



Федеральное агентство по рыболовству  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Калининградский государственный технический университет»  
(ФГБОУ ВО «КГТУ»)  
Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота

УТВЕРЖДАЮ  
Начальник УРОПС

Фонд оценочных средств  
(приложение к рабочей программе дисциплины)  
**«ОСНОВЫ СТАТИСТИЧЕСКОЙ РАДИОТЕХНИКИ»**  
основной профессиональной образовательной программы специалитета  
по специальности

**25.05.03 ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ ТРАНСПОРТНОГО  
РАДИООБОРУДОВАНИЯ**

Специализации программы  
**«ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ И РЕМОНТ РАДИООБОРУДОВАНИЯ  
ПРОМЫСЛОВОГО ФЛОТА»**

**«ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ  
НА ТРАНСПОРТЕ И ИХ ИНФОРМАЦИОННАЯ ЗАЩИТА»**

ИНСТИТУТ

Морской

РАЗРАБОТЧИК

Кафедра судовых радиотехнических систем

## 1 РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Таблица 1 – Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с установленными индикаторами достижения компетенций

| Код и наименование компетенции                                                                                                                    | Индикаторы достижения компетенции                                                                                                      | Дисциплина                         | Результаты обучения (владения, умения и знания), соотнесенные с компетенциями/индикаторами достижения компетенции                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ПК-7: Способен осуществлять проведение научно-исследовательских работ по разработке инновационных радиоэлектронных средств различного назначения. | ПК-7.3: Исследование физических принципов функционирования разрабатываемого радиоэлектронного средства в сложной помеховой обстановке. | Основы статистической радиотехники | <p><u>Знать</u>: классификацию случайных процессов и их примеры из области радиотехники; числовые характеристики случайных процессов и способы их расчета; вероятностные характеристики случайных процессов; корреляционные и спектральные характеристики случайных процессов, соответствие между ними и способы их экспериментального измерения; методы анализа характеристик случайных процессов на выходах линейных и нелинейных радиотехнических цепей.</p> <p><u>Уметь</u>: определять статистические, корреляционные и спектральные характеристики типовых случайных процессов; анализировать изменение характеристик случайных процессов при их прохождении через линейные и нелинейные цепи.</p> <p><u>Владеть</u>: навыками создания моделей случайных процессов, и проведения модельных исследований прохождения случайных процессов через радиотехнические цепи и измерения их характеристик в среде MathCAD.</p> |

## **2 ПЕРЕЧЕНЬ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПОЭТАПНОГО ФОРМИРОВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ) И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ**

2.1 Для оценки результатов освоения дисциплины используются:

- оценочные средства текущего контроля успеваемости;
- оценочные средства для промежуточной аттестации по дисциплине.

2.2 К оценочным средствам текущего контроля успеваемости относятся:

- контрольные вопросы по изучаемым темам дисциплины;
- тестовые задания;
- задания и контрольные вопросы по лабораторным работам.

2.3 К оценочным средствам для промежуточной аттестации по дисциплине, проводимой в форме дифференцированного зачета, относятся:

- задания по контрольной работе;
- контрольные вопросы по дисциплине.

## **3 ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ**

### **3.1 Контрольные вопросы и тестовые задания**

Контрольные вопросы и тестовые задания предназначены для оценки в рамках текущего контроля успеваемости знаний, приобретенных обучающимся на лекционных занятиях и для измерения соответствующих индикаторов достижения компетенции.

#### **3.1.1. Содержание оценочных средств**

Контрольные вопросы сгруппированы в блоки по темам. Перечень наименований блоков контрольных вопросов и тестовых заданий представлен ниже с указанием измеряемого индикатора, а содержательная часть блоков представлена в **Приложении 1**.

1. Блок 1. «Введение».
2. Блок 2. «Вероятностные и энергетические характеристики случайных процессов».
3. Блок 3. «Узкополосные случайные процессы».
4. Блок 4. «Воздействие случайных сигналов на радиотехнические цепи».
5. Блок 5. «Согласованная фильтрация сигналов».

Три варианта тестовых заданий приведены в **Приложении 2**.

#### **3.1.2. Методические материалы, определяющие процедуры использования оценочных средств**

Отдельные вопросы из блоков контрольных вопросов по изучаемым темам используются выборочно для контроля степени усвоения курсантами/студентами пройденного лекционного материала по той или иной теме и относятся к вопросам открытого типа.

Блоки тестовых заданий являются обязательными к исполнению перед предстоящей промежуточной аттестацией, а их результаты рассматриваются в качестве составной части допуска к зачету с оценкой по дисциплине.

Шкала оценивания результатов выполнения тестовых заданий основана на четырехбалльной системе. Оценка за выполнение теста определяется количеством правильно выпол-

ненных заданий, выраженным в процентном отношении.

Оценка **«отлично»** выставляется при правильном выполнении не менее 90% заданий.

Оценка **«хорошо»** выставляется при правильном выполнении не менее 80% заданий.

Оценка **«удовлетворительно»** выставляется при правильном выполнении не менее 70% заданий.

Оценка **«неудовлетворительно»** выставляется при правильном выполнении менее 70% заданий.

Результаты измерений индикатора считаются положительными при правильном выполнении не менее 70% заданий.

### 3.2 Задания и контрольные вопросы по лабораторным работам

#### 3.2.1. Содержание оценочных средств

Блок лабораторных работ представлен 7 лабораторными работами с указанием учебной цели и измеряемого индикатора. Задания и контрольные вопросы к лабораторным работам приведены в **Приложении 3**.

*Лабораторная работа 1. «Изучение методов генерации псевдослучайных числовых последовательностей с равномерным законом распределения».*

*Учебная цель:* изучить методы генерации псевдослучайных числовых последовательностей с равномерным законом распределения и способов их тестирования.

*Лабораторная работа 2. «Изучение методов генерации стандартных нормально распределенных случайных величин».*

*Учебная цель:* изучить методы на основе преобразования Бокса-Мюллера, применяемые для генерации стандартных нормально распределенных случайных величин.

*Лабораторная работа 3: «Изучение характеристик узкополосных случайных процессов».*

*Учебная цель:* провести модельные исследования числовых, вероятностных, энергетических и корреляционных характеристик узкополосных случайных процессов.

*Лабораторная работа 4. «Экспериментальное определение корреляционной функции и спектральной плотности средней мощности стационарного случайного процесса».*

*Учебная цель:* ознакомиться со способами измерения корреляционной функции и спектральной плотности средней мощности стационарного случайного процесса, определения времени корреляции и эффективной ширины энергетического спектра.

*Лабораторная работа 5. «Исследование характеристик случайных процессов на выходе линейных радиотехнических цепей».*

*Учебная цель:* ознакомиться с явлением нормализации случайного процесса узкополосными радиотехническими цепями, исследовать числовые характеристики случайного процесса на выходе дифференцирующей и интегрирующей цепей.

*Лабораторная работа 6. «Исследование характеристик случайных процессов на выходе нелинейной радиотехнической цепи».*

*Учебная цель:* провести модельные исследования характеристик случайного процесса на выходе амплитудного детектора при воздействии на него аддитивной смеси полезного сигнала и узкополосного шума.

*Лабораторная работа 7. «Исследование согласованной фильтрации сигналов на фоне*

*аддитивного белого шума».*

*Учебная цель:* провести модельные исследования процесса согласованной фильтрации сигнала в виде пачки биполярных прямоугольных видеоимпульсов в условиях различной помеховой обстановки.

3.2.2. Методические материалы, определяющие процедуры использования оценочных средств

При условии отсутствия замечаний принципиального характера к представленному отчету проводится защита отчета по лабораторной работе в соответствии с перечнем теоретических вопросов и практических заданий, приведенных в учебно-методическом пособии по выполнению лабораторных работ к каждой работе в отдельности.

Шкала оценивания результатов защит лабораторных работ основана на четырехбалльной системе.

Оценка **«отлично»** выставляется, если отчет оформлен в соответствии с установленными требованиями, обучающийся показал глубокие знания и понимание программного материала по теме лабораторной работы, умело увязывает лекционный материал с практикой, грамотно и логично строит ответ на контрольные вопросы.

Оценка **«хорошо»** выставляется, если отчет оформлен с некоторыми нарушениями требований, обучающийся твердо знает программный материал по теме лабораторной работы, грамотно его излагает, не допускает существенных неточностей в ответе на контрольные вопросы, правильно применяет полученные знания при решении практических вопросов.

Оценка **«удовлетворительно»** выставляется, если отчет оформлен с нарушениями требований, обучающийся имеет знания только основного материала по поставленным контрольным вопросам, но не усвоил его деталей, для принятия правильного решения требует наводящих вопросов, допускает отдельные неточности или недостаточно четко излагает учебный материал по теме лабораторной работы.

Оценка **«неудовлетворительно»** выставляется, если отчет оформлен с грубыми нарушениями требований или не представлен вовсе, обучающийся допускает грубые ошибки в ответе на контрольные вопросы, не может применять полученные знания на практике.

## **4 ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

4.1 Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в форме дифференцированного зачета.

К дифференцированному зачету допускаются курсанты (студенты):

- положительно аттестованные по результатам текущего контроля;
- прошедшие все предусмотренные учебным планом виды занятий;
- получившие положительную оценку по результатам тестирования;
- получившие положительные оценки по лабораторным работам;
- получившие положительную оценку по контрольной работе (для заочной формы обучения).

4.2. Задания по контрольной работе (заочная форма обучения)

4.2.1. Содержание оценочных средств

Контрольная работа по дисциплине «Основы статистической радиотехники» является неотъемлемой частью самостоятельной работы, предусмотренной учебным планом.

Контрольная работа состоит из 6 индивидуальных взаимосвязанных заданий, выполняемых с использованием среды MathCAD:

1. Моделирование нормально распределенной случайной величины с заданными числовыми характеристиками.
2. Моделирование узкополосного нормального случайного процесса с заданными формой и эффективной шириной энергетического спектра.
3. Проверка гипотезы о нормальном распределении узкополосного случайного процесса.
4. Исследование корреляционных свойств узкополосного случайного процесса.
5. Формирование квадратур узкополосного случайного процесса и проверка их характеристик.
6. Формирование огибающей и начальной фазы узкополосного случайного процесса и проверка их характеристик.

Формулировка заданий, а также рекомендации по их выполнению приведены в **Приложении 4**. Выбор варианта задания осуществляется по двум последним цифрам шифра зачетной книжки. Исходные данные к каждому варианту приведены в **Приложении 5**.

#### 4.2.2. Методические материалы, определяющие процедуры использования оценочных средств

Оценивается наличие решения, правильность выполнения расчетов, качество оформления (логичность и последовательность изложения решения, наличие пояснений к выполняемым математическим действиям, правильность выполнения электрических схем, наглядность приведенных графических результатов расчетов).

Шкала оценивания результатов выполнения контрольной работы основана на двухбалльной системе.

Оценка «**зачтено**» выставляется в случае, если все задания выполнены верно и в полном объеме, при незначительных отступлениях от правил оформления результатов выполнения контрольной работы.

Оценка «**незачтено**» выставляется в случае, если часть заданий выполнена неверно, при значительных отступлениях от правил оформления результатов выполнения контрольной работы.

Результаты измерений индикатора считаются положительными при правильном выполнении всех заданий контрольной работы.

#### 4.3. Контрольные вопросы для дифференцированного зачета приведены в **Приложении 6**.

#### 4.4. Методические материалы, определяющие процедуры использования оценочных средств

Билет для проведения промежуточной аттестации содержит два теоретических вопроса из утвержденного перечня по различным разделам дисциплины.

На усмотрение экзаменатора зачет с оценкой может быть проведен в письменной, устной или комбинированной форме. При наличии сомнений в отношении знаний и умений

обучающегося экзаменатор может (имеет право) задать дополнительные вопросы.

Шкала итоговой аттестации по дисциплине, то есть оценивания результатов освоения дисциплины на зачете с оценкой, основана на четырехбалльной системе.

За ответ на задание билета выставляется оценка:

- «**отлично**», если обучающийся показал глубокие знания и понимание программного материала по поставленному вопросу, умело увязывает его с практикой, грамотно и отлично строит ответ, быстро принимает оптимальные решения при решении практических вопросов;
- «**хорошо**» выставляется, если обучающийся твердо знает программный материал, грамотно его излагает, не допускает существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет полученные знания при решении практических вопросов;
- «**удовлетворительно**» выставляется, если обучающийся имеет знания только основного материала по поставленному вопросу, но не усвоил деталей, требует в отдельных случаях наводящего вопроса для принятия правильного решения, допускает отдельные неточности;
- «**неудовлетворительно**» выставляется, если обучающийся допускает грубые ошибки в ответе на поставленный вопрос, не может применить полученные знания на практике.

При положительных оценках за теоретические вопросы билета итоговая оценка за зачет с оценкой выводится по двум частным оценкам как среднее арифметическое с округлением в меньшую или большую сторону в зависимости от дробной части. При наличии хотя бы одной неудовлетворительной оценки выставляется итоговая оценка за зачет с оценкой «**неудовлетворительно**».

## **5 СВЕДЕНИЯ О ФОНДЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ И ЕГО СОГЛАСОВАНИИ**

Фонд оценочных средств для аттестации по дисциплине «Основы статистической радиотехники» основной профессиональной образовательной программы по специальности 25.05.03 «Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования», специализаций «Техническая эксплуатация и ремонт радиооборудования промышленного флота» и «Информационно-телекоммуникационные системы на транспорте и их информационная защита».

Фонд оценочных средств рассмотрен и одобрен на заседании кафедры судовых радиотехнических систем 22.04.2022 (протокол № 8).

Заведующий кафедрой  Е.В. Волхонская



## Приложение 1

### Перечень контрольных вопросов к лекционному материалу

#### Блок 1. «Введение»

1. Что является предметом изучения дисциплины «Основы статистической радиотехники»?
2. Какова цель изучения дисциплины «Основы статистической радиотехники»?
3. Какие задачи решаются в рамках дисциплины «Основы статистической радиотехники»?
4. Какие знания, полученные в результате изучения дисциплины «Высшая математика» потребуются в рамках дисциплины «Основы статистической радиотехники»?
5. Какие знания, полученные в результате изучения дисциплины «Электротехника и электроника» потребуются в рамках дисциплины «Основы статистической радиотехники»?
6. При изучении каких дисциплин в рамках ОПОП потребуются знания, полученные в рамках изучения дисциплины «Основы статистической радиотехники»?
7. Какие виды текущей аттестации предусмотрены в рамках изучения дисциплины «Основы статистической радиотехники»?
8. Какая форма промежуточной аттестации предусмотрена в рамках изучения дисциплины «Основы статистической радиотехники»?
9. Что понимают под случайной величиной?
10. Приведите примеры случайных величин из области радиотехники.
11. Что понимают под случайным процессом?
12. Что называют реализацией случайного процесса?
13. Какую информацию позволяет получить семейство реализаций случайного процесса?
14. Что понимают под срезом случайного процесса?
15. Приведите классификацию случайных процессов и поясните области применения данных моделей случайного процесса.
16. Дайте определение функции распределения случайного процесса.
17. Какими свойствами обладает функция распределения случайного процесса?
18. Как используя функцию распределения случайного процесса определить вероятность попадания случайной величины в заданный интервал?
19. Дайте определение плотности распределения вероятности случайного процесса.
20. Какими свойствами обладает плотность распределения вероятности случайного процесса?
21. Как используя плотность распределения вероятности случайного процесса определить вероятность попадания случайной величины в заданный интервал?
22. Какой случайный процесс называется стационарным?
23. Какой случайный процесс называется эргодическим?

#### Блок 2. «Вероятностные и энергетические характеристики случайных процессов»

1. Дайте определение математического ожидания случайного процесса.
2. Какой физический смысл имеет математическое ожидание случайного процесса?
3. Дайте определение дисперсии случайного процесса.

4. Какой физический смысл имеет дисперсия случайного процесса?
5. Дайте определение среднего квадратического отклонения случайного процесса.
6. Приведите выражение для плотности распределения вероятности случайного процесса для равномерного закона распределения.
7. Как определяются математическое ожидание и дисперсия случайного процесса при равномерном законе распределения?
8. Как определяется функция распределения случайного процесса при равномерном законе распределения?
9. Как определяются математическое ожидание и дисперсия случайного процесса при нормальном законе распределения?
10. Как определяется функция распределения случайного процесса при нормальном законе распределения?
11. Как определяются математическое ожидание и дисперсия случайного процесса при законе распределения Релея?
12. Как определяется функция распределения случайного процесса при законе распределения Релея?
13. Как определяются математическое ожидание и дисперсия случайного процесса при законе распределения Лапласа?
14. Как определяется функция распределения случайного процесса при законе распределения Лапласа?
15. Как определяются математическое ожидание и дисперсия случайного процесса при законе распределения Райса?
16. Как определяется функция распределения случайного процесса при законе распределения Райса?
17. В чем преимущество имитационного моделирования перед натурным экспериментом при генерации случайной величины?
18. Какие методы тестирования псевдослучайных последовательностей вам известны? В чем они состоят?
19. Сформулируйте критерий Пирсона для проверки соответствия закону распределения.
20. От чего зависит величина критического значения критерия Пирсона? Как его определить с использованием встроенных функций среды MathCAD?
21. Поясните алгоритм работы линейного конгруэнтного метода.
22. Поясните алгоритм работы метода Фибоначчи с запаздываниями. Как выбираются величины запаздываний?
23. Поясните суть метода обратного преобразования функции распределения.
24. На основе метода обратного преобразования функции распределения получите выражение, определяющее алгоритм создания случайной величины с экспоненциальным распределением.
25. Поясните суть преобразования Бокса-Мюллера и его модификации
26. В чем преимущество модифицированного преобразования Бокса-Мюллера и какова его эффективность?

### **Блок 3. «Узкополосные случайные процессы»**

1. Какова природа теплового шума радиоаппаратуры? В каких радиоэлементах он наблюдается? Как определяется энергетический спектр теплового шума?
2. Какова природа дробового шума радиоаппаратуры? В каких радиоэлементах он наблюдается? Как определяется энергетический спектр дробового шума?
3. Поясните характерные особенности модели белого шума?
4. Какова граница применимости модели белого шума по отношению к тепловому и дробовому шумам?
5. Какой случайный процесс называется широкополосным / узкополосным?
6. Приведите форму энергетического спектра узкополосного случайного процесса на выходе идеального полосового фильтра.
7. Приведите форму энергетического спектра узкополосного случайного процесса на выходе гауссова полосового фильтра.
8. Приведите форму энергетического спектра узкополосного случайного процесса на выходе резонансного усилителя.
9. Как определяется центральная частота энергетического спектра узкополосного случайного процесса?
10. Как определяются эффективное и среднее квадратическое значения ширины энергетического спектра узкополосного случайного процесса? Как соотносятся эти значения?
11. Приведите форму корреляционной функции узкополосного случайного процесса на выходе идеального полосового фильтра.
12. Приведите форму корреляционной функции узкополосного случайного процесса на выходе гауссова полосового фильтра.
13. Приведите форму корреляционной функции узкополосного случайного процесса на выходе резонансного усилителя.
14. Запишите выражение, определяющее квазигармоническое представление узкополосного случайного процесса.
15. Каким требованиям должна отвечать огибающая узкополосного случайного процесса?
16. Запишите выражение, связывающее узкополосный случайный процесс с его низкочастотными квадратурами.
17. Как определяется сопряженный по Гильберту узкополосный случайный процесс?
18. Как соотносятся характеристики узкополосного случайного процесса и сопряженного ему по Гильберту случайного процесса?
19. Какой закон распределения имеют низкочастотные квадратуры узкополосного случайного процесса?
20. Как соотносятся дисперсии узкополосного случайного процесса и его низкочастотных квадратур?
21. Какой закон распределения имеют огибающая и начальная фаза узкополосного случайного процесса?
22. Запишите выражение, определяющее корреляционную функцию эргодического случайного процесса.
23. Какими свойствами обладает корреляционная функция случайного процесса?

24. Что понимают под временем корреляции случайного процесса?
25. Изобразите схему последовательного коррелометра и поясните принцип его работы.
26. Изобразите схему параллельного коррелометра и поясните принцип его работы.
27. В чем достоинства и недостатки схем последовательного и параллельного коррелометра?
28. При каком условии время измерения корреляционной функции случайного процесса будет наименьшим?
29. Что понимают под спектральной плотностью средней мощности случайного процесса?
30. Запишите выражения, определяющие теорему Винера-Хинчина.
31. Как соотносятся время корреляции и ширина энергетического спектра узкополосного случайного процесса?
32. Изобразите схему последовательного анализатора спектра и поясните принцип его работы.
33. Изобразите схему параллельного анализатора спектра и поясните принцип его работы.
34. В чем достоинства и недостатки схем последовательного и параллельного анализатора спектра?
35. При каком условии время измерения спектральной плотности средней мощности случайного процесса будет наименьшим?

#### **Блок 4. «Воздействие случайных сигналов на радиотехнические цепи»**

1. В чем суть явления нормализации случайного процесса узкополосной цепью? При каком условии оно наблюдается?
2. Как связаны математические ожидания случайных процессов на входе и выходе дифференцирующей цепи?
3. Как связаны корреляционные функции случайных процессов на входе и выходе дифференцирующей цепи?
4. Как определяется корреляционная функция случайных процессов на входе и выходе дифференцирующей цепи?
5. Нарушает ли дифференцирующая цепь стационарность случайного процесса?
6. Как связаны математические ожидания случайных процессов на входе и выходе интегрирующей цепи?
7. Как связаны корреляционные функции случайных процессов на входе и выходе интегрирующей цепи?
8. Как определяется корреляционная функция случайных процессов на входе и выходе интегрирующей цепи?
9. Нарушает ли интегрирующая цепь стационарность случайного процесса?
10. Как определяется плотность распределения вероятности на выходе нелинейной цепи с однозначной обратной передаточной функцией?
11. Как определяется плотность распределения вероятности на выходе нелинейной цепи с многозначной обратной передаточной функцией?
12. Как определяется плотность распределения вероятности на выходе усилителя-

ограничителя?

13. По какому правилу происходит преобразование многомерной плотности распределения вероятности?

14. Является ли сумма двух нормально распределенных случайных процессов случайным процессом с нормальным законом распределения? Как определить дисперсию такого случайного процесса?

15. Является ли разность двух нормально распределенных случайных процессов случайным процессом с нормальным законом распределения? Как определить дисперсию такого случайного процесса?

16. Является ли произведение двух нормально распределенных случайных процессов случайным процессом с нормальным законом распределения?

17. Является ли частное двух нормально распределенных случайных процессов случайным процессом с нормальным законом распределения?

18. Как определяется корреляционная функция и энергетический спектр случайного процесса на выходе квадратичного детектора при подаче на его вход узкополосного случайного процесса?

19. Приведите характеристики случайного процесса на выходе ограничителя амплитуды.

20. Приведите характеристики случайного процесса на выходе частотного детектора.

#### **Блок 5. «Согласованная фильтрация сигналов»**

1. Какие задачи решает статистическая радиотехника?

2. В чем состоит задача согласованной фильтрации?

3. Как определяется комплексный коэффициент передачи согласованного фильтра?

4. Как определяется импульсная характеристика согласованного фильтра?

5. Как выбирается время принятия решения при построении согласованного фильтра?

6. Как выбирается масштабный множитель при построении согласованного фильтра?

7. Приведите схему согласованного фильтра для одиночного прямоугольного импульса. Поясните работу схемы с помощью временных диаграмм сигналов в контрольных точках.

8. Приведите схему согласованного фильтра для пачки прямоугольных импульсов. Поясните работу схемы с помощью временных диаграмм сигналов в контрольных точках.

9. Чем определяется форма полезного сигнала на выходе согласованного фильтра?

10. Как определяется корреляционная функция шума на выходе согласованного фильтра?

11. Запишите выражение для максимального отношения сигнал/шум на выходе согласованного фильтра?

12. Как повысить скрытность передачи сигнала? Какие сигналы могут при этом использоваться, если задача их обнаружения решается с помощью согласованного фильтра?

13. Приведите схему согласованного фильтра при фильтрации на фоне небелого шума и поясните принцип ее работы.

## Приложение 2

### Варианты тестовых заданий для промежуточной аттестации

#### Вариант 1

**Вопрос 1.** Плотность распределения вероятностей  $W(x, t)$  должна отвечать следующим свойствам

А)  $\int_{-\infty}^{\infty} W(x, t) dx = 1, \forall t$

Б)  $W(-\infty, t) = -1, \forall t$

В)  $W(x, t) \geq 0, \forall x, \forall t$

Г)  $W(\infty, t) = 1, \forall t$

**Вопрос 2.** Выражение, определяющее связь вероятности попадания случайной величины в заданный интервал  $[a, b]$  и плотности распределения вероятностей  $W(x, t)$ , имеет вид

А)  $P(X \in [a, b], t) = \int_a^b W(x, t) dx, \forall t$

Б)  $P(X \in [a, b], t) = W(b, t) - W(a, t), \forall t$

В)  $P(X \in [a, b], t) = \left. \frac{\partial W(x, t)}{\partial x} \right|_{x=b} - \left. \frac{\partial W(x, t)}{\partial x} \right|_{x=a}, \forall t$

**Вопрос 3.** Выражение, определяющее математическое ожидание случайной величины, имеет вид

А)  $m_x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} x \cdot W(x, t) dx, \forall x, t$

Б)  $m_x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} x \cdot F(x, t) dx, \forall x, t$

В)  $m_x(t) = \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} x^2 \cdot F(x, t) dx}, \forall x, t$

Г)  $m_x(t) = \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} x^2 \cdot W(x, t) dx}, \forall x, t$

**Вопрос 4.** Дисперсия случайного напряжения представляет собой

А) наиболее вероятное значение напряжения

Б) постоянную составляющую напряжения

В) мощность переменной составляющей напряжения

Г) меру статистической связи значений напряжения в различные моменты времени

**Вопрос 5. Выражения, отвечающие за эргодичность случайного процесса, имеют вид**

А)  $\langle x(t) \rangle = \overline{x(t)}$

Б)  $\int_{-\infty}^{\infty} W(x, t) dx = 1, \forall t$

В)  $\langle (x(t) - m_x(t))^2 \rangle = \overline{(x(t) - m_x(t))^2}$

Г)  $\langle x(t)x(t-\tau) \rangle = \overline{x(t)x(t-\tau)}$

**Вопрос 6. Выражение, определяющее равномерный закон распределения случайной величины, имеет вид**

А)  $W(x) = 2xe^{-x^2}, x \geq 0$

Б)  $W(x) = 2e^{-4|x|}$

В)  $W(x) = \begin{cases} 1/2\pi, & x \in [0, 2\pi] \\ 0, & x \notin [0, 2\pi] \end{cases}$

Г)  $W(x) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} e^{-x^2}$

**Вопрос 7. Математическое ожидание и дисперсия гауссова случайного процесса с заданной плотностью распределения вероятностей имеют следующие значения**

$$W(x) = \frac{1}{\sqrt{7\pi}} e^{-\frac{(x-2)^2}{7}}$$

А)  $m_x = 2, \sigma_x^2 = 7$

Б)  $m_x = 7, \sigma_x^2 = 2$

В)  $m_x = 2, \sigma_x^2 = 7\pi$

Г)  $m_x = 3,5, \sigma_x^2 = 2$

Д)  $m_x = 2, \sigma_x^2 = 3,5$

**Вопрос 8. Нормировочный множитель «А» для равномерно распределенного случайного процесса с заданной плотностью распределения вероятностей равен**

$$W(x) = \begin{cases} A, & x \in [-1, 2] \\ 0, & x \notin [-1, 2] \end{cases}$$

А)  $A=1$

Б)  $A=3$

В)  $A=\frac{1}{2}$

Г)  $A=\frac{1}{3}$

**Вопрос 9. Дисперсия случайного напряжения в системе СИ измеряется в следующих единицах**

- А) В<sup>-1</sup>
- Б) В<sup>2</sup>·с
- В) В
- Г) В<sup>2</sup>

**Вопрос 10. Выражение, определяющее корреляционную функцию стационарного в узком смысле случайного процесса, имеет вид**

- А)  $K_x(\tau) = \langle (x(t) - m_x(t)) \cdot (x(t+\tau) - m_x(t+\tau)) \rangle$
- Б)  $K_x(\tau) = \langle (x(t+\tau) - m_x(t+\tau))^2 \rangle$
- В)  $K_x(\tau) = \sqrt{\langle (x(t+\tau) - m_x(t+\tau))^2 \rangle}$
- Г)  $K_x(\tau) = \langle (x(t+\tau) - m_x(t+\tau)) \rangle$

**Вопрос 11. Для заданной функции корреляции дисперсия случайного процесса оказывается равной**

$$K_x(\tau) = 10(1 - |\tau|)e^{-2|\tau|}$$

- А)  $\sigma_x^2 = 2$
- Б)  $\sigma_x^2 = 10e^{-2}$
- В)  $\sigma_x^2 = 10$
- Г)  $\sigma_x^2 = 5$
- Д)  $\sigma_x^2 = 5e^{-1}$
- Е)  $\sigma_x^2 = 25e^{-2}$

**Вопрос 12. Выражение, определяющее связь корреляционной функции и коэффициента корреляции, имеет вид**

- А)  $R_x(\tau) = \frac{1}{\sigma_x^2} \int_{-\infty}^{\infty} K_x(\omega) e^{-j\omega\tau} d\omega$
- Б)  $R_x(\tau) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} K_x(\omega) e^{-j\omega\tau} d\omega$
- В)  $R_x(\tau) = \frac{1}{\sigma_x^2} \int_{-\infty}^{\infty} K_x(\tau) e^{j\omega\tau} d\omega$
- Г)  $R_x(\tau) = K_x(\tau) / \sigma_x^2$
- Д)  $R_x(\tau) = K_x(\tau) / \sigma_x$



**Вопрос 13.** Выражение, определяющее связь корреляционной функции случайного процесса с его спектральной плотностью средней мощности, имеет вид

А)  $K_x(\tau) = \int_0^{\infty} S_x(\omega) e^{j\omega\tau} d\omega$

Б)  $K_x(\tau) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S_x(\omega) e^{j\omega\tau} d\omega$

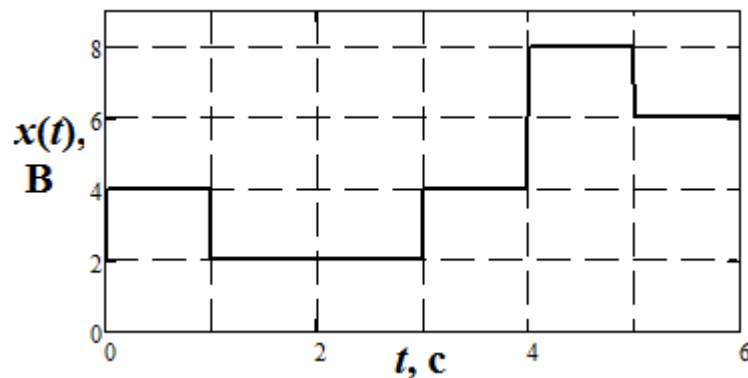
В)  $K_x(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} S_x(\omega) e^{j\omega\tau} d\omega$

Г)  $K_x(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T S_x(\omega) e^{j\omega\tau} d\omega$

**Вопрос 14.** Преимущество последовательного способа измерения спектральной плотности средней мощности перед параллельным способом состоит в

- А) простоте реализации
- Б) большей скорости выполнения измерения
- В) большем времени измерения
- Г) большей точности измерения

**Вопрос 15.** Средняя мощность шума квантования для квантованного сигнала  $x(t)$  равна



- А)  $3 \text{ В}^2$
- Б)  $1/12 \text{ В}^2$
- В)  $1/2 \text{ В}^2$
- Г)  $1/3 \text{ В}^2$
- Д)  $1 \text{ В}^2$

**Вопрос 16.** Выражение, определяющее узкополосный случайный процесс с центральной частотой энергетического спектра  $f_0$  и шириной энергетического спектра  $\Delta f$ , имеет вид

- А)  $\Delta f = f_0$
- Б)  $2\Delta f = f_0$
- В)  $\Delta f \ll f_0$
- Г)  $\Delta f \gg f_0$

**Вопрос 17. Форма энергетического спектра  $S(f)$  случайного процесса на выходе идеального полосового фильтра с центральной частотой полосы пропускания  $f_0$  и шириной полосы пропускания  $\Delta f$  при действии на входе фильтра белого шума описывается выражением вида**

$$\text{А) } S(f) = \begin{cases} S_{\max}, & |f - f_0| \leq \frac{\Delta f}{2} \\ 0, & |f - f_0| > \frac{\Delta f}{2} \end{cases}$$

$$\text{Б) } S(f) = S_{\max} \cdot e^{-\left(\frac{f-f_0}{\Delta f}\right)^2 \cdot 4 \ln(2)}$$

$$\text{В) } S(f) = \frac{S_{\max}}{1 + 4 \cdot \left(\frac{f - f_0}{\Delta f}\right)^2}$$

$$\text{Г) } S(f) = \frac{S_{\max} \cdot (f \cdot \Delta f)^2}{(f_0^2 - f^2)^2 + (f \cdot \Delta f)^2}$$

**Вопрос 18. Выражение, определяющее центральную частоту  $f_0$  энергетического спектра  $S(f)$  случайного процесса, имеет вид**

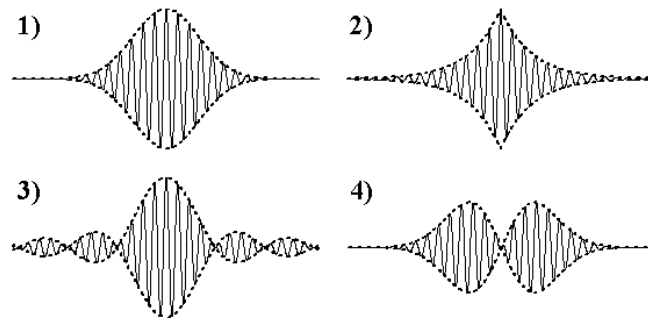
$$\text{А) } f_0 = \frac{1}{S_{\max}} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} S(f) df$$

$$\text{Б) } f_0 = \sqrt{\frac{1}{S_{\max}} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} f \cdot S(f) df}$$

$$\text{В) } f_0 = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} f \cdot S(f) df}{\int_{-\infty}^{\infty} S(f) df}$$

$$\text{Г) } f_0 = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} f^2 \cdot S(f) df}{\int_{-\infty}^{\infty} f \cdot S(f) df}$$

**Вопрос 19.** Корреляционная функция  $K_x(\tau)$  узкополосного случайного процесса на выходе идеального полосового фильтра имеет вид



- А) 1
- Б) 2
- В) 3
- Г) 4

**Вопрос 20.** Выражение, определяющее представление узкополосного случайного процесса  $x(t)$  через его низкочастотные квадратуры  $A_c(t)$  и  $A_s(t)$ , имеет вид

- А)  $x(t) = A_c(t) + j \cdot A_s(t)$
- Б)  $x(t) = A_c(t) \cdot \cos(\omega_0 t) + j \cdot A_s(t) \cdot \sin(\omega_0 t)$
- В)  $x(t) = A_c(t) \cdot \cos(\omega_0 t) - A_s(t) \cdot \sin(\omega_0 t)$
- Г)  $x(t) = \sqrt{A_c^2(t) + A_s^2(t)}$

**Вопрос 21.** Выражение, определяющее связь дисперсии  $D_x$  узкополосного случайного процесса  $x(t)$  и дисперсии  $D_{\tilde{x}}$  сопряженного по Гильберту случайного процесса  $\tilde{x}(t)$ , имеет вид

- А)  $D_{\tilde{x}} = -D_x$
- Б)  $D_{\tilde{x}} = 2D_x$
- В)  $D_{\tilde{x}} = 0,5D_x$
- Г)  $D_{\tilde{x}} = D_x$

**Вопрос 22.** Выражение, определяющее статистическую независимость узкополосного случайного процесса  $x(t)$  и сопряженного по Гильберту случайного процесса  $\tilde{x}(t)$ , имеет вид

- А)  $K_{\tilde{x}}(\tau) = K_x(\tau)$
- Б)  $K_{\tilde{x}}(\tau) = -K_x(\tau)$
- В)  $K_{x\tilde{x}}(\tau) = K_{\tilde{x}x}(\tau)$
- Г)  $K_{x\tilde{x}}(0) = 0$

**Вопрос 23. Низкочастотные квадратуры узкополосного шума имеют следующий закон распределения**

- А) нормальный закон
- Б) закон Релея
- В) равномерный закон
- Г) закон Лапласа
- Д) закон Пуассона
- Е) экспоненциальный закон

**Вопрос 24. Значения случайной величины на входе узкополосной цепи равномерно распределены в интервале  $[0,1]$ . Случайная величина на выходе цепи будет иметь следующий закон распределения**

- А) равномерный закон распределения
- Б) нормальный закон распределения
- В) закон распределения Релея
- Г) закон распределения повторяет форму АЧХ цепи

**Вопрос 25. Задача согласованной фильтрации состоит в**

- А) обнаружении сигнала заданной формы на фоне аддитивного шума
- Б) обнаружении сигнала произвольной формы на фоне аддитивного шума
- В) оценке параметров сигнала, принятого на фоне аддитивного шума
- Г) разрешении двух сигналов, принятых на фоне аддитивного шума

**Вопрос 26. Отношение сигнал/шум на выходе согласованного фильтра достигает своего максимально возможного значения по следующим причинам**

- А) уменьшение энергии полезного сигнала за счет сужения главного лепестка энергетического спектра
- Б) когерентное сложение отдельных спектральных составляющих входного сигнала за счет специальной формы ФЧХ согласованного фильтра
- В) отсутствие нелинейных искажений формы сигнала на выходе фильтра по отношению к сигналу на входе за счет линейности ФЧХ согласованного фильтра
- Г) значительное уменьшение дисперсии шума за счет неравномерности АЧХ согласованного фильтра и незначительное уменьшение энергии полезного сигнала за счет сужения главного лепестка энергетического спектра

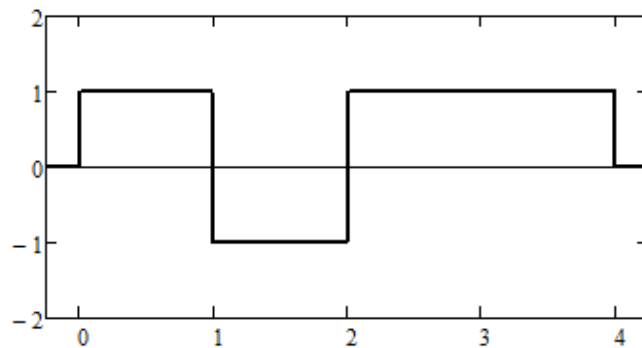
**Вопрос 27. Сигнал на выходе согласованного фильтра совпадает по форме с**

- А) входным сигналом
- Б) импульсной характеристикой фильтра
- В) переходной характеристикой фильтра
- Г) корреляционной функцией входного сигнала

**Вопрос 28.** Максимальное значение отношения сигнал/шум по мощности на выходе согласованного фильтра при поступлении на его вход аддитивной смеси биполярной последовательности из 4 импульсов амплитудой 5 В и длительностью 100 мкс и белого шума с равномерной спектральной плотностью средней мощности  $10^{-4} \text{ В}^2/\text{с}$  равно ... раз

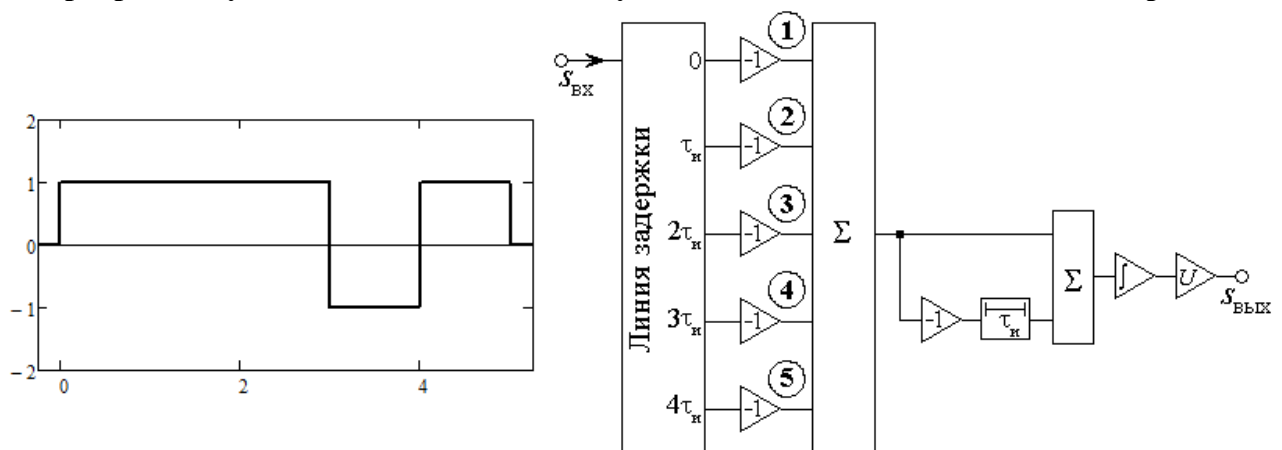
- А) 100
- Б) 20
- В) 10
- Г) 80

**Вопрос 29.** Момент времени  $t_0$  для принятия решения об обнаружении приведенного импульсного сигнала с помощью согласованного фильтра должен соответствовать следующей отметке на временной оси



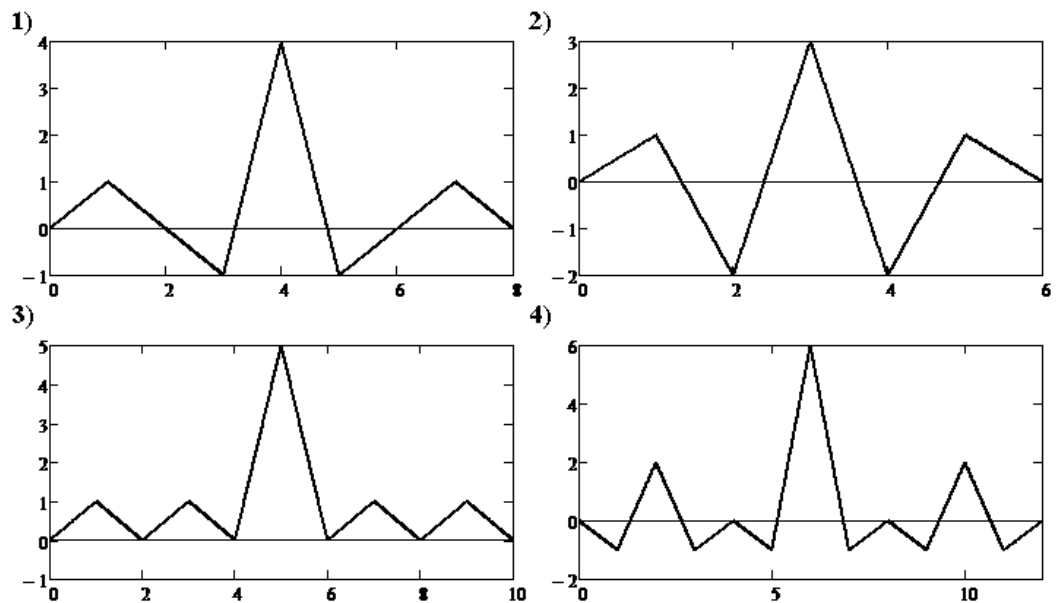
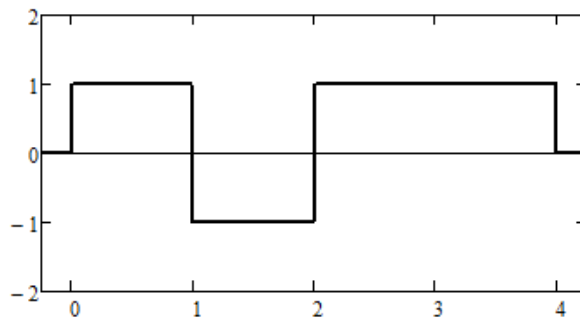
- А) 1
- Б) 2
- В) 3
- Г) 4

**Вопрос 30.** Для заданного импульсного сигнала в схеме согласованного фильтра инверторы следует оставить только в следующих ветвях на выходе линии задержки



- А) 2
- Б) 4
- В) 1, 3, 4, 5
- Г) 1, 2, 3, 5

**Вопрос 31. Форма сигнала на выходе фильтра, согласованного с заданным импульсным сигналом, имеет следующий вид**



- А) 1
- Б) 2
- В) 3
- Г) 4

### Вариант 2

**Вопрос 1. Функция распределения вероятностей  $F(x, t)$  должна отвечать следующим свойствам**

- А)  $F(x, t) \geq 0, \forall x, \forall t$
- Б)  $F(-\infty, t) = -1, \forall t$
- В)  $F(\infty, t) = 0, \forall t$
- Г)  $F(\infty, t) = 1, \forall t$
- Д)  $F(-\infty, t) = 0, \forall t$

**Вопрос 2. Выражение, определяющее связь вероятности попадания случайной величины в заданный интервал  $[a, b]$  и функции распределения вероятностей  $F(x, t)$ , имеет вид**

А)  $P(X \in [a, b], t) = \int_a^b F(x, t) dx, \forall t$

Б)  $P(X \in [a, b], t) = F(b, t) - F(a, t), \forall t$

В)  $P(X \in [a, b], t) = \left. \frac{\partial F(x, t)}{\partial x} \right|_{x=b} - \left. \frac{\partial F(x, t)}{\partial x} \right|_{x=a}, \forall t$

**Вопрос 3. Выражение, определяющее дисперсию случайной величины, имеет вид**

А)  $D_x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} x^2 \cdot W(x, t) dx, \forall x, t$

Б)  $D_x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} x^2 \cdot F(x, t) dx, \forall x, t$

В)  $D_x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} x^2 \cdot F(x, t) dx - m_x^2(t), \forall x, t$

Г)  $D_x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} (x - m_x(t))^2 \cdot W(x, t) dx, \forall x, t$

**Вопрос 4. Выражение, определяющее стационарный случайный процесс в узком смысле, имеет вид**

А)  $W(x_1, x_2, t_1, t_2) = W(x_1, x_2, t_2 - t_1)$

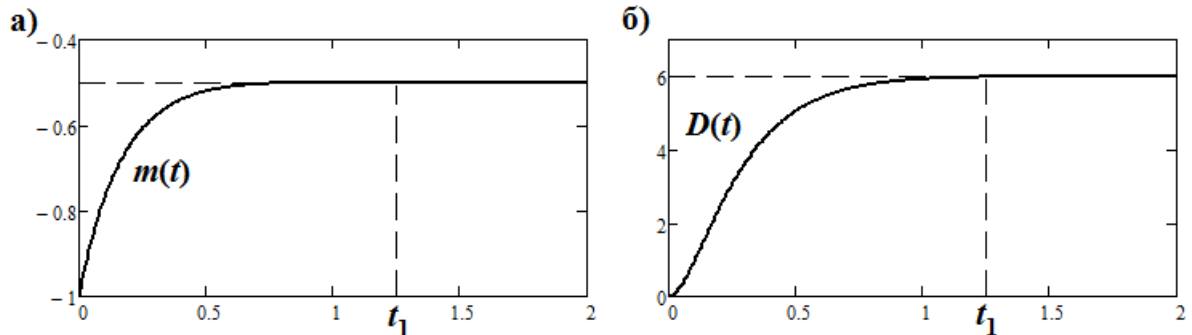
Б)  $m_x(t) = \text{const}$

В)  $D_x(t) = \text{const}$

Г)  $K_x(t_1, t_2) = K_x(t_2 - t_1)$

Д)  $W(x_1, x_2, \dots, x_n, \dots, t_1, t_2, \dots, t_n, \dots) = W(x_1, x_2, \dots, x_n, \dots, t_2 - t_1, \dots, t_n - t_1, \dots)$

**Вопрос 5. В соответствии с приведенными графиками математического ожидания и дисперсии на интервале времени от 0 до  $t_1$  можно заключить, что случайный процесс является:**



- А) стационарным в широком смысле
- Б) дискретным
- В) нестационарным
- Г) эргодическим
- Д) стационарным в узком смысле
- Е) непрерывным

**Вопрос 6. Выражение, определяющее нормальный закон распределения случайной величины, имеет вид**

- А)  $W(x) = 2xe^{-x^2}$ ,  $x \geq 0$
- Б)  $W(x) = 2e^{-4|x|}$
- В)  $W(x) = \begin{cases} 1/2\pi, & x \in [0, 2\pi] \\ 0, & x \notin [0, 2\pi] \end{cases}$
- Г)  $W(x) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} e^{-x^2}$

**Вопрос 7. Математическое ожидание и дисперсия гауссова случайного процесса с заданной плотностью распределения вероятностей имеют следующие значения**

$$W(x) = \frac{1}{\sqrt{10\pi^2}} e^{-\frac{(x-8)^2}{10\pi}}$$

- А)  $m_x = 8$ ,  $\sigma_x^2 = 10$
- Б)  $m_x = -8$ ,  $\sigma_x^2 = 5\pi$
- В)  $m_x = 8$ ,  $\sigma_x^2 = 5\pi$
- Г)  $m_x = -8$ ,  $\sigma_x^2 = 10$
- Д)  $m_x = 8$ ,  $\sigma_x^2 = 5$



**Вопрос 8. Нормировочный множитель «А» для релеевского случайного процесса с заданной плотностью распределения вероятностей равен**

$$W(x) = \frac{Ax}{5} e^{-x^2}, x \geq 0$$

- А)  $A=10$
- Б)  $A=5$
- В)  $A=\frac{1}{2}$
- Г)  $A=2$

**Вопрос 9. Плотность распределения вероятности случайного напряжения в системе СИ измеряется в следующих единицах**

- А)  $B^{-1}$
- Б)  $B^2 \cdot c$
- В)  $B$
- Г)  $B^2$

**Вопрос 10. Два отсчета случайной величины  $x(t_1)$  и  $x(t_2)$  являются статистически независимыми при выполнении условия**

- А)  $m_x(t_1) \neq m_x(t_2)$
- Б)  $K_x(t_1, t_2) = 0$
- В)  $\sigma_x^2(t_1) \neq \sigma_x^2(t_2)$
- Г)  $R_x(t_1) \neq R_x(t_2)$

**Вопрос 11. Для заданной функции корреляции дисперсия случайного процесса оказывается равной**

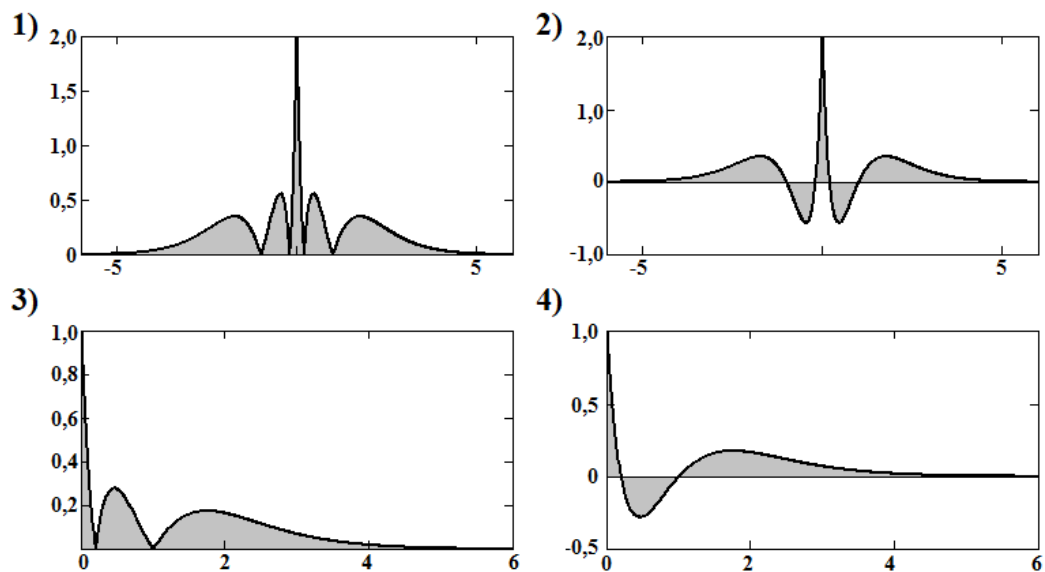
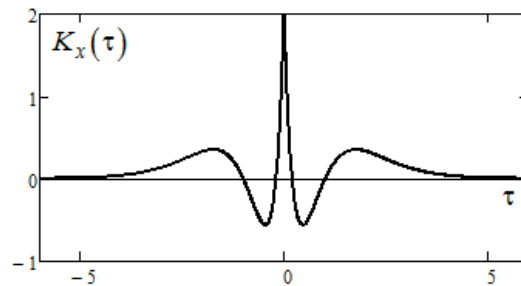
$$K_x(\tau) = 8(3 - 2|\tau|^2) e^{-2|\tau|^2}$$

- А)  $\sigma_x^2 = 8$
- Б)  $\sigma_x^2 = 3$
- В)  $\sigma_x^2 = 8e^{-2}$
- Г)  $\sigma_x^2 = 2$
- Д)  $\sigma_x^2 = 24$
- Е)  $\sigma_x^2 = 24e^{-2}$

**Вопрос 12. Коэффициент корреляции случайного напряжения представляет собой**

- А) наиболее вероятное значение напряжения
- Б) постоянную составляющую напряжения
- В) мощность переменной составляющей напряжения
- Г) меру статистической связи значений напряжения в различные моменты времени

**Вопрос 13. Верный способ графического определения времени корреляции для случайного процесса с заданной корреляционной функцией представлен на следующем рисунке**

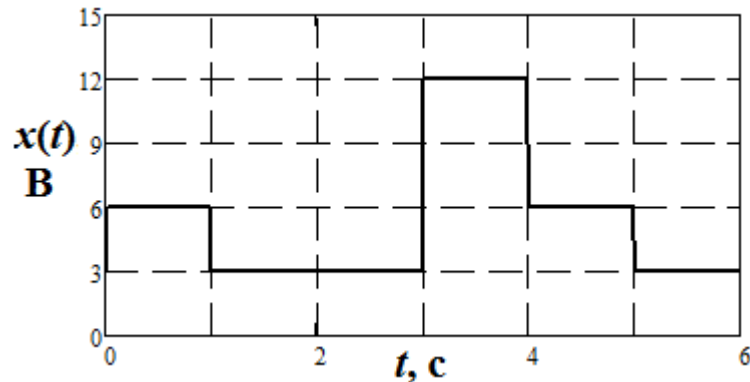


- А) 1
- Б) 2
- В) 3
- Г) 4

**Вопрос 14. Преимущество параллельного способа измерения корреляционной функции перед последовательным способом состоит в**

- А) простоте реализации
- Б) большей скорости выполнения измерения
- В) большем времени измерения
- Г) большей точности измерения

**Вопрос 15. Средняя мощность шума квантования для квантованного сигнала  $x(t)$  равна ... В<sup>2</sup>**



- А) 1,5
- Б) 1/12
- В) 3/16
- Г) 3/4
- Д) 3

**Вопрос 16. Форма энергетического спектра  $S(f)$  случайного процесса на выходе гауссова полосового фильтра с центральной частотой полосы пропускания  $f_0$  и шириной полосы пропускания  $\Delta f$  при действии на входе фильтра белого шума описывается выражением вида**

А) 
$$S(f) = \begin{cases} S_{\max}, & |f - f_0| \leq \frac{\Delta f}{2} \\ 0, & |f - f_0| > \frac{\Delta f}{2} \end{cases}$$

Б) 
$$S(f) = S_{\max} \cdot e^{-\left(\frac{f-f_0}{\Delta f}\right)^2 \cdot 4 \ln(2)}$$

В) 
$$S(f) = \frac{S_{\max}}{1 + 4 \cdot \left(\frac{f - f_0}{\Delta f}\right)^2}$$

Г) 
$$S(f) = \frac{S_{\max} \cdot (f \cdot \Delta f)^2}{(f_0^2 - f^2)^2 + (f \cdot \Delta f)^2}$$

**Вопрос 17. Выражение, определяющее эффективную ширину  $\Delta f_{\text{эфф}}$  энергетического спектра  $S(f)$  узкополосного случайного процесса, имеет вид**

А)  $\Delta f_{\text{эфф}} = \frac{1}{S_{\text{max}}} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} S(f) df$

Б)  $\Delta f_{\text{эфф}} = \sqrt{\frac{1}{S_{\text{max}}} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} |f - f_0| \cdot S(f) df}$

В)  $\Delta f_{\text{эфф}} = \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} (f - f_0)^2 S(f) df \bigg/ \int_{-\infty}^{\infty} S(f) df}$

Г)  $\Delta f_{\text{эфф}} = \sqrt{\frac{1}{S_{\text{max}}} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} f \cdot S(f) df}$

**Вопрос 18. Выражение, определяющее связь между энергетическим спектром  $S_x(\omega)$  случайного процесса и его корреляционной функцией  $K_x(\tau)$ , имеет вид**

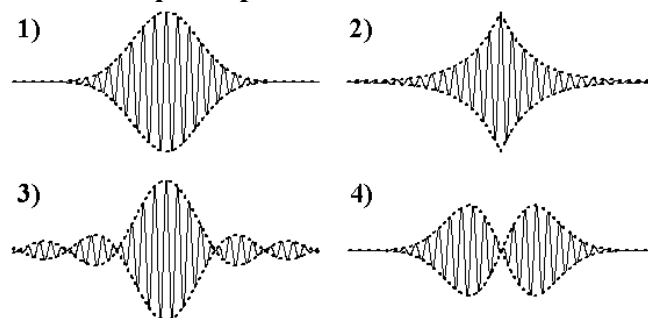
А)  $S_x(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} K_x(\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau$

Б)  $S_x(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} K_x(\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau$

В)  $S_x(\omega) = \frac{1}{T} \int_0^T K_x(\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau$

Г)  $S_x(\omega) = 2\pi \int_{-\infty}^{\infty} K_x(\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau$

**Вопрос 19. Корреляционная функция  $K_x(\tau)$  узкополосного случайного процесса на выходе гауссова полосового фильтра имеет вид**



- А) 1  
 Б) 2  
 В) 3  
 Г) 4

**Вопрос 20.** Выражение, определяющее представление узкополосного случайного процесса  $x(t)$  через его огибающую  $V(t)$  и начальную фазу  $\theta(t)$ , имеет вид

А)  $x(t) = V(t) \cdot \cos(\theta(t))$

Б)  $x(t) = V(t) \cdot \cos(\omega_0 t + \theta(t))$

В)  $x(t) = V(t) \cdot e^{j\theta(t)}$

Г)  $x(t) = V(t) \cdot e^{j(\omega_0 t + \theta(t))}$

**Вопрос 21.** Выражение, определяющее связь корреляционной функции  $K_x(\tau)$  узкополосного случайного процесса  $x(t)$  и корреляционной функции  $K_{\tilde{x}}(\tau)$  сопряженного по Гильберту случайного процесса  $\tilde{x}(t)$ , имеет вид

А)  $K_{\tilde{x}}(\tau) = \begin{cases} K_x(\tau), & \tau \geq 0 \\ -K_x(\tau), & \tau < 0 \end{cases}$

Б)  $K_{\tilde{x}}(\tau) = |K_x(\tau)|$

В)  $K_{\tilde{x}}(\tau) = \begin{cases} 2K_x(\tau), & \tau \geq 0 \\ 0, & \tau < 0 \end{cases}$

Г)  $K_{\tilde{x}}(\tau) = K_x(\tau)$

**Вопрос 22.** Выражение, определяющее математические ожидания низкочастотных квадратур узкополосного шума, имеет вид

А)  $m_{A_c} = m_{A_s} = 0$

Б)  $m_{A_c} = m_{A_s} = \sqrt{D_x}$

В)  $m_{A_c} = m_{A_s} = K_x(0)$

Г)  $m_{A_c} = m_{A_s} = S_x(0)$

**Вопрос 23.** Огибающая узкополосного шума имеет следующий закон распределения

А) нормальный закон

Б) закон Релея

В) равномерный закон

Г) закон Лапласа

Д) закон Пуассона

Е) экспоненциальный закон

**Вопрос 24.** Значения случайной величины на входе узкополосной цепи распределены по нормальному закону с нулевым математическим ожиданием и единичной дисперсией. Случайная величина на выходе цепи будет иметь следующий закон распределения

- А) закон распределения повторяет форму АЧХ цепи
- Б) закон распределения Релея
- В) нормальный закон распределения
- Г) равномерный закон распределения

**Вопрос 25.** Выражение, определяющее комплексный коэффициент передачи  $K(j\omega)$  фильтра, согласованного с сигналом, имеющим комплексный спектр  $F(j\omega)$ , имеет вид

- А)  $K(j\omega) = K_0 \cdot F(j\omega)$
- Б)  $K(j\omega) = K_0 \cdot F(j\omega) \cdot e^{-j\omega t_0}$
- В)  $K(j\omega) = K_0 \cdot F^*(j\omega)$
- Г)  $K(j\omega) = K_0 \cdot F^*(j\omega) \cdot e^{-j\omega t_0}$

**Вопрос 26.** При построении согласованного фильтра момент времени  $t_0$  для принятия решения о поступлении сигнала на вход фильтра выбирают

- А) обратным максимальной частоте в спектре входного сигнала
- Б) обратным удвоенной максимальной частоте в спектре входного сигнала
- В) равным длительности сигнала
- Г) равным удвоенной длительности сигнала

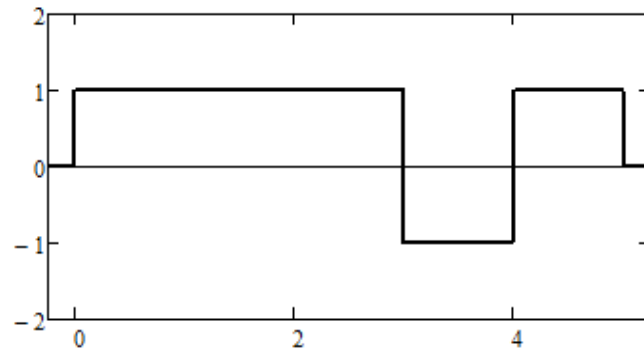
**Вопрос 27.** Выражение, определяющее корреляционную функцию шума  $K_{ш.вых}(\tau)$  на выходе согласованного фильтра, имеет вид

- А)  $K_{ш.вых}(\tau) \square K_{ш.вх}(\tau)$
- Б)  $K_{ш.вых}(\tau) \square K_{сигн.вх}(\tau)$
- В)  $K_{ш.вых}(\tau) \square K_{сигн.вых}(\tau)$
- Г)  $K_{ш.вых}(\tau) \square K_{сигн.вх}(\tau) + K_{ш.вх}(\tau)$

**Вопрос 28.** Максимальное значение отношения сигнал/шум по мощности на выходе согласованного фильтра при поступлении на его вход аддитивной смеси биполярной последовательности из 8 импульсов амплитудой 1 В и длительностью 50 мкс и белого шума с равномерной спектральной плотностью средней мощности  $10^{-4} \text{ В}^2/\text{с}$  равно ... раз/раза

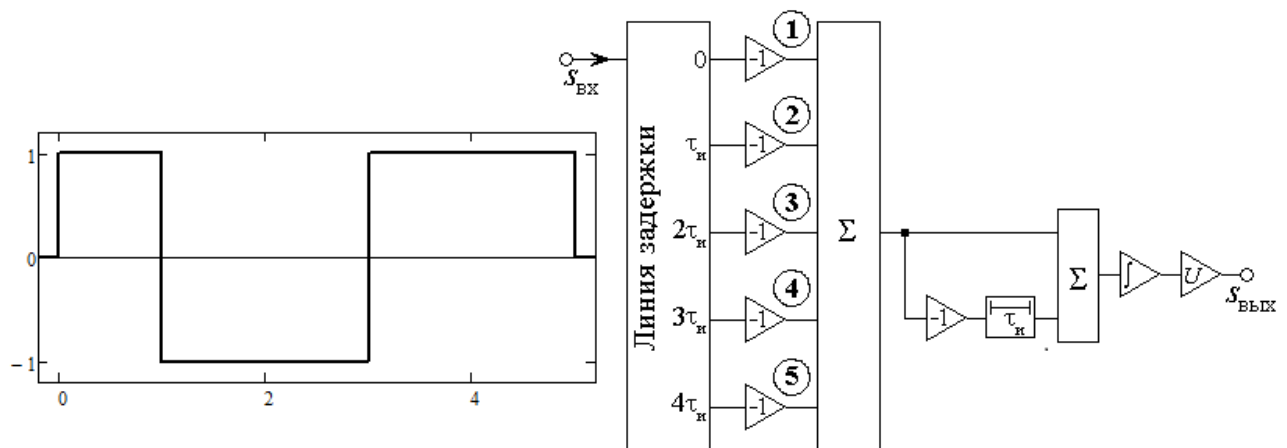
- А) 32
- Б) 2
- В) 5,66
- Г) 4

**Вопрос 29.** Момент времени  $t_0$  для принятия решения об обнаружении приведенного импульсного сигнала с помощью согласованного фильтра должен соответствовать следующей отметке на временной оси



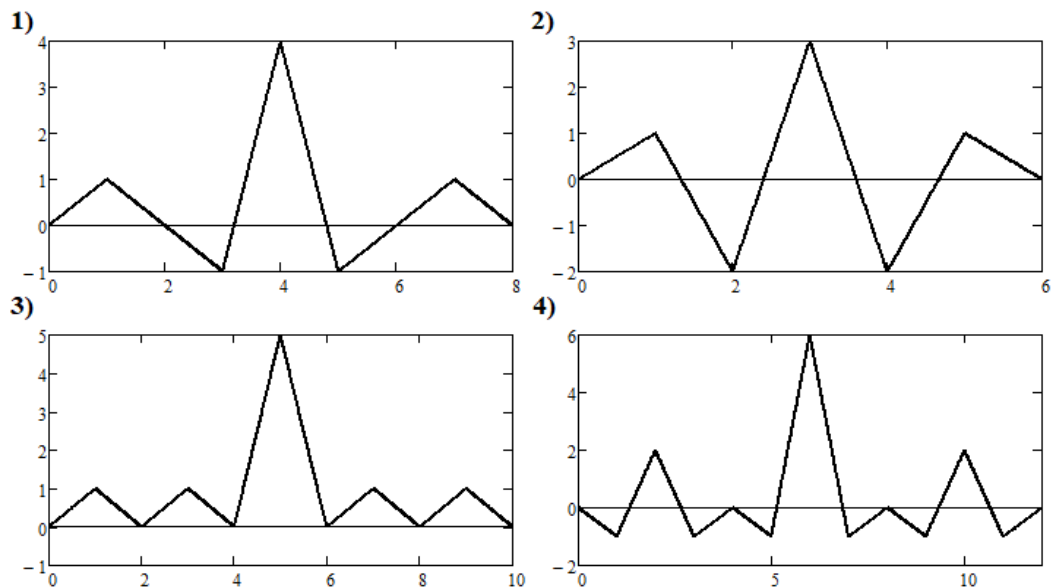
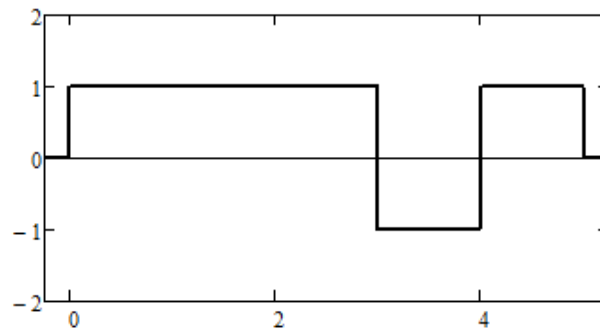
- А) 1
- Б) 2
- В) 3
- Г) 4
- Д) 5

**Вопрос 30.** Для заданного импульсного сигнала в схеме согласованного фильтра инверторы следует оставить только в следующих ветвях на выходе линии задержки



- А) 1, 2, 5
- Б) 3, 4
- В) 2, 3
- Г) 1, 4, 5

**Вопрос 31. Форма сигнала на выходе фильтра, согласованного с заданным импульсным сигналом, имеет следующий вид**



- А) 1
- Б) 2
- В) 3
- Г) 4

### Вариант 3

**Вопрос 1. Соотношения, устанавливающие связь плотности распределения вероятностей  $W(x, t)$  и функции распределения вероятностей  $F(x, t)$ , имеют вид**

А)  $\int_{-\infty}^x W(x, t) dx = F(x, t), \forall x, t$

Б)  $\int_{-\infty}^x F(x, t) dx = W(x, t), \forall x, t$

В)  $W(x, t) = \frac{\partial F(x, t)}{\partial x}, \forall x, t$

Г)  $F(x, t) = \frac{\partial W(x, t)}{\partial x}, \forall x, t$



**Вопрос 2. Выражение, определяющее среднее квадратическое значение случайной величины, имеет вид**

А)  $\sigma_x(t) = m_x^2(t)$

Б)  $\sigma_x(t) = D_x^2(t)$

В)  $\sigma_x(t) = \sqrt{D_x(t)}$

Г)  $\sigma_x(t) = \sqrt{m_x(t)}$

**Вопрос 3. Математическое ожидание случайного напряжения представляет собой**

А) наиболее вероятное значение напряжения

Б) постоянную составляющую напряжения

В) квадратный корень из мощности переменной составляющей напряжения

Г) меру статистической связи значений напряжения в различные моменты времени

**Вопрос 4. Выражения, определяющие стационарный случайный процесс в широком смысле, имеют вид**

А)  $W(x_1, x_2, t_1, t_2) = W(x_1, x_2, t_2 - t_1)$

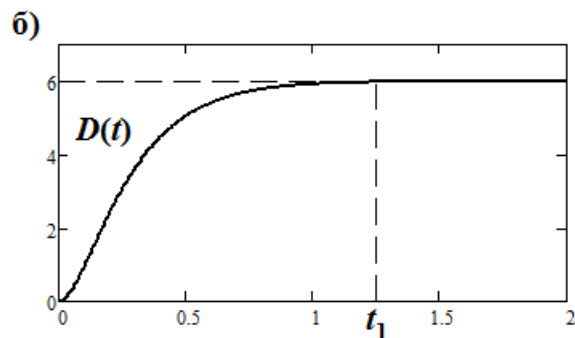
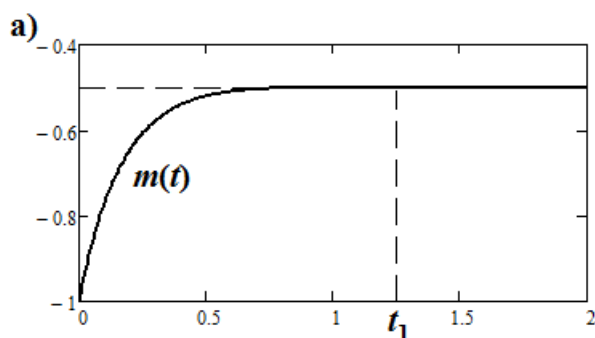
Б)  $m_x(t) = \text{const}$

В)  $D_x(t) = \text{const}$

Г)  $K_x(t_1, t_2) = K_x(t_2 - t_1)$

Д)  $W(x_1, x_2, \dots, x_n, \dots, t_1, t_2, \dots, t_n, \dots) = W(x_1, x_2, \dots, x_n, \dots, t_2 - t_1, \dots, t_n - t_1, \dots)$

**Вопрос 5. В соответствии с приведенными графиками математического ожидания и дисперсии на интервале времени от  $t_1$  до  $\infty$  можно заключить, что случайный процесс является:**



А) стационарным в широком смысле

Б) дискретным

В) нестационарным

Г) эргодическим

Д) стационарным в узком смысле

Е) непрерывным

**Вопрос 6. Выражение, определяющее закон Релея распределения случайной величины, имеет вид**

А)  $W(x) = 2xe^{-x^2}, x \geq 0$

Б)  $W(x) = 2e^{-4|x|}$

В)  $W(x) = \begin{cases} 1/2\pi, & x \in [0, 2\pi] \\ 0, & x \notin [0, 2\pi] \end{cases}$

Г)  $W(x) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} e^{-x^2}$

**Вопрос 7. Математическое ожидание и дисперсия гауссова случайного процесса с заданной плотностью распределения вероятностей имеют следующие значения**

$$W(x) = \frac{1}{\sqrt{10}} e^{-\frac{\pi(x+7)^2}{10}}$$

А)  $m_x = 7, \sigma_x^2 = 5$

Б)  $m_x = -7, \sigma_x^2 = 5/\pi$

В)  $m_x = -7, \sigma_x^2 = 5$

Г)  $m_x = 7, \sigma_x^2 = 5/\pi$

Д)  $m_x = -7, \sigma_x^2 = 10$

**Вопрос 8. Нормировочный множитель «А» для экспоненциально распределенного случайного процесса с заданной плотностью распределения вероятностей равен**

$$W(x) = \frac{A}{8} e^{-x}, x \geq 0$$

А)  $A = 16$

Б)  $A = 4$

В)  $A = 8$

Г)  $A = 2$

**Вопрос 9. Спектральная плотность средней мощности случайного напряжения в системе СИ измеряется в следующих единицах**

А)  $B^{-1}$

Б)  $B^2 \cdot c$

В)  $B$

Г)  $B^2$

**Вопрос 10.** Для заданной функции корреляции дисперсия случайного процесса оказывается равной

$$K_x(\tau) = 8(2 + 3\tau^2)e^{-4|\tau|}$$

А)  $\sigma_x^2 = 2$

Б)  $\sigma_x^2 = 16$

В)  $\sigma_x^2 = 4$

Г)  $\sigma_x^2 = 3$

Д)  $\sigma_x^2 = 8$

Е)  $\sigma_x^2 = 8e^{-4}$

**Вопрос 11.** Выберите свойства, которым должна отвечать Корреляционная функция  $K_x(\tau)$  стационарного случайного процесса отвечает следующим свойствам

А)  $K_x(\tau) \geq 0, \forall \tau$

Б)  $K_x(\infty) = 1$

В)  $K_x(0) = \sigma_x^2 = K_{x,\max}$

Г)  $K_x(\tau) = K_x(-\tau)$

Д)  $K_x(\infty) = 0$

**Вопрос 12.** Выражение, определяющее связь дисперсии случайного процесса с его спектральной плотностью средней мощности, имеет вид

А)  $\sigma_x^2 = \int_{-\infty}^{\infty} S_x(\omega) d\omega$

Б)  $\sigma_x^2 = \int_0^{\infty} S_x(\omega) d\omega$

В)  $\sigma_x^2 = \frac{1}{T} \int_0^T S_x(\omega) d\omega$

Г)  $\sigma_x^2 = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S_x(\omega) d\omega$

**Вопрос 13. Эффективная ширина энергетического спектра шума определяется выражением вида**

А)  $\Delta\omega_{\text{эфф}} = \frac{1}{S_{\text{max}}} \int_0^{\infty} S_x(\omega) d\omega$

Б)  $\Delta\omega_{\text{эфф}} = \frac{1}{S_{\text{max}}} \int_{-\infty}^{\infty} S_x(\omega) d\omega$

В)  $\Delta\omega_{\text{эфф}} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\infty} S_x(\omega) d\omega$

Г)  $\Delta\omega_{\text{эфф}} = \frac{1}{\Omega} \int_0^{\Omega} S_x(\omega) d\omega$

**Вопрос 14. Под белым шумом понимают**

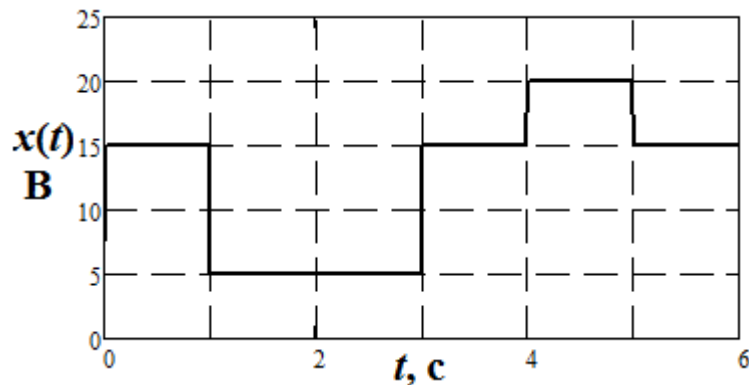
А) нормально распределенный случайный процесс с равномерной спектральной плотностью средней мощности во всем диапазоне частот и нулевым математическим ожиданием

Б) равномерно распределенный случайный процесс с гауссовой спектральной плотностью средней мощности во всем диапазоне частот

В) нормально распределенный случайный процесс с равномерной спектральной плотностью средней мощности в ограниченной полосе частот

Г) любой случайный процесс с нулевым математическим ожиданием

**Вопрос 15. Средняя мощность шума квантования для квантованного сигнала  $x(t)$  равна ... В<sup>2</sup>**



А) 2,5

Б) 25/48

В) 25/12

Г) 1/5

Д) 5

**Вопрос 16. Форма энергетического спектра  $S(f)$  случайного процесса на выходе резонансного усилителя с центральной частотой полосы пропускания  $f_0$  и шириной полосы пропускания  $\Delta f$  при действии на входе фильтра белого шума описывается выражением вида**

$$\text{А) } S(f) = \begin{cases} S_{\max}, & |f - f_0| \leq \frac{\Delta f}{2} \\ 0, & |f - f_0| > \frac{\Delta f}{2} \end{cases}$$

$$\text{Б) } S(f) = S_{\max} \cdot e^{-\left(\frac{f-f_0}{\Delta f}\right)^2 \cdot 4 \ln(2)}$$

$$\text{В) } S(f) = \frac{S_{\max}}{1 + 4 \cdot \left(\frac{f - f_0}{\Delta f}\right)^2}$$

$$\text{Г) } S(f) = \frac{S_{\max} \cdot (f \cdot \Delta f)^2}{(f_0^2 - f^2)^2 + (f \cdot \Delta f)^2}$$

**Вопрос 17. Выражение, определяющее среднюю квадратическую ширину  $\Delta f_{\text{с.к.}}$  энергетического спектра  $S(f)$  узкополосного случайного процесса, имеет вид**

$$\text{А) } \Delta f_{\text{с.к.}} = \frac{1}{S_{\max}} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} S(f) df$$

$$\text{Б) } \Delta f_{\text{с.к.}} = \sqrt{\frac{1}{S_{\max}} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} |f - f_0| \cdot S(f) df}$$

$$\text{В) } \Delta f_{\text{с.к.}} = \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} (f - f_0)^2 S(f) df \bigg/ \int_{-\infty}^{\infty} S(f) df}$$

$$\text{Г) } \Delta f_{\text{с.к.}} = \sqrt{\frac{1}{S_{\max}} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} f \cdot S(f) df}$$

**Вопрос 18.** Выражение, определяющее связь физического  $S(\omega)$  спектра случайного процесса с его математическим спектром  $S_x(\omega)$ , имеет вид

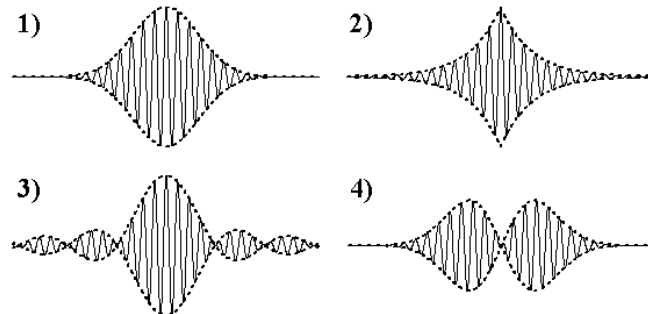
А)  $S(\omega) = |S_x(\omega)|$

Б)  $S(\omega) = \begin{cases} S_x(\omega), & \omega \geq 0 \\ 0, & \omega < 0 \end{cases}$

В)  $S(\omega) = \begin{cases} 2S_x(\omega), & \omega \geq 0 \\ 0, & \omega < 0 \end{cases}$

Г)  $S(\omega) = \begin{cases} S_x(\omega), & \omega \geq 0 \\ -S_x(\omega), & \omega < 0 \end{cases}$

**Вопрос 19.** Корреляционная функция  $K_x(\tau)$  узкополосного случайного процесса на выходе резонансного усилителя имеет вид



А) 1

Б) 2

В) 3

Г) 4

**Вопрос 20.** Выражение, определяющее сопряженный по Гильберту случайный процесс  $\tilde{x}(t)$  по отношению к заданному случайному процессу  $x(t)$ , имеет вид

$$x(t) = A_c(t) \cdot \cos(\omega_0 t) - A_s(t) \cdot \sin(\omega_0 t)$$

А)  $\tilde{x}(t) = A_c(t) \cdot \cos(\omega_0 t) + A_s(t) \cdot \sin(\omega_0 t)$

Б)  $\tilde{x}(t) = A_c(t) \cdot \sin(\omega_0 t) + A_s(t) \cdot \cos(\omega_0 t)$

В)  $\tilde{x}(t) = -A_c(t) \cdot \cos(\omega_0 t) - A_s(t) \cdot \sin(\omega_0 t)$

Г)  $\tilde{x}(t) = -A_c(t) \cdot \sin(\omega_0 t) - A_s(t) \cdot \cos(\omega_0 t)$

**Вопрос 21.** Выражение, определяющее связь энергетического спектра  $S_x(f)$  узкополосного случайного процесса  $x(t)$  и энергетического спектра  $S_{\tilde{x}}(f)$  сопряженного по Гильберту случайного процесса  $\tilde{x}(t)$ , имеет вид

А)  $S_{\tilde{x}}(f) = \begin{cases} 2S_x(f), & f \geq 0 \\ 0, & f < 0 \end{cases}$

Б)  $S_{\tilde{x}}(f) = S_x(f)$

В)  $S_{\tilde{x}}(f) = |S_x(f)|$

Г)  $S_{\tilde{x}}(f) = \begin{cases} S_x(f), & f \geq 0 \\ -S_x(f), & f < 0 \end{cases}$

**Вопрос 22.** Выражение, определяющее дисперсии низкочастотных квадратур узкополосного шума, имеет вид

А)  $D_{A_c} = D_{A_s} = 0$

Б)  $D_{A_c} = D_{A_s} = D_x$

В)  $D_{A_c} = D_{A_s} = 0,5D_x$

Г)  $D_{A_c} = D_{A_s} = 2D_x$

**Вопрос 23.** Начальная фаза узкополосного шума имеет следующий закон распределения

А) нормальный закон

Б) закон Релея

В) равномерный закон

Г) закон Лапласа

Д) закон Пуассона

Е) экспоненциальный закон

**Вопрос 24.** Значения случайной величины на входе узкополосной цепи распределены по закону Релея с параметром  $\sigma = 1$ . Случайная величина на выходе цепи будет иметь следующий закон распределения

А) закон распределения повторяет форму АЧХ цепи

Б) закон распределения Релея

В) равномерный закон распределения

Г) нормальный закон распределения

**Вопрос 25.** Отношение сигнал/шум в момент времени  $t_0$  на выходе фильтра, согласованного с сигналом  $s_{\text{вых}}(t)$ , принимаемым на фоне шума с дисперсией  $\sigma_{\text{ш}}^2$  и равномерной спектральной плотностью средней мощности  $S_0$ , определяется выражением вида

А)  $s_{\text{вых}}(t_0)/\sigma_{\text{ш}}^2$

Б)  $s_{\text{вых}}^2(t_0)/\sigma_{\text{ш}}^2$

В)  $s_{\text{вых}}^2(t_0)/S_0$

Г)  $s_{\text{вых}}(t_0)/S_0$

**Вопрос 26.** Величину масштабного множителя  $K_0$  коэффициента передачи согласованного фильтра следует выбирать

А) равной 1

Б) таким образом, чтобы энергия сигналов на входе и выходе согласованного фильтра была одинакова

В) равной энергии входного сигнала

Г) равной амплитуде входного сигнала

**Вопрос 27.** Выражения, определяющие максимальное значение отношения сигнал/шум на выходе согласованного фильтра, имеют вид

А)  $E_{\text{вх}}/\sigma_{\text{ш}}^2$

Б)  $\sqrt{E_{\text{вх}}/\sigma_{\text{ш}}^2}$

В)  $E_{\text{вх}}/S_0$

Г)  $10 \cdot \log(E_{\text{вх}}/S_0)$

**Вопрос 28.** Максимальное значение отношения сигнал/шум по мощности в децибелах на выходе согласованного фильтра при поступлении на его вход аддитивной смеси биполярной последовательности из 4 импульсов амплитудой 5 В и длительностью 100 мкс и белого шума с равномерной спектральной плотностью средней мощности  $10^{-4}$  В<sup>2</sup>·с равно ... дБ

А) 40

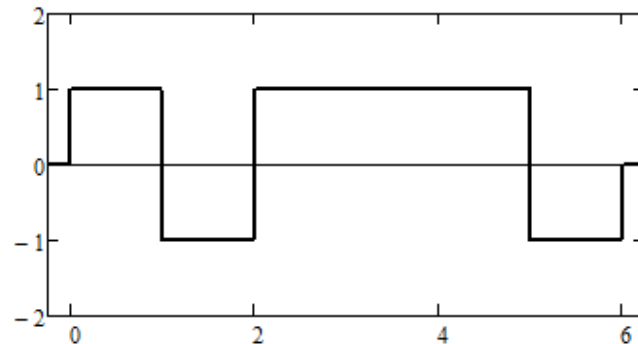
Б) 38

В) 19

Г) 20

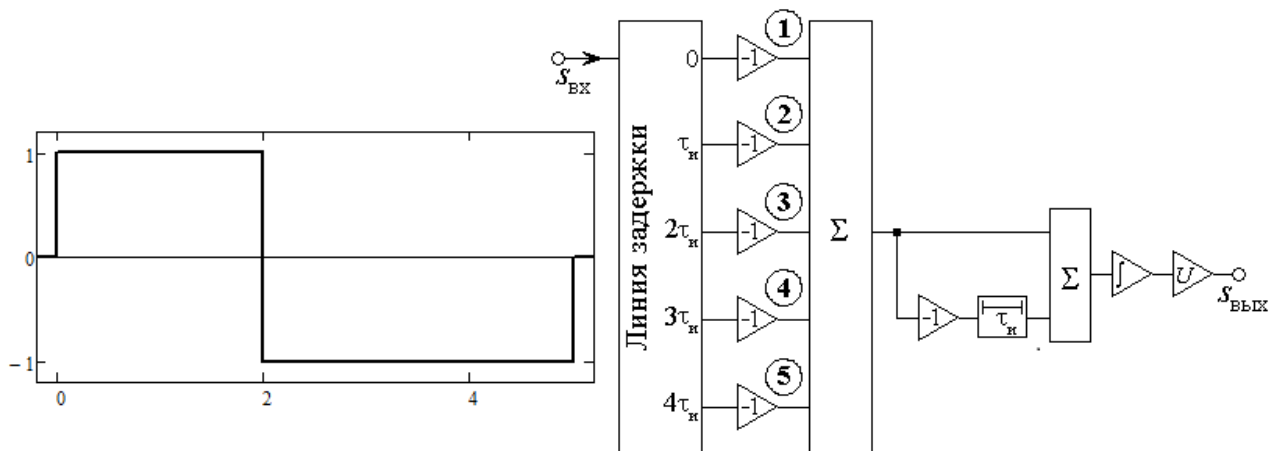


**Вопрос 29.** Момент времени  $t_0$  для принятия решения об обнаружении приведенного импульсного сигнала с помощью согласованного фильтра должен соответствовать следующей отметке на временной оси



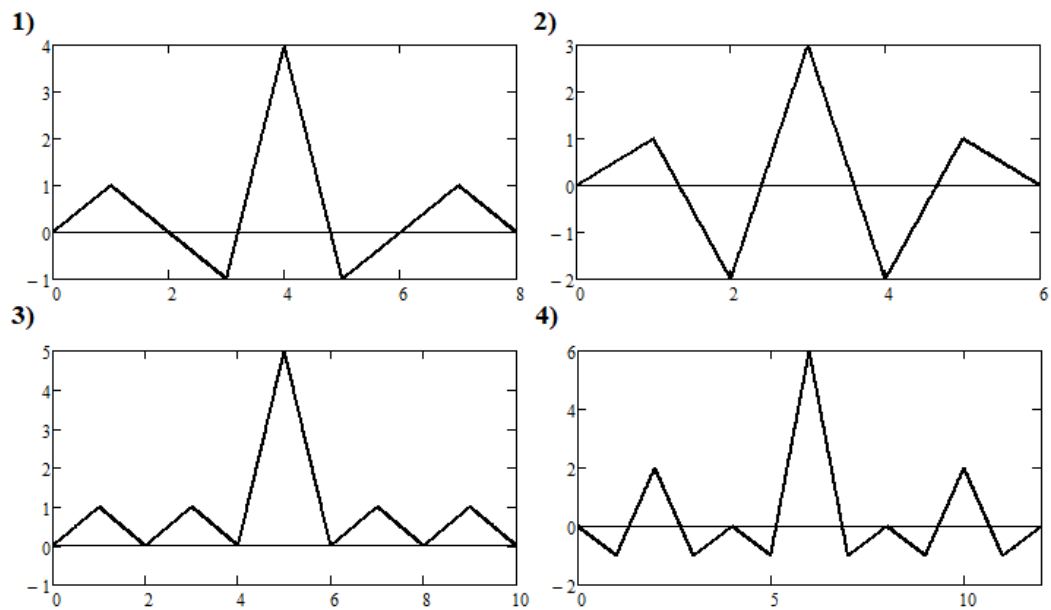
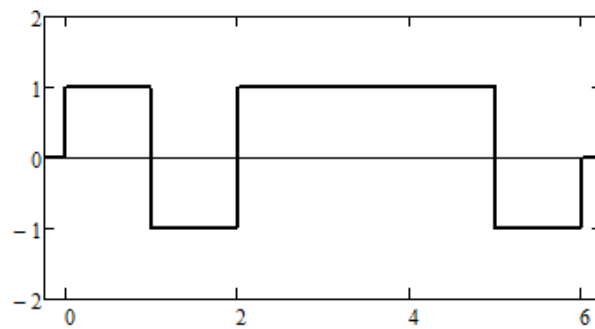
- A) 1
- Б) 2
- В) 3
- Г) 4
- Д) 5
- Е) 6

**Вопрос 30.** Для заданного импульсного сигнала в схеме согласованного фильтра инверторы следует оставить только в следующих ветвях на выходе линии задержки



- A) 3, 4, 5
- Б) 1, 2
- В) 4, 5
- Г) 1, 2, 3

**Вопрос 31. Форма сигнала на выходе фильтра, согласованного с заданным импульсным сигналом, имеет следующий вид**



- А) 1
- Б) 2
- В) 3
- Г) 4

## Приложение 3

### Задания и контрольные вопросы для лабораторных работ

**Лабораторная работа 1. «Изучение методов генерации псевдослучайных числовых последовательностей с равномерным законом распределения».**

#### **Содержание работы:**

1. Моделирование равномерно распределенной случайной величины.
2. Проверка гипотезы о равномерном распределении случайной величины.
3. Проверка случайности отсчетов случайной величины.
4. Построение корреляционной функции случайной величины.
5. Генерация и исследование последовательности отсчетов случайной величины с использованием метода Фибоначчи с запаздываниями.

#### **Контрольные вопросы:**

1. Что понимают под случайным процессом, случайной величиной, реализацией случайного процесса? Приведите примеры случайных величин в области радиотехники.
2. Дайте определение одномерной функции и одномерной плотности вероятности распределения случайной величины. Как они связаны между собой? Какими свойствами они обладают?
3. Как, имея выражение для одномерной функции или одномерной плотности вероятности распределения случайной величины, определить вероятность попадания ее значений в конечный интервал?
4. Приведите выражения, определяющие математическое ожидание, дисперсию и среднее квадратическое отклонение случайной величины. Какой физический смысл имеют эти величины?
5. Дайте определение двумерной функции и двумерной плотности вероятности распределения случайной величины. Как они связаны между собой?
6. Дайте определение корреляционной функции случайной величины. Как она связана с дисперсией этой случайной величины?
7. Какие случайные процессы называют стационарными (в узком и широком смысле)? Как определяются математическое ожидание, дисперсия и корреляционная функция стационарного случайного процесса?
8. Какой случайный процесс называется эргодическим? Как определяются математическое ожидание, дисперсия и корреляционная функция эргодического случайного процесса?
9. Покажите, что гармонический сигнал  $x(t) = A \cdot \cos(\omega t + \theta)$  с равномерно распределенной амплитудой  $A \in [0, A_{\max}]$  и детерминированными угловой частотой  $\omega$  и начальной фазой  $\theta$  не является стационарным.
10. Покажите, что гармонический сигнал  $x(t) = A \cdot \cos(\omega t + \theta)$  с равномерно распределенной начальной фазой  $\theta \in [-\pi, \pi]$  и детерминированными амплитудой  $A$  и угловой частотой  $\omega$  является стационарным и эргодическим.
11. Воспользовавшись результатами доказательства вопроса 10, покажите, что гармонический сигнал  $x(t) = A \cdot \cos(\omega t + \theta)$  с равномерно распределенными амплитудой

$A \in [0, A_{\max}]$  и начальной фазой  $\theta \in [-\pi, \pi]$  и детерминированной угловой частотой  $\omega$  является стационарным, но не является эргодическим.

12. Перечислите свойства корреляционной функции стационарного случайного процесса. Докажите их.

13. Приведите выражение для одномерной плотности вероятности равномерно распределенной случайной величины. Получите выражение для функции распределения этой случайной величины.

14. Приведите выражение для одномерной плотности вероятности равномерно распределенной случайной величины. Получите выражения для математического ожидания и дисперсии этой случайной величины.

15. Приведите выражение для одномерной плотности вероятности нормально распределенной (гауссовой) случайной величины. Получите выражение для функции распределения этой случайной величины.

16. Приведите выражение для одномерной плотности вероятности нормально распределенной (гауссовой) случайной величины. Получите выражения для математического ожидания и дисперсии этой случайной величины.

17. Приведите выражение для одномерной плотности вероятности случайной величины, распределенной по закону Рэлея. Получите выражение для функции распределения этой случайной величины.

18. Приведите выражение для одномерной плотности вероятности случайной величины, распределенной по закону Рэлея. Получите выражения для математического ожидания и дисперсии этой случайной величины.

19. Приведите выражение для одномерной плотности вероятности случайной величины, распределенной по закону Лапласа. Получите выражение для функции распределения этой случайной величины.

20. Приведите выражение для одномерной плотности вероятности случайной величины, распределенной по закону Лапласа. Получите выражения для математического ожидания и дисперсии этой случайной величины.

21. Какая последовательность чисел называется псевдослучайной? Как и с какой целью она создается?

22. Поясните суть линейного конгруэнтного метода и метода Фибоначчи с запаздыванием, использованных в лабораторной работе для генерации псевдослучайных последовательностей.

23. По каким критериям проводится верификация (проверка) псевдослучайных последовательностей?

**Лабораторная работа 2. «Изучение методов генерации стандартных нормально распределенных случайных величин».**

**Содержание работы:**

1. Моделирование нормально распределенной случайной величины по методу Бокса-Мюллера.

2. Проверка гипотезы о нормальном распределении случайной величины.

3. Проверка случайности отсчетов случайной величины.

4. Построение корреляционной функции случайной величины.

5. Моделирование нормально распределенной случайной величины по модифицированному методу Бокса-Мюллера.

**Контрольные вопросы:**

1. Какой физический смысл имеет функция распределения случайной величины?
2. В чем состоит метод обратного преобразования функции распределения?
3. Получите выражение, определяющее преобразование равномерно распределенной на интервале  $[0, 1]$  случайной величины в случайную величину, распределенную:

– экспоненциально;

– по закону *Рэлея*;

– по закону арксинуса с плотностью распределения вероятности вида:

$$W(x) = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{1}{\sqrt{1-x^2}}, \quad 0 \leq x \leq 1;$$

– по закону *Вейбулла* с плотностью распределения вероятности вида:

$$W(x) = \frac{1}{2\sqrt{x}} \cdot e^{-\sqrt{x}}, \quad x \geq 0;$$

– по логистическому закону с плотностью распределения вероятности вида:

$$W(x) = \frac{e^{-x}}{(1+e^{-x})^2};$$

– по закону *Коши* с плотностью распределения вероятности вида:

$$W(x) = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{1}{1+x^2};$$

– по закону *Парето* с плотностью распределения вероятности вида:

$$W(x) = \frac{2}{x^3}, \quad x \geq 1.$$

Осуществите верификацию полученного преобразования, сформировав соответствующий программный код в среде MathCAD, используя результаты лабораторного исследования.

4. В чем суть преобразования *Бокса-Мюллера*?
5. Докажите выражения, описывающие преобразование *Бокса-Мюллера*.
6. Докажите, что преобразование *Бокса-Мюллера* дает пару нормально распределенных случайных величин. От чего зависит дисперсия этих случайных величин?
7. Как изменить математическое ожидание и дисперсию нормально распределенных случайных величин, определенных преобразованием *Бокса-Мюллера*?
8. В чем суть модифицированного преобразования *Бокса-Мюллера*?
9. Докажите выражения, описывающие модифицированное преобразование *Бокса-Мюллера*.
10. В чем достоинство и недостаток модифицированного преобразования *Бокса-Мюллера*?

**Лабораторная работа 3: «Изучение характеристик узкополосных случайных процессов».**

**Содержание работы:**

1. Моделирование нормально распределенной случайной величины.
2. Моделирование узкополосного нормального случайного процесса.
3. Проверка гипотезы о нормальном распределении узкополосного случайного процесса.

4. Исследование корреляционных свойств узкополосного случайного процесса.

5. Формирование квадратур узкополосного случайного процесса.

6. Формирование огибающей и начальной фазы.

**Контрольные вопросы:**

1. Что собой представляет модель «белого шума» и каковы ее характеристики?
2. Какие виды шумов, близких по характеристикам к модели «белого шума», вам известны?
3. Что собой представляет тепловой шум и какова его природа? От чего зависит спектральная плотность средней мощности теплового шума?
4. Что собой представляет дробовой шум и какова его природа? От чего зависит спектральная плотность средней мощности дробового шума?
5. Какой случайный процесс называют узкополосным? Как из «белого шума» получить узкополосный случайный процесс?
6. Как определяются центральная частота и ширина спектра узкополосного случайного процесса?
7. Получите выражения для ширины энергетического спектра случайного процесса на выходе узкополосной цепи с идеальной формой АЧХ.
8. Получите выражения для ширины энергетического спектра случайного процесса на выходе узкополосной цепи с гауссовой формой АЧХ.
9. Покажите, что огибающая корреляционной функции случайного процесса на выходе узкополосной цепи с идеальной формой АЧХ описывается функцией  $\frac{\sin(x)}{x}$ .
10. Покажите, что огибающая корреляционной функции случайного процесса на выходе узкополосной цепи с гауссовой формой АЧХ описывается функцией Гаусса.
11. Что понимают под огибающей и начальной фазой узкополосного случайного процесса?
12. Что понимают под низкочастотными квадратурными составляющими (квадратурами) узкополосного случайного процесса? Как они связаны с огибающей и начальной фазой такого случайного процесса?
13. Какой узкополосный радиосигнал называется сопряженным по Гильберту? Как связаны спектры узкополосного радиосигнала и сопряженного по Гильберту радиосигнала?
14. Определите сопряженные сигналы для гармонических колебаний вида:

$$x_1(t) = A \cdot \sin(\omega_0 t) \text{ и } x_2(t) = A \cdot \cos(\omega_0 t).$$

Используя полученный результат, запишите сопряженный сигнал для радиосигнала вида:

$$x(t) = A_c(t) \cdot \cos(\omega_0 t) - A_s(t) \cdot \sin(\omega_0 t).$$

15. По какому закону распределены квадратуры узкополосного случайного процесса? Как связаны их числовые характеристики с характеристиками самого узкополосного случайного процесса?

16. Покажите, что огибающая узкополосного случайного процесса распределена по закону Рэлея, а начальная фаза имеет равномерный закон распределения.

17. Как связаны числовые характеристики огибающей узкополосного случайного процесса и самого узкополосного случайного процесса?

18. Каковы значения числовых характеристик начальной фазы узкополосного случайного процесса?

**Лабораторная работа 4. «Экспериментальное определение корреляционной функции и спектральной плотности средней мощности стационарного случайного процесса».**

**Содержание работы:**

1. Формирование узкополосного случайного процесса.
2. Измерение корреляционной функции.
3. Измерение времени корреляции.
4. Измерение энергетического спектра случайного процесса.
5. Измерение эффективной ширины энергетического спектра.

**Контрольные вопросы:**

1. Дайте определение корреляционной функции. Как определяется корреляционная функция эргодического случайного процесса?

2. Какова должна быть минимальная длительность реализации случайного процесса, чтобы можно было говорить об экспериментальном измерении корреляционной функции?

3. Какие способы измерения корреляционной функции вам известны? В чем их достоинства и недостатки?

4. Дайте определение спектральной плотности средней мощности случайного процесса. Как она связана с корреляционной функцией случайного процесса?

5. Какие способы измерения спектральной плотности средней мощности вам известны? В чем их достоинства и недостатки?

6. Что понимают под физическим спектром случайного процесса? Как связан физический спектр с корреляционной функцией и спектральной плотностью средней мощности случайного процесса?

7. Как определяется время (интервал) корреляции случайного процесса?

8. Определите время корреляции случайного процесса с корреляционной функцией вида:

- $K_x(\tau) = K_{\max} \cdot e^{-\beta \cdot |\tau|}$ ;
- $K_x(\tau) = K_{\max} \cdot e^{-\beta \cdot |\tau|} \cdot (1 + \beta \cdot |\tau|)$ ;
- $K_x(\tau) = K_{\max} \cdot e^{-\beta \cdot |\tau|} \cdot (1 - \beta \cdot |\tau|)$ ;
- $K_x(\tau) = K_{\max} \cdot e^{-\beta^2 \tau^2}$ ;
- $K_x(\tau) = \frac{K_{\max}}{1 + \beta^2 \tau^2}$ .

9. Как определяется эффективная ширина энергетического спектра случайного процесса?

10. Определите эффективную ширину энергетического спектра случайного процесса со спектральной плотностью средней мощности вида:

$$- S_x(\omega) = S_{\max} \cdot e^{-|\omega|/\alpha};$$

$$- S_x(\omega) = S_{\max} \cdot \left(1 + \frac{|\omega|}{\alpha}\right) \cdot e^{-|\omega|/\alpha};$$

$$- S_x(\omega) = S_{\max} \cdot e^{-\omega^2/\alpha^2};$$

$$- S_x(\omega) = S_{\max} \cdot \left(1 + \frac{\omega^2}{\alpha^2}\right) \cdot e^{-\omega^2/\alpha^2};$$

$$- S_x(\omega) = \frac{S_{\max} \alpha^2}{\alpha^2 + \omega^2}.$$

11. Докажите, что произведение эффективной ширины энергетического спектра случайного процесса на его интервал корреляции является константой, зависящей только от свойств случайного процесса. Каково минимальное значение данной константы?

12. Покажите, что корреляционная функция аддитивной смеси гармонического сигнала и шума с ростом временного сдвига стремиться к детерминированной гармонической функции. Как можно использовать данный факт для обнаружения слабого гармонического сигнала на фоне сильного аддитивного шума?

**Лабораторная работа 5. «Исследование характеристик случайных процессов на выходе линейных радиотехнических цепей».**

**Содержание работы:**

1. Исследование явления нормализации случайного процесса на выходе узкополосной цепи.

2. Исследование дифференцирования узкополосного случайного процесса.

3. Исследование интегрирования узкополосного случайного процесса.

**Контрольные вопросы:**

1. Сформулируйте центральную предельную теорему.

2. При каком условии случайный процесс на выходе линейной системы будет гауссовским? Принципиально ли, чтобы система была линейной? Играет ли роль вид закона распределения случайного процесса на входе системы?

3. Как связаны математические ожидания случайного процесса на входе и выходе дифференцирующей цепи?

4. Как связаны корреляционные функции стационарного случайного процесса на входе дифференцирующей цепи и случайного процесса на выходе такой цепи?

5. Пусть задана корреляционная функция стационарного случайного процесса на входе дифференцирующей цепи:

$$- K_x(\tau) = K_{\max} \cdot e^{-\beta|\tau|};$$

$$- K_x(\tau) = K_{\max} \cdot e^{-\beta|\tau|} \cdot (1 + \beta \cdot |\tau|);$$



$$- K_x(\tau) = K_{\max} \cdot e^{-\beta|\tau|} \cdot (1 - \beta \cdot |\tau|);$$

$$- K_x(\tau) = K_{\max} \cdot e^{-\beta^2 \tau^2};$$

$$- K_x(\tau) = \frac{K_{\max}}{1 + \beta^2 \tau^2}.$$

Определите корреляционную функцию и дисперсию случайного процесса на выходе такой цепи.

6. Как связаны корреляционная функция стационарного случайного процесса на входе дифференцирующей цепи и взаимная корреляционная функция случайного процесса на входе и выходе такой цепи?

7. Для корреляционной функции случайного процесса на входе дифференцирующей цепи из условия вопроса 5 определите взаимную корреляционную функцию случайных процессов на входе и выходе такой цепи.

8. Докажите, что случайный процесс на выходе дифференцирующей цепи является стационарным в широком смысле, если корреляционная функция стационарного случайного процесса на входе цепи абсолютно гладкая.

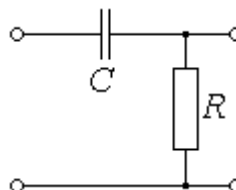
9. Как связаны математические ожидания случайных процессов на входе и выходе интегрирующей цепи?

10. Как связаны корреляционные функции случайных процессов на входе и выходе интегрирующей цепи?

11. Как связаны корреляционная функция случайного процесса на входе интегрирующей цепи и взаимная корреляционная функция случайных процессов на входе и выходе такой цепи?

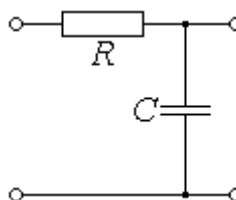
12. Докажите, что случайный процесс на выходе интегрирующей цепи является нестационарным, даже если случайный процесс на входе цепи стационарный. Нарушается ли стационарность случайного процесса, если математическое ожидание случайного процесса на входе цепи равно нулю?

13. Покажите, что RC-цепь вида:



может выполнять функцию дифференцирующей цепи для случайного процесса. Как должна быть выбрана постоянная времени такой цепи?

14. Покажите, что RC-цепь вида:



может выполнять функцию интегрирующей цепи для случайного процесса. Как должна быть выбрана постоянная времени такой цепи?

15. Можно ли в качестве дифференцирующей цепи для случайного процесса использовать RL-цепь? Приведите схему такой цепи. Как должна быть выбрана постоянная времени такой цепи?

16. Можно ли в качестве интегрирующей цепи для случайного процесса использовать RL-цепь? Приведите схему такой цепи. Как должна быть выбрана постоянная времени такой цепи?

**Лабораторная работа 6. «Исследование характеристик случайных процессов на выходе нелинейной радиотехнической цепи».**

**Содержание работы:**

1. Создание модели узкополосного шума.
2. Создание модели АМ-радиосигнала.
3. Создание модели аддитивной смеси АМ-радиосигнала и узкополосного шума.
4. Имитация прохождения аддитивной смеси АМ-радиосигнала и узкополосного шума через амплитудный детектор.
5. Проверка гипотезы о законе распределения огибающей аддитивной смеси.
6. Проверка корреляционных свойств огибающей аддитивной смеси.
7. Проверка энергетического спектра огибающей аддитивной смеси.
8. Исследование помехоустойчивости функционирования амплитудного детектора.
9. Оценка адекватности модели линейной пороговой кривой.

**Контрольные вопросы:**

1. Приведите математическую модель амплитудно-модулированного радиосигнала и поясните физический смысл входящих в нее параметров.
2. Что собой представляет огибающая аддитивной смеси АМ-радиосигнала и узкополосного гауссова шума? Приведите графики ее распределения для различных значений ОСШ.
3. К чему стремиться распределение огибающей аддитивной смеси АМ-радиосигнала и узкополосного гауссова шума при неограниченном росте (или спаде) значения ОСШ?
4. Получите оценку математического ожидания и дисперсии огибающей аддитивной смеси АМ-радиосигнала и узкополосного гауссова шума для случая малого значения ОСШ.
5. Получите оценку математического ожидания и дисперсии огибающей аддитивной смеси АМ-радиосигнала и узкополосного гауссова шума для случая большого значения ОСШ.
6. Получите выражение для корреляционной функции огибающей аддитивной смеси АМ-радиосигнала и узкополосного гауссова шума для случая большого значения ОСШ. Покажите, что с ростом значения ОСШ она стремится к корреляционной функции узкополосного гауссова шума.
7. Какую форму имеет физический спектр огибающей аддитивной смеси АМ-радиосигнала и узкополосного гауссова шума и от чего она зависит? Рассмотрите случаи равномерного и гауссова энергетических спектров шума.
8. Получите оценку для значения ОСШ на выходе амплитудного детектора при подаче на вход аддитивной смеси АМ-радиосигнала и узкополосного гауссова шума для случая низкого значения ОСШ в смеси. Какой эффект при этом наблюдается?

9. Получите оценку для значения ОСШ на выходе амплитудного детектора при подаче на вход аддитивной смеси АМ-радиосигнала и узкополосного гауссова шума для случая высокого значения ОСШ в смеси.

10. Поясните суть метода СИНАД, служащего для определения значения ОСШ в смеси. Как он может быть физически реализован?

11. По каким критериям проводится оценка теоретической модели на адекватность?

12. Что собой представляют стандартизованные остатки? Какими математическим ожиданием и дисперсией они характеризуются?

13. Как проводится проверка стандартизованных остатков на наличие автокорреляции?

14. Что собой представляет нормированный кумулятивный спектр стандартизованных остатков и что он показывает?

**Лабораторная работа 7. «Исследование согласованной фильтрации сигналов на фоне аддитивного белого шума».**

**Содержание работы:**

1. Формирование математических моделей импульсного сигнала, согласованного фильтра и фильтра нижних частот.

2. Формирование математической модели смеси полезного сигнала и аддитивного белого гауссова шума.

3. Прохождение смеси полезного сигнала и аддитивного шума через согласованный фильтр.

4. Определение дисперсии шума на выходе согласованного фильтра.

5. Исследование зависимости отношения сигнал/помеха на выходе согласованного фильтра от ОСШ на входе.

6. Исследование зависимости отношения сигнал/помеха на выходе фильтра нижних частот от ОСШ на входе.

7. Исследование зависимости отношения сигнал/помеха на выходе согласованного фильтра от амплитуды сигнала.

**Контрольные вопросы:**

1. Перечислите и поясните основные задачи статистической радиотехники.

2. Почему фильтр, используемый для решения задачи обнаружения сигнала известной формы на фоне шумов, называется согласованным?

3. Какой критерий используется при построении согласованного фильтра?

4. Сформулируйте задачу согласованной фильтрации.

5. Как определяется отношение сигнал/помеха на выходе согласованного фильтра? Чему равно его максимально возможное значение?

6. Приведите выражение, описывающее комплексный коэффициент передачи согласованного фильтра. Из каких соображений выбираются параметры, входящие в данное выражение?

7. Как связана импульсная характеристика с комплексным коэффициентом передачи фильтра? Приведите выражение для импульсной характеристики согласованного фильтра.

8. Поясните физический смысл АЧХ и ФЧХ согласованного фильтра.

9. Приведите выражение для критерия *Пэли-Винера*, на основе которого решается вопрос о физической реализуемости согласованного фильтра? Каким условиям должна удовлетворять АЧХ такого фильтра?

10. Используя критерий *Пэли-Винера*, покажите, что согласованный фильтр может иметь комплексный коэффициент передачи, определенный выражением:

$$K(j\omega) = B \cdot \frac{U}{j\omega} (1 - e^{-j\omega\tau_n}).$$

11. Используя критерий *Пэли-Винера*, покажите, что согласованный фильтр не может иметь АЧХ гауссова типа.

12. Покажите, что форма сигнала на выходе согласованного фильтра определяется корреляционной функцией полезного сигнала на входе фильтра.

13. Какими характеристиками (закон распределения, энергетический спектр, корреляционная функция) обладает шум на выходе согласованного фильтра, если шум на входе фильтра белый гауссов?

14. Постройте согласованный фильтр для последовательности биполярных прямоугольных видеоимпульсов:

а) 1, 1, 1, -1, -1, 1, -1;

б) 1, -1, 1, 1, 1, -1, -1;

в) -1, -1, 1, 1, -1, 1, -1;

г) -1, -1, -1, 1, 1, -1, 1;

д) 1, -1, 1, 1, -1, -1, -1;

е) -1, -1, -1, 1, 1, -1, 1;

ж) 1, 1, -1, -1, -1, 1, -1;

з) 1, -1, 1, -1, -1, 1, 1;

и) -1, -1, 1, -1, 1, 1, 1;

к) -1, -1, -1, 1, -1, -1, 1.

Постройте временные диаграммы, поясняющие работу данного фильтра.

15. Каким образом решается задача согласованной фильтрации, если шум на входе фильтра небелый? Приведите блок-схему такого согласованного фильтра.

## Приложение 4

### Содержательная часть задания на контрольную работу для заочной формы обучения

Контрольная работа по дисциплине «Основы статистической радиотехники» в соответствии с рабочей программой дисциплины, выполняется студентами заочной формы обучения в 4-ом семестре и является неотъемлемой частью самостоятельной работы, предусмотренной учебным планом.

Контрольная работа состоит из 6 индивидуальных взаимосвязанных заданий, выполняемых с использованием среды MathCAD:

1. Моделирование нормально распределенной случайной величины с заданными числовыми характеристиками.
2. Моделирование узкополосного нормального случайного процесса с заданными формой и эффективной шириной энергетического спектра.
3. Проверка гипотезы о нормальном распределении узкополосного случайного процесса.
4. Исследование корреляционных свойств узкополосного случайного процесса.
5. Формирование квадратур узкополосного случайного процесса и проверка их характеристик.
6. Формирование огибающей и начальной фазы узкополосного случайного процесса и проверка их характеристик.

Вариант исходных данных определяется двумя последними цифрами шифра зачетной книжки.

#### Задание №1

Используя встроенную функцию среды MathCAD  $rnorm()$ , сгенерируйте псевдослучайную последовательность с нормальным распределением при следующих значениях исходных данных:

- длина последовательности  $N = 2^{16}$ ;
- математическое ожидание  $m = 0$ ;
- дисперсия  $D$  в соответствии с вариантом (таблица 2).

Рассчитайте значение математического ожидания и дисперсии и сравните полученные значения с исходными данными. При выполнении расчетов используйте встроенные функции среды MathCAD  $mean()$  и  $var()$ .

Постройте временную реализацию сформированной псевдослучайной последовательности на временном интервале от 0 до  $5000 \cdot \Delta t$ , выбрав шаг дискретизации по времени в соответствии с вариантом (таблица 3).

#### Задание №2

Смоделируйте процесс прохождения широкополосного гауссова шума через линейную частотно-избирательную цепь в рамках спектрального метода. В качестве широкополосного шума используйте сформированную в первом задании псевдослучайную последовательность.

Для перехода от временной реализации к комплексному спектру используйте встроенную функцию среды MathCAD  $FFT()$ .

Постройте график амплитудного спектра широкополосного шума, отложив по оси абсцисс значения отсчетов циклической частоты:

$$f_k = k \cdot \Delta F,$$

где  $\Delta F = \frac{1}{N \cdot \Delta t}$  – шаг дискретизации по частоте.

Для задания границ изменения номера отсчета частоты  $k$  используйте встроенную функцию среды MathCAD  $last()$ .

В дальнейшем рациональней вместо отсчетов частоты использовать только их номера, изменяющиеся в диапазоне от 0 до  $L$ , где  $L$  – последний номер отсчета частоты, определяемый функцией  $last()$ .

При задании частотных свойств линейной радиотехнической цепи используйте комплексный коэффициент передачи одного из трех типов в зависимости от варианта:

- тип №1 (идеальный полосовой фильтр)
- тип №2 (гауссов полосовой фильтр)
- тип №3 (резонансный усилитель)

В выражения для комплексных коэффициентов передачи данных устройств входят центральная частота полосы пропускания  $f_0$ , полуширина полосы пропускания  $\Delta f$  и максимальное значение коэффициента передачи  $T_0$ .

Значения данных параметров выбираются в соответствии с вариантом из таблицы 4.

Выражения для коэффициентов передачи линейных радиотехнических цепей с учетом введенных относительных единиц имеют вид:

- тип №1 (идеальный полосовой фильтр)

$$T_k = \begin{cases} T_0 \cdot e^{-i \frac{k-L_0}{\Delta} \frac{\pi}{4}}, & \text{если } |k - L_0| \leq \Delta \\ 0, & \text{если } |k - L_0| > \Delta \end{cases}$$

- тип №2 (гауссов полосовой фильтр)

$$T_k = T_0 \cdot e^{-\left(\frac{k-L_0}{\Delta}\right)^2 \ln(\sqrt{2})} \cdot e^{-i \frac{k-L_0}{\Delta} \frac{\pi}{4}},$$

- тип №3 (резонансный усилитель)

$$T_k = \frac{-T_0}{1 + i \cdot \frac{k - L_0}{\Delta}}.$$

Сформируйте отсчеты комплексного спектра шумового процесса на выходе линейной радиотехнической цепи, используя отсчеты комплексного спектра входного шума и отсчеты коэффициента передачи. Постройте график амплитудного спектра широкополосного шума, отложив по оси абсцисс значения отсчетов циклической частоты. Для наглядности ограничьте область построения интервалом  $[f_{L_0-5\Delta}, f_{L_0+5\Delta}]$ . Убедитесь, что спектр случайного процесса действительно ограничен заданной полосой частот.

Для перехода от комплексного спектра к временной реализации узкополосного случайного процесса воспользуйтесь встроенной функцией среды MathCAD  $IFFT()$ . Постройте временную реализацию узкополосного случайного процесса на временном интервале от 0 до  $5000 \cdot \Delta t$ . Убедитесь в наличии огибающей, которая должна изменяться значительно медленнее, чем высокочастотное заполнение.

### Задание №3

Для проверки гипотезы о нормальном распределении случайного процесса воспользуйтесь критерием Пирсона. С этой целью постройте гистограмму распределения, используя 30 интервалов разбиения. Для сравнения на том же рисунке отобразите теоретический закон распределения:

$$W(z) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot \sigma^2}} \cdot e^{-\frac{(z-m)^2}{2 \cdot \sigma^2}},$$

где  $m$  и  $\sigma^2$  – математическое ожидание и дисперсия узкополосного случайного процесса, которые могут быть определены с использованием встроенных функций среды MathCAD  $mean()$  и  $var()$ .

Сравните рассчитанное значение дисперсии  $\sigma^2$  со значением

$$D \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta}{L}},$$

и сделайте вывод о взаимосвязи дисперсии случайного процесса с шириной занимаемой им полосы частот.

Для проверки выполнения критерия Пирсона рассчитайте наблюдаемое  $\chi_{_nab}$  и критическое  $\chi_{_cr}$  значения критерия. Для вычисления наблюдаемого значения критерия используйте доверительную вероятность 0,95 и число степеней свободы  $M - 3$ , где  $M = 30$  – число интервалов разбиения. Вычисление проведите с использованием встроенной функции среды MathCAD  $qchisq()$ . Если выполняется условие  $\chi_{_nab} < \chi_{_cr}$ , то гипотезу о нормальном распределении следует принять, а если  $\chi_{_nab} > \chi_{_cr}$ , то гипотеза должна быть отвергнута. Однако такое расхождение может быть вызвано влиянием «хвостов» гистограммы распределения и следует уточнить значение наблюдаемого критерия  $\chi_{_nab}$  и повторно провести сравнение.

### Задание №4

Исследуйте корреляционные свойства сформированного узкополосного случайного процесса. С этой целью рассчитайте отсчеты корреляционной функции:

$$K_{Znb_n} := \frac{2}{N} \cdot \sum_{j=0}^{\frac{N}{2}-1} \left[ (Znb_j - m) \cdot (Znb_{j+n} - m) \right].$$

Поскольку за интервал времени, равный удвоенному времени корреляции, данная функция затухает практически до нуля, то расчеты и построение графических зависимостей следует проводить для ограниченного временного интервала величиной  $3L/\Delta$ .

Определите максимальное значение корреляционной функции, используя встроенную функцию среды MathCAD  $\max()$ , и сравните данное значение с вычисленной ранее дисперсией узкополосного случайного процесса  $\sigma^2$ .

Для визуальной оценки правильности проведенных вычислений рассчитайте значения огибающей корреляционной функции в соответствии с теоретическими законами вида:

– тип №1 (идеальный полосовой фильтр)

$$B_n = \sigma^2 \cdot \frac{\sin\left(\frac{\pi \cdot n \cdot \Delta}{L}\right)}{\frac{\pi \cdot n \cdot \Delta}{L}},$$

– тип №2 (гауссов полосовой фильтр)

$$B_n = \sigma^2 \cdot e^{-\left(\frac{\pi \cdot n \cdot \Delta}{2 \cdot L \cdot \ln(2)}\right)^2 \cdot \ln(2)},$$

– тип №3 (резонансный усилитель)

$$B_n = \sigma^2 \cdot e^{-\frac{\pi \cdot n \cdot \Delta}{L}}.$$

Постройте график корреляционной функции и ее теоретической огибающей на одних координатных осях, четным образом отобразив их на область отрицательных значений времени запаздывания. По оси абсцисс отложите значения времени запаздывания  $n \cdot \Delta t$ . Убедитесь, что отсчеты  $B_n$  действительно описывают огибающую корреляционной функции узкополосного случайного процесса.

### Задание №5

С целью формирования и исследования низкочастотных квадратур узкополосного случайного процесса проведите усреднение энергетического спектра узкополосного случайного процесса и рассчитайте точное значение центральной частоты.

Для усреднения энергетического спектра воспользуйтесь процедурой вида:

```

S := |
for k ∈ 0.. $\frac{N}{2}-1$ 
    S1k ← 0
for n ∈ 0..99
    |
    Z ← rnorm(N, 0,  $\sqrt{D}$ )
    S ← FFT(Z)
    for k ∈ 0..last(S)
        |
        S1k ← S1k +  $\frac{1}{100} \cdot (|S_k|)^2 \cdot (|T_k|)^2$ 
S1
    
```

В данной процедуре первоначально в ячейки вектор-столбца S1 записываются нули, а с каждым новым шагом добавляется взвешенное значение энергетического спектра случайного процесса на выходе узкополосной цепи. Случайность реализаций обеспечивается фор-



мированием случайного процесса  $Z$  в цикле. К окончанию 100-го шага формируется усредненный по 100 реализациям энергетический спектр.

Постройте усредненный энергетический спектр узкополосного случайного процесса и квадрат модуля коэффициента передачи в одних осях. По оси абсцисс отложите отсчеты циклической частоты. Убедитесь, что усредненный энергетический спектр повторяет форму квадрата АЧХ.

Используя отсчеты усредненного энергетического спектра, рассчитайте значение центральной частоты. При этом ввиду дискретности представления данного спектра следует вместо интегралов использовать конечные суммы:

$$L0 = \frac{\sum_{k=0}^{\text{last}(S)} (k \cdot S_k)}{\sum_{k=0}^{\text{last}(S)} S_k}$$

Сравните полученное значение с введенным во втором задании номером отсчета центральной частоты.

Для формирования отсчетов низкочастотных квадратур необходимо рассчитать сопряженный по Гильберту случайный процесс, используя связь между комплексными спектрами самого случайного процесса и ему сопряженного:

$$S_{-Z1_k} = -i \cdot S_{-Z_k},$$

где символ  $i$ , как и ранее, обозначает мнимую единицу.

Вычислив таким образом отсчеты комплексного спектра сопряженного случайного процесса перейдите к отсчетам его реализации, используя встроенную функцию среды MathCAD  $IFFT()$ .

На основе имеющихся отсчетов временных реализаций узкополосного случайного процесса  $Z_n$  и ему сопряженного случайного процесса  $Z1_n$  сформируйте отсчеты узкополосных квадратур в соответствии с выражениями:

$$\begin{aligned} A_{C_n} &= Z_n \cdot \cos\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot L0}{N} \cdot n\right) + Z1_n \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot L0}{N} \cdot n\right) \\ A_{S_n} &= -Z_n \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot L0}{N} \cdot n\right) + Z1_n \cdot \cos\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot L0}{N} \cdot n\right) \end{aligned}$$

Постройте временные реализации низкочастотных квадратур на временном интервале от 0 до  $5000 \cdot \Delta t$ . Убедитесь в медленности их изменения.

По аналогии с заданием №3 постройте гистограммы распределения низкочастотных синфазной и квадратурной составляющих узкополосного случайного процесса. Отобразите в тех же координатных осях теоретические законы распределения, считая квадратуры нормально распределенными. Математические ожидания и дисперсии квадратур вычислите с использованием встроенных функций среды MathCAD  $mean()$  и  $var()$ . Сравните данные параметры между собой и с параметрами узкополосного случайного процесса.

### Задание №6

На основе полученных в задании №5 отсчетов низкочастотных квадратур сформируйте отсчеты огибающей и начальной фазы узкополосного случайного процесса:

$$V_n = \sqrt{(Ac_n)^2 + (As_n)^2}$$

$$\Phi_n = \arg(Ac_n + i \cdot As_n)$$

Постройте временные реализации сформированных огибающей и начальной фазы узкополосного случайного процесса на временном интервале от 0 до  $5000 \cdot \Delta t$ . В одних координатных осях вместе с огибающей постройте временную реализацию самого узкополосного случайного процесса.

По аналогии с заданием №3 постройте гистограммы распределения огибающей и начальной фазы узкополосного случайного процесса. Отобразите в тех же координатных осях теоретические законы распределения:

– закон Релея для огибающей

$$W(v) = \frac{v}{\sigma_0^2} \cdot e^{-\frac{v^2}{2 \cdot \sigma_0^2}},$$

– равномерный закон для начальной фазы

$$W(\varphi) = \begin{cases} \frac{1}{2 \cdot \pi}, & \text{если } |\varphi| \leq \pi \\ 0, & \text{если } |\varphi| > \pi \end{cases}$$

Параметр  $\sigma$  в распределении Релея выберите, исходя из математического ожидания и дисперсии огибающей:

$$\sigma_1 = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \cdot \text{mean}(V), \quad \sigma_2 = \sqrt{\frac{\text{var}(V)}{2 - \frac{\pi}{2}}}, \quad \sigma_0 = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2}$$

Оцените математическое ожидание и дисперсию начальной фазы узкополосного случайного процесса, используя встроенные функции среды MathCAD  $\text{mean}()$  и  $\text{var}()$ . Сравните полученные значения с теоретическими.

### Требования к оформлению

Контрольная работа оформляется в печатном виде на листах А4. Решение каждого задания должно сопровождаться теоретическими выражениями и текстовым пояснением выполняемых действий, а также фрагментами программного кода в среде MathCAD с пояснением назначения применяемых функций.

Если конечная величина является скалярное, то необходимо предусмотреть вывод результата расчета.

Если в качестве результата решения задачи предполагается графическая зависимость (временная диаграмма или частотный спектр), то должен быть приведен анализ полученной зависимости.

## Приложение 5

### Выбор варианта задания для контрольной работы (заочная форма обучения)

Выбор вариантов исходных данных осуществляется по двум последним цифрам шифра зачетной книжки в соответствии со следующими таблицами:

Таблица 2

**Выбор значения дисперсии широкополосного шума**

| Дисперсия $D$             |   | Последняя цифра шифра |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---------------------------|---|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                           |   | 0                     | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    |
| Предпоследняя цифра шифра | 0 | 1,0                   | 1,1  | 1,2  | 1,3  | 1,4  | 1,5  | 1,6  | 1,7  | 1,8  | 1,9  |
|                           | 1 | 2,0                   | 2,1  | 2,2  | 2,3  | 2,4  | 2,5  | 2,6  | 2,7  | 2,8  | 2,9  |
|                           | 2 | 3,0                   | 3,1  | 3,2  | 3,3  | 3,4  | 3,5  | 3,6  | 3,7  | 3,8  | 3,9  |
|                           | 3 | 4,0                   | 4,1  | 4,2  | 4,3  | 4,4  | 4,5  | 4,6  | 4,7  | 4,8  | 4,9  |
|                           | 4 | 5,0                   | 5,1  | 5,2  | 5,3  | 5,4  | 5,5  | 5,6  | 5,7  | 5,8  | 5,9  |
|                           | 5 | 6,0                   | 6,1  | 6,2  | 6,3  | 6,4  | 6,5  | 6,6  | 6,7  | 6,8  | 6,9  |
|                           | 6 | 7,0                   | 7,1  | 7,2  | 7,3  | 7,4  | 7,5  | 7,6  | 7,7  | 7,8  | 7,9  |
|                           | 7 | 8,0                   | 8,1  | 8,2  | 8,3  | 8,4  | 8,5  | 8,6  | 8,7  | 8,8  | 8,9  |
|                           | 8 | 9,0                   | 9,1  | 9,2  | 9,3  | 9,4  | 9,5  | 9,6  | 9,7  | 9,8  | 9,9  |
|                           | 9 | 10,0                  | 10,1 | 10,2 | 10,3 | 10,4 | 10,5 | 10,6 | 10,7 | 10,8 | 10,9 |

Таблица 3

**Выбор значения шага дискретизации**

| Шаг дискретизации $\Delta t$ , мкс |   | Последняя цифра шифра |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|------------------------------------|---|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                                    |   | 0                     | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   |
| Предпоследняя цифра шифра          | 0 | 5                     | 10  | 15  | 20  | 25  | 30  | 35  | 40  | 45  | 50  |
|                                    | 1 | 55                    | 60  | 65  | 70  | 75  | 80  | 85  | 90  | 95  | 100 |
|                                    | 2 | 105                   | 110 | 115 | 120 | 125 | 130 | 135 | 140 | 145 | 150 |
|                                    | 3 | 155                   | 160 | 165 | 170 | 175 | 180 | 185 | 190 | 195 | 200 |
|                                    | 4 | 205                   | 210 | 215 | 220 | 225 | 230 | 235 | 240 | 245 | 250 |
|                                    | 5 | 255                   | 260 | 265 | 270 | 275 | 280 | 285 | 290 | 295 | 300 |
|                                    | 6 | 305                   | 310 | 315 | 320 | 325 | 330 | 335 | 340 | 345 | 350 |
|                                    | 7 | 355                   | 360 | 365 | 370 | 375 | 380 | 385 | 390 | 395 | 400 |
|                                    | 8 | 405                   | 410 | 415 | 420 | 425 | 430 | 435 | 440 | 445 | 450 |
|                                    | 9 | 455                   | 460 | 465 | 470 | 475 | 480 | 485 | 490 | 495 | 500 |

Таблица 4

**Выбор параметров линейной радиотехнической цепи**

| Последняя цифра шифра | Тип цепи | Предпоследняя цифра шифра | Номер отсчета центральной частоты $L0 = f0/\Delta F$ | Количество отсчетов в пределах полуширины полосы пропускания $\Delta = \Delta f / \Delta F$ | Максимальное значение коэффициента передачи $T0$ |
|-----------------------|----------|---------------------------|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 0                     | 1        | 0                         | $3L/8$                                               | $L/32$                                                                                      | 1                                                |
| 1                     | 2        | 1                         | $7L/16$                                              | $L/64$                                                                                      | 1                                                |
| 2                     | 3        | 2                         | $15L/32$                                             | $L/128$                                                                                     | 5                                                |

Окончание табл. 4

| Последняя цифра шифра | Тип цепи | Предпоследняя цифра шифра | Номер отсчета центральной частоты<br>$L0 = f_0 / \Delta F$ | Количество отсчетов в пределах полуширины полосы пропускания<br>$\Delta = \Delta f / \Delta F$ | Максимальное значение коэффициента передачи<br>$T_0$ |
|-----------------------|----------|---------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| 3                     | 1        | 3                         | $31L/64$                                                   | $L/32$                                                                                         | 1                                                    |
| 4                     | 2        | 4                         | $63L/128$                                                  | $L/64$                                                                                         | 1                                                    |
| 5                     | 3        | 5                         | $65L/128$                                                  | $L/128$                                                                                        | 10                                                   |
| 6                     | 1        | 6                         | $33L/64$                                                   | $L/32$                                                                                         | 1                                                    |
| 7                     | 2        | 7                         | $17L/32$                                                   | $L/64$                                                                                         | 1                                                    |
| 8                     | 3        | 8                         | $9L/16$                                                    | $L/128$                                                                                        | 15                                                   |
| 9                     | 1        | 9                         | $65L/128$                                                  | $L/32$                                                                                         | 1                                                    |

## Приложение 6

### Контрольные вопросы по дисциплине

1. Основные понятия теории случайных процессов: случайная величина (СВ) и случайный процесс (СП), реализация и семейство реализаций СП, сечение СП.
2. Функция распределения и плотность распределения вероятности СВ: понятия, взаимосвязь, основные свойства.
3. Числовые характеристики СП: математическое ожидание, дисперсия и среднее квадратическое отклонение (понятия и физический смысл).
4. Равномерно распределенная СВ: функция распределения и плотность вероятности распределения, математическое ожидание и дисперсия.
5. Нормально распределенная СВ: функция распределения и плотность вероятности распределения, математическое ожидание и дисперсия.
6. Рэлеевская СВ: функция распределения и плотность вероятности распределения, математическое ожидание и дисперсия.
7. Экспоненциально распределенная СВ: функция распределения и плотность вероятности распределения, математическое ожидание и дисперсия.
8. Корреляционная функция СП и ее свойства. Коэффициент корреляции и время корреляции СП.
9. Стационарный СП в узком и широком смысле. Эргодический СП. Числовые характеристики и корреляционная функция эргодического СП.
10. Методы экспериментального определения корреляционной функции СП: схемы последовательного и параллельного методов, их достоинства и недостатки.
11. Спектральная плотность средней мощности СП. Теорема Винера-Хинчина. Эффективная ширина энергетического спектра СП.
12. Методы экспериментального определения спектральной плотности средней мощности СП: схемы последовательного и параллельного методов, их достоинства и недостатки.
13. Модель белого шума и его свойства. Тепловой и дробовой шум.
14. Спектральная плотность средней мощности и корреляционная функция СП на выходе линейной радиотехнической цепи.
15. Дифференцирование стационарного СП: математическое ожидание, дисперсия и корреляционная функция на выходе дифференцирующей цепи.
16. Интегрирование стационарного СП: математическое ожидание, дисперсия и корреляционная функция на выходе интегрирующей цепи.
17. Нормализация СП узкополосными линейными цепями: суть явления, соотношение между эффективной шириной энергетического спектра СП и шириной полосы пропускания узкополосной цепи.
18. Прохождение СП через нелинейные радиотехнические цепи: плотность распределения вероятности, математическое ожидание и дисперсия СП на выходе нелинейной цепи.
19. Плотность распределения вероятности СП, являющегося: а) суммой; б) произведением двух СП.
20. Плотность распределения вероятности СП, являющегося: а) разностью; б) частным двух СП.
21. Метод обратного преобразования функции распределения: переход от равномерно

распределенной СВ к рэлеевской или экспоненциально распределенной СВ.

22. Преобразование Бокса-Мюллера: суть метода, варианты реализации, достоинства и недостатки.

23. Узкополосный СП. Квазигармоническое представление узкополосных СП.

24. Вероятностные и числовые характеристики узкополосного СП, его огибающей и начальной фазы.

25. Спектральная плотность средней мощности и корреляционная функция узкополосного СП на выходе цепи с прямоугольной АЧХ.

26. Спектральная плотность средней мощности и корреляционная функция узкополосного СП на выходе цепи с гауссовой АЧХ.

27. Постановка задачи оптимальной линейной фильтрации.

28. Передаточная функция и импульсная характеристика согласованного фильтра.

29. Характеристики сигнала и помехи на выходе согласованного фильтра.