассматриваемой схемы?</li><li>2. Какой вид имеет эквивалентная схема заряженного конденсатора для анализа переходных процессов операторным методом?</li><li>3. Дифференциальным уравнением какого порядка описывается заряд первого конденсатора в рассматриваемой схеме?</li></ol>
---	--

#### Описание шкалы оценивания:

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 75*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

## КМ-2. Расчетное задание №2 "Расчет собственных частот и коэффициентов распределения свободных колебаний в системе с двумя степенями свободы"

**Формы реализации:** Выполнение задания

**Тип контрольного мероприятия:** Расчетно-графическая работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС: 15**

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Выдается задание для самостоятельного выполнения в течение 2 недель

### Краткое содержание задания:

**Расчетное задание №2.** Расчет собственных частот и коэффициентов распределения свободных колебаний в системе с двумя степенями свободы.

Для схемы, показанной на рис. 2, выбрав в качестве обобщенных координат токи  $\dot{i}_1$  и  $\dot{i}_2$ , требуется:

- 1) составить систему двух дифференциальных уравнений и привести ее к каноническому виду, введя в качестве обобщенных параметров парциальные частоты и коэффициенты связи;
- 2) построить качественно зависимости собственных частот от первой парциальной частоты, нормируя их ко второй парциальной частоте;
- 3) построить качественно зависимости коэффициентов распределения от первой парциальной частоты, указав какой из них соответствует нижней собственной частоте, а какой – верхней;
- 4) изобразить дуальную цепь и записать ее уравнения

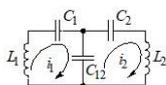


Рис. 2. Схема к заданию 2

### Контрольные вопросы/задания:

<p>Знать: структуру различных колебательных систем, четкие представления об их отличительных особенностях и назначении отдельных частей и элементов</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Пояснить физический смысл коэффициентов распределения <math>k_1</math> и <math>k_2</math></li> <li>2. Написать и пояснить структуру общего решения системы дифференциальных уравнений двух связанных осцилляторов без потерь</li> <li>3. При каких условиях собственные колебания будут возбуждаться только на первой моде?</li> </ol>
---	--

### Описание шкалы оценивания:

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено*

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено*

## КМ-3. "Составление уравнений движения. Устойчивость состояний равновесия"

**Формы реализации:** Письменная работа

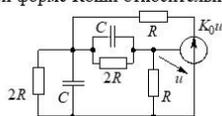
**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Каждый студент получает письменное задание, на выполнение отводится 30 минут, сдает преподавателю в письменном виде

**Краткое содержание задания:**

Составить систему уравнений в нормальной форме Коши относительно напряжений на конденсаторах и одно дифференциальное уравнение относительно управляющего напряжения. Получить условия устойчивости. Найти частоту свободных колебаний и затухание при  $K_0 = 3$ .



**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Уметь: использовать фундаментальный характер основных положений теории колебаний для выработки научного подхода к решению новых проблем радиоэлектроники и разработке алгоритмов</p>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Составить систему уравнений переменных состояния для рассматриваемой схемы</li><li>2. Найти вторую производную напряжения на первом конденсаторе, не решая дифференциального уравнения для тока</li><li>3. Изобразить схему, дуальную к рассматриваемой.</li></ol>
---	---

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

**КМ-4. Расчетное задание №3 "Анализ устойчивости состояний равновесия линеаризованных систем"**

**Формы реализации:** Выполнение задания

**Тип контрольного мероприятия:** Расчетно-графическая работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 15

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Выдается задание для самостоятельного выполнения в течение 2 недель

**Краткое содержание задания:**

Расчетное задание №3. Анализ устойчивости состояний равновесия линеаризованных систем.

Построить границу устойчивости линеаризованной схемы индуктивной трехтопки (рис. 3) на плоскости параметров  $(\delta, SR_2)$  с использованием критерия Гурвица. Положить  $L_1 / r_1 = L_2 / r_2$ .

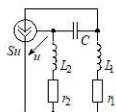


Рис.3. Схема к заданию 3

### Контрольные вопросы/задания:

<p>Уметь: составлять и решать дифференциальные уравнения колебательных систем, исследовать устойчивость, исследовать нелинейные динамические системы методом фазового пространства</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Получить условия устойчивости при замене в исходной схеме источника тока, управляемого напряжением, на источник тока, управляемый током</li> <li>2. Получить условия устойчивости при замене в исходной схеме источника тока, управляемого напряжением, на источник напряжения, управляемый напряжением</li> <li>3. Как по характеристическому уравнению третьего порядка найти частоту самовозбуждения на границе устойчивости?</li> </ol>
--	---

### Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

### КМ-5. Расчетные задания №4 "Исследование системы со 1/2 степенью свободы" и №5 "Построение фазовых портретов линейных динамических систем второго порядка"

Формы реализации: Выполнение задания

Тип контрольного мероприятия: Расчетно-графическая работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 30

Процедура проведения контрольного мероприятия: Выдается задание для самостоятельного выполнения в течение 2 недель

Краткое содержание задания:

**Расчетное задание №4.** Исследование системы со  $\frac{1}{2}$  степенью свободы.

Исследовать все возможные топологии фазового пространства системы, показанной на рис. 4, в диапазоне  $0 \leq E \leq 30$  В при  $R = 1$  кОм,  $R = 200$  Ом и  $R = 50$  Ом, если вольт-амперная характеристика нелинейного элемента имеет вид:  $i(u) = I_0 - S[(u - U_0) - (u - U_0)^3 / U_1^2]$ , где  $S = 5$  мА/В,  $U_1 = 4$  В,  $U_0 = 5$  В,  $I_0 = 10,56$  мА. Построить диаграммы бифуркаций в плоскости  $(E, u)$ .

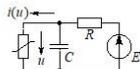


Рис. 4. Схема к заданию 4

**Расчетное задание №5.** Построение фазовых портретов линейных динамических систем второго порядка.

Построить фазовые портреты систем, описываемых линейными уравнениями

$$p^2 x + 2px + 5x = 0,$$

$$p^2 x + 4px + 3x = 0,$$

$$p^2 x + 4px - 5x = 0,$$

$$p^2 x - 4px - 5x = 0$$

на плоскости  $(x, px)$ . Использовать обозначения  $x = \xi$ ,  $px = \eta$ .

### Контрольные вопросы/задания:

<p>Уметь: составлять и решать дифференциальные уравнения колебательных систем, исследовать устойчивость, исследовать нелинейные динамические системы методом фазового пространства</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Фазовые траектории системы первого порядка лежат на прямой <math>(-a \cdot x + b)</math>. Изобразить временную реализацию <math>u(t)</math> при <math>u(0)=0</math></li> <li>2. Для рассматриваемой схемы изобразить осциллограммы <math>u(t)</math> при <math>u(0)=3</math> В, <math>R=1000</math> Ом при <math>E=5</math> В и <math>E=25</math> В</li> <li>3. Для первой системы дифференциальных уравнений построить изоклину единичного наклона</li> <li>4. Для последней системы дифференциальных уравнений изобразить реализацию переходного процесса при <math>\xi(0)=1</math>, <math>\eta(0)=0</math> с указанием масштаба по оси времени</li> </ol>
--	--

### Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

## 1 семестр

**Форма промежуточной аттестации:** Зачет с оценкой

### Процедура проведения

Оценка определяется по совокупности результатов текущего контроля успеваемости в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ».

### *1. Перечень компетенций/индикаторов и контрольных вопросов проверки результатов освоения дисциплины*

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-3ПК-1 Разрабатывает алгоритмы и проводит исследования в целях совершенствования функциональных узлов радиоэлектронных устройств

### Вопросы, задания

1. Критерий Бендиксона
2. Условия, при которых существуют автоколебания в системе с  $\frac{1}{2}$  степенью свободы
3. Собственные частоты и коэффициенты распределения в линейных системах с двумя степенями свободы
4. Исследование нелинейных систем методом фазового пространства. Система с  $\frac{1}{2}$  степенью свободы
5. Метод фазовой плоскости для анализа систем с одной степенью свободы.  
Классификация особых точек
6. Бифуркации, связанные с рождением предельного цикла путем смыкания сепаратрисс
7. Каким образом по дифференциальному уравнению первого порядка определяется направление фазовых траекторий?
8. Пояснить принцип построения диаграмм бифуркаций для систем первого порядка при отсутствии условий возникновения скачка
9. Изобразить диаграмму разбиения плоскости параметров характеристического уравнения системы второго порядка по характеру особой точки
10. Каким образом непосредственно по системе дифференциальных уравнений второго порядка в нормальной форме Коши определяется направление фазовых траекторий?

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. В теории колебаний под движением системы понимают

Ответы:

- а) изменение фазовых координат системы, происходящее под воздействием заданной силы;
- б) отклонение величины, характеризующей колебательный процесс в системе, от положения равновесия;
- в) любое изменение ее состояния во времени

Верный ответ: в) любое изменение ее состояния во времени

2. Изоморфизм колебательных процессов в системах различной физической природы выражается в том, что

Ответы:

- а) теоретические характеристики систем имеют одинаковое графическое представление;
- б) эти процессы описываются одними и теми же дифференциальными уравнениями;
- в) форма колебаний во всех системах одна и та же

Верный ответ: б) эти процессы описываются одними и теми же дифференциальными уравнениями

3. Вопрос об устойчивости невозмущенного движения системы в смысле Ляпунова сводится к влиянию

Ответы:

- а) приложенных внешних сил на обобщенную координату системы;.
- б) приложенных внешних сил на параметры системы;
- в) начальных возмущений на свойства движения

Верный ответ: в) начальных возмущений на свойства движения

4. Для исследования локального движения системы вблизи состояния равновесия

Ответы:

- а) выполняют линеаризацию уравнения движения
- б) выполняют преобразование уравнений движения к укороченному виду;
- в) применяют критерий Рауса-Гурвица

Верный ответ: а) выполняют линеаризацию уравнения движения

## ***II. Описание шкалы оценивания***

*Оценка: 5*

*Описание характеристики выполнения знания:*

*Оценка: 4*

*Описание характеристики выполнения знания:*

*Оценка: 3*

*Описание характеристики выполнения знания:*

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания: Работа не выполнена или выполнена преимущественно неправильно*

## ***III. Правила выставления итоговой оценки по курсу***

Оценка определяется по совокупности результатов текущего контроля успеваемости в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ»