

**Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

Направление подготовки/специальность: 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы

Наименование образовательной программы: Радиоэлектронные системы и комплексы

Уровень образования: высшее образование - специалитет

Форма обучения: Очная

**Оценочные материалы
по дисциплине
5G/4G обработка сигналов в базовых станциях**

**Москва
2023**

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Сизякова А.Ю.
	Идентификатор	R4eb30863-SiziakovaAY-83831ea7

(подпись)

А.Ю.

Сизякова

(расшифровка
подписи)

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной
программы

(должность, ученая степень, ученое
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Сизякова А.Ю.
	Идентификатор	R4eb30863-SiziakovaAY-83831ea7

(подпись)

А.Ю.

Сизякова

(расшифровка
подписи)

Заведующий
выпускающей кафедры

(должность, ученая степень, ученое
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Куликов Р.С.
	Идентификатор	R7ef0b374-KulikovRS-e851162c

(подпись)

Р.С. Куликов

(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 Способен разрабатывать структурные и функциональные схемы подсистем радиоэлектронных систем и комплексов, в том числе с использованием математического моделирования алгоритмов формирования, передачи, приема и обработки радиосигналов

ИД-1 Знает методы выполнения расчетов основных технических характеристик схем подсистем радиоэлектронных систем и комплексов

ИД-2 Умеет использовать методы математических расчетов характеристик радиотехнических устройств, систем и процессов для анализа и оптимизации их параметров

и включает:

для текущего контроля успеваемости:

Форма реализации: Письменная работа

1. Контрольная работа №1 по теме: Оценка статистических характеристик сигналов базовой станции 4G/5G (Контрольная работа)

2. Контрольная работа №2 по теме: Синхронизация сигналов приемо-передающих трактов по времени, частоте, амплитуде и фазе для построения адаптивных корректоров (Контрольная работа)

3. Контрольная работа №3 по теме: Адаптивная линейная коррекция неравномерности приемо-передающих трактов базовой станции мобильной связи (Контрольная работа)

4. Контрольная работа №4 по теме: Адаптивная компенсация нелинейных искажений выходного усилителя базовой станции мобильной связи (Контрольная работа)

БРС дисциплины

9 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %				
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
	Срок КМ:	4	8	12	16
Теоретические основы адаптивной цифровой обработки сигналов в базовой станции 4G/5G					
Теоретические основы адаптивной цифровой обработки сигналов в базовой станции 4G/5G	+				
Адаптация коэффициентов линейных цифровых корректоров аналоговых трактов базовой станции 4G/5G					
Адаптация коэффициентов линейных цифровых корректоров аналоговых трактов базовой станции 4G/5G		+			
Введение в теорию адаптивной коррекции усилителей мощности передающего тракта базовой станции 4G/5G					

Введение в теорию адаптивной коррекции усилителей мощности передающего тракта базовой станции 4G/5G			+	+
Многослойные адаптивные корректоры усилителей мощности передающего тракта базовой станции 4G/5G				
Многослойные адаптивные корректоры усилителей мощности передающего тракта базовой станции 4G/5G			+	+
Вес КМ:	25	25	25	25

\$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-1ПК-1 Знает методы выполнения расчетов основных технических характеристик схем подсистем радиоэлектронных систем и комплексов	Знать: методы цифровой обработки сигналов для моделирования цифровой части приемопередающего тракта систем и комплексов связи 4G/5G методы оценки оптимальных коэффициентов адаптивных фильтров, основанные на методах оптимизации первого и второго порядка методы предискажений сигнала передатчика и посткоррекции аналогового тракта приемника методы построения адаптивных идентификаторов линейных и нелинейных искажений аналоговых трактов радиоэлектронных	Контрольная работа №1 по теме: Оценка статистических характеристик сигналов базовой станции 4G/5G (Контрольная работа) Контрольная работа №2 по теме: Синхронизация сигналов приемопередающих трактов по времени, частоте, амплитуде и фазе для построения адаптивных корректоров (Контрольная работа) Контрольная работа №3 по теме: Адаптивная линейная коррекция неравномерности приемопередающих трактов базовой станции мобильной связи (Контрольная работа) Контрольная работа №4 по теме: Адаптивная компенсация нелинейных искажений выходного усилителя базовой станции мобильной связи (Контрольная работа)

		систем и комплексов	
ПК-1	ИД-2 _{ПК-1} использовать математических характеристик радиотехнических устройств, систем и процессов для анализа и оптимизации параметров	Умеет методы расчетов Умеет моделировать линейные и нелинейные искажения аналоговых трактов, а также структуры адаптивных корректоров использовать методы адаптации при построении корректоров аналоговых трактов системы связи	Контрольная работа №2 по теме: Синхронизация сигналов приемо-передающих трактов по времени, частоте, амплитуде и фазе для построения адаптивных корректоров (Контрольная работа) Контрольная работа №3 по теме: Адаптивная линейная коррекция неравномерности приемо-передающих трактов базовой станции мобильной связи (Контрольная работа) Контрольная работа №4 по теме: Адаптивная компенсация нелинейных искажений выходного усилителя базовой станции мобильной связи (Контрольная работа)

II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

КМ-1. Контрольная работа №1 по теме: Оценка статистических характеристик сигналов базовой станции 4G/5G

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 25

Процедура проведения контрольного мероприятия: Студент получает индивидуальные вопросы, отвечает письменно

Краткое содержание задания:

Провести выборочную оценку статистических характеристик сигналов систем связи 4G/5G по предварительно записанным в файл данным выборкам сигнала ограниченной длительности.

Произвести смещенную и несмещенную оценки автокорреляционной функции и оценку спектральной плотности мощности заданным методом (периодограмм, методом Бартлетта, методом Уэлча)

Контрольные вопросы/задания:

Знать: методы цифровой обработки сигналов для моделирования цифровой части приемопередающего тракта систем и комплексов связи 4G/5G	<ol style="list-style-type: none">1.Что такое выборочная оценка автокорреляционной функции стационарного процесса?2.Какая оценка называется несмещенной?3.Какая оценка называется состоятельной?4.В чем отличие различных методов непараметрической оценки спектральной плотности мощности?
---	--

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. Контрольная работа №2 по теме: Синхронизация сигналов приемопередающих трактов по времени, частоте, амплитуде и фазе для построения адаптивных корректоров

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 25

Процедура проведения контрольного мероприятия: Студент получает индивидуальные вопросы, отвечает письменно

Краткое содержание задания:

Произвести выравнивание по частоте, временной задержке, амплитуде и фазе сигналов систем связи 4G/5G по предварительно записанным в файл данных выборкам сигнала ограниченной длительности. Произвести расчет уровня линейных искажений после выравнивания записанных сигналов

Контрольные вопросы/задания:

Знать: методы оценки оптимальных коэффициентов адаптивных фильтров, основанные на методах оптимизации первого и второго порядка	<ol style="list-style-type: none">1. Почему частоты передатчика и цепи обратной связи адаптивного корректора разносят по частоте при построении системы связи?2. Какие методы временной синхронизации могут быть использованы в системах 4G/5G?3. В чем заключается амплитудная и фазовая коррекция сигналов в цепи обратной связи адаптивного корректора систем 4G/5G?
Уметь: использовать методы адаптации при построении корректоров аналоговых трактов системы связи	<ol style="list-style-type: none">1. Как производится цифровое выравнивание частоты в цепи обратной связи системы 4G/5G?2. Как производится совместная амплитудная и фазовая синхронизации при обработке комплексных огибающих сигналов систем связи на нулевой промежуточной частоте?3. Как компенсировать временную задержку сигнала обратной связи для построения адаптивного корректора линейных и нелинейных искажений тракта передатчика?

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. Контрольная работа №3 по теме: Адаптивная линейная коррекция неравномерности прямо-передающих трактов базовой станции мобильной связи

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 25

Процедура проведения контрольного мероприятия: Студент получает индивидуальные вопросы, отвечает письменно

Краткое содержание задания:

Произвести адаптивную коррекцию линейных искажений сигналов систем связи 4G/5G. Исходными данными являются выровненные по частоте, времени, амплитуде и фазе сигналы. Оценку произвести методом второго порядка (LS), а также методом стохастического градиентного спуска (LMS)

Контрольные вопросы/задания:

Знать: методы построения адаптивных идентификаторов линейных и нелинейных искажений аналоговых трактов радиоэлектронных систем и комплексов	1. В чем заключается LS оценка коэффициентов адаптивного фильтра для минимизации среднего квадрата ошибки на выходе корректора? 2. Преимущества и недостатки алгоритмов адаптации коэффициентов фильтра методом блочного стохастического градиентного спуска? 3. В чем преимущества рекурсивного LS алгоритма?
Уметь: моделировать линейные и нелинейные искажения аналоговых трактов, а также структуры адаптивных корректоров	1. Как произвести численную стабилизацию при оценке коэффициентов адаптивного фильтра методом LS? 2. Как выбирается шаг при адаптации фильтра методом блочного или стохастического градиентного спуска? 3. Какие пути ускорения скорости сходимости могут быть применены при практической реализации алгоритма адаптации методом стохастического градиентного спуска?

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. Контрольная работа №4 по теме: Адаптивная компенсация нелинейных искажений выходного усилителя базовой станции мобильной связи

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 25

Процедура проведения контрольного мероприятия: Студент получает индивидуальные вопросы, отвечает письменно

Краткое содержание задания:

Произвести адаптивную коррекцию нелинейных искажений сигналов систем связи 4G/5G. Исходными данными являются выровненные по частоте, времени, амплитуде и фазе сигналы. Оценку произвести методами второго порядка (LS), а также методом стохастического градиентного спуска (LMS)

Контрольные вопросы/задания:

Знать: методы предискажений сигнала передатчика и посткоррекции аналогового тракта приемника	1. Какие нелинейные эффекты возникают при прохождении сигналов систем связи 4G/5G через аналоговые приемопередающие тракты? 2. Какие эффекты возникают при разбалансе квадратур аналогового смесителя при переносе комплексной огибающей сигнала на несущую частоту? 3. Какие основные нелинейные модели усилителей мощности вам известны?
Уметь: моделировать линейные и нелинейные искажения аналоговых трактов, а также структуры адаптивных корректоров	1. Как построить матрицу состояния полиномиальной нелинейной модели усилителя мощности с памятью? 2. Как использовать адаптивный фильтр для коррекции квадратурного разбаланса аналогового смесителя при переносе комплексной огибающей сигнала на несущую частоту?

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

9 семестр

Форма промежуточной аттестации: Зачет с оценкой

Пример билета

1. Основные статистические свойства сигнала. Понятие стационарности и эргодичности случайного процесса. Автокорреляционная функция и ее свойства.
2. Методы адаптации линейных фильтров. Адаптация фильтров по сумме выходов. Адаптация фильтра при масштабировании выхода. Адаптация каскада линейных фильтров.

Процедура проведения

По результатам запланированных контрольных мероприятий выставляется набор оценок, из которых в соответствии с «Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» рассчитывается зачетная оценка

1. Перечень компетенций/индикаторов и контрольных вопросов проверки результатов освоения дисциплины

1. Компетенция/Индикатор: ИД-1_{ПК-1} Знает методы выполнения расчетов основных технических характеристик схем подсистем радиоэлектронных систем и комплексов

Вопросы, задания

1. В чем заключается необходимость адаптивной коррекции аналоговых трактов современной системы связи?
2. Как осуществляется формирование и выделение комплексной огибающей радиосигнала?
3. Какие основные характеристики цифрового КИХ-фильтра во временной и частотной областях?
4. В чем заключаются выборочные оценки автокорреляционной функции и спектральной плотности мощности сигналов систем связи? Пояснить свойство смещенности и состоятельности. Какими основными свойствами обладает автокорреляционная функция?
5. Каким образом производится минимизация функции среднего квадрата ошибки сигнала на выходе адаптивного фильтра при обработке комплексной огибающей сигнала?
6. Какие методы оптимизации могут быть использованы для адаптации вектора коэффициентов фильтра?
7. Уравнение Винера-Хопфа для расчета вектора оптимальных коэффициентов адаптивного фильтра.
8. В чем заключается метод LS для оценки оптимального вектора коэффициентов адаптивного фильтра?
9. Какие методы минимизации первого порядка могут быть использованы для расчета вектора оптимальных коэффициентов адаптивного фильтра?
10. В чем отличие метода стохастического градиентного спуска от блочного?
11. Какой алгоритм целесообразно использовать для адаптации фильтра компенсации линейных искажений аналогового тракта в режиме реального времени?

12. Какие основные характеристики нелинейного усилителя мощности вы знаете? В чем заключаются интермодуляционные искажения на выходе нелинейного усилителя в современных системах связи?
13. В чем отличие нелинейных блоков коррекции сигнала передатчика при построении системы с прямым и непрямим обучением?
14. Какие нелинейные модели предискажений сигналов и посткоррекции в канале приемника вы знаете?
15. Какие методы адаптации могут быть использованы для построения нелинейных корректоров аналоговых трактов систем связи?

Материалы для проверки остаточных знаний

1. Какие основные схемы использования адаптивных фильтров?

Ответы:

1. Задачи идентификации и выравнивания канала связи
2. Задачи активного эхоподавления и шумоподавления
3. Задачи компенсации нелинейных искажений усилителя мощности
4. Все выше перечисленные задачи.

Верный ответ: 4

2. Как строят схемы активного шумоподавления и адаптивной эхокомпенсации в современных системах связи?

Ответы:

1. Используют усиление сигнала для повышения уровня полезного сигнала над уровнем шумов на выходе микрофона.
2. На основе линейных фильтров, описывающих акустический канал распространения помехового сигнала (шума и эха), с вычитанием на выходе микрофона.
3. Используют полосовые фильтры, которые удаляют часть полосы сигнала с максимальным уровнем шума и эха.
4. Понижают усиление на выходе микрофона для исключения влияния шума на полезный сигнал.

Верный ответ: 2

3. Какие параметры связывает уравнение Винера-Хопфа при расчете оптимальных коэффициентов линейного фильтра?

Ответы:

1. Корреляционная матрица входного сигнала и вектор взаимной корреляции входного и опорного сигналов.
2. Функцию плотности вероятности и спектральную плотность мощности.
3. Полосу входного сигнала и выходную мощность передатчика.
4. Корреляционную матрицу входного сигнала и функцию плотности вероятности сигнала на выходе передатчика

Верный ответ: 1

4. Методы адаптации первого порядка обеспечивают:

Ответы:

1. Сходимость за 1 шаг ввиду привлечения информации о вторых производных
2. Итеративную линейную сходимость с использованием оценки вектора градиента
3. Существенно ускоренную сходимость по сравнению с методами адаптации второго порядка
4. Сходимость к точке оптимума при любом выбранном шаге адаптации.

Верный ответ: 1

5. Какую цель преследует адаптивная линеаризация усилителей мощностей передатчика в современных системах связи?

Ответы:

1. Расширение полосы передаваемого сигнала для увеличения скорости передачи информации
2. Перевод усилителя в линейный режим работы с понижением КПД
3. Повышение КПД усилителя передатчика при сохранении допусков на внеполосный уровень излучения.
4. Повышение уровня внеполосных излучений при повышении КПД усилителя передатчика.

Верный ответ: 3

2. Компетенция/Индикатор: ИД-2ПК-1 Умеет использовать методы математических расчетов характеристик радиотехнических устройств, систем и процессов для анализа и оптимизации их параметров

Вопросы, задания

1. В чем заключается численная нестабильность LS оценки вектора коэффициентов адаптивного фильтра?
2. Какие численные алгоритмы могут быть использованы для улучшения численной устойчивости LS оценки вектора коэффициентов адаптивного фильтра?
3. Какие методы используют для ускорения сходимости методов первого порядка (блочного и стохастического градиентного спуска) при работе с реальными нестационарными сигналами систем связи 4G/5G?
4. Каким образом разбаланс квадратур аналогового смесителя влияет на сигнал на выходе системы связи? Каким образом данный разбаланс может быть смоделирован и скорректирован?
5. Какие системы ортогональных полиномов целесообразно использовать при моделировании нелинейных усилителей мощности? В чем основное преимущество систем ортогональных полиномов по сравнению со степенными функциями полиномиальных моделей?
6. В чем отличие матриц состояния линейного и нелинейного адаптивного корректора аналогового тракта системы?
7. Каким образом адаптировать системы коррекции состоящие из каскада линейных и нелинейных фильтров?
8. В чем заключается модель Гаммерштейна для описания нелинейных аналоговых трактов и какие методы адаптации возможно использовать для расчета ее коэффициентов?

Материалы для проверки остаточных знаний

1. Как разбаланс квадратур смесителя передатчика описывается с использованием комплексной огибающей сигнала?

Ответы:

1. Через комплексно-сопряженную огибающую
2. Через модуль комплексной огибающей
3. Через фазу комплексной огибающей
4. Не зависит от комплексной огибающей

Верный ответ: 1

2. Какой метод может быть использован для улучшения численной устойчивости LS оценки вектора коэффициентов адаптивного фильтра?

Ответы:

1. Алгоритм Левенберга-Марквардта
2. Демпфированный метод Ньютона
3. Метод нелинейной аппроксимации
4. Метод регуляризации Тихонова

Верный ответ: 4

3. Какие рекомендации необходимо учитывать по его выбору шага адаптации LMS алгоритма?

Ответы:

1. Выбирать чем выше тем лучше, так как при этом ускоряется сходимость и увеличивается качество коррекции
2. Выбирать чем ниже тем лучше, так как при этом лучше фильтруются шумы оценки градиента
3. Выбирать максимально высоким, при котором не наблюдается существенного ухудшения качества коррекции при наличии шумов.
4. В алгоритме LMS шаг адаптации не выбирается.

Верный ответ: 3

4. Какие методы адаптации можно использовать для расчета коэффициентов нелинейных адаптивных корректоров с линейной зависимостью выхода модели от коэффициентов?

Ответы:

1. Специальные методы нелинейной оценки, поскольку модель является нелинейной.
2. Методы LS, LMS, RLS, поскольку при линейной зависимости задача адаптации является квадратичной.
3. Задача нелинейного моделирования не решается в терминах минимизации среднего квадрата ошибки.
4. Только методы адаптации нейронных сетей на основе обратного распространения ошибки.

Верный ответ: 2

5. Какие многослойная структура нелинейной модели Гаммерштейна влияет на выбор метода адаптации:

Ответы:

1. Никак не влияет, можно адаптировать любым известным методом LS, LMS, RLS.
2. Целевая функция становится невыпуклой, поэтому при адаптации необходимо учитывать наличие локальных минимумов и седловых точек.
3. Адаптируется только методом обратного распространения ошибки.
4. Невозможно адаптировать из-за невыпуклости критерия адаптации.

Верный ответ: 2

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.

III. Правила выставления итоговой оценки по курсу

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой составляющей