

**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 системы

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

**Оценочные материалы
по дисциплине
Методы анализа нелинейных динамических систем**

**Москва
2025**

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Разработчик

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

А.Р. Сафин

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной
программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Комаров А.А.
	Идентификатор	R8495daf1-KomarovAlA-eada3f0e

А.А.
Комаров

Заведующий
выпускающей кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Комаров А.А.
	Идентификатор	R8495daf1-KomarovAlA-eada3f0e

А.А.
Комаров

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 Способен проводить исследования в целях совершенствования радиоэлектронных систем

ИД-2 Выполняет математическое и компьютерное моделирование радиоэлектронных систем 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

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

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

Вид промежуточной аттестации – Зачет с оценкой.

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 укорочен-ных уравнений				
Анализ динамики автогенератора с автосмещением методом укорочен-ных уравнений			+	
Внешнее воздействие на автогенератор. Двухмодовые автогенераторы				
Внешнее воздействие на автогенератор. Двухмодовые автогенераторы	+			+
Вес КМ:	15	20	30	35

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

		следования нелинейных радиотехнических уст- ройств и систем	
--	--	---	--

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 $\frac{i_c}{U_s}$ 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: $f_s = 1$ ГГц, $U_s = 0.7$ В, $E = 5$ В, температура 25°C .

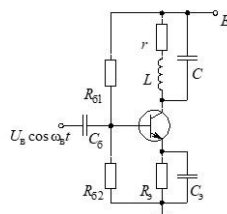
Номиналы элементов схемы:

$L = 5$ нГн, $C = 3$ пФ, $r = 1$ Ом, $R_g = 200$ Ом, $C_g = C_s = 100$ пФ, $R_{g1} = 3$ кОм, $R_{g2} = 1$ кОм.

Параметры модели транзистора:

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

Для выполнения использовать пакеты Mathcad или MATLAB.



Контрольные вопросы/задания:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Знать: базовые характеристики и основы проектирования нелинейных функциональных узлов радио-электронной аппаратуры различного назначения	1. В чем состоят ключевые различия метода баланса гармоник для автономных и неавтономных динамических систем? 2. Пояснить алгоритм получения начального приближения для решения системы уравнений баланса гармоник для неавтономных динамических систем

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

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 («хорошо»)

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 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

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

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не 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 ω_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 $\omega_0/2\pi = 10\text{ МГц}$, $Q=100$, $U(0)/U_x = 10^{-4}$ 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:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Уметь: использовать программы математического моделирования процессов в нелинейных радиотехнических устройствах и системах	1.Получить линейное укороченное уравнение рассматриваемой схемы в области возбуждения и записать его общее решение 2.Получить линейное укороченное уравнение рассматриваемой схемы в области установления и записать его общее решение 3.Одноконтурный автогенератор имеет запас по самовозбуждению $SR=4$. Как изменится длительность переходного процесса, если добротность контура уменьшить вдвое за счет внесения дополнительного сопротивления потерь?

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

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 («хорошо»)

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 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

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

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

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

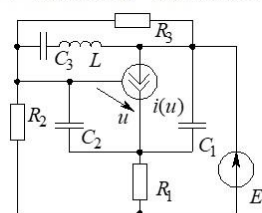
Вес контрольного мероприятия в БРС: 30

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 $C_1 = 10 \text{ пФ}$, $C_2 = 40 \text{ пФ}$, $C_3 = 10 \text{ пФ}$, $L = 0.02 \text{ мГн}$, $R_1 = 200 \text{ Ом}$, $R_2 = 2 \text{ кОм}$, $R_3 = 6 \text{ кОм}$, $E = 10 \text{ В}$, $S = 100 \text{ мА/В}$. $E' = 0.6 \text{ В}$. 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:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Знать: методы исследования нелинейных функцио-нальных узлов и компонентов, применяемых при разработке радиотехнических устройств	1.Пояснить основные допущения метода комплексной огибающей для нелинейных систем 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? 3.Пояснить требования к выбору малого параметра в методе Евтянова

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

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 («хорошо»)

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 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

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

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

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

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

Формы реализации: Выполнение задания

Тип контрольного мероприятия: Расчетно-графическая работа

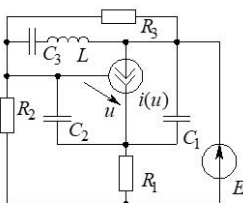
Вес контрольного мероприятия в БРС: 35

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:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Знать: базовые характеристики и основы проектирования нелинейных функциональных узлов радио-электронной аппаратуры различного назначения	1.Пояснить физический смысл прочности предельного цикла автогенератора на одном управляемом генераторе 2.В чем суть явления синхронизации колебаний гармоническим воздействием? Что такое полоса синхронизма? Как показать, что синхронный режим устойчив?
Уметь: применять теоретико-колебательные методы исследования нелинейных радиотехнических устройств и систем	1.Получить приближенные выражения для параметров укороченного передаточного сопротивления рассматриваемого автогенератора в окрестности нулевой частоты 2.Получить выражение для определения частоты самомодуляции в рассматриваемой схеме автогенератора

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
	3.Получить выражение для полосы синхронизации рассматриваемого автогенератора малым гармоническим воздействием по цепи питания

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

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 («хорошо»)

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 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

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

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не 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 систем 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 $i(u, \omega)$?
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 высокочастотный 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 («отлично»)

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 («хорошо»)

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 («удовлетворительно»)

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

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

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».