

**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  
Методы анализа нелинейных динамических систем**

**Москва  
2021**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Сафин А.Р.
	Идентификатор	Rdaf18b6c-SafinAR-8ed43814

(подпись)

А.Р. Сафин

(расшифровка  
подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Сафин А.Р.
	Идентификатор	Rdaf18b6c-SafinAR-8ed43814

(подпись)

А.Р. Сафин

(расшифровка  
подписи)

Заведующий  
выпускающей кафедры

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Сафин А.Р.
	Идентификатор	Rdaf18b6c-SafinAR-8ed43814

(подпись)

А.Р. Сафин

(расшифровка  
подписи)

## 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-2 Выполняет математическое и компьютерное моделирование радиоэлектронных устройств с целью оптимизации их параметров

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

Форма реализации: Выполнение задания

1. Расчетное задание №1 "Расчет стационарного режима усилителя мощности методом баланса гармоник" (Расчетно-графическая работа)
2. Расчетное задание №2 «Расчет переходных процессов в одноконтурном автогенераторе» (Расчетно-графическая работа)
3. Расчетное задание №3 «Составление укороченных уравнений и анализ стационарных режимов автогенератора с автосмещением» (Расчетно-графическая работа)
4. Расчетное задание №4 «Исследование динамических свойств автогенератора с автосмещением» (Расчетно-графическая работа)

## БРС дисциплины

2 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %				
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
	Срок КМ:	4	8	12	15
Метод баланса гармоник Метод медленно-меняющихся амплитуд в форме Ван-Дер-Поля					
Метод баланса гармоник Метод медленно-меняющихся амплитуд в форме Ван-Дер-Поля		+			+
Обобщения метода медленно меняющихся амплитуд					
Обобщения метода медленно меняющихся амплитуд			+		
Анализ динамики автогенератора с автосмещением методом укороченных уравнений					
Анализ динамики автогенератора с автосмещением методом укороченных уравнений				+	
Внешнее воздействие на автогенератор. Двухмодовые автогенераторы					
Внешнее воздействие на автогенератор. Двухмодовые автогенераторы		+			+

	Вес КМ:	15	20	30	35
\$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-2ПК-1 Выполняет математическое и компьютерное моделирование радиоэлектронных устройств с целью оптимизации их параметров	Знать: базовые характеристики и основы проектирования нелинейных функциональных узлов радио-электронной аппаратуры различного назначения методы исследования нелинейных функциональных узлов и компонентов, применяемых при разработке радиотехнических устройств Уметь: применять теоретико-колебательные методы исследования нелинейных радиотехнических устройств и систем использовать программы математического моделирования процессов в	Расчетное задание №1 "Расчет стационарного режима усилителя мощности методом баланса гармоник" (Расчетно-графическая работа) Расчетное задание №2 «Расчет переходных процессов в одноконтурном автогенераторе» (Расчетно-графическая работа) Расчетное задание №3 «Составление укороченных уравнений и анализ стационарных режимов автогенератора с автосмещением» (Расчетно-графическая работа) Расчетное задание №4 «Исследование динамических свойств автогенератора с автосмещением» (Расчетно-графическая работа)

		нелинейных радиотех- нических устройствах и системах	
--	--	--	--

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

### КМ-1. Расчетное задание №1 "Расчет стационарного режима усилителя мощности методом баланса гармоник"

**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:

**Задание 1. Расчет стационарного режима усилителя мощности методом баланса гармоник**

Записать уравнение схемы относительно напряжения на эмиттерном переходе  $u_{e3}(t)$ . Рассчитать  $u_{e3}$  и ток коллектора  $i_c$  в точке покоя. Рассчитать

комплексную передаточную проводимость  $\frac{i_c}{U_i}$  на

частоте 1 ГГц.

Найти гармоники напряжения на эмиттерном переходе  $u_{e3}$ , и тока коллектора  $i_c$  путем решения системы уравнений баланса гармоник при  $N=4$ . Построить осциллограммы.

Параметры внешнего воздействия и питания:  
 $f_s = 1 \text{ ГГц}$ ,  $U_s = 0.7 \text{ В}$ ,  $E = 5 \text{ В}$ , температура  $25^\circ \text{ С}$ .

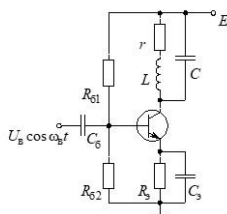
Номиналы элементов схемы:

$L = 5 \text{ нГн}$ ,  $C = 3 \text{ пФ}$ ,  $r = 1 \text{ Ом}$ ,  $R_s = 200 \text{ Ом}$ ,  $C_s = C_e = 100 \text{ пФ}$ ,  $R_{e1} = 3 \text{ кОм}$ ,  $R_{e2} = 1 \text{ кОм}$ .

Параметры модели транзистора:

$I_s = 0.1 \text{ фА}$ ,  $\beta = 50$ ,  $\tau_f = 60 \text{ пс}$ ,  $r_g = 20 \text{ Ом}$ ,  $C_\pi = C_{\mu} = 1 \text{ пФ}$ .

Для выполнения использовать пакеты Mathcad или MATLAB.



#### Контрольные вопросы/задания:

<p>Знать: базовые характеристики и основы проектирования нелинейных функциональных узлов радио-электронной аппаратуры различного назначения</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. В чем состоят ключевые различия метода баланса гармоник для автономных и неавтономных динамических систем?</li> <li>2. Пояснить алгоритм получения начального приближения для решения системы уравнений баланса гармоник для неавтономных динамических систем</li> <li>3. Для однопетлевой структурной схемы пояснить механизм влияния КЧХ коэффициента передачи цепи обратной связи на частотах высших гармоник на фазу первой гармоники тока активного элемента</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

## **КМ-2. Расчетное задание №2 «Расчет переходных процессов в одноконтурном автогенераторе»**

**Формы реализации:** Выполнение задания

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

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

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

### **Краткое содержание задания:**

**Задание 2. Расчет переходного процесса при включении автогенератора методом укороченных уравнений.**

Получить аналитическое выражение для зависимости амплитуды автоколебаний  $U(t)$  при самовозбуждении одноконтурного автогенератора с характеристикой активного элемента  $i(u) = S_1 u (1 - u^2 / U_x^2)$ . Считать заданными: собственную частоту контура без потерь  $\omega_0$ , добротность контура  $Q$ , запас по самовозбуждению  $F = S_1 R_y$  ( $R_y$  – резонансное управляющее сопротивление) и отношение  $U(0)/U_x$ . Амплитуду  $U(t)$  нормировать к  $U_x$ . Построить зависимости  $U(t)/U_x$  при  $\omega_0/2\pi = 10$  МГц,  $Q = 100$ ,  $U(0)/U_x = 10^{-4}$  для двух значений  $F = 1.5$  и  $F = 3$ . Получить приближенное выражение для времени установления амплитуды по уровню 0.9 от стационарного значения и, используя его, оценить длительности переходных процессов для двух рассмотренных случаев.

### **Контрольные вопросы/задания:**

Уметь: использовать программы математического моделирования процессов в нелинейных радиотехнических устройствах и системах	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Получить линейное укороченное уравнение рассматриваемой схемы в области возбуждения и записать его общее решение</li><li>2. Получить линейное укороченное уравнение рассматриваемой схемы в области установления и записать его общее решение</li><li>3. Одноконтурный автогенератор имеет запас по самовозбуждению <math>SR=4</math>. Как изменится длительность переходного процесса, если добротность контура уменьшить вдвое за счет внесения дополнительного сопротивления потерь?</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



**КМ-3. Расчетное задание №3 «Составление укороченных уравнений и анализ стационарных режимов автогенератора с автосмещением»**

**Формы реализации:** Выполнение задания

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

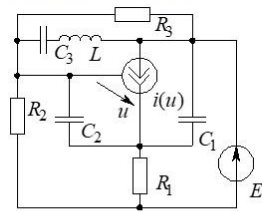
**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 30

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

**Краткое содержание задания:**

**Задание 3. Составление укороченных уравнений и анализ стационарных режимов автогенератора с автосмещением**

Для схемы рис. 1. записать систему укороченных уравнений в комплексной и вещественной формах. Найти выражения для параметров, входящих в эту систему. Провести верификацию полученных выражений путем сравнения графиков точной и приближенной частотных характеристик управляющего сопротивления как в окрестности частоты резонанса, так и в окрестности нулевой частоты. Рассчитать стационарную амплитуду колебаний и полную колебательную мощность первой гармоники. Параметры схемы  $C_1 = 10 \text{ пФ}$ ,  $C_2 = 40 \text{ пФ}$ ,  $C_3 = 10 \text{ пФ}$ ,  $L = 0.02 \text{ мкГн}$ ,  $R_1 = 200 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 2x \text{ кОм}$ ,  $R_3 = 6x \text{ кОм}$ ,  $E = 10 \text{ В}$ ,  $S = 100 \text{ мА/В}$ .  $E' = 0.6 \text{ В}$ . Положить  $x = 1$ .



$$i(u) = \begin{cases} S(u - E'), & u \geq E' \\ 0, & u < E' \end{cases}$$

Рис. 1. Схема к заданию 3

**Контрольные вопросы/задания:**

<p><b>Знать:</b> методы исследования нелинейных функцио-нальных узлов и компонентов, применяемых при разработке радиотехнических устройств</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Пояснить основные допущения метода комплексной огибающей для нелинейных систем</li> <li>2.Почему для обеспечения выполнения условий применимости метода огибающей при стремлении к бесконечности добротности контура необходимо выполнение требования стремления к нулю коэффициента включения активного элемента?</li> <li>3.Пояснить требования к выбору малого параметра в методе Евтянова</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*

## КМ-4. Расчетное задание №4 «Исследование динамических свойств автогенератора с автосмещением»

**Формы реализации:** Выполнение задания

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

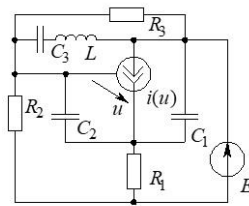
**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 35

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

### Краткое содержание задания:

**Задание 4. Исследование динамических свойств автогенератора с автосмещением**

Для схемы рис. 1 с параметрами, приведенными в задании 3 (при  $x=1$ ), определить тип точки покоя на фазовой плоскости  $(E_c, U)$ , соответствующей режиму стационарной генерации. Найти постоянную времени, определяющую длительность процесса установления стационарной амплитуды колебаний. Найти численно бифуркационное значение параметра  $x$ , при котором: а) происходит смена лимитационного характера установления амплитуды колебательным; б) теряется устойчивость стационарного режима и возникает самомодуляция. Рассчитать частоту самомодуляции вблизи границы ее возникновения.



$$i(u) = \begin{cases} S(u - E'), & u \geq E' \\ 0, & u < E' \end{cases}$$

Рис. 1. Схема к заданию 4

### Контрольные вопросы/задания:

<p><b>Знать:</b> базовые характеристики и основы проектирования нелинейных функциональных узлов радио-электронной аппаратуры различного назначения</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Как зависит длительность процесса установления амплитуды в автогенераторе от постоянной времени цепи автосмещения. При каких условиях обеспечивается минимальная длительность переходного процесса?</li> <li>2. Пояснить физический смысл прочности предельного цикла автогенератора на одном управляемом генераторе</li> <li>3. В чем суть явления синхронизации колебаний гармоническим воздействием? Что такое полоса синхронизма? Как показать, что синхронный режим устойчив?</li> </ol>
<p><b>Уметь:</b> применять теоретико-колебательные методы исследования нелинейных радиотехнических устройств и систем</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Получить приближенные выражения для параметров укороченного передаточного сопротивления рассматриваемого автогенератора в окрестности нулевой частоты</li> <li>2. Получить выражение для определения частоты самомодуляции в рассматриваемой схеме автогенератора</li> <li>3. Получить выражение для полосы синхронизации рассматриваемого автогенератора малым гармоническим воздействием по цепи питания</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*

# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

## 2 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-2ПК-1 Выполняет математическое и компьютерное моделирование радиоэлектронных устройств с целью оптимизации их параметров

### Вопросы, задания

1. Пояснить основные допущения метода укороченных уравнений в форме Ван-дер-Поля
2. Почему широкополосный нелинейный элемент вне зависимости от его порядка при записи укороченных уравнений первого приближения описывается выражением вида  $i(u, pu)$ ?
3. Пояснить механизм возникновения неизохронности автогенератора в переходном режиме
4. Какие явления могут наблюдаться в автогенераторе с жесткой характеристикой активно-го элемента при изменении амплитуды асинхронного внешнего воздействия?
5. В чем суть явления синхронизации колебаний гармоническим внешним воздействием?
6. Что такое полоса синхронизма? Какие можно предложить способы для расширения полосы синхронизма в одноконтурном генераторе
7. Как показать, что синхронный режим устойчив?
8. Как зависит амплитуда колебаний в синхронизированном малой внешней силой автогенераторе и сдвиг фаз между током внешнего воздействия и напряжением автоколебаний от расстройки между частотой внешнего воздействия и частотой колебаний в автономном генераторе?
9. При каких условиях возникает режим взаимной синхронизации двух автогенераторов, колебательные контуры которых связаны через малую активную проводимость.
10. Используя укороченное символическое уравнение для автогенератора с одной степенью свободы и положительной средней крутизной активного элемента (управляемый источник тока), получить условие возникновения автоколебаний и уравнение для их амплитуды. Считать, что колебательная характеристика является мягкой

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. В основе квазилинейного метода анализа нелинейной колебательной системы лежат:

Ответы:

- а) линейная аппроксимация производных в исходном дифференциальном уравнении системы и квазилинейная аппроксимация функции, описывающей внешнее воздействие;
- б) предположения о линейном изменении во времени обобщенной координаты и внешнего воздействия;
- в) допущение о квазигармоничности колебания и учет только первой гармоники обобщенной координаты

Верный ответ: в) допущение о квазигармоничности колебания и учет только первой гармоники обобщенной координаты

2. Свободные колебания в консервативной нелинейной системе с одной степенью свободы неизохронны, что означает зависимость

Ответы:

- а) частоты колебаний от возвращающей силы;
- б) периода колебаний от их амплитуды;
- в) периода колебаний от длительности колебательного процесса;

Верный ответ: б) периода колебаний от их амплитуды

3. В диапазоне СВЧ к автогенератору подключают высокодобротный объемный резонатор, причем величина связи велика. При таком подключении в автогенераторе наблюдается

Ответы:

- а) возникновение автоколебаний на разностной частоте (биений);
- б) явление параметрического резонанса;
- в) явление затягивания частоты

Верный ответ: в) явление затягивания частоты

4. Отрезок передающей линии закорочен на одном конце и нагружен туннельным диодом с пренебрежимо малой емкостью на другом конце. Что можно сказать о колебаниях такой системы?

Ответы:

- а) колебания невозможны, так как отрезок линии закорочен;
- б) колебания возможны, но они не являются гармоническими;
- в) колебания возможны и они гармонические, так как отрезок линии является резонатором

Верный ответ: б) колебания возможны, но они не являются гармоническими

## **II. Описание шкалы оценивания**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа выполнена в рамках "продвинутого" уровня. Ответы даны верно, четко сформулированные особенности практических решений

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа выполнена в рамках "базового" уровня. Большинство ответов даны верно. В части материала есть незначительные недостатки

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа выполнена в рамках "порогового" уровня. Основная часть задания выполнена верно. на вопросы углубленного уровня

## **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».