МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ В.Ф. УТКИНА

Кафедра «Телекоммуникаций и основ радиотехники»

«СОГЛАСОВАНО»
Декан ФРТ
_____ / Холопов И.С.
«19» 06 2020 г

«УТВЕРЖДАЮ»
Проректор РОПиМД
_____ / Корячко А.В.
«19» 06 2020 г

Заведующий кафедрой ТОР
_____ / Витязев В.В.
«19» 06 2020 г

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА дисциплины

Б1.В.08 «ЭМС телекоммуникационных систем»

Направление подготовки
11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»

Направленность (профиль) подготовки
«Системы радиосвязи, мобильной связи и радиодоступа»

Уровень подготовки
Бакалавриат

Квалификация выпускника – бакалавр

Формы обучения – очная

Рязань 2020 г.

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЙ

Рабочая программа составлена с учетом требований федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки (специальности)
11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи,
утвержденного _19.09.2017 № 930

Разработчик доцент кафедры РУС

_____Егоров А.В.

Рассмотрена и утверждена на заседании кафедры «_____» _____ 2020 г., протокол №____

Заведующий кафедрой РУС

_____ Кириллов С.Н., д.т.н., проф.

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы бакалавриата

1.1 Цель преподавания дисциплины

Целью преподавания дисциплины является формирование у студентов комплексного представления о проблеме электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств, о принципах распределения и управления радиочастотным ресурсом, причинах нарушения и методах обеспечения ЭМС. Обучение студентов по курсу «Электромагнитная совместимость телекоммуникационных систем» направлено на углубленное получение знаний по разделам курса, теоретическое и практическое освоение методов и средств анализа и обеспечения ЭМС.

1.2 Задачи изучения дисциплины

В процессе изучения дисциплины студенты осваивают современные методы повышения эффективности использования радиочастотного спектра, классификацию и характеристики электромагнитных помех, характеристики и параметры ЭМС радиотехнических устройств, пути решения задач по анализу и обеспечению электромагнитной совместимости.

2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы бакалавриата

Профессиональные компетенции выпускников и индикаторы их достижения:

Задача ПД	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
Применение методов повышения эффективности использования радиочастотного спектра, и обеспечения ЭМС. классификацию и характеристики электромагнитных помех, характеристики и параметры ЭМС	Разработка, построение и эксплуатация телекоммуникационных систем	ПК-1. Способен к развитию коммуникационных подсистем и сетевых платформ, сетей передачи информации, транспортных сетей и сетей радиодоступа, спутниковых систем связи	ПК-1.1. Знать: - особенности использования РЧР; - основные принципы управления РЧР - основные принципы частотно-территориального планирования. - международные принципы и методы оптимизации использования радиочастотного ресурса. - причины и источники электромагнитных помех; - параметры и характеристики устройств - источников непреднамеренных

радиотехнических устройств, пути решения задач по анализу и обеспечению электромагнитной совместимости.			электромагнитных помех. - параметры и характеристики основных рецепторы помех, - методы оценки ЭМО; ПК-1.2. Уметь: - оценивать уровни неосновных излучений радиопередатчиков; - выполнять оценку избирательности приемников; - оценивать восприимчивость приемников к помехам по неосновным каналам приема. - проводить измерения и испытания в области ЭМС; ПК-1.3. Владеть: -навыками оценки контрольных полос и скорости спада огибающей спектра, уровней побочных излучений, восприимчивости приемника по неосновным каналам приема. навыками контроля. -Навыками моделирования радиоэлектронных систем в современных пакетах прикладных программ с целью оценки и оптимизации параметров РЭС, влияющих на характеристики ЭМС. .

2. Место дисциплины в структуре ООП бакалавриата

Данная дисциплина (модуль) относится к вариативной части блока Б1.3.В.02а. Дисциплина (модуль) изучается на 4 курсе в 7 семестре.

Дисциплина базируется на следующих дисциплинах:

Б1.2.В.02а «Электромагнитные поля и волны»;
Б1.3.Б.05 «Схемотехника телекоммуникационных устройств»;
Б1.3.Б.07 «Метрология, стандартизация и сертификация в инфокоммуникациях»;
Б1.3.Б.08 «Общая теория связи»;
Б1.3.Б.11 «Направляющие системы электросвязи»;
Б1.3.Б.12 «Распространение радиоволн и антенно-фидерные устройства»;
Б1.3.Б.14 «Устройства формирования сигналов в телекоммуниуационных системах»;
Б1.3.Б.15 «Устройства приёма сигналов в телекоммуникационных

системах»;
Б1.3.В.03 «Методы и средства измерения в ТКС»

Знания, умения и навыки, полученные студентами в процессе освоения дисциплины, необходимы при изучении следующих дисциплин «Системы и сети связи с ПО»; «Цифровая обработка сигналов и сигнальные процессоры в СПР».

3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам занятий) и на самостоятельную работу обучающихся

Общая трудоемкость (объем) дисциплины (модуля) составляет 3 зачетные единицы (ЗЕ).

Вид учебной работы	Всего часов	Семестр
Общая трудоёмкость дисциплины	108	6
Аудиторные занятия	48	6
Лекции	16	6
Практические занятия (ПЗ)	16	6
Лабораторные работы (ЛР)	16	6
Самостоятельная работа	60	6
Самостоятельные занятия	54	6
Консультации в семестре	6	6
Вид промежуточной аттестации	Зачёт по ЛР	6
Вид итогового контроля	зачет	6

4 Содержание дисциплины

4.1 Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Тема	**Общая трудоемкость, всего часов**	**Контактная работа обучающихся** с преподавателем				**Самостоятельная работа обучающихся**
			всего	**лекции**	**Семи-нары, практические занятия**	**Лабораторные работы**	
1	2	3	4	5	6	7	8

1.	Общие вопросы ЭМС РЭС и ТКС	5	1	1			4
2.	Радиочастотный ресурс, его особенности и принципы управления.	8	2	1	1		6
3.	Современные методы повышения эффективности использования радиочастотного спектра	7	2	2			5
4.	Классификация и характеристики электромагнитных помех.	7	2	1	1		5
5.	Характеристики и параметры ЭМС радиопередающих устройств.	19	13	2	3	*8*	6
6.	Характеристики и параметры ЭМС радиоприемных устройств.	19	13	2	3	*8*	6
7.	Характеристики и параметры ЭМС антенн и антенно-фидерных трактов.	9	4	2	2		5
8.	Характеристики и параметры ЭМС среды распространения радиоволн	7	2	1	1		5
9.	Индустриальные радиопомехи.	6	2	1	1		4
10.	Методы анализа ЭМС РЭС	7	3	1	2		4
11.	Экспериментальные методы исследований ЭМС РЭС	6	2	1	1		4
12.	Методы обеспечения ЭМС	8	2	1	1		6
	Всего:	108	48	16	16	16	60

4.2 Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

***Раздел** 1.* Общие вопросы ЭМС ТКС

Причины возникновения и существо проблемы ЭМС РЭС и ТКС. Общие черты и особенности проблем ЭМС, помехоустойчивости и помехозащищенности. (ОПК-1, ПК-6)

Предмет и задачи курса. Его связь с основными дисциплинами радиотехнических специальностей. Составные части проблемы ЭМС. Понятие электромагнитной обстановки. (ОПК-1, ОПК-2)

***Раздел** 2.* Радиочастотный ресурс (РЧР), его особенности и принципы управления.

Связь проблемы ЭМС с прогрессом радиоэлектроники. Международные и национальные органы управления РЧР. Регламент радиосвязи. Зоны радиовещания. Таблица распределения частот. Организационные, экономические и технические принципы управления РЧР. (ОПК-1)

***Раздел** 3.* Современные методы повышения эффективности использования радиочастотного спектра.

Структурные, организационные и экономические меры повышения эффективности использования РЧР. Процедурные методы: типовое лицензирование, перераспределение спектра, использование аукционов. Способы перераспределения частот. Экономические методы повышения эффективности использования РЧС: применение ценового механизма, изменение прав пользователей спектра, делегирование функций по управлению использованием РЧР частному сектору. (ОПК-1)

***Раздел** 4.* Классификация и характеристики электромагнитных помех.

Виды электромагнитных помех. Непреднамеренные ЭМ помехи (НЭМП). Общая структурная схема воздействия НЭМП на РЭС. Характер проявления воздействий НЭМП на РЭС. Энергетический потенциал радиолинии. Шумовая температура. Факторы, влияющие на реализацию ЭМС РЭС; размещение РЭС, пути воздействия НЭМП, уровни обеспечения ЭМС. Обобщенная схема воздействия НЭМП. Автоматизированные системы прогноза ЭМС РЭС и ТКС. Методы снижения уровня НЭМП. (ПК-6)

***Раздел** 5.* Характеристики и параметры ЭМС радиопередающих устройств.

Основные и неосновные излучения РПД. Класс излучения. Причины возникновения и характеристики неосновных излучений: побочных, внеполосных, шумовых и индустриальных. Необходимая и занимаемая полосы частот, совершенное излучение. Основное излучение. Класс излучения. Внеполосное излучение. Контрольные полосы частот, скорость спада огибающей спектра. Разновидности побочных излучений: гармоники, субгармоники, интермодуляционные, комбинационные, паразитные.

Нормы и стандартные требования к допустимым уровням неосновных излучений РПД. Методы борьбы с неосновными излучениями. (ПК-4, ПК-12, ПК-17, ПК-18)

***Раздел** 6.* Характеристики радиоприемных устройств (РПУ), влияющие на ЭМС.

Параметры основного канала приема. Основные виды избирательности РПУ. Восприимчивость по неосновным каналам приема. Побочные каналы приема: на промежуточной частоте, зеркальный, на субгармониках и комбинационные. Одно- и многосигнальная частотная избирательность. Характеристика частотной избирательности. Воздействие интенсивных помех вне полос основного и побочных каналов приема. Блокирование, перекрестная модуляция и интермодуляция. Методы снижения восприимчивости РПУ по неосновным каналам приема. (ПК-4, ПК-12, ПК-17, ПК-18)

***Раздел** 7.* Характеристики и параметры ЭМС антенн и антенно-фидерных трактов.

Особенности АФУ с точки зрения ЭМС. Обеспечение избирательности в АФУ. Паразитные полосы прозрачности в фидерных трактах. Нелинейные свойства. Характеристики антенных устройств, влияющие на ЭМС. Направленные свойства в основной полосе частот излучения. Направленные свойства на неосновных частотах. Поляризационные свойства. Побочное излучение – фактор, снижающий помехозащищенность РЭС. Способы снижения побочного излучения апертурных антенн. Активные способы борьбы с помехами. Многоканальные антенные устройства. Компенсационные способы. Самофокусирующиеся антенны. Адаптивные антенны. (ПК-4, ПК-12, ПК-17, ПК-18)

***Раздел** 8.* Характеристики среды распространения, влияющие на ЭМС.

Механизмы (способы) распространения сигналов и помех по естественным трассам; прямые, земные, ионосферные и тропосферные ЭМ волны. Оценка ослаблений уровней сигналов и помех, распространяющихся указанными способами (расчет коэффициентов ослабления). (ПК-6)

***Раздел** 9.* Индустриальные радиопомехи.

Источники и характеристики индустриальных радиопомех. Методы борьбы с ИРП. (ПК-11, ПК-12, ПК-18)

***Раздел** 10.* Методы анализа ЭМС

Общие положения. Методы получения детерминированных аналитических оценок. Методы получения вероятностных оценок. Парная оценка ЭМС. Групповая оценка. Комплексная оценка. Этапы оценки ЭМС совокупности РЭС. (ПК-4, ПК-17, ПК-18)

***Раздел** 11.* Экспериментальные методы исследований ЭМС РЭС и ТКС.

Задачи экспериментальных исследований. Особенности измерений характеристик ЭМС. Натурные испытания. Стендовые измерения и испытания. Имитаторы сложной ЭМ обстановки. (ПК-4, ПК-17, ПК-18)

***Раздел** 12.* Методы обеспечения ЭМС.

Задачи и средства обеспечения ЭМС. Радиочастотный ресурс. Обеспечение ЭМС как задача эффективного использования радиочастотного ресурса. Общие принципы выбора рабочих частот каналов. Значение временной регламентации работы систем, ограничения мощностей передатчиков, пространственного разноса антенн, различия поляризационных характеристик.

Особенности задач обеспечения ЭМС на различных уровнях: на уровне элемента, блока, на уровне объекта, системы, на уровне службы.

Подавление помех в месте их возникновения. Роль конструктивных факторов в проблеме ЭМС: компоновка, заземление, экранирование, фильтрация. Использование рациональных схем и конструкций. Локализация помех с помощью фильтров и экранов. Подавление помех в месте приема. Оптимальные схемы подавления помех. Практические схемы подавления помех. Нелинейные и компенсационные схемы. (ПК-4, ПК-6, ПК-17, ПК-18)

Комбинированные методы борьбы с сосредоточенными, импульсными и флуктуационными помехами. Особенности применения фильтров и экранов в месте приема. Методы синхронизации и бланкирования. (ПК-6, ПК-17, ПК-18)

5. Самостоятельная работа по дисциплине

Объём самостоятельной работы студента определяется учебным планом и составляет 60 часов.

Типовые задания для самостоятельной работы:

- чтение конспекта лекций;
- чтение и анализ научной литературы по темам курса;
- конспектирование, аннотировании научных публикаций;
- анализ нормативных документов;
- анализ учебных и методических пособий

Критерии оценивания компетенций:

- уровень усвоения материала программы;
- умение анализировать материал, устанавливать причинно-следственные связи;
- ответы на вопросы: полнота, аргументированность, убеждённость;
- качество ответа: логичность, уверенность, общая эрудиция;
- использование дополнительной литературы при подготовке ответов

Тематика самостоятельной работы студентов:

1. Радиослужбы. Таблица распределения радиочастот.

2. Международный опыт распределения радиочастотного спектра.
3. Принципы определения размера платы за радиоспектр.
4. Экономические принципы совершенствования распределения РЧР на современном этапе.
5. Организационные и структурные принципы перераспределения РЧР на современном этапе.
6. Особенности проведения аукционов по предоставлению радиочастот.
7. Состояние и перспективы распределения частот на конкурсной основе в России.
8. Параметры и характеристики ЭМС радиопередатчиков.
9. Классы излучений. Понятие, описание, нормы.
10. Причины и особенности внеполосного излучения. Нормирование внеполосного излучения, контрольные полосы частот, скорость спада огибающей спектра.
11. Причины, разновидности и особенности побочных излучений радиопередатчиков. Методы борьбы с побочными излучениями.
12. Параметры ЭМС радиоприемников. Параметры основного канала приема. Характеристика частотной избирательности.
13. Побочные каналы приема. Причины и методы борьбы с ними.
14. Внеполосные каналы приема.
15. Схемотехнические и конструктивные меры борьбы с блокированием и перекрестными искажениями.
16. Интермодуляция и интермодуляционные каналы приема. Технические и организационные методы борьбы.
17. Особенности проектирования антенно-фидерных трактов РЭС для снижения уровня нежелательных излучений.
18. Особенности влияния среды распространения радиоволн на ЭМС РЭС.
19. Прогнозирование тропосферных и ионосферных каналов распространения радиоволн.
20. Классификация и характеристики электромагнитных помех.
21. Классификация НЭМП. Разновидности индустриальных помех.
22. Понятие ЭМО и ее особенности
23. Имитаторы ЭМО. Разновидности, специфика применения.
24. Методы моделирования ЭМО и оценки ЭМС.
25. Особенности стендовых испытаний.
26. Способы оценки ЭМО.
27. Оценка ЭМС при сложной логике комплексирования.
28. Технические средства контроля ЭМО.
29. Применение сложных сигналов в условиях напряженной ЭМО.
30. Подавление помех в месте приема.
31. Оптимальные схемы подавления помех.

32. Практические схемы подавления помех.
33. Нелинейные и компенсационные схемы.
34. Комбинированные методы борьбы с сосредоточенными, импульсными и флуктуационными помехами.
35. Особенности применения фильтров и экранов в месте приема.
36. Методы синхронизации и бланкирования.

Самостоятельная работа студентов предполагает использование рекомендованных учебников, учебных пособий, учебно-методических указаний, информационных ресурсов Интернета.

6. Лабораторный практикум

Объём часов по учебному плану – 16 часов.
Тематика лабораторных работ.

N п/п	N раздела дисциплины	Наименование лабораторных работ
1	5	Исследование возникновения внеполосных излучений радиопередатчиков
2	5	Исследование возникновения побочных излучений радиопередатчиков
3	6	Характеристики и параметры ЭМС радиоприемников
4	6	Изучение влияния неосновных излучений и каналов приема в цифровой радиолинии

9. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

Основная литература:

1. Основы управления использованием радиочастотного спектра. Том 1. Международная и национальная системы управления РЧС. Радиоконтроль и радионадзор / Под. ред. д.т.н., проф. М.А. Быховского.- М.: КРАСАНД, 2012.- 340 с.
2. Основы управления использованием радиочастотного спектра. Том 2. Обеспечение электромагнитной совместимости радиосистем / Под. ред. д.т.н., проф. М.А. Быховского.- М.: КРАСАНД, 2012.- 552 с.
3. Основы управления использованием радиочастотного спектра. Том 3. Частотное планирование сетей телерадиовещания и подвижной связи. Автоматизация управления использованием радиочастотного спектра / Под. ред. д.т.н., проф. М.А. Быховского.- М.: КРАСАНД, 2012.- 368 с.
4. Исследование возникновения внеполосных излучений радиопередатчиков: методические указания к лабораторной работе № 1 / А.В. Егоров, В.А. Корнеев. – Рязань: РГРТУ, 2016. – 12 с.

5. Исследование возникновения побочных излучений радиопередатчиков: методические указания к лабораторной работе № 2 / А.В. Егоров, В.А. Корнеев. – Рязань: РГРТУ, 2015. – 12 с.
6. Исследование параметров электромагнитной совместимости радиоприемников: методические указания к лабораторной работе № 3 / А.В. Егоров, В.А. Корнеев. – Рязань: РГРТУ, 2012. – 12 с.
7. Управление радиочастотным спектром и электромагнитная совместимость радиосистем. Учебн. пособие / Под. ред. д.т.н., проф. М.А. Быховского.- М.: Эко-Трендс, 2006.- 376 с.
8. Буга Н.Н. и др. Электромагнитная совместимость РЭС М.: Радио и связь, 1993.
9. Электромагнитная совместимость РЭС. Учебн. пособие. Ч.1 / В.А. Корнеев, – Рязань: РГРТУ, 2003. – 60 с.
10. Электромагнитная совместимость РЭС. Учебн. пособие. Ч.2 / В.А. Корнеев, – Рязань: РГРТУ, 2004. – 52 с.
11. Князев А.Д., Кечиев Л.Н., Петров Б.В. Конструирование РЭА и электронно вычислительной аппаратуры с учетом ЭМС. М.: Радио и связь, 1989, 223 с.
12. ГОСТ 23611-79. Совместимость радиоэлектронных средств электромагнитная. Термины и определения.
13. ГОСТ 23872-79. Совместимость радиоэлектронных средств электромагнитная. Номенклатура параметров и классификация технических характеристик.
14. Буровский К.М., Юров Ю.Ю. ЭМС, регулирование использования радиочастотного спектра. Учебн. пособие. Рязань: РГРТУ, 2013. – 76 с.
15. Основы проектирования радиорелейных линий связи . Учебн. пособие. Быховский М.А., – М. Горячая линия-Телеком, 2016, 232 с.
16. Актуальные вопросы исследования распространения радиоволн, ЭМС, АФУ средств радиосвязи и радиовещания. . Учебн. пособие. Под.ред. Трошина Г.И. – М.: Сайнтс-Пресс, 2002. – 128 с.

Дополнительная литература:

17. Соловьев Ю.А. Системы спутниковой навигации. М. Эко-трендз, 2000, 267 с.
18. Боридько, С.И. Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах : учеб. пособие / Н.В. Дементьев, Б.Н. Тихонов, И.А. Ходжаев, С.И. Боридько .— 2-е изд., стер. — М. : Горячая линия – Телеком, 2012 .— ISBN 978-5-9912-0245-9
19. Костиков, В.Г. Электромагнитная совместимость в электронной аппаратуре : учеб. пособие по дисциплине «Теоретические основы конструирования и надежности электронных средств» / Р.В. Костиков, В.А. Шахнов, В.Г. Костиков .— М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012

20. Зиновьев, Г. С. Электромагнитная совместимость устройств силовой электроники. Часть 4 : уч.-методич. пособие / Г. С. Зиновьев .— Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2012 .— ISBN 978-5-7782-1976-2
21. Овсянников, А. Г. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике : учебное пособие / А. Г. Овсянников .— Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2011 .— ISBN 978-5-7782-1678-5
22. Зиновьев, Г. С. Электромагнитная совместимость устройств силовой электроники. Ч.5 : учеб.-метод. пособие / А. В. Удовиченко, Г. С. Зиновьев .— Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2013 .— ISBN 978-5-7782-2354-7
23. Артёмова, Т. К. Электромагнитная совместимость : задачник / А. С. Гвоздарёв, Н. И. Фомичёв, Яросл. гос. ун-т им. П. Г. Демидова, Т. К. Артёмова .— Ярославль : ЯрГУ, 2012
24. Князев А.Д. Элементы теории и практики ЭМС РЭС. М.: Радио и связь, 1984.
25. Иванов В.А. и др. ЭМС РЭС. Киев: Техника, 1983.
26. ЭМС РЭС и систем / Под ред. Н.М.Царькова. М.: Радио и связь, 1985.
27. Петровский В.И., Седельников Ю.Е. ЭМС РЭС. М.:Радио и связь, 1986.
28. Михайлов А.С. Измерение параметров ЭМС РЭС. М.: Связь, 1980.
29. Уайт Д. ЭМС РЭС и непреднамеренные помехи. Вып. 1, 2, 3. М.: Сов. радио, 1977, 1978, 1979.
30. Мещанкин В.М. Характеристики ЭМС радиопередающих устройств. Учебное пособие. М.: МИРЭА, 1992.
31. Заездный А.М. Основы расчетов нелинейных и параметрических радиотехнических цепей. М.: Связь. 1973
32. Богданов Н. Г., Лисичкин В. Г. Основы радиотехники и электроники. Нелинейные цепи при гармонических воздействиях. 1999.
33. Гоноровский И. С. Радиотехнические цепи и сигналы.– М.: Высш. шк., 1986.
34. Хабигер Э. Электромагнитная совместимость. Основы ее обеспечения в технике. Пер. с нем./ И.П. Кужекин; под. ред. Б.К. Максимова.- М.: Энергоатомиздат, 1995.- 304 с.

Открытые интернет-ресурсы

1. Электронно-библиотечная система «Лань» Режим доступа: https://e.lanbook.com
2. Научная электронная библиотека eLibrary Режим доступа: https://e/.lib/visu.ru
3. Учебно-методическое пособие по дисциплине Электромагнитная совместимость и управление радиочастотным спектром [Электронный ресурс] / . — Электрон. текстовые данные. — М. : Московский технический университет связи и информатики, 2015. — 15 с. — 2227-8397. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/63374.html

4. Корниенко С.А. Основы государственного регулирования использования радиочастотного спектра в Российской Федерации [Электронный ресурс] : учебное пособие / С.А. Корниенко. — Электрон. текстовые данные. — Ставрополь: Северо-Кавказский федеральный университет, 2016. — 154 с. — 2227-8397. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/66035.html
5. Корниенко С.А. Техническое обеспечение государственного регулирования использования радиочастотного спектра в Российской Федерации [Электронный ресурс] : учебное пособие / С.А. Корниенко. — Электрон. текстовые данные. — Ставрополь: Северо-Кавказский федеральный университет, 2016. — 193 с. — 2227-8397. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/66037.html
6. Корниенко С.А. Основы государственного регулирования использования радиочастотного спектра в Российской Федерации [Электронный ресурс] : лабораторный практикум / С.А. Корниенко. — Электрон. текстовые данные. — Ставрополь: Северо-Кавказский федеральный университет, 2016. — 98 с. — 2227-8397. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/66082.html
7. Корниенко С.А. Техническое обеспечение государственного регулирования использования радиочастотного спектра в Российской Федерации [Электронный ресурс] : лабораторный практикум / С.А. Корниенко. — Электрон. текстовые данные. — Ставрополь: Северо-Кавказский федеральный университет, 2016. — 98 с. — 2227-8397. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/66115.html
8. Ефанов В.И. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и систем [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.И. Ефанов, А.А. Тихомиров. — Электрон. текстовые данные. — Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012. — 228 с. — 5-86889-188-0. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/14033.html
9. Яковлев В.Н. Электромагнитная совместимость электрооборудования электроэнергетики и транспорта [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.Н. Яковлев, В.И. Пантелеев, В.П. Суров. — Электрон. текстовые данные. — М. : Издательский дом МЭИ, 2010. — 587 с. — 978-5-383-00398-5. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/33138.html
10. Зиновьев Г.С. Электромагнитная совместимость устройств силовой электроники. Часть 5 [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие / Г.С. Зиновьев, А.В. Удовиченко. — Электрон. текстовые данные. — Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2013. — 56 с. — 978-5-7782-2354-7. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/45198.htm

11. Пудовкин А.П. Электромагнитная совместимость и помехозащищённость РЭС [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.П. Пудовкин, Ю.Н. Панасюк, Т.И. Чернышова. — Электрон. текстовые данные. — Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2013. — 92 с. — 978-5-8265-1194-7. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/63925.html

10. Материально-техническое обеспечение дисциплины

10.1 Перечень требуемого программного обеспечения:

Лицензионное ПО

- операционная система Windows XP (Microsoft Imagine, номер подписки 700102019, бессрочно);
- Kaspersky Endpoint Security.

Открытое ПО

- пакет офисных программ OpenOffice; (лицензия LGPL). Режим доступа http://www.openoffice.org/ru/

10.2 Для освоения дисциплины кафедра РУС имеет:

1. Лекционную аудиторию, оборудованную средствами отображения презентаций и других лекционных материалов на экран;
2. Аудиторию для проведения практических занятий, оснащенную 6 персональными компьютерами;

Книжный фонд научно-технической библиотеки РГРТУ обеспечивает освоение студентами указанного курса по полной программе.

11. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

11.1. Рекомендации по планированию и организации времени, необходимого для изучения дисциплины

Рекомендуется следующим образом организовать время, необходимое для изучения дисциплины. Изучение конспекта лекции в тот же день, после лекции – 10-15 минут. Изучение конспекта лекции за день перед следующей лекцией – 10-15 минут. Изучение теоретического материала по учебнику и конспекту – 1 час в неделю.

11.2. Описание последовательности действий студента

При изучении дисциплины очень полезно самостоятельно изучать материал, который ещё не прочитан на лекции и не применялся на лабораторных занятиях. Тогда лекция будет гораздо понятнее. Однако легче при изучении курса следовать изложению материала на лекции. Для понимания материала и качественного его усвоения рекомендуется такая последовательность действий:

1). После прослушивания лекции и окончания учебных занятий, при подготовке к занятиям следующего дня, нужно сначала просмотреть и обдумать текст лекции, прослушанной сегодня (10-15).

2). При подготовке к лекции следующего дня, нужно просмотреть текст предыдущей лекции, подумать о том, какая может быть тема следующей лекции (10-15). В течение недели выбрать время (1 час) для работы с литературой в библиотеке.

11.3. Рекомендации по работе с литературой

Теоретический материал курса становится более понятным, когда дополнительно к прослушиванию лекции и изучению конспекта, изучаются и книги из рекомендуемого библиографического списка. Полезно использовать несколько учебных пособий по курсу. Рекомендуется после изучения очередного параграфа ответить на несколько вопросов по данной теме: «о чём этот параграф?», «какие новые понятия введены, каков их смысл?»

Программу составил
к.т.н., доцент кафедры РУС А. В. Егоров

ПРИЛОЖЕНИЕ

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ В.Ф. УТКИНА

Кафедра «Телекоммуникаций и основ радиотехники»

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

по дисциплине

Б1.В.08 «ЭМС телекоммуникационных систем»

Направление подготовки
11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»

Направленность (профиль) подготовки
«Системы радиосвязи, мобильной связи и радиодоступа»

Уровень подготовки
Бакалавриат

Квалификация выпускника – бакалавр

Формы обучения – очная

Рязань 2020 г.

Оценочные материалы – это совокупность учебно-методических материалов (контрольных заданий, описаний форм и процедур), предназначенных для оценки качества освоения обучающимися данной дисциплины как части основной профессиональной образовательной программы.

Цель – оценить соответствие знаний, умений и уровня приобретенных компетенций, обучающихся целям и требованиям основной профессиональной образовательной программы в ходе проведения текущего контроля и промежуточной аттестации.

Основная задача – обеспечить оценку уровня сформированности компетенций, приобретаемых обучающимся в соответствии с этими требованиями.

Контроль знаний проводится в форме текущего контроля и промежуточной аттестации.

Текущий контроль успеваемости проводится с целью определения степени усвоения учебного материала, своевременного выявления и устранения недостатков в подготовке обучающихся и принятия необходимых мер по совершенствованию методики преподавания учебной дисциплины (модуля), организации работы обучающихся в ходе учебных занятий и оказания им индивидуальной помощи.

К контролю текущей успеваемости относятся проверка знаний, умений и навыков, приобретенных обучающимися в ходе выполнения индивидуальных заданий на практических занятиях и лабораторных работах. При оценивании результатов освоения практических занятий и лабораторных работ применяется шкала оценки «зачтено – не зачтено». Количество лабораторных и практических работ и их тематика определена рабочей программой дисциплины, утвержденной заведующим кафедрой.

Результат выполнения каждого индивидуального задания должен соответствовать всем критериям оценки в соответствии с компетенциями, установленными для заданного раздела дисциплины.

Промежуточный контроль по дисциплине осуществляется проведением теоретического зачета.

Форма проведения экзамена – письменный ответ по утвержденным экзаменационным билетам, сформулированным с учетом содержания учебной дисциплины. В экзаменационный билет включается два теоретических вопроса. После выполнения письменной работы обучаемого производится ее оценка преподавателем и, при необходимости, проводится теоретическая беседа с обучаемым для уточнения экзаменационной оценки.

Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

Сформированность каждой компетенции в рамках освоения данной дисциплины оценивается по трехуровневой шкале:

1) пороговый уровень является обязательным для всех обучающихся по завершении освоения дисциплины;

2) продвинутый уровень характеризуется превышением минимальных характеристик сформированности компетенций по завершении освоения дисциплины;

3) эталонный уровень характеризуется максимально возможной выраженностью компетенций и является важным качественным ориентиром для самосовершенствования.

При достаточном качестве освоения более 80% приведенных знаний, умений и навыков преподаватель оценивает освоение данной компетенции в рамках настоящей дисциплины на эталонном уровне, при освоении более 60% приведенных знаний, умений и навыков – на продвинутом, при освоении более 40% приведенных знаний умений и навыков – на пороговом уровне. При освоении менее 40% приведенных знаний, умений и навыков компетенция в рамках настоящей дисциплины считается неосвоенной.

Уровень сформированности каждой компетенции на различных этапах ее формирования в процессе освоения данной дисциплины оценивается в ходе текущего контроля успеваемости и представлено различными видами оценочных средств.

Преподавателем оценивается содержательная сторона и качество материалов, приведенных в отчетах студента по лабораторным работам, а так же в пояснительных записках к курсовому проекту. Кроме того, преподавателем учитываются ответы студента на вопросы по соответствующим видам занятий при текущем контроле:

- контрольные опросы;
- допуски и защиты лабораторных работ;
- задания по практическим занятиям.

Принимается во внимание **знания** обучающимися:

- основной терминологии в области ЭМС;
- методов анализа и основных принципов управления РЧР и обеспечения ЭМС.

наличие **умений**:

- по исследованию параметров и характеристик ЭМС радиоэлектронных средств.

Критерии оценивания уровня сформированности компетенции в процессе выполнения и защиты лабораторных работ, практических занятий, зачета :

- 41%-60% правильных ответов соответствует пороговому уровню сформированности компетенции на данном этапе ее формирования;

- 61%-80% правильных ответов соответствует продвинутому уровню сформированности компетенции на данном этапе ее формирования;
- 81%-100% правильных ответов соответствует эталонному уровню сформированности компетенции на данном этапе ее формирования.

Сформированность уровня компетенций не ниже порогового является основанием для допуска обучающегося к промежуточной аттестации по данной дисциплине.

Изучение дисциплины заканчивается зачетом, в соответствии с учебным планом. Зачет проводится в соответствии с руководящим документом «Положение о промежуточной аттестации» от 13.04.2016г. Критерии оценивания промежуточной аттестации представлены в таблице.

Шкала оценивания	**Критерии оценивания**
«зачтено»	**студент должен:** продемонстрировать достаточно полное знание материала; продемонстрировать знание основных теоретических понятий; достаточно последовательно, грамотно и логически стройно излагать материал; уметь сделать достаточно обоснованные выводы по излагаемому материалу; ответить на все вопросы билета, при этом возможно допустить непринципиальные ошибки.
«незачет»	**ставится в случае:** незнания значительной части программного материала; не владения понятийным аппаратом дисциплины; существенных ошибок при изложении учебного материала; неумения строить ответ в соответствии со структурой излагаемого вопроса; неумения делать выводы по излагаемому материалу. Оценка «незачет» ставится, если студент не выполнил задания, предусмотренные рабочей программой дисциплины, в соответствии с учебным графиком, в том числе, если не выполнил практическую часть (лабораторные работы). Как правило, оценка «незачет» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение по образовательной программе без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине (формирования и развития компетенций, закрепленных за данной дисциплиной). Оценка «незачет» выставляется также, если студент после начала зачета отказался его сдавать или нарушил правила сдачи (списывал, подсказывал и т.д.).

Фонд оценочных средств

Оценочные средства для проведения текущей аттестации обучающихся по дисциплине (в рамках защиты лабораторных работ)

Контрольные вопросы по лабораторной работе «Исследование возникновения внеполосных излучений радиопередатчиков».

1. Что такое внеполосное излучение, какова природа его возникновения?
2. Какие виды нежелательных излучений вы знаете?
3. Что такое совершенное излучение?
4. Как связаны форма модулирующего сигнала и скорость спадания огибающей спектра?
5. Что влияет на ширину спектра радиосигнала?
6. Какие вы знаете меры, обеспечивающие снижение уровня внеполосного излучения?
7. Какие вы знаете контрольные уровни и полосы частот и для чего они используются?
8. Что такое занимаемая полоса частот и как она оценивается?
9. Какие существуют формы модулирующих сигналов и как они соотносятся с точки зрения скорости спадания огибающей спектра мощности?

Контрольные вопросы по лабораторной работе «Исследование возникновения побочных излучений радиопередатчиков».

1. Что такое побочное излучение, какова природа его возникновения?
2. Какие виды побочных излучений вы знаете?
3. Что такое гармоники, в чем их причина и какие существуют методы их снижения?
4. Что такое субгармоники, в чем их причина и какие существуют методы их снижения?
5. Что такое комбинационные излучения, в чем их причина и какие существуют методы их снижения?
6. Что такое интермодуляционные излучения, в чем их причина и какие существуют методы их снижения?
7. Что влияет на уровень интермодуляционных составляющих?
8. Какие интермодуляционные составляющие наиболее опасны и почему?
9. Что такое паразитные излучения, в чем их причина и какие существуют методы их снижения?
10. В чем разница и что общего у внеполосных и побочных излучений?

Контрольные вопросы по лабораторной работе «Характеристики и параметры ЭМС радиоприемников».

1. Какие Вы знаете каналы приема и в чем их особенности?
2. Что такое характеристика частотной избирательности радиоприемника и как она измеряется?

3. Что такое восприимчивость приемника к неосновным каналам прохождения помех и чем она определяется?
4. Что такое побочные каналы приема и какова причина их возникновения?
5. Какие Вы знаете побочные каналы приема и от чего зависит восприимчивость приемника к помехам по этим каналам?
6. Какие Вы знаете методы снижения восприимчивости приемника к побочным каналам приема?
7. Что такое внеполосные каналы приема и каковы причины их возникновения?
8. Что такое блокирование и перекрестные искажения, в чем причина их возникновения?
9. Как оцениваются коэффициент блокирования и коэффициент перекрестных искажений?
10. Что такое интермодуляция в приемнике, каковы частотные условия возникновения интермодуляционного канала приема?
11. Какие Вы знаете способы борьбы с интермодуляционными каналами приема?
12. В чем разница и что общего у внеполосных и побочных каналов приема?

Оценочные средства для проведения аттестации обучающихся по дисциплине (зачет)

1. Направления развития теории и практики ЭМС РЭС.
2. Понятие и особенности РЧР. Организационные и правовые основы использования РЧР.
3. Международные и национальные органы управления РЧР.
4. Принципы управления РЧР.
5. Регламент радиосвязи. ТРЧ, типы записей. Типы радиослужб, категории их распределения.
6. Организационные и процедурные методы повышения эффективности использования РЧР.
7. Экономические принципы повышения эффективности использования РЧР.
8. Технические принципы повышения эффективности использования РЧР
9. Классификация радиопомех. НЭМП.
10. Параметры НЭМП.
11. Индустриальные помехи.
12. Основные источники индустриальных радиопомех.
13. Характеристики и параметры ЭМС радиопередатчиков. Основное излучение. Класс излучения.
14. Характеристики и параметры ЭМС радиопередатчиков. Внеполосные излучения.

15. Характеристики и параметры ЭМС радиопередатчиков. Побочные излучения.
16. Гармоники и субгармоники в передатчиках.
17. Интермодуляционные излучения в передатчиках.
18. Комбинационные и паразитные излучения в передатчиках.
19. Характеристики и параметры ЭМС радиоприемников: каналы приема.
20. Характеристики и параметры ЭМС радиоприемников при односигнальном воздействии. ХЧИ.
21. Побочные каналы приема. Восприимчивость приемника по побочным каналам.
22. Характеристики и параметры ЭМС радиоприемников при многосигнальном воздействии. Внеполосные каналы приема.
23. Блокирование в радиоприемниках.
24. Перекрестные искажения в радиоприемниках.
25. Интермодуляционные искажения в радиоприемниках.
26. Характеристики фидеров, влияющие на ЭМС.
27. Характеристики антенн, влияющие на ЭМС.
28. Особенности и свойства среды распространения сигналов и помех.
29. Общая характеристика ЭМО. Ее особенности.
30. Анализ ЭМО. Методы оценки.
31. Методы получения детерминированных оценок. Парная оценка.
32. Методы получения детерминированных оценок. Групповая и комплексная оценки.
33. Методы получения вероятностных оценок ЭМС. Парная оценка.
34. Методы получения вероятностных оценок ЭМС. Групповая и комплексная оценки.
35. Задачи экспериментальных исследований ЭМС.
36. Методы моделирования ЭМО.
37. Методы и особенности измерений характеристик ЭМС.
38. Натурные испытания.
39. Стендовые измерения и испытания.
40. Обеспечение ЭМС на основе пространственных факторов.
41. Обеспечение ЭМС на основе временных факторов.
42. Обеспечение ЭМС на основе частотных факторов.

Примерные ответы на некоторые экзаменационные вопросы

Вопрос 14/ Характеристики и параметры ЭМС радиопередатчиков. Внеполосные излучения.

Внеполосное излучение связано с процессом модуляции сигнала. Обусловлено оно:

- использованием сигналов с большей шириной спектра, чем это необходимо для выполнения станцией своей основной функции;
- нелинейностью АХ и ФЧХ тракта;
- применением модулирующих сигналов излишне большого уровня;
- ограничением амплитуды, квантованием и др.

В результате в спектре излучаемых радиосигналов появляются составляющие, лежащие вне полосы $\boldsymbol{П_н}$. Эти излучения неоправданно расширяют занимаемую полосу частот и могут создавать помехи станциям, работающим на соседних каналах.

Огибающая спектра внеполосных излучений представляет собой убывающую функцию от величины расстройки от присвоенной частоты. Поэтому одной из характеристик ЭМС ПРД является полоса частот $\boldsymbol{П_з}$ на уровне отсчёта –Х дБ. Значение $\boldsymbol{П_з}$ определяется как полоса частот, в пределах которой сосредоточено 99% излучаемой мощности. При $\boldsymbol{П_з = П_н}$ говорят, что излучение ***совершенное.*** Большинство ПРД имеет широкополосное ***несовершенное*** излучение, когда $\boldsymbol{П_з > П_н}$.

Значение $\boldsymbol{П_з}$ сильно зависит от формы модулирующего сигнала и вида модуляции. Для сигналов почти всех классов полоса $\boldsymbol{П_з}$ не должна превышать $\boldsymbol{П_н}$ более чем на 20 %. Для определения скорости убывания интенсивности внеполосного излучения используется полоса частот $\boldsymbol{П_x}$ на уровне $\boldsymbol{X}$ = -60 дБ относительно основного излучения. При оценке частотного разнесения РЭС используется контрольная полоса частот $\boldsymbol{П_к}$ на уровне $\boldsymbol{X}$ = -30 дБ. Эти полосы регламентированы.

По ГОСТ 23611-79 под внеполосным излучением понимается излучение в полосе частот, примыкающей к необходимой полосе частот, являющееся результатом модуляции сигнала. Это излучение является нежелательным, поэтому целесообразно создавать такие сигналы или способы модуляции, которые снижали бы его уровень. В то же время сформировать излучение, полностью свободное от внеполосных составляющих, невозможно.

Для уменьшения интенсивности внеполосных колебаний необходимо получить максимально большую скорость спадания огибающей спектра при увеличении расстройки по частоте за пределами необходимой полосы. Большинство сигналов в радиосвязи и локации имеют несущую частоту, значительно превышающую максимальную частоту модуляции. Для оценки спектра такого сигнала достаточно оценить лишь спектр его модулирующей функции. В общем случае скорость спадания огибающей спектра зависит от непрерывности самого сигнала и его производных. Доказана теорема, гласящая, что, если сигнал f(t) и его производные $f^{/}(t)$ … $f^{(m-1)}(t)$ непрерывны, а $f^{(m)}(t)$ конечна, то при $\Omega \to \infty$ огибающая спектра $G(\Omega)$ убывает не медленнее, чем $\tilde{G}(\Omega)$, где $\tilde{G}(\Omega) = A/\Omega^{m+1}$, или

$\gamma(\Omega) = 20\ (m+1)$ дБ/декаду.

Эта теорема дает путь к построению сигналов, имеющих быстрое спадание внеполосных колебаний: чем более закруглены сигнал и все его производные, тем быстрее спадает огибающая спектра в зависимости от расстройки.

Наиболее резкий спад внеполосных колебаний может быть обеспечен гауссовым модулирующим импульсом, все производные которого также описываются гауссовой кривой, т.е. непрерывны и конечны. Однако идеальный гауссов импульс имеет бесконечную длительность, т.е. на практике не реализуется. В качестве практических приближений к такому сигналу рассматриваются модулирующие импульсы с огибающей вида $\cos(\pi t/\tau)$, $\cos^2(\pi t/\tau)$ и т.д. или усеченный по времени гауссов импульс (с «пьедесталом»).

На практике решение задачи снижения внеполосного излучения решается одним из двух способов.

Первый способ предполагает применение формирующих фильтров. Причем эти фильтры могут быть реализованы в виде ФНЧ, с характеристиками, обеспечивающими при входном импульсном воздействии отклик заданной формы. Либо реализуются полосовые фильтры на промежуточной (поднесущей) частоте для модулированного сигнала, обеспечивающие требуемую полосу выходного сигнала.

Второй способ предполагает синтез модулирующих импульсов заданной формы и выполняется с использованием цифровых методов формирования сигналов.

Вопрос 16. Гармоники и субгармоники в передатчиках.

Излучения на гармониках – это радиоизлучения передатчика на частотах, среднее значение которых в целое число раз больше среднего (или присвоенного) значения частоты основного излучения, т.е. на частотах $f_n = nf_0$, где n=2, 3,…, а f_0 – частота основного излучения.

Гармоники, в основном, создаются мощными каскадами ПРД, активные элементы которых в целях реализации необходимой мощности ПРД и высокого КПД работают с отсечкой в перенапряжённом режиме.

В результате нелинейности АХ и ФЧХ активных элементов передающего ВЧ тракта выходное немодулированное колебание $u(t)$ имеет форму, отличающуюся от гармонической, т.е.

$$U(t) = u_1 \cos(2\pi f_0 t + \varphi_1) + \sum_{n=2}^{\infty} u_n \cos(2\pi n f_0 t + \varphi_n).$$

При излучении модулированных сигналов форма огибающей спектра мощности на гармониках отличается от основного излучения. Например,

для ЧМ девиация частоты линейно возрастает с номером гармоники n, что влечет за собой расширение спектра:

$$П_{зп}=(1+\xi n)П_з,$$

где n - номер гармоники, $П_{зп}$- занимаемая полоса на гармонике, $П_з$- занимаемая полоса на основной частоте, ξ=0.26-0.3.

Для двоичных ФМ сигналов на четных гармониках влияние манипуляции не проявляется (известный эффект, используемый для выделения несущей частоты в системах синхронизации) и излучения становятся более узкополосными; на нечетных гармониках огибающая спектра мощности повторяет форму огибающей основного излучения.

Мощность N-й гармоники на выходе передатчика зависит:

- от значения соответствующей составляющей в общем несинусоидальном токе выходного каскада передатчика, определяемой степенью нелинейности каскада,
- коэффициента ослабления этой составляющей в избирательных цепях, нагружающих передатчик, в том числе антенном фильтре,
- активного сопротивления антенны на частоте гармоники,
- степени рассогласования между внутренним сопротивлением эквивалентного генератора гармоник и результирующим сопротивлением нагрузок на этой частоте.

В общем случае с ростом номера гармоники ее уровень значительно снижается. Но это не всегда так. Например, в магнетронных передатчиках вторая гармоника часто значительно меньше первой. При анализе ЭМС, особенно в радиокомплексах, следует учитывать влияние составляющих вплоть до 10-го порядка и выше.

Следует отметить, что еще одной причиной порождающей гармоники в излучениях РЭС могут являться нелинейные эффекты, возникающие из-за окислов в местах сочленения металлических конструкций мачт, ферм, опор, на которых установлены мощные радиопередающие устройства.

Уровни излучения на каждой из гармоник, особенно от 2-й до 5-й, имеют разбросы мощности относительно среднего уровня, превышающие 25 дБ даже для однотипных радиопередатчиков. Причинами этого являются:

- рассогласование фильтра с нагрузкой на частоте гармоники (поскольку ЧХ фильтров определяются исходя из согласования на рабочей частоте передатчика);
- рассогласование фильтра по входу;
- разбросы отраженной мощности в антенно-фидерном тракте;
- разброс характеристик и режимов электронных приборов (особенно активных), определяющий степень нелинейности передаточной характеристики.

Теоретически излучения на четных гармониках можно исключить применением двухтактных выходных каскадов передатчика при точной симметрии плеч. Однако неизбежные разбросы значений параметров активных и пассивных элементов снижают этот эффект. Если разбаланс в токах плеч достигает 15-20 % (что уже неплохо), то выигрыш в ослаблении 2-й гармоники, сравнительно с однотактной схемой, составляет около 15 дБ. С ростом номера четных гармоник этот выигрыш уменьшается.

Важным средством ослабления гармоник является применение антенного фильтра НЧ и согласование его с АФУ.

Излучения на субгармониках – это побочные излучения на частотах, лежащих ниже присвоенной частоты, они могут иметь две причины возникновения.

Первая характерна для радиопередатчиков, у которых несущая с частотой f_0 формируется из стабильных НЧ колебаний $f_г$ путём умножения их частоты: $f_0 = f_г \cdot n$. В этом случае их частоты рассчитываются как $f_{сг} = f_г \cdot m$, где $m<n$.

Вторая причина - это явление параметрического резонанса нелинейной цепи. В транзисторных генераторах емкость p-n перехода коллекторной или эмиттерной цепи вследствие своей нелинейности меняется с изменением амплитуды напряжения или тока. Возникающие при этом субгармонические колебания на частотах $f_{сг} = f_0/m$ могут привести к неустойчивой работе транзисторного генератора (усилителя) с внешним возбуждением.

Борьба с субгармониками предполагает использование в выходных цепях фильтров высокой частоты. Если же фидерный тракт реализован на волноводах, то их геометрические размеры выбираются таким образом, что субгармоники, имея закритические длины волн, не распространяются по тракту.

Вопрос 17. Интермодуляционные излучения в передатчиках.

Интермодуляционные излучения – побочные излучения, возникающие в результате воздействия на нелинейные элементы ВЧ тракта одного ПРД излучений другого ПРД. Такие излучения возникают в случаях, когда между одновременно работающими ПРД существует сильная связь. Такая ситуация соответствует работе нескольких ПРД на общую антенну либо близкому расположению нескольких ПРД с раздельными антеннами на ограниченной территории (на корабле, самолете, ракете и др.). В этих случаях в спектрах обоих ПРД кроме основных излучений с частотами f_1 и f_2 и их гармоник mf_1 и mf_2 появляются составляющие с новыми частотами:

$$f_{инт} = |\pm pf_1 \pm qf_2|, \quad \text{где } p;\ q = 1, 2, 3, \ldots$$

Эти составляющие называют ***интермодуляционными*** и характеризуют ***порядком интермодуляции*** $N_{инт} = p + q$.

Составляющие с частотами $f_{инт}$, равными сумме или разности частот основных излучений каждого ПРД ($N_{инт} = 2$), сильно ослабляются выходными избирательными цепями каждого ПРД. Составляющие 3-го порядка достаточно близки по частоте к частотам основных излучений, поэтому их мощность почти не ослабляется выходными цепями, если в их схеме нет специальных режекторных фильтров. То же самое относится и к составляющим 5-го и 7-го порядков, но их мощность значительно меньше мощности составляющих 3-го порядка вследствие уменьшения значений коэффициентов разложения косинусного тока с ростом их номера.

Снижения уровня интермодуляционных излучений можно добиться, обеспечивая пространственное разнесение антенн; улучшая развязку в схемах суммирования мощности передатчиков, работающих на общую антенну, для чего в анетенно-фидерном тракте применяются специальные интермодуляционные фильтры, состоящие из циркулятора и двух узкополосных фильтров и обеспечивающие снижение интермодуляционного излучения до 70 Дб; выбирая режим работы выходного каскада передатчика с меньшим значением соответствующего коэффициента нелинейности и т.д.

В ряде случаев эффективна мера, заключающаяся в снижении мощности сигналов, взаимодействующих на нелинейности за счет удаления передатчиков друг от друга на рассчитываемое координационное расстояние. Снижение влияния интермодуляционных излучений можно обеспечить грамотным частотным планированием, предполагающим исключение из рабочего частотного плана тех частот, которые оказались «поражены» продуктами интермодуляции.

Вопрос 19. Характеристики и параметры ЭМС радиоприемников: каналы приема.

Радиоприёмное устройство включает в себя собственно радиоприёмник, антенну, фидер и вспомогательные устройства. Его назначение - выделение сигналов из радиоизлучений с заданной избирательностью по направлению, полосе частот и времени. Пространственная избирательность обеспечивается поляризационными и направленными свойствами антенн, частотная и временная избирательность – свойствами радиоприёмника. Воздействие помех может проявляться через антенну, корпус, экран, соединения, цепи питания и управления и т.д. Идеальный приемник (ПРМ) должен принимать полезные сигналы только в пределах необходимой полосы частот и только через антенный вход. Свойство ПРМ реагировать на непреднамеренные электромагнитные

помехи НЭМП, воздействующие через антенну или помимо её, называют ***восприимчивостью.*** Восприимчивость ПРМ к НЭМП зависит от каналов проникновения, частотной расстройки и интенсивности помех. ***Основной канал*** приёма (ОКП) занимает участок частот, лежащий в пределах необходимой полосы пропускания ($П_н$) и предназначенный для прохождения полезного сигнала на выход. Неосновные каналы, по которым помеха может проходить на выход ПРМ, находятся вне ОКП и подразделяются на ***побочные*** (ПКП) и ***внеполосные*** (ВКП).

Побочный канал – это канал, номинальная частота которого имеет фиксированное значение для конкретного ПРМ и его фиксированной настройки. К ПКП относятся зеркальный, канал приёма на ПЧ, на субгармониках и комбинационные каналы. Побочный канал образуется в смесителе ПРМ в результате нелинейного взаимодействия помехи или её гармоники с колебаниями гетеродина или его гармоникой.

Внеполосный канал приёма – это неосновной канал, номинальная частота которого может принимать разное значение в зависимости от частоты мешающего сигнала при фиксированной частоте настройки ПРМ. К ВКП относятся каналы блокирования, перекрёстные и интермодуляционные.

Известно, что анализом влияния помех на приём сигналов занимается теория помехоустойчивости. Однако при этом обычно делают два существенных допущения: помехи действуют только через антенну по ОКП, а сам тракт радиочастоты (ТРЧ) – линейный. Поэтому под помехоустойчивостью понимают способность ПРМ работать без ухудшения своих показателей при действии помех через антенный вход. ***Помехоустойчивость*** определяется основным принципом построения ПРМ – это его внутренняя невосприимчивость к помехам. В отличие от этого теория ЭМС рассматривает влияние помех на полезный сигнал при прохождении их через антенну и другие входы по основному и неосновным каналам при нелинейности тракта радиочастоты (ТРЧ). Применяемые при этом дополнительные схемные и конструктивные меры защиты от помех, не изменяющие основные принципы построения и функционирования ПРМ, определяют его **помехозащищённость**.

Вопрос 20. Характеристики и параметры ЭМС радиоприемников при односигнальном воздействии. ХЧИ.

Односигнальная избирательность радиоприемника - частотная избирательность, определяемая отношением уровня сигнала на заданной частоте к его заданному уровню на частоте настройки при неизменном уровне сигнала на выходе радиоприемника и измеряемая посредством одного входного сигнала с уровнем, не вызывающим нелинейных эффектов в тракте приема.

При оценке ЭМС ПРМ в случае односигнального воздействия через антенну рассматривается прохождение сигнала по ОКП. Этот механизм приёма обусловлен только недостаточно высокой избирательностью линейных каскадов ПРМ и называется прямым прохождением помех. Частотная избирательность линейных каскадов ПРМ задаётся преселектором, фильтрами УРЧ и УПЧ. Характеристика частотной избирательности всегда неидеальна и отличается от прямоугольной. Показателем прямоугольности ХЧИ является коэффициент формы – отношение полосы пропускания ПРМ, измеренной на уровне X дБ, к полосе пропускания ПРМ, измеренной на уровне 3 дБ:

$$k_X = \Pi_X / \Pi_3 .$$

Величина $k_\Pi = 1/k_X$ называется коэффициентом прямоугольности ХЧИ. Обычно задают уровни отсчета 30 и 60 дБ. Избирательность считается хорошей, если $k_{60} \leq$ 3-5, и плохой при $k_{60} \geq$ 8.

Кроме того, для количественной оценки односигнальной избирательности используют коэффициент ослабления

$$\gamma = 20\lg[K(f_0)/K(\Delta f)],$$

где $K(f_0)$ и $K(\Delta f)$– коэффициенты усиления ТРЧ на частоте f_0 и при расстройке от неё на Δf . Для идеальной прямоугольной ХЧИ $\gamma = 0$ дБ в полосе пропускания и $\gamma = \infty$ вне её.

Вопрос 21. Побочные каналы приема.

В супергетеродинных приёмниках образование **побочных** каналов приёма связано с процессом преобразования частоты. Частотная избирательность ПРМ определяется в основном каскадами УПЧ. На смеситель ПРМ поступают как полезный сигнал, так и помеховый, уровни которых могут быть соизмеримы.

В полосу пропускания УПЧ должна попасть одна из частот биений сигнала и гетеродина: $(f_c - f_г)$ или $(f_г - f_c)$. Таким образом осуществляется перенос основного канала на ПЧ.

Кроме того, в смесителе производится нелинейное преобразование колебаний сигнала, гетеродина и помех. В результате образуются колебания гармоник и комбинационных частот вида $|m_c f_c + m_г f_г + m_n f_n|$, где m_c , $m_г$, m_n = 0, ±1, ±2,...; f_c , $f_г$, f_n – соответственно частоты сигнала, гетеродина и помехи. Число составляющих тем больше, чем выше порядок нелинейности смесителя, а их амплитуда тем больше, чем выше степень нелинейности и меньше порядок преобразования $N = |m_c| + |m_г| + |m_n|$.

Амплитуда колебаний гетеродина обычно значительно выше амплитуды сигнала и помехи, поэтому наиболее существенны помехи вида

$|m_г f_г + m_п f_п|$. Таким образом, частотное условие возникновения побочных каналов приёма в супергетеродинном ПРМ имеет вид

$$|m_г f_г + m_п f_п| \in [f_{пч} + П_{пч}/2,\ f_{пч} - П_{пч}/2].$$

Частные случаи:

а) $f_п = f_{пч}$ - прием на ***ПЧ*** ($m_г = 0, m_п = 1$);

б) $f_п = f_г \pm f_{пч}$ - приём по ***зеркальному каналу***, когда $|m_г| = |m_п| = 1$;

в) $f_п = f_г \pm f_{пч}/2$ – прием по **полузеркальному** каналу ($m_г = m_п = \pm 2$),

г) $f_п = f_c / m_п$ - приём на ***субгармониках*** частоты настройки ($m_г = 0$).

Все остальные частоты, удовлетворяющие этому условию, образуют ***комбинационные каналы*** приёма (**ККП**). С точки зрения уменьшения числа комбинационных каналов приёма идеальным является смеситель с квадратичной характеристикой. В этом случае существуют преобразованные частоты только 2-го порядка: $|\pm f_c \pm f_г|$ и $|\pm f_п \pm f_г|$. Частота принимаемого сигнала равна $f_г \pm f_{пч}$, и возможен приём помехи только по зеркальному каналу ($f_п = f_г \pm f_{пч}$) и на ПЧ (за счёт прямого прохождения) в случае ненулевого значения первого коэффициента нелинейности в разложении амплитудной характеристики смесителя, что в реальных приемниках всегда имеет место. Чем больше характеристика смесителя отличается от квадратичной, тем больше число преобразованных составляющих, тем больше потенциально возможных побочных каналов приёма. Восприимчивость ПРМ по конкретному побочному каналу тем больше, чем меньше частотная отстройка данного канала от частоты сигнала и меньше порядок преобразования.

В супергетеродинных ПРМ возможен ещё один механизм воздействия помех. Если на ПРМ действует достаточно интенсивная модулированная помеха с несущей частотой, близкой к частоте гетеродина, происходит преобразование частотных составляющих спектра сигнала и помехи. В результате принимаемый сигнал оказывается ***промодулированным*** частотой модуляции помехи.

Составил
к.т.н., доцент кафедры РУС А. В. Егоров

Заведующий кафедрой РУС,
д.т.н., проф. С.Н. Кириллов