

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

Рабочая программа дисциплины
МЕТОДЫ АНАЛИЗА НЕЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ


| | |
|--|---|
| Блок: | Блок 1 «Дисциплины (модули)» |
| Часть образовательной программы: | Часть, формируемая участниками образовательных отношений |
| № дисциплины по учебному плану: | Б1.Ч.01.01.02 |
| Трудоемкость в зачетных единицах: | 2 семестр - 3; |
| Часов (всего) по учебному плану: | 108 часов |
| Лекции | 2 семестр - 16 часов; |
| Практические занятия | 2 семестр - 16 часов; |
| Лабораторные работы | не предусмотрено учебным планом |
| Консультации | проводится в рамках часов аудиторных занятий |
| Самостоятельная работа | 2 семестр - 75,7 часа; |
| в том числе на КП/КР | не предусмотрено учебным планом |
| Иная контактная работа | проводится в рамках часов аудиторных занятий |
| включая: | |
| Расчетно-графическая работа | |
| Промежуточная аттестация: | |
| Зачет с оценкой | 2 семестр - 0,3 часа; |

Москва 2021

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

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)

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: изучение методов исследования характеристик нелинейных устройств генерирования колебаний и формирования радиосигналов, а также проектирования таких устройств для использования в радиотехнических системах различного назначения

Задачи дисциплины

- изучение основных методов анализа процессов и расчета характеристик и показателей качества нелинейных функциональных узлов в составе радиотехнических систем различного назначения;
- изучение особенностей использования нелинейных моделей электронной компонентной базы, на основе которых проектируются нелинейные резонансные функциональные узлы РЭС.

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

| Код и наименование компетенции | Код и наименование индикатора достижения компетенции | Запланированные результаты обучения |
|--|---|--|
| ПК-1 Способность проводить исследования в целях совершенствования радиоэлектронных устройств | 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 функцио-нальных узлов и компонентов, применяемых при разработке радиотехнических устройств. уметь: - применять теоретико-колебательные методы ис-следования нелинейных радиотехнических уст- ройств и систем; - использовать программы математического мо-делирования процессов в нелинейных радиотех-нических устройствах и системах. |

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Радиотехнические методы и устройства формирования и обработки сигналов (далее – ОПОП), направления подготовки 11.04.01 Радиотехника, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать теоретические основы теории цепей и сигналов
- знать физические и математические модели активных твердотельных усилительных и генерирующих элементов, линий с распределёнными параметрами, нелинейных безынерционных преобразований сигналов
- знать методы качественного анализа нелинейных колебательных систем
- уметь рассчитывать характеристики нелинейных преобразований сигналов в радиотехнических цепях
- уметь выполнять расчёты режимов основных аналоговых функциональных узлов РЭС

- уметь составлять дифференциальные уравнения линейных и нелинейных радиотехнических цепей

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 часов.

| № п/п | Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации | Всего часов на раздел | Семестр | Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы | | | | | | | | | | Содержание самостоятельной работы/ методические указания |
|-------|--|-----------------------|---------|--|-----|----|--------------|---|-----|----|----|-------------------|-----------------------------------|--|
| | | | | Контактная работа | | | | | | | СР | | | |
| | | | | Лек | Лаб | Пр | Консультация | | ИКР | | ПА | Работа в семестре | Подготовка к аттестации /контроль | |
| КПР | ГК | ИККП | ТК | | | | | | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| 1 | Метод баланса гармоник Метод медленно-меняющихся амплитуд в форме Ван-Дер-Поля | 26 | 2 | 4 | - | 4 | - | - | - | - | - | 18 | - | <p><u>Подготовка расчетно-графического задания:</u> Выполнение расчетного задания №1 "Расчет стационарного режима усилителя мощности методом баланса гармоник"</p> <p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение материала по разделу "Метод баланса гармоник Метод медленно-меняющихся амплитуд в форме Ван-Дер-Поля"</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [3], стр. 156-170</p> |
| 1.1 | Метод баланса гармоник Метод медленно-меняющихся амплитуд в форме Ван-Дер-Поля | 26 | | 4 | - | 4 | - | - | - | - | - | 18 | - | |
| 2 | Обобщения метода медленно меняющихся амплитуд | 26 | | 4 | - | 4 | - | - | - | - | - | 18 | - | |
| 2.1 | Обобщения метода медленно меняющихся амплитуд | 26 | | 4 | - | 4 | - | - | - | - | - | 18 | - | |
| 3 | Анализ динамики автогенератора с автосмещением | 28 | | 4 | - | 4 | - | - | - | - | - | 20 | - | <p><u>Подготовка расчетно-графического задания:</u> Выполнение расчетного задания №3 "Составление укороченных уравнений и</p> |

| | | | | | | | | | | | | | |
|-----|--|-------|----|---|----|---|---|---|---|-----|------|---|--|
| | методом укороченных уравнений | | | | | | | | | | | | анализ стационарных режимов автогенератора с автосмещением" |
| 3.1 | Анализ динамики автогенератора с автосмещением методом укороченных уравнений | 28 | 4 | - | 4 | - | - | - | - | - | 20 | - | <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение материала по разделу "Анализ динамики автогенератора с автосмещением методом укороченных уравнений" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [2], гл. 7 |
| 4 | Внешнее воздействие на автогенератор. Двухмодовые автогенераторы | 27.7 | 4 | - | 4 | - | - | - | - | - | 19.7 | - | <u>Подготовка расчетно-графического задания:</u> Выполнение расчетного задания №4 "Исследование динамических свойств автогенератора с автосмещением" |
| 4.1 | Внешнее воздействие на автогенератор. Двухмодовые автогенераторы | 27.7 | 4 | - | 4 | - | - | - | - | - | 19.7 | - | <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение материала по разделу "Внешнее воздействие на автогенератор. Двухмодовые автогенераторы" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [2], гл. 8, 9 [3], стр. 294-302, 334-339 |
| | Зачет с оценкой | 0.3 | - | - | - | - | - | - | - | 0.3 | - | - | |
| | Всего за семестр | 108.0 | 16 | - | 16 | - | - | - | - | 0.3 | 75.7 | - | |
| | Итого за семестр | 108.0 | 16 | - | 16 | - | - | - | - | 0.3 | 75.7 | - | |

Примечание: Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПр – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

3.2 Краткое содержание разделов

1. Метод баланса гармоник Метод медленно-меняющихся амплитуд в форме Ван-Дер-Поля

1.1. Метод баланса гармоник Метод медленно-меняющихся амплитуд в форме Ван-Дер-Поля

Анализ нелинейных систем с большими периодическими колебаниями. Метод баланса гармоник для автономных и неавтономных систем. Метод баланса гармоник для автономных и неавтономных систем (продолжение). Методы получения начального приближения в случае автономных и неавтономных систем. Случай одногармонического решения для автогенератора. Метод медленно-меняющихся амплитуд в форме Ван-дер-Поля на примере автогенератора с трансформаторной обратной связью. Определение стационарного режима и анализ устойчивости автоколебаний с помощью укороченных уравнений. Зависимость амплитуды установившихся колебаний от параметров. Бифуркационная диаграмма. Зависимость частоты колебаний от амплитуды в стационарном режиме. Переходные процессы в одноконтурном автогенераторе. Уравнения Лагранжа для консервативных систем. Замечания о колебаниях в линейных диссипативных системах с малыми потерями.

2. Обобщения метода медленно-меняющихся амплитуд

2.1. Обобщения метода медленно-меняющихся амплитуд

Обобщения метода медленно-меняющихся амплитуд. Метод укороченных уравнений для линейных систем. Получение укороченных уравнений из символических. Метод Евтянова. Метод укороченных уравнений для нелинейных систем. Различные формы представления системы укороченных уравнений для автономных и неавтономных нелинейных систем (комплексная и вещественные амплитудно-фазовая и координатная формы). Примеры получения укороченных уравнений для линейных и нелинейных систем.

3. Анализ динамики автогенератора с автосмещением методом укороченных уравнений

3.1. Анализ динамики автогенератора с автосмещением методом укороченных уравнений

Одноконтурный автогенератор с автосмещением. Укороченные уравнения. Основные допущения. Анализ стационарных режимов. Диаграммы срыва и смещения. Уравнения для малых возмущений. Анализ условий устойчивости автоколебаний и условий возникновения самомодуляции. Анализ переходных процессов. Чувствительность амплитуды и частоты автоколебаний к изменению параметров системы. Параметры линеаризованной модели и условия устойчивости автоколебаний при кусочно-линейной аппроксимации характеристики активного элемента. Укороченные уравнения автогенератора с нелинейными элементами, управляемыми двумя различными обобщенными координатами.

4. Внешнее воздействие на автогенератор. Двухмодовые автогенераторы

4.1. Внешнее воздействие на автогенератор. Двухмодовые автогенераторы

Автоколебательные системы при внешнем воздействии. Асинхронное внешнее воздействие на автогенератор. Асинхронное тушение и возбуждение автоколебаний. Синхронное внешнее воздействие на автогенератор. Деление и умножение частоты. Синхронизация при малых амплитудах. Автоколебательные системы со многими степенями свободы. Особенности укороченных уравнений. Одночастотный и многочастотный режимы. Взаимодействие многих колебаний в нелинейных системах. Взаимосвязанные

автоколебательные системы. Анализ взаимодействия автоколебаний асинхронных частот двух автогенераторов. Условия сосуществования колебаний. Взаимная синхронизация автогенераторов на кратных или равных частотах. Зоны взаимной синхронизации. Обобщения системы методов анализа нелинейных динамических систем их роль в современной радиоэлектронике.

3.3. Темы практических занятий

1. Зависимость амплитуды установившихся колебаний от параметров. Бифуркационная диаграмма. Зависимость частоты колебаний от амплитуды в стационарном режиме. Переходные процессы в одноконтурном автогенераторе;
2. Примеры получения укороченных уравнений для линейных и нелинейных систем;
3. Диаграммы срыва и смещения. Уравнения для малых возмущений. Анализ условий устойчивости автоколебаний и условий возникновения самомодуляции. Анализ переходных процессов;
4. Асинхронное тушение и возбуждение автоколебаний. Синхронизация автогенератора при малых амплитудах. Анализ синхронизации двух автогенераторов при слабой связи.

3.4. Темы лабораторных работ

не предусмотрено

3.5 Консультации

Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Обсуждение материалов по сложным вопросам раздела "Метод баланса гармоник Метод медленно-меняющихся амплитуд в форме Ван-Дер-Поля"
2. Обсуждение материалов по сложным вопросам раздела "Обобщения метода медленно-меняющихся амплитуд"
3. Обсуждение материалов по сложным вопросам раздела "Анализ динамики автогенератора с автосмещением методом укороченных уравнений"
4. Обсуждение материалов по сложным вопросам раздела "Внешнее воздействие на автогенератор. Двухмодовые автогенераторы"

Текущий контроль (ТК)

1. Консультации направлены на пояснение особенностей выполнения контрольных мероприятий по разделу "Метод баланса гармоник Метод медленно-меняющихся амплитуд в форме Ван-Дер-Поля"
2. Консультации направлены на пояснение особенностей выполнения контрольных мероприятий по разделу "Обобщения метода медленно-меняющихся амплитуд"
3. Консультации направлены на пояснение особенностей выполнения контрольных мероприятий по разделу "Анализ динамики автогенератора с автосмещением методом укороченных уравнений"
4. Консультации направлены на пояснение особенностей выполнения контрольных мероприятий по разделу "Внешнее воздействие на автогенератор. Двухмодовые автогенераторы"

3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ

Курсовой проект/ работа не предусмотрены

3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

| Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1) | Коды индикаторов | Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1) | | | | Оценочное средство (тип и наименование) |
|--|------------------|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| Знать: | | | | | | |
| методы исследования нелинейных функциональных узлов и компонентов, применяемых при разработке радиотехнических устройств | ИД-2ПК-1 | | | + | | Расчетно-графическая работа/Расчетное задание №3 «Составление укороченных уравнений и анализ стационарных режимов автогенератора с автосмещением» |
| базовые характеристики и основы проектирования нелинейных функциональных узлов радиоэлектронной аппаратуры различного назначения | ИД-2ПК-1 | + | | | + | Расчетно-графическая работа/Расчетное задание №1 "Расчет стационарного режима усилителя мощности методом баланса гармоник" Расчетно-графическая работа/Расчетное задание №4 «Исследование динамических свойств автогенератора с автосмещением» |
| Уметь: | | | | | | |
| использовать программы математического моделирования процессов в нелинейных радиотехнических устройствах и системах | ИД-2ПК-1 | | + | | | Расчетно-графическая работа/Расчетное задание №2 «Расчет переходных процессов в одноконтурном автогенераторе» |
| применять теоретико-колебательные методы исследования нелинейных радиотехнических устройств и систем | ИД-2ПК-1 | | | | + | Расчетно-графическая работа/Расчетное задание №4 «Исследование динамических свойств автогенератора с автосмещением» |

4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)

4.1. Текущий контроль успеваемости

2 семестр

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)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Зачет с оценкой (Семестр №2)

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

Примечание: Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Печатные и электронные издания:

1. Кулешов, В. Н. Динамика нелинейных резонансных узлов устройств формирования сигналов : учебное пособие по курсам "Теория колебаний", "Регулярная и хаотическая динамика нелинейных систем" по направлению "Радиотехника" / В. Н. Кулешов, А. А. Перфильев, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – М. : Издательский дом МЭИ, 2007 . – 128 с. - ISBN 978-5-383-00061-8 .;
2. Капранов, М. В. Теория колебаний в радиотехнике : учебное пособие для радиотехнических специальностей вузов / М. В. Капранов, В. Н. Кулешов, Г. М. Уткин . – М. : Наука, 1984 . – 320 с.;
3. Стрелков С. П.- "Введение в теорию колебаний", (3-е изд., стер.), Издательство: "Лань", Санкт-Петербург, 2005 - (440 с.)
http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=603.

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. СДО "Прометей";
2. Office;
3. Windows;
4. MathCad;
5. Майнд Видеоконференции;
6. Acrobat Reader.

5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" - http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red
3. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
4. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
5. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

| Тип помещения | Номер аудитории, наименование | Оснащение |
|---|--|---|
| Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля | Е-703/3, Лаборатория каф. "ФОРС" | стеллаж, стол преподавателя, стол, стул, вешалка для одежды, доска меловая, лабораторный стенд |
| | Ж-120, Машинный зал ИВЦ | сервер, кондиционер |
| Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП | Е-703/3, Лаборатория каф. "ФОРС" | стеллаж, стол преподавателя, стол, стул, вешалка для одежды, доска меловая, лабораторный стенд |
| | Ж-120, Машинный зал ИВЦ | сервер, кондиционер |
| Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации | Е-703/3, Лаборатория каф. "ФОРС" | стеллаж, стол преподавателя, стол, стул, вешалка для одежды, доска меловая, лабораторный стенд |
| Помещения для самостоятельной работы | НТБ-303, Компьютерный читальный зал | стол компьютерный, стул, стол письменный, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер |
| Помещения для консультирования | Е-703/4, Лаборатория | стеллаж, стол, стул, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, лабораторный стенд, оборудование для экспериментов, компьютер персональный, принтер, кондиционер, книги, учебники, пособия |
| | Е-703/8, Кабинет сотрудников каф. "ФОРС" | кресло рабочее, стол, стул, шкаф для документов, стол письменный, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, книги, учебники, пособия |
| Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря | Е-703/10, Помещение для хранения оборудования, наглядных пособий | рабочее место сотрудника, стол, стул, шкаф, компьютер персональный, принтер, холодильник, кондиционер, книги, учебники, пособия |
| | Е-703/7, Кладовая каф. "ФОРС" | стеллаж, стол, стул |

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Методы анализа нелинейных динамических систем

(название 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.

| Номер раздела | Раздел дисциплины | Индекс КМ: | КМ-1 | КМ-2 | КМ-3 | КМ-4 |
|---------------|--|------------|------|------|------|------|
| | | Неделя КМ: | 4 | 8 | 12 | 15 |
| 1 | Метод баланса гармоник Метод медленно-меняющихся амплитуд в форме Ван-Дер-Поля | | | | | |
| 1.1 | Метод баланса гармоник Метод медленно-меняющихся амплитуд в форме Ван-Дер-Поля | | + | | | + |
| 2 | Обобщения метода медленно меняющихся амплитуд | | | | | |
| 2.1 | Обобщения метода медленно меняющихся амплитуд | | | + | | |
| 3 | Анализ динамики автогенератора с автосмещением методом укороченных уравнений | | | | | |
| 3.1 | Анализ динамики автогенератора с автосмещением методом укороченных уравнений | | | | + | |
| 4 | Внешнее воздействие на автогенератор. Двухмодовые автогенераторы | | | | | |
| 4.1 | Внешнее воздействие на автогенератор. Двухмодовые автогенераторы | | + | | | + |
| Вес КМ, %: | | | 15 | 20 | 30 | 35 |