

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

Кафедра «Радиоуправления и связи»

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

**к дисциплине**

**«Теория электромагнитной совместимости телекоммуникационных систем»**

Специальность 11.04.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы  
связи»

Специализация 1 – «Сети, системы и устройства телекоммуникаций»

Квалификация выпускника – магистр

Форма обучения – очная, очно-заочная, заочная

Рязань 2024 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 общекультурных, общепрофессиональных и профессиональных 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 также 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»	<p><b>студент должен:</b> 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 не принципиальные ошибки.</p>
«незачет»	<p><b>ставится в случае:</b> 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.</p> <p>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).</p> <p>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).</p> <p>Оценка «незачет» выставляется также, если студент после начала зачета отказался его сдавать или нарушил правила сдачи (списывал, подсказывал и т.д.).</p>

## Паспорт фонда оценочных средств по дисциплине (модулю)

Наименование	Компетенции
Направляющие системы электросвязи	ПК-2.1
Распространение радиоволн и антеннофидерные устройства	ПК-2.1
Устройства приема сигналов в телекоммуникационных системах	ПК-2.1
Устройства формирования сигналов в телекоммуникационных системах	ПК-2.1
Электропитание устройств и систем телекоммуникаций	ПК-2.1
Цифровая обработка сигналов	ПК-2.1
Электромагнитные поля и волны	ПК-2.1

### **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  $\Pi_n$ . 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  $\Pi_z$  на уровне отсчёта  $-X$  дБ. Значение  $\Pi_z$  определяется как полоса частот, в пределах которой сосредоточено 99% излучаемой мощности. При  $\Pi_z = \Pi_n$  говорят, что излучение *совершенное*. Большинство ПРД имеет широкополосное *несовершенное* излучение, когда  $\Pi_z > \Pi_n$ .

Значение  $\Pi_z$  сильно зависит от формы модулирующего сигнала и вида модуляции. Для сигналов почти всех классов полоса  $\Pi_z$  не должна превышать  $\Pi_n$  более чем на 20 %. Для определения скорости убывания интенсивности внеполосного излучения используется полоса частот  $\Pi_x$  на уровне  $X = -60$  дБ относительно основного излучения. При оценке частотного разнесения РЭС используется контрольная полоса частот  $\Pi_k$  на уровне  $X = -30$  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  $f'(t) \dots f^{(m-1)}(t)$  непрерывны, а  $f^{(m)}(t)$  конечна, то при  $\Omega \rightarrow \infty$  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 («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  $n=2, 3, \dots$ , 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:

$$P_{3n} = (1 + \zeta n) P_3,$$

где  $n$  - номер гармоники,  $P_{3n}$  - занимаемая полоса на гармонике,  $P_3$  - занимаемая полоса на основной частоте,  $\zeta = 0.26 - 0.3$ .

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  $f_2$  путём умножения их частоты:  $f_0 = f_2 \cdot n$ . В этом случае их частоты рассчитываются как  $f_{ce} = f_2 \cdot m$ , где  $m < n$ .

Вторая причина - это явление параметрического резонанса нелинейной цепи. В транзисторных генераторах емкость р-п перехода коллекторной или эмиттерной цепи вследствие своей нелинейности меняется с изменением амплитуды напряжения или тока. Возникающие при этом субгармонические колебания на частотах  $f_{ce} = f_0/m$  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 отдельными 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:

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

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

Составляющие с частотами  $f_{umt}$ , равными сумме или разности частот основных излучений каждого ПРД ( $N_{umt} = 2$ ), 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 антенно-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 ( $\Pi_n$ ) 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  $k_{II} = 1/k_X$  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  $\Delta f$ . 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 полосе пропускания УПЧ должна попасть одна из частот биений сигнала и гетеродина:  $(f_c - f_2)$  или  $(f_2 - f_c)$ . 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  $|m_c f_c + m_2 f_2 + m_n f_n|$ , где  $m_c, m_2, m_n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ ;  $f_c, f_2, f_n$  – 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  $N = |m_c| + |m_2| + |m_n|$ .

Амплитуда колебаний гетеродина обычно значительно выше амплитуды сигнала и помехи, поэтому наиболее существенны помехи вида  $|m_2 f_2 + m_n f_n|$ . Таким образом, частотное условие возникновения побочных каналов приёма в супергетеродинном ПРМ имеет вид

$$|m_2 f_2 + m_n f_n| \in [f_{nc} + \Pi_{nc}/2, f_{nc} - \Pi_{nc}/2].$$

Частные случаи:

- а)  $f_n = f_{nc}$  - прием на **ПЧ** ( $m_2 = 0, m_n = 1$ );
- б)  $f_n = f_2 \pm f_{nc}$  - приём по **зеркальному каналу**, когда  $|m_2| = |m_n| = 1$ ;
- в)  $f_n = f_2 \pm f_{nc} / 2$  – прием по **полужеркальному каналу** ( $m_2 = m_n = \pm 2$ ),
- г)  $f_n = f_c / m_n$  - приём на **субгармониках** частоты настройки ( $m_2 = 0$ ).

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:  $|\pm f_c \pm f_2|$  и  $|\pm f_n \pm f_2|$ . Частота принимаемого сигнала равна  $f_2 \pm f_{nc}$ , и возможен приём помехи только по зеркальному каналу ( $f_n = f_2 \pm f_{nc}$ ) 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.