

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

Балахнинский филиал ННГУ

УТВЕРЖДЕНО

решением президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Теория электрической связи

Уровень высшего образования

Бакалавриат

Направление подготовки / специальность

13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника

Направленность образовательной программы

Электрорадиотехника

Форма обучения

очная, очно-заочная

г. Балахна

2024 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.12 Теория электрической связи относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПКР-4: Способен участвовать в проектных работах при разработке объектов профессиональной деятельности	<p>ПКР-4.1: Показывает способности участвовать в проектных работах</p> <p>ПКР-4.2: Демонстрирует понимание взаимосвязи задач проектирования, конструирования и эксплуатации</p> <p>ПКР-4.3: Владеет современными технологиями компьютерного проектирования и моделирования</p>	<p>ПКР-4.1:</p> <p>Знает виды электрических сигналов и их спектральные функции</p> <p>Умеет определять свойства каналов связи проектирования, конструирования и эксплуатации.</p> <p>Владеет пониманием задач оптимизации при проектировании, конструировании и эксплуатации.</p> <p>ПКР-4.2:</p> <p>Знает основные положения теории электрической связи для участия в проектных работах при разработке объектов профессиональной деятельности.</p> <p>Умеет видеть взаимосвязь задач проектирования, конструирования и эксплуатации.</p> <p>Владеет пониманием взаимосвязи задач проектирования, конструирования и эксплуатации.</p>	Задачи Опрос	Зачёт: Контрольные вопросы

		ПКР-4.3: Знает построение моделей электрических сигналов и их спектральных функции Умеет с помощью компьютерного моделирования проектировать каналы связи Владеет пониманием задач компьютерного моделирования при проектировании, конструировании и эксплуатации.		
--	--	---	--	--

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная	очно-заочная
Общая трудоемкость, з.е.	3	3
Часов по учебному плану	108	108
в том числе		
аудиторные занятия (контактная работа):		
- занятия лекционного типа	32	16
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	16	14
- КСР	1	1
самостоятельная работа	59	77
Промежуточная аттестация	0 Зачёт	0 Зачёт

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)		в том числе							
			Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них						Самостоятельная работа обучающегося, часы	
			Занятия лекционного типа		Занятия семинарского типа (практические занятия/лабораторные работы), часы		Всего			
	О Ф О	О З Ф О	О Ф О	О З Ф О	О Ф О	О З Ф О	О Ф О	О З Ф О	О Ф О	О З Ф О
1. Теория электрической связи. Сигналы и их спектры	29	29	12	6	4	2	16	8	13	21

2. Статистические свойства пространственных каналов связи	42	42	12	6	6	6	18	12	24	30
3. Методы оценки пространственных каналов связи	36	36	8	4	6	6	14	10	22	26
Аттестация	0	0								
КСР	1	1					1	1		
Итого	108	108	32	16	16	14	49	31	59	77

Содержание разделов и тем дисциплины

1. Теория электрической связи. Сигналы и их спектры.

Основные понятия и определения. Задачи теории. Информация и способы её передачи.

Три способа представления узкополосного сигнала. Принцип работы модулятора и демодулятора.

Плоский канал связи. Частотно-селективный канал связи. Импульсная характеристика и передаточная функция многолучевого канала связи. Временная, частотная и угловая дисперсии в многолучевом канале связи.

2. Статистические свойства пространственных каналов связи. Критерии максимума апостериорной вероятности и максимального правдоподобия при детектировании сигналов. Физический смысл канального кодирования. Свёрточный кодер и его решетчатая диаграмма. Основные методы разделения пользователей. Формирование и приём OFDM-сигнала. Пропускная способность OFDM-системы. Случайные узкополосные сигналы. Релеевское и райсовское распределение амплитуды.

Оптимизация параметров каналов связи.

3. Методы оценки пространственных каналов связи. Основные модуляции, используемые в системах цифровой связи. Оценка импульсной характеристики однолучевого и многолучевого каналов связи.

Оценка частотной передаточной функции многолучевого канала связи в OFDM системе связи.

Принципы построения сотовых систем связи. Повторное использование частот. Процедура передачи пользователя от одной базовой станции к другой. Вероятность битовой ошибки в релеевском канале для сигналов основных модуляций. Вероятность битовой ошибки в релеевском канале при разнесённом приёме. Обработка сигналов при пространственно-временной разнесённой передаче.

Информационная безопасность. Проблемы и решения.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

Для обеспечения самостоятельной работы обучающихся используются:

- электронный курс "-".

5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПКР-4:

Задача 1. Задан энергетический спектр детерминированного сигнала. Можно ли однозначно определить сигнал?

Задача 2. Каким образом следует определять асимптотическое поведение спектра энергии сигнала при больших частотах, если – а) сигнал имеет скачки первой производной только; б) сигнал имеет и скачки первой производной, и скачки второй производной?

Задача 3. Каким образом преобразуется энергетический спектр сигнала при дифференцировании этого сигнала?

Задача 4. Даны два сигнала и их спектральные плотности амплитуд. Как найти спектр энергии суммы сигналов?

Задача 5. На входе антенной решетки имеется сигнал и собственный шум. Известен вектор комплексных амплитуд S сигнала, корреляционная матрица собственного шума равна единичной матрице. Найти весовой вектор, который обеспечивает максимальное ОСШ на выходе антенной решетки. Чему равно максимальное ОСШ?

Задача 6. Прием сигнала в релеевском канале осуществляется двумя антеннами.

Замирания в этих антеннах являются статистически независимыми. Сигналы суммируются с заданными весовыми коэффициентами. Найти среднее ОСШ. Каков характер замираний результирующего сигнала?

Задача 7. Спектр узкополосного сигнала является равномерным в полосе от f_1 до f_2 . Чему равна минимальная частота дискретизации сигналов для их идеального восстановления

Задача 8. Какими свойствами обладают спектральная плотность амплитуды и спектр энергии, если сигнал является действительной функцией времени?

Задача 9. Амплитуда сигнала является случайной и имеет релеевскую функцию плотности вероятности. Как следует понимать медианное значение амплитуды?

Задача 10. Каким образом связаны между собой функция автокорреляции действительного сигнала и его спектр энергии?

Задача 11. Ширина спектра случайного процесса равна 1 МГц. Чему приблизительно равно время корреляции этого процесса.

Задача 12. Сигнал представлен в виде нечетной функции времени. Что можно сказать о спектральной плотности амплитуды? Чему равно значение спектра на нулевой частоте?

Задача 13. Необходимо уменьшить вероятность битовой ошибки с 10^{-x} до 10^{-y} , где $x < y$. На сколько дБ должна быть увеличена мощность передатчика в системе связи, использующей N приемных антенн с когерентным суммированием сигналов, если используется 2ФМ сигналы, среднее ОСШ $r \gg 1$, а замирания сигналов в приемных антеннах являются релеевскими и некоррелированными.

Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы
не зачтено	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, не сформированы

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Опрос) для оценки сформированности компетенции ПКР-4:

1. Три способа представления узкополосного сигнала. Принцип работы модулятора и демодулятора

1. Плоский канал связи. Частотно-селективный канал связи.
2. Импульсная характеристика и передаточная функция многолучевого канала связи.
3. Временная, частотная и угловая дисперсии в многолучевом канале связи.
 1. Критерии максимума апостериорной вероятности и максимального правдоподобия при детектировании сигналов.
 2. Физический смысл канального кодирования. Сверточный кодер и его решетчатая диаграмма.
 1. Основные методы разделения пользователей.
 2. Формирование и прием OFDM-сигнала. Пропускная способность OFDM-системы.
 1. Случайные узкополосные сигналы. Релеевское и райсовское распределение амплитуды.
 1. Основные модуляции, используемые в системах цифровой связи.
 2. Оценка импульсной характеристики однолучевого и многолучевого каналов связи.
 1. Оценка частотной передаточной функции многолучевого канала связи в OFDM системе связи.
 2. Принципы построения сотовых систем связи. Повторное использование частот. Процедура передачи пользователя от одной базовой станции к другой.
 3. Вероятность битовой ошибки в релеевском канале для сигналов основных модуляций.
 1. Вероятность битовой ошибки в релеевском канале при разнесенном приеме.
 2. Обработка сигналов при пространственно-временной разнесенной передаче.

Критерии оценивания (оценочное средство - Опрос)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина,

Оценка	Критерии оценивания
	сформированы
не зачтено	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, не сформированы

5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторым	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

	обучающегося от ответа		некоторым и недочетами	и недочетами	недочетов	ошибок и недочетов	
--	---------------------------	--	------------------------------	-----------------	-----------	-----------------------	--

Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПКР-4

1. Теория электрической связи. Основные понятия. Задачи теории
2. Случайные сигналы и шумы. Функция плотности распределения. Нормальный случайный процесс. Одномерный и двумерный случаи.
3. Гармонический сигнал со случайной фазой. Найти одномерную функцию плотности распределения.
4. Амплитудная модуляция, используемая в системах цифровой связи.
5. Фазовая модуляция, используемая в системах цифровой связи.

6. Квадратурная амплитудная модуляция, используемая в системах цифровой связи.
7. Импульсная характеристика и передаточная функция многолучевого канала связи.
8. Временная дисперсия в многолучевом канале связи, среднее значение и дисперсия задержки сигнала.
9. Частотная дисперсия в многолучевом канале связи, модель Кларка для многолучевого канала.
10. Каким образом преобразуется энергетический спектр сигнала при интегрировании этого сигнала?
11. Угловая дисперсия в многолучевом канале связи. Гауссова модель канала и ее сравнение с круговой моделью и моделью Кларка.
12. Оценка импульсной характеристики однолучевого канала связи.
13. Пространственная корреляция сигналов.
14. Оценка импульсной характеристики многолучевого канала при известной длине импульсной характеристики.
15. Оценка длины импульсной характеристики многолучевого канала.
16. Оценка частотной передаточной функции многолучевого канала связи в OFDM системе связи.
17. Принципы построения сотовых систем связи. Гексагональная структура сети. Повторное использование частот.
18. Процедура передачи пользователя от одной базовой станции к другой.
19. Спектр дискретного сигнала. Частота Найквиста. Эффект наложения спектра при дискретизации.
20. Восстановление сигнала по его временным выборкам. Теорема Котельникова.

21. Оптимизация параметров радиотехнических систем передачи информации. Цели и задачи.
22. Информационная безопасность. Технические и правовые аспекты.

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы
не зачтено	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, не сформированы

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Теория электрической связи: курс лекций / Андреев Р.Н., Краснов Р.П., Чепелев М.Ю. - Москва : Горячая линия - Телеком, 2014., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=646246&idb=0>.
2. Клюев Леонид Леонидович. Теория электрической связи : Учебник. - Москва : ООО "Научно-издательский центр ИНФРА-М", 2019. - 447 с. - ВО - Бакалавриат. - ISBN 978-5-16-011447-7. - ISBN 978-5-16-107709-2., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=627162&idb=0>.
3. Виноградов В. Б. Теория электрической связи : Общие сведения о системах связи и методах преобразования сигналов: конспект лекций / Виноградов В. Б., Куликова Л. Н. - Санкт-Петербург : СПбГУТ им. М.А. Бонч-Бруевича, 2006. - 39 с. - Книга из коллекции СПбГУТ им. М.А. Бонч-Бруевича - Инженерно-технические науки., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=888202&idb=0>.

Дополнительная литература:

1. Теория электрической связи / Васильев К.К., Глушков В.А., Нестеренко А.Г. - Москва : Инфра-Инженерия, 2021., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=790439&idb=0>.
2. Акулиничев Ю. П. Теория электрической связи : пособие для проведения практических занятий и самостоятельной работы студентов / Акулиничев Ю. П. - Москва : ТУСУР, 2012. - 202 с. - Библиогр.: доступна в карточке книги, на сайте ЭБС Лань. - Книга из коллекции ТУСУР - Инженерно-технические науки., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=712111&idb=0>.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

программное обеспечение лицензионное и свободно распространяемое

Операционная система Microsoft Windows

Пакет прикладных программ Microsoft Office

Правовая система «Консультант плюс»

Браузер Google Chrome

Интернет-ресурсы

Известия вузов «Радиоэлектроника», <https://re.eltech.ru/jour#>

Известия вузов «Электромеханика», <http://electromeh.npi-tu.ru/ru/archive/>

профессиональные базы данных и информационные справочные системы

<http://электротехнический-портал.рф/kniga.html>

<http://elektromehanika.org>

Силовая электроника, <http://www.multikonelectronics.com>

Радиотехнический сайт, https://radiotract.ru/link_sprav.html

«Техэксперт» – профессиональные справочные системы <http://техэксперт.рус/>

[26.10.19]

База данных «Электрик» <http://www.electrik.org/> [26.10.19]

ИС «Единое окно доступа к образовательным ресурсам». Раздел: Электротехника
http://window.edu.ru/catalog/?p_rubr=2.2.75.30 [26.10.19]

Онлайн электрик: база данных <https://online-electric.ru/dbase.php> [26.10.19]

База данных Energy & Power Source для профессионалов в области энергетики и исследователей - <http://catalog.lib.tpu.ru/catalogue/simple> [26.10.19]

Радиоэлектроника http://window.edu.ru/catalog/resources?p_str=Радиоэлектроника [26.10.19]

Список сайтов по радиоэлектронике <http://radiostorage.net/page/3-spisok-sajtov-po-radioelektronike.html> [26.10.19]

Банк изобретений, технологий и научных открытий: <http://www.ntpo.com> [26.10.19]

Государственная информационная система в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности <https://gisee.ru/> [26.10.19]

Научная электронная библиотека www.elibrary.ru [26.10.19]

База данных рецензируемой литературы Scopus <https://www.scopus.com> [26.10.19]

База данных Web of Science <https://apps.webofknowledge.com> [26.10.19]

ГАРАНТ. Информационно-правовой-портал <http://www.garant.ru/>

Правовая система «Консультант плюс»

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ННГУ по направлению подготовки/специальности 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника.

Автор(ы): Богатырева Анна Валерьевна, кандидат технических наук.

Заведующий кафедрой: Беянин Игорь Владимирович, кандидат технических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 12.01.24, протокол № 5.