

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой радиофизики



подпись,

(Ю.Э. Корчагин)
расшифровка подписи
31. 08. 2018 г

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
Б1.В.ДВ.2 Нелинейные преобразования сигналов в передающих трактах
радиоаппаратуры

1. Код и наименование направления подготовки/специальности: 03.04.03

Радиофизика

2. Профили подготовки: Компьютерные методы обработки радиофизической информации, статистическая радиофизика

3. Квалификация (степень) выпускника: магистр

4. Форма обучения: очная

5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: кафедра радиофизики

6. Составители программы: Прибытков Юрий Николаевич, к.ф.-м.н., доцент

7. Рекомендована кафедрой радиофизики, протокол № 1 от 31.08.2018 г.

отметки о продлении вносятся вручную)

8. Учебный год: 2018/2019

Семестр: 3

9. Цели и задачи учебной дисциплины: Формирование у студентов базовых знаний по основам анализа нелинейных искажений сигналов в передающих трактах радиопередающей аппаратуры. Ознакомление с моделями нелинейных искажений и цифровыми методами их компенсации.

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП: Дисциплина относится к вариативной части профессионального цикла. Для её успешного усвоения необходимы

знания по дисциплинам: “Математический анализ”, “Линейная алгебра”, “Теория вероятностей и математическая статистика”.

К моменту начала обучения по дисциплине студент должен знать элементы математического анализа, теории вероятностей и математической логики. Дисциплина опирается на курсы «Основы передачи данных в телекоммуникационных системах». Указанные знания потребуются для освоения теоретических разделов курса и составления программ при выполнении практических заданий.

11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников):

Компетенция		Планируемые результаты обучения
Код	Название	
ОПК-3	Способность к свободному владению знаниями фундаментальных разделов физики и радиофизики, необходимых для решения научно-исследовательских задач	<p>знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Основные принципы анализа нелинейных искажений в цифровых системах связи; <p>уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Разрабатывать программы моделирования алгоритмов компенсации нелинейных искажений; <p>владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Методами численного анализа характеристик нелинейных искажений и степени их компенсации;
ПК-1	Способность использовать в своей научно-исследовательской деятельности знание современных проблем и новейших достижений физики и радиофизики	<p>знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Причины возникновения нелинейных искажений в передающих трактах; <p>уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Оценивать уровень помехи, вызванной нелинейными искажениями; <p>владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Методами синтеза алгоритмов компенсации нелинейных искажений;
ПК-2	способность самостоятельно ставить научные задачи в области физики и радиофизики и решать их с использованием современного оборудования и новейшего отечественного и зарубежного опыта	<p>уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> • применять различные модели нелинейных искажений в зависимости от ширины спектра сигнала, режимов работы усилительных каскадов и др. <p>владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> • навыками поиска сведений в современной научной литературе.

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час 3/108.

Форма промежуточной аттестации *зачёт*.

13. Виды учебной работы

Вид учебной работы	Трудоемкость			
	Всего	По семестрам		
		№ семестра 3		
Аудиторные занятия	28	28		
в том числе: лекции	14	14		
практические				
лабораторные	14	14		
Самостоятельная работа	80	80		
Итого:	108	108		
Форма промежуточной аттестации <i>зачет</i>				

13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
1. Лекции		
1.1	Преобразование сигналов в нелинейных системах.	Введение. Спектральные характеристики сигналов, на выходе нелинейных систем. Численные характеристики степени искажения сигнала.
1.2	Нелинейность передающих трактов радиопередающей аппаратуры.	Обзор моделей усилителей мощности. Режимы работы усилителей. Характеристики IP2, IP3. Их оценка при помощи двхтонового сигнала. Характеристики искажений информационных сигналов. Амплитудно-амплитудные и амплитудно-фазовые искажения.
1.3	Модели усилителей без памяти. Синтез алгоритмов компенсации искажений.	Модели Saleh, модифицированная Saleh, Hetrakul, Berman, Mahle, разложение в ряды Тэйлора и Фурье. Синтез алгоритмов компенсации искажений.
1.4	Модели усилителей с памятью. Синтез алгоритмов компенсации искажений.	Модели усилителей с линейной памятью Модели усилителей с нелинейной памятью Параллельно каскадная модель Винера, Модель на основе рядов Вольтерра Полиномиальная модель. Модель на базе нейронной сети, авторегрессионная модель. Синтез алгоритмов компенсации искажений
1.5	Моделирование передающих трактов и алгоритмов компенсации нелинейных искажений.	Принципы моделирования искажений комплексной огибающей сигнала. Формирование LUT. Компенсация искажений с использованием LUT. Цифровые нелинейные фильтры.
2. Практические занятия не предусмотрены		
3. Лабораторные работы		
3.1	Исследование преобразование спектров в нелинейных системах.	Создание базовой программной модели источника сигнала и усилителя в среде MatLab. Визуализация спектра сигнала на выходе нелинейной системы. Анализ гармонических составляющих и внутриволосных искажений спектра.
3.2	Моделирование и анализ алгоритма компенсации нелинейных искажений для моделей без памяти.	Получение LUT для заданной модели усилителя без памяти, Компенсация искажений. Анализ спектра до и после применения предъискажений.
3.3	Моделирование и анализ алгоритмов компенсации нелинейных искажений для моделей с памятью	Моделирование усилителя с линейной памятью. Амплитудно-амплитудные и амплитудно-фазовые характеристики. Моделирование алгоритма компенсации искажений.

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Виды занятий (часов)				Всего
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	
1	Преобразование сигналов в нелинейных системах.	2		2	10	14
2	Нелинейность передающих трактов радиопередающей аппаратуры.	2			20	22
3	Модели усилителей без памяти. Синтез алгоритмов компенсации искажений.	2		6	20	28
4	Модели усилителей с памятью. Синтез алгоритмов компенсации искажений.	6			20	26
5	Моделирование передающих трактов и алгоритмов компенсации нелинейных искажений.	2		6	10	18
Итого:		14		14	80	108

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

В процессе изучения курса «Нелинейные преобразования сигналов в передающих трактах радиоаппаратуры» студенты должны посвятить учебное время не только изучению моделей нелинейных систем, но и пониманию области применимости этих моделей. При этом необходимо уделить особое внимание анализу известных результатов по практическому применению различных подходов к синтезу алгоритмов предискажений. Для этого в процессе самостоятельного изучения материалов студентам необходимо не только усвоить материал, изложенных на лекциях, но и проанализировать результаты применения различных подходов по применению алгоритмов компенсации искажений как в отечественной, так и в иностранной периодической литературе. Для закрепления знаний в рамках курса предусмотрены лабораторные работы, в ходе выполнения которых студентам необходимо создать программную модель передатчика радиосигнала с нелинейным усилителем и провести анализ искажений сигнала, а также реализовать один из базовых алгоритмов внесения предискажений. Данная работа потребует самостоятельного изучения студентами необходимых библиотек среды MatLab или SciLab.

15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Богданович Б.М. Нелинейные искажения в приемно-усилительных устройствах. — М.: Связь, 1980. — 280 с.
2	D. Schreurs, M. O'Droma, A. Goacher, M. Gardinger RF Power Amplifier Behavioral Modeling New York : Cambridge University Press, 2009, 269p.
3	S. Maas Nonlinear Microwave and RF Circuits Boston: Artech Hous, 2003, 582p.
4	Б. Скляр «Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение». Изд.2-е, испр.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 1104с.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
1	А. М. Бобрешов, Н. Н. Мыррикова ПРОБЛЕМЫ АНАЛИЗА СИЛЬНО НЕЛИНЕЙНЫХ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ НА ОСНОВЕ РЯДОВ ВОЛЬТЕРРЫ / ВЕСТНИК ВГУ. СЕРИЯ: ФИЗИКА. МАТЕМАТИКА. 2013. № 2 с. 15.
2	Пупков К. А., Капалин В.И., Ющенко А.С. Функциональные ряды в теории нелинейных систем. — М.: Наука, 1976. — 448 с.

3	M. Isaksson Radio Frequency Power Amplifiers Behavioral Modeling, Parameter-Reduction, and Digital Predistortion Stockholm: KTH School of Electrical Engineering 2007, 59p.
4	Schetzen M. The Volterra and Wiener Theories of Nonlinear Systems. — Krieger Pub Co, 2006. — 595 p.

в) информационные электронно-образовательные ресурсы:

№ п/п	Источник
	Электронная библиотека Зональной научной библиотеки Воронежского государственного университета : электронно-библиотечная система. – URL : https://lib.vsu.ru/zgate?lnit+elib.xml,simple_elib.xml+rus
	Электронно-библиотечная система "Издательство "Лань" : https://e.lanbook.com/
	Электронно-библиотечная система "Университетская библиотека" : https://biblioclub.ru/
	Электронно-библиотечная система "Mylibrary" : http://lib.mylibrary.com/

16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы (учебно-методические рекомендации, пособия, задачки, методические указания по выполнению практических (контрольных) работ и др.)

№ п/п	Источник

17. Информационные технологии, используемые для реализации учебной дисциплины, включая программное обеспечение и информационно-справочные системы (при необходимости)

Для работы требуются ПК с установленным программным обеспечением:

- ОС Windows или Linux
- Пакет программ SciLab или MatLab.

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Учебная лаборатория кафедры.
Персональные компьютеры.

19. Фонд оценочных средств:

19.1. Перечень компетенций с указанием этапов формирования и планируемых результатов обучения

Код и содержание компетенции (или ее части)	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенции посредством формирования знаний, умений, навыков)	Этапы формирования компетенции (разделы (темы) дисциплины или модуля и их наименование)	ФОС* (средства оценивания)
ОПК-3 Способность к свободному владению знаниями фундаментальных разделов физики и радиофизики, необходимых для решения научно-исследовательских	знать: • Основные принципы анализа нелинейных искажений в цифровых системах связи;	1. Преобразование сигналов в нелинейных системах. 2. Нелинейность передающих трактов радиопередающей аппаратуры. 3. Модели усилителей без	Текущий контроль - собеседование. Вопросы по разделам 1-5

задач		<p>памяти. Синтез алгоритмов компенсации искажений.</p> <p>4. Модели усилителей с памятью. Синтез алгоритмов компенсации искажений.</p> <p>5. Моделирование передающих трактов и алгоритмов компенсации нелинейных искажений.</p>	
	<p>уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> Разрабатывать программы моделирования алгоритмов компенсации нелинейных искажений; 	<p>1. Преобразование сигналов в нелинейных системах.</p> <p>2. Нелинейность передающих трактов радиопередающей аппаратуры.</p> <p>3. Модели усилителей без памяти. Синтез алгоритмов компенсации искажений.</p> <p>4. Модели усилителей с памятью. Синтез алгоритмов компенсации искажений.</p> <p>5. Моделирование передающих трактов и алгоритмов компенсации нелинейных искажений.</p>	<p>Текущий контроль - собеседование.</p> <p>Вопросы по разделам 1-5</p>
	<p>владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> Методами численного анализа характеристик нелинейных искажений и степени их компенсации; 	<p>1. Преобразование сигналов в нелинейных системах.</p> <p>2. Нелинейность передающих трактов радиопередающей аппаратуры.</p> <p>3. Модели усилителей без памяти. Синтез алгоритмов компенсации искажений.</p> <p>4. Модели усилителей с памятью. Синтез алгоритмов</p>	<p>Текущий контроль - собеседование.</p> <p>Вопросы по разделам 1-5</p>

		<p>компенсации искажений.</p> <p>5. Моделирование передающих трактов и алгоритмов компенсации нелинейных искажений.</p>	
<p>ПК-1</p> <p>Способность использовать в своей научно-исследовательской деятельности знание современных проблем и новейших достижений физики и радиофизики</p>	<p>знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> Причины возникновения нелинейных искажений в передающих трактах; 	<ol style="list-style-type: none"> Преобразование сигналов в нелинейных системах. Нелинейность передающих трактов радиопередающей аппаратуры. Модели усилителей без памяти. Синтез алгоритмов компенсации искажений. Модели усилителей с памятью. Синтез алгоритмов компенсации искажений. Моделирование передающих трактов и алгоритмов компенсации нелинейных искажений. 	<p>Текущий контроль - собеседование.</p> <p>Вопросы по разделам 1-5</p>
	<p>уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> Оценивать уровень помехи, вызванной нелинейными искажениями; 	<ol style="list-style-type: none"> Преобразование сигналов в нелинейных системах. Нелинейность передающих трактов радиопередающей аппаратуры. Модели усилителей без памяти. Синтез алгоритмов компенсации искажений. Модели усилителей с памятью. Синтез алгоритмов компенсации искажений. Моделирование передающих трактов и алгоритмов компенсации нелинейных 	<p>Текущий контроль - собеседование.</p> <p>Вопросы по разделам 1-5</p>

		искажений.	
	<p>•владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Методами синтеза алгоритмов компенсации нелинейных искажений; 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Преобразование сигналов в нелинейных системах. 2. Нелинейность передающих трактов радиопередающей аппаратуры. 3. Модели усилителей без памяти. Синтез алгоритмов компенсации искажений. 4. Модели усилителей с памятью. Синтез алгоритмов компенсации искажений. 5. Моделирование передающих трактов и алгоритмов компенсации нелинейных искажений. 	Текущий контроль - собеседование. Вопросы по разделам 1-5
ПК-2 Способность самостоятельно ставить научные задачи в области физики и радиофизики и решать их с использованием современного оборудования и новейшего отечественного и зарубежного опыта	<p>уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> • применять различные модели нелинейных искажений в зависимости от ширины спектра сигнала, режимов работы усилительных каскадов и др. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Преобразование сигналов в нелинейных системах. 2. Нелинейность передающих трактов радиопередающей аппаратуры. 3. Модели усилителей без памяти. Синтез алгоритмов компенсации искажений. 4. Модели усилителей с памятью. Синтез алгоритмов компенсации искажений. 5. Моделирование передающих трактов и алгоритмов компенсации нелинейных искажений. 	Текущий контроль - собеседование. Вопросы по разделам 1-5
	<p>владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> • навыками поиска сведений в современной научной литературе.. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Преобразование сигналов в нелинейных системах. 2. Нелинейность передающих трактов 	Текущий контроль - собеседование. Вопросы по разделам 1-5

		радиопередающей аппаратуры. 3. Модели усилителей без памяти. Синтез алгоритмов компенсации искажений. 4. Модели усилителей с памятью. Синтез алгоритмов компенсации искажений. 5. Моделирование передающих трактов и алгоритмов компенсации нелинейных искажений.	
Промежуточная аттестация			КИМ

19.2 Описание критериев и шкалы оценивания компетенций (результатов обучения) при промежуточной аттестации

Пример:

Для оценивания результатов обучения на экзамене/зачете используются следующие показатели:

- 1) знание учебного материала и владение понятийным аппаратом;
- 2) умение связывать теорию с практикой;
- 3) умение иллюстрировать ответ примерами, фактами;

Для оценивания результатов обучения на зачете используется 2-х бальная шкала – зачтено, не зачтено

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Полный ответ на два произвольно выбранных вопроса из комплекта вопросов или незначительные погрешности в ответе, не указывающие на отсутствие общего понимания существа предмета. Обучающийся владеет понятийным аппаратом в данной области науки, теоретическими основами дисциплины, способен к решению типовых задач, дает правильные ответы на дополнительные вопросы, однако возможно допускает ошибки при отклонении вопроса от стандартного.	<i>Базовый уровень</i>	<i>Зачтено</i>
Отсутствие ответа (или ответ со значительными погрешностями) на один или оба произвольно выбранных вопроса из комплекта вопросов. Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания или отсутствие знаний по теме предмета, допускает грубые ошибки при ответах на простые вопросы, не умеет решать даже типовые задачи..	–	<i>Не зачтено</i>

19.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

19.3.1 Перечень вопросов к зачету:

1. Преобразование сигналов в нелинейных системах.
2. Спектральные характеристики сигналов, на выходе нелинейных систем.
3. Численные характеристики степени искажения сигнала.
4. Модели Saleh, модифицированная Saleh,
5. Модели Hetrakul, Berman, Mahle
6. Описание нелинейности разложением в ряды Тэйлора и Фурье.
7. Модели с линейной памятью Винера и Хаммерштейна
8. Модель с линейной памятью PSB
9. Частотно-зависимая модель Saleh
10. Полиномиальная модель усилителя с нелинейной памятью
11. Модель на базе нейронной сети
12. Авторегрессионная модель
13. Моделирование передающих трактов и алгоритмов компенсации нелинейных искажений

19.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Оценка знаний, умений и навыков, характеризующая этапы формирования компетенций в рамках изучения дисциплины осуществляется в ходе текущей и промежуточной аттестаций.

Текущая аттестация проводится в соответствии с Положением о текущей аттестации обучающихся по программам высшего образования Воронежского государственного университета. Текущая аттестация проводится в форме устного опроса. Критерии оценивания приведены выше.

Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования.

Контрольно-измерительные материалы промежуточной аттестации включают в себя теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень полученных знаний и оценить степень сформированности умений и навыков. При оценивании используются качественные шкалы оценок. Критерии оценивания приведены выше.

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЙ

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Направление 03.04.03 Радиофизика

Дисциплина Б1.В.ДВ.2 Нелинейные преобразования сигналов в передающих трактах радиоаппаратуры
Магистерская программа Компьютерные методы обработки радиофизической информации

Форма обучения очная

Учебный год 2018/2019

Ответственный исполнитель

Зав кафедрой радиофизики
должность, подразделение


_____ *подпись*

(Ю.Э. Корчагин) 31.08. 2018 г.
расшифровка подписи

Исполнители

Профессор кафедры радиофизики
должность, подразделение


_____ *подпись*

(Ю.Э. Корчагин) 31.08. 2018 г.
расшифровка подписи

СОГЛАСОВАНО

Куратор ООП по направлению/специальности


_____ *подпись*

(Ю.Э. Корчагин) 31.08. 2018 г.
расшифровка подписи

Начальник отдела обслуживания ЗНБ


_____ *подпись*

(Н.В. Белодедова) 31.08. 2018 г.
расшифровка подписи

Программа рекомендована НМС физического факультета
(*наименование факультета, структурного подразделения*)
протокол № 6 от 28.06.2018 г.